



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
C U A U T I T L A N**



## FALLA DE ORIGEN

**" ALEACIONES FERROSAS RESISTENTES A LA  
ABRASION Y EROSION "**

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
**INGENIERO QUIMICO**  
P R E S E N T A N :  
**CIRILO CRUZ CARRILLO**  
**JOSE ANTONIO MACIAS GONZALEZ**

ASESOR : I. Q. M. RAFAEL SAMPERE M.

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. MEX. MAYO 1995



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

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

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

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



ESTADOS UNIDOS MEXICANOS  
AVENIDA DE  
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
SECRETARIA ACADÉMICA  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION (SEMAR)  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES



ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES  
DIRECTOR DE LA FED-CUAUTITLAN  
P R E S E N T E

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

Con base en el art. 20 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicarle a usted que revisamos la TESIS TITULADA:

Atención Perros Resistentes a la Abrasión y Frotado

que presenta el pagante: Cirilo Cruz Guebllos  
con número de cuenta: 8357228-2 para obtener el TITULO de:  
Ingeniera Química en colaboración con:  
José Antonio Macías González

Considera de que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgando nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E  
"POR MI RAZA HABLADA EL ESPÍRITU"  
Cuautitlan Izcalli, Edo. de Mex., a 07 de Julio de 1995

- PRESIDENTE I. Q. M. Cecilia González Ibarra
- VOCAL I. Q. Ana Leticia Fernández Oserio
- SECRETARIO I. Q. M. Rafael Romero Morales
- PRIMER SUPLENTE M. en C. Ricardo P. Hernández García
- SEGUNDO SUPLENTE I. Q. Gilberto A. Amaya Ventura

HAZ/DE/11/95/02

FALLA DE ORIGEN

## **AGRADECIMIENTOS**

**Sirvan estas líneas para expresar mis más profundos agradecimientos, a quienes con su ayuda y apoyo, contribuyeron de alguna manera, a realizar esta realidad.**

**A mi padre, y madre, su apoyo incondicional y sincero me ha servido para encontrar el sendero por el cual he aprendido a dejar huella.**

**A mis hermanos: Que con su apoyo me han impulsado a seguir adelante.**

**A Dios por darme la vida para disfrutar de todo , y a Dios por no darme todo en la vida; porque en cada esfuerzo que hago para lograr mis objetivos; experimento el placer que se obtiene cuando estas se alcanzan.**

**A mis amigos y demás familiares, mil gracias por la amistad y tiempo que me han brindado. Este logro también es de ustedes.**

**C. C. C.**

A

A mi padre José Macias Almendares  
agradeciendo todo lo que ha hecho por mí ya  
que sin su apoyo jamás habría logrado esta meta

G

A mi madre Isabel González Mota por ser  
siempre mi amiga de toda la vida, gracias a ella  
he llegado a esta meta

R

A mi esposa Gloria Mendoza de Macias por ser  
la persona con quien quiero compartir el resto de  
mi vida y los triunfos por venir.

A

A mi hija Mariana con la esperanza de que algún  
día lea estas líneas.

D

A mis hermanos por su gran apoyo.

E

Al I. Q. M. Rafael Sampere Morales  
agradeciendo el tiempo que empleo en dirigir  
este trabajo.

S

A los sinodales de este trabajo.

C

A mis compañeros y amigos de la Facultad con  
quienes compartí todos los tropiezos y triunfos  
que involucra una carrera profesional. En  
especial a p. I. Q. Rene Fco. Alcantar Negrete  
por toda su ayuda en la realización de este  
trabajo.

O

A mi compañero de Tesis Cirilo Cruz Carrillo  
por su gran ayuda.

A TODOS GRACIAS

J. A. M. G.

# I N D I C E

	Página
Introducción .....	1
Capitulo 1 Aleaciones Ferrosas .....	3
1.1 Diagrama de hierro-carburo de hierro .....	5
1.2 Clasificación de aleaciones ferrosas .....	9
1.3 Hierros colados .....	15
1.3.1 Clasificación general .....	16
1.3.2 Clasificación según sus propiedades y usos .....	17
1.3.3 Características de los hierros colados .....	18
1.4 Diagrama de fase de aleaciones de Cr .....	22
1.5 Diagrama Fe-C-Cr .....	25
Capitulo 2 Clasificación y principales aleantes de las aleaciones ferrosas .....	26
2.1 Definición de fundiciones y aceros .....	26
2.2 Principales aleantes en los aceros .....	27
2.3 Influencia de los elementos de aleación en los puntos críticos del diagrama hierro carbono .....	36
2.4 Fundiciones .....	37
2.5 Efectos de los elementos de aleación en las fundiciones .....	39

<b>Capítulo 3 Factores que influyen en el desgaste de materiales ferrosos .....</b>	<b>44</b>
<b>3.1 Definición de desgaste .....</b>	<b>45</b>
<b>3.2 Clasificación del desgaste .....</b>	<b>45</b>
1) Desgaste adhesivo .....	46
2) Desgaste por erosión .....	46
3) Fatiga por contacto .....	48
4) Desgaste por cavitación .....	48
5) Desgaste corrosivo .....	49
6) Desgaste abrasivo .....	50
6.1 Factores que influyen en la velocidad de desgaste abrasivo .....	53
6.2 Formas de incrementar la resistencia al desgaste .....	54
6.3 Tratamientos térmicos superficiales para aumentar la resistencia al desgaste .....	54
<b>Capítulo 4 Influencia de la micro estructura en la resistencia a la abrasión y la tenacidad de los hierros y aceros .....</b>	<b>58</b>
<b>Capítulo 5 Resistencia a la abrasión y la tenacidad en hierros y aceros .....</b>	<b>66</b>
5.1 Resistencia a la abrasión en los aceros .....	68
5.2 Tenacidad en aceros .....	72
5.3 Hierros colados blancos al alto cromo .....	76
5.4 Resistencia a la abrasión en los hierros .....	78
5.5 Tenacidad en los hierros .....	85
<b>Capítulo 6 Clasificación, selección y usos de aleaciones ferrosas resistentes a la abrasión y erosión de acuerdo a ASTM .....</b>	<b>97</b>

6.1 Clasificación de los hierros blancos de alta aleación .....	97
6.2 Hierros al alto cromo .....	99
6.3 Características y aplicaciones de materiales resistentes a la abrasión .....	100
Tablas .....	103
Apéndices .....	110
Conclusiones .....	115
Bibliografía .....	117



## **OBJETIVO**

**El presente trabajo tiene como objetivo:**

- **Dar una introducción de las características y usos de los materiales a la abrasión y erosión.**
- **Y la influencia de la microestructura en las propiedades físicas y mecánicas de estos materiales.**

## INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas más serios que afectan la industria a nivel mundial es el fenómeno del desgaste en equipo y maquinaria, ya que anualmente provoca millones de dólares en pérdidas.

Por lo que actualmente, es de gran importancia para la industria de cualquier tipo, a reducción de costos operativos, de mantenimiento, reposición y protección de equipo.

Uno de los problemas que afectan los equipos es el desgaste, el cual se presenta dañado en diferentes grados a todas las superficies, especialmente las metálicas.

Existen varios tipos de desgaste entre los cuales se encuentra el abrasivo y el erosivo, siendo particularmente importantes en la industria del cemento, del vidrio, minera y movimiento de tierras.

Debido a que el Ingeniero Químico está en contacto con equipo de proceso que está sujeto al desgaste por abrasión y erosión (ataque químico, fatiga mecánica, fricción, calor, etc.), es necesario que, por lo tanto, se tenga un mejor conocimiento de las diversas aleaciones disponibles en el mercado, para que sea capaz de elegir el material más adecuado para una situación en particular.

Es por esto, que el Ingeniero Químico desempeña un papel muy importante frente a la difícil tarea de la selección de materiales apropiados. Los cuales son ampliamente utilizados

en el campo de la ingeniería. No se puede decir que sea indispensable el conocimiento de este tipo de materiales, pero sí de gran utilidad.

El presente trabajo tiene como objetivo dar una introducción acerca de las características y usos de los materiales resistentes a la abrasión y erosión, abordándolo de la siguiente manera: Debido a que las fundiciones y los aceros aleados son a base del metal hierro, es necesario un estudio previo al diagrama de equilibrio Hierro-Carbono, posteriormente se da una breve explicación de la influencia de los distintos elementos de aleación; a continuación se dan a conocer algunos aspectos acerca del fenómeno del desgaste y por último se da una explicación de la influencia de la microestructura para la obtención de ciertas propiedades específicas en los hierros y aceros.

## CAPITULO No. 1

### ALEACIONES FERROSAS

Los materiales y sus aleaciones, suelen dividirse en dos categorías ferrosos y no ferrosos. Las aleaciones ferrosas están basadas en el hierro como el constituyente principal e incluyen aceros, aceros inoxidable, diversas clases de hierro fundido, etc.. En las aleaciones no ferrosas intervienen metales diferentes al hierro; nuestro estudio se basara en los materiales ferrosos. Los cuales, se describirán basándose en el diagrama de hierro-carburo de hierro del cual se obtienen sus propiedades principales.

#### 1.1 DIAGRAMA DE HIERRO - CARBURO DE HIERRO

A temperatura ambiente, salvo una pequeña parte disuelta en la ferrita (solución sólida intersticial de una pequeña cantidad de carbono disuelto en hierro), todo el carbono que contienen las aleaciones hierro - carbono esta en forma de carburo  $Fe_3C$ . Por eso las aleaciones hierro-carbono también se denominan como aleaciones, hierro - carburo de hierro.

El diagrama de equilibrio de las aleaciones hierro - carburo de hierro, en esencia expone la relación entre el contenido de carbono y la temperatura. Indicando también las características de este sistema de equilibrio hierro y carburo de hierro, así como los cambios de fase que ocurren en el calentamiento y el enfriamiento, además de indicar la naturaleza de los componentes que existen a cualquier temperatura. En realidad el diagrama hierro - carburo de hierro puede considerarse como representativo de cambios que existen bajo

condiciones de calentamiento y enfriamiento lo que no sucede en ocasiones en la práctica diaria, por lo que esto únicamente es útil para conocer las estructuras.

En la siguiente figura se representa el diagrama de las aleaciones hierro- carburo de hierro. En el eje de las abscisas figuran las proporciones de carburo de hierro y también las del carbono. En el eje de las ordenadas se represente la temperatura

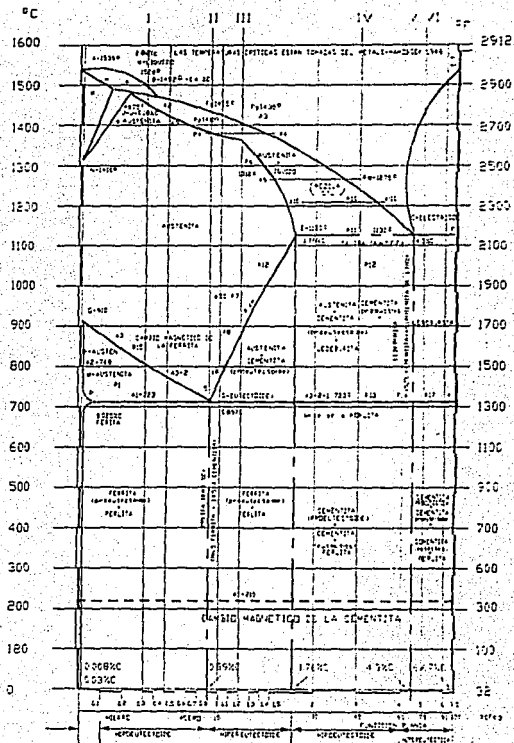
A continuación se Hará una breve descripción de sus puntos más importantes

Para hacer más fácil la descripción del diagrama se estudiará este como un diagrama de hierro - carbono. Que para nuestro caso es lo mismo que estudiarlo como hierro - carburo de hierro.

El límite del diagrama corresponde a una proporción de carbono del 6.67% en peso que es el de la cementita pura. Las aleaciones hierro - carbono en proporción superior al 6.67% en peso, lo contendrán en forma de grafito y, por lo tanto, están excluidas de las aleaciones ahora estudiadas, que deben estar única y exclusivamente con carbono combinado con el hierro en forma de carburo de hierro.

El punto C denominado eutéctico, correspondiente a una proporción de carbono del 4.3% en peso (que corresponde a el 64.5% en peso de carburo de hierro). La aleación del 4.3% en peso de C es la que tiene el menor punto de fusión (1130°C). Además, la totalidad de la más de la aleación funde o se solidifica a una sola temperatura por eso la línea ABCD, de principio se solidificación, tiene con la AHJECF, el punto común C, que es el eutéctico.

# DIAGRAMA HIERRO-CARBONO



Y así como contenidos inferiores de C entre el principio y el fin de la solidificación se va precipitando austenita, y para las aleaciones de contenidos de C al 4.3% en peso entre el principio y el fin de solidificación se precipitan cristales de cementita. Las aleaciones de 4.3% en peso de C se solidifican formando un sólo constituyente, que también, se denomina eutéctico y es la ledeburita formando, como se sabe, por el 52% en peso de cementita y el 48% en peso de austenita de 1.76% en peso de carbono a 1130°C.

El punto E marca la máxima solubilidad del carbono en hierro gamma, es decir, que es el punto de máximo contenido de C de la austenita, que es solución sólida de carbono en hierro gamma. Además el punto de 1.76% en peso de C en el eje de las abscisas divide las aleaciones de hierro - carbono en dos clases características muy distinta: Los aceros de contenido de carbono inferior a 1.76% en peso hasta 0.03% en peso y de las fundiciones de contenido de carbono comprendido entre 1.76 a 6.67% en peso.

El punto S, denominado eutectoide, es el análogo al punto C, que denominado eutéctico. la diferencia consiste en que en el punto eutéctico tiene lugar un cambio de estado de líquido a sólido o de sólido a líquido, y en el punto eutectoide solamente se produce una transformación de la constitución de la aleación, que es sólida lo mismo a temperaturas inferiores que a temperaturas superiores al punto eutectoide.

La analogía, salvo esta diferencia, es total. Así como el punto C (eutéctico) marcaba la composición de la aleación que permanecía líquida a baja temperatura, también el punto S (eutectoide) marca la composición de la austenita, que es más estable a baja temperatura. Este porcentaje es de 0.89% en peso de C (que corresponde a el 13.5% DE carburo de hierro).

La totalidad de la masa de la austenita, de composición eutectoide se transforma íntegramente al pasar por el punto S (eutectoide) en perlita que es el constituyente eutectoide, como lo era la ledeburita el constituyente eutéctico que se formaba al solidificarse la aleación en el punto C (eutéctico). Para contenidos superiores a inferiores al del punto S (0.89% en peso de C), la transformación de austenita en perlita se lleva a cabo a 723°C donde la austenita tiene la composición eutectoide y se transforma íntegramente en perlita. Para porcentajes superiores a el 0.89% en peso de C, la austenita al enfriarse por debajo de la línea Ac<sub>m</sub> (SE), segrega cementita hasta llegar a los 723°C, y para porcentajes de carbono inferiores a las de la línea A<sub>s</sub> (Gs), segrega ferrita hasta llegar a los 723°C.

El punto J, cuyo porcentaje en peso de carbono de 0.18% en peso es de la austenita, permanece estable a la mayor temperatura (1492°C). Este punto se denomina peritético. El punto H, de 0.08% en peso de C es el máximo porcentaje que puede contener en solución sólida el hierro delta.

El punto P, de 0.025% en peso de C, que es el máximo porcentaje de carbono que puede disolver la ferrita.

En el eje de las abscisas se marca un punto que corresponde a el 0.03% en peso de C, que es el mínimo que puede contener el hierro para que se considere como aleación hierro - carbono. por debajo de este porcentaje de carbono se considera como hierro puro. Conocido como hierro dulce.



En el eje de las ordenadas hay los siguientes puntos críticos:

$A_0 = 210^\circ\text{C}$	En el que tiene lugar al cambio magnético de la cementita. Es decir, hasta los $210^\circ\text{C}$ la cementita es magnética y por encima de esta temperatura deja de serlo.
$A_1 = 723^\circ\text{C}$	A esta temperatura se tiene el límite de la perlita.
$A_2 = 768^\circ\text{C}$	Es la temperatura del cambio magnético de la ferrita. Por encima de esta temperatura, la ferrita deja de ser magnética.
$A_3 = \text{Línea SG}$	Es el límite de la cementita. Este punto varía entre $723^\circ\text{C}$ a $910^\circ\text{C}$ , según el porcentaje de carbono.
$A_{cm} = \text{Línea SE}$	Es el límite de la cementita. Este punto varía entre $723^\circ\text{C}$ a $1130^\circ\text{C}$ , según el porcentaje de carbono.
Línea EF	A esta temperatura se tiene el límite de la ledeburita.
Línea AHJECF	Es la línea de las temperaturas de iniciación de la fusión al calentar o de la terminación de la solidificación al enfriar. Por debajo de esta línea todo el metal es sólido.
Línea ABCD	Es la línea de temperaturas de fin de la fusión al calentar o de iniciación de la solidificación al enfriar. Por encima de ella todo el metal está en estado sólido. Entre esta línea y la anterior existe una mezcla de líquido y sólido.
Línea A4 =	Línea HB Es el límite superior de la austenita.

Ahora se definirán los nombres que se han asignado a las estructuras que aparecen en este diagrama

- LA CEMENTITA: ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) contiene 6.67% en peso de C compuesto intersticialmente duro y frágil de baja resistencia tensil, pero de alta resistencia compresiva. Es la estructura más dura que aparece en el diagrama, de estructura cristalina ortorrómbica.
- AUSTENITA: Es una solución Sólida intersticial de carbón Disuelto en hierro y (fcc) cubico de cara centrado. La máxima solubilidad es de 2% en peso de C. Resistencia tensil de  $150\,000\text{ lb/in}^2$ ; elongación 10% en 2 pulgadas; dureza Rockwell 40 aproximadamente y tenacidad alta. Generalmente no es estable a temperatura ambiente.

- LEDEBURITA: Es la mezcla eutéctica de austenita y cementita contiene 4.3% en peso de C y se forma a 1130°C.
- FERRITA: Es una solución sólida intersticial de una pequeña cantidad de carbono disuelto en hierro  $\alpha$  (bcc) cubico de cuerpo centrado, la máxima solubilidad es de 0.025% en peso de C y disuelve sólo 0.080% en peso de C a temperatura ambiente. Es la estructura más suave que aparece en el diagrama.
- PERLITA: Es la mezcla eutectoide que contiene 0.80% en peso de C y se forma a 723 °C a un enfriamiento muy lento. Es una mezcla muy fina, tipo placa o laminar de ferrita y cementita llamada perlita.

## 1.2 CLASIFICACIÓN DE ALEACIONES FERROSAS.

El Instituto del hierro y del acero (AISI) clasifica las aleaciones ferrosas de la siguiente manera.

Aleaciones Ferrosas	1- Aceros finos de construcción general
	2- Aceros finos de usos especiales
	3- Aceros resistentes a la oxidación y corrosión
	4- Aceros para herramientas
	5- Aceros comunes
	6- Aceros para moldear
	7- Fundiciones
	8- Aleaciones férreas especiales.

### 1.- ACEROS FINOS DE CONSTRUCCIÓN GENERAL-

- Aceros al carbono para construcción de piezas que no exijan elevadas características.

- Aceros de gran resistencia para piezas de alta resistencia.

- Aceros de gran elasticidad para construcción de muelles, ballestas, etc.

- Aceros para cementar.

- Aceros para nitrar.

## 2.- ACEROS FINOS DE USOS ESPECIALES.

- Aceros de fácil mecanización (al azufre y al plomo).

- Aceros de fácil soldadura.

- Aceros de propiedades magnéticas para chapas de transformadores y para imanes.

- Aceros de alta y baja dilatación.

- Aceros resistentes a la fluencia.

### 3.- ACEROS RESISTENTES A LA OXIDACIÓN Y CORROSIÓN.

- Aceros inoxidables
- Aceros para válvulas de motores de explosión
- Aceros refractarios.

### 4.- ACEROS PARA HERRAMIENTAS.

- Aceros al carbón para herramientas.
- Aceros aleados para herramientas indeformables, para trabajos de choque en frío y caliente, para corte no rápido e inoxidable para corte.
- Aceros rápidos y extrarápidos al cobalto.

### 5.- ACEROS COMUNES.

- Aceros Bessemer (convertidores Bessemer).
- Aceros Siemens (hornos Siemens).

- Aceros para usos particulares.

Contiene carbono entre 0.14-0.7% en peso

Magnesio 0.35-0.8% en peso

Silicio 0.1-0.3% en peso

Fósforo y azufre menor 0.1% en peso

Usos:

Se destina, en general a la construcción de estructuras metálicas de edificios y sus características son similares a las de los aceros al carbono normalizados.

## 6.- FUNDICIONES.

Ordinarias	-Blancas -Grisas	- Ferríticas Grisas ordinarias - Perliticas
Aleadas	De baja aleación elemento aleado al 5% en peso	- Resistentes a la rotura  - Resistentes al desgaste  - Resistentes al calor  - De alta dureza
	De alta aleación Porcentaje mayor al 5% en peso de elemento aleado	- Al níquel - Al cromo - Al silicio - Al aluminio
Especiales	Maleables	- Corazón blanco (Europea)  - Corazón negro (Americana)  - Maleable perlítica
	De grafito esteroidal: Obtenidas por adición de magnesio y otro elemento durante su elaboración. Resistencia a la tracción y alargamiento de hasta un 15%.	
	De grafito difuso: Se obtiene partiendo de fundiciones blancas, que una vez convenientemente tratadas adquieren una constitución similar a los aceros eutectoides.	

Existen otras clasificaciones para las aleaciones ferrosas de las cuales daremos sus características más importantes.

a) Clasificación de las aleaciones hierro -carbono atendiendo a su porcentaje de carbono.

- Acero.- Toda aleación hierro - carbono cuyo contenido de carbono está generalmente entre 0.10 y 1.76% en peso.

- Fundición .- Toda aleación hierro - carbono no forjable y cuyo contenido de carbono es generalmente de 2.5 a 4% en peso

- Hierro.- Al metal de este nombre técnicamente puro, o con un contenido de carbono inferior a 0.03% en peso

b) Clasificación según procedimientos de fabricación .

- Aceros Bessemer
- Aceros Thomas
- Aceros Siemens
- Aceros eléctricos
- Aceros al crisol
- Hierros pudelados.

c) Clasificación según el porcentaje en peso de carbono

- Aceros hipoeutectoides menor al punto S. Menor al 0.89% en peso de C.
- Aceros eutectoides igual al punto S. 0.89% en peso de C.
- Aceros hipereutectoides mayor al punto S. Mayor al 0.89% en peso de C.

El punto S corresponde para el acero al carbono a un porcentaje de 0.89% en peso de C pero puede variar en los aceros aleados.

d) Clasificación según el grado de desoxidación.

- Aceros calmados: Desoxidados por completo y al solidificarse no desprende gases.

- Aceros efervescentes: Desoxidados incompletamente y al solidificarse desprenden abundantes gases que producen numerosas sopladuras. Suelen bien en la forja y buenas cualidades para el trabajo de embutición profunda.

e) Clasificación según su constitución.

- Aceros perlíticos
- Aceros martensíticos
- Aceros austeníticos
- Aceros ferríticos
- Aceros con carburos.

### 1.3 HIERROS COLADOS.

Las aleaciones del hierro con el carbono, en las cuales el contenido es superior al 2.0% en peso se denominan en hierros colados.

El hierro colado es un material metalúrgico barato particularmente útil cuando un vaciado requiere rigidez, resistencia al desgaste o una alta resistencia a la compresión. algunas otras propiedades que son útiles del hierro colado incluyen:



- a) Facilidad de maquinado cuando se selecciona una composición adecuada. Excepto hierros blancos.
- b) Fluidez y capacidad para efectuar buenas impresiones de fundición.
- c) Temperaturas de fusión, fácilmente obtenibles (1130-1250°C) en comparación con los aceros.

El hierro colado se emplea ampliamente para la fabricación de diferentes elementos de máquinas por medio de la fundición: bancadas, bloques de cilindros, engranes, aros de embolo y otros, que no soportan, sin embargo, elevadas cargas mecánicas, sobretodo cargas dinámicas.

#### 1.3.1 LOS HIERROS COLADOS SE CLASIFICAN DE LA MANERA SIGUIENTE:

- 1.- Fundición blanca: todo el carbono está enlazado en la cementita, su fractura tiene un color blanco mate radiante.
- 2.- Fundición gris: En la micro estructura del hierro colado una parte o todo el carbono se encuentra en forma de grafito. La fundición gris obtuvo su nombre por el carácter de su fractura: La fractura de color gris oscuro o casi negro.
- 3.- Fundición maleable: En este hierro colado todo o parte del carbono se encuentra en forma de grafito Sin embargo, el grafito se precipita en forma de copos. Esto diferencia la microestructura y muchas propiedades de la fundición maleable. Su fractura es oscura o color acero.

- 4.- **Fundición de alta resistencia:** en la microestructura de la fundición de alta resistencia el grafito tiene forma globular.

### 1.3.2 LOS HIERROS COLADOS SE PUEDEN CLASIFICAR EN LOS SIGUIENTES TRES GRUPOS SEGÚN SUS PROPIEDADES:

- a) **Hierros fluidos:** pueden usarse cuando la resistencia mecánica es de importancia secundaria y en los cuales se obtiene una alta fluidez por medio de un alto contenido de silicio (2.5-3.5% en peso) y alto fósforo (hasta 1.5% en peso). Tanto el fósforo y el silicio mejoran la fluidez y un alto contenido de silicio asegurará además que las secciones del puesto que el silicio evita el enfriamiento profundo. Estos hierros se usaron extensamente en un tiempo, para la fabricación de postes de alumbrado, chimeneas y pasamanos.
- b) **Los hierros de ingeniería:** Deben tener una resistencia mecánica razonable y el mejor tipo de microestructura es aquel que contiene pequeñas hojuelas de grafito y una matriz de ferrita. Un hierro de este tipo poseerá las mejores propiedades mecánicas generales y también una mejor maquinabilidad.

El contenido de silicio no excederá en general al 2.5% en peso para vaciados de sección delgada y que puede ser tan bajo como 1.2% en peso para vaciados de secciones gruesas.

El contenido de fósforo debe mantenerse bajo. Cuando es necesario un vaciado resistente al impacto, aunque puede haber presente hasta 0.8% en peso de fósforo en

algunos casos, beneficio de la fluidez. El azufre debe mantenerse también bajo menos de 0.1% en peso ya que conduce a la segregación, puntos duros y fragilidad general.

Los hierros de este tipo pueden tener superficies duras, resistentes al desgaste, templadas en varias partes de la pieza de fundición, deseada.

- c) Los vaciados pesados: No requieren un alto contenido de silicio ya que existe poco peligro de enfriamiento rápido. Generalmente, el silicio no sobrepasa al 1.5% en peso con un contenido hasta de 0.5% en peso de fósforo para vaciados tales como las lingoteras que están expuestos a altas temperaturas, debe usarse un hierro de grano fino y no fosfórico.

### 1.3.3 A CONTINUACIÓN SE DARÁN ALGUNAS CARACTERÍSTICAS DE LOS TIPOS DE HIERROS COLADOS.

#### Hierros colados de alta resistencia

Estos son los hierros colados en los que han sido mejoradas las propiedades del hierro gris ordinario, ya sea por ligeras alteraciones en la composición o por modificaciones en la técnica del vaciado

Entre este tipo de hierros tenemos:

- El semiacero: se hace fundiendo padecería de acero junto con lingote en un cubilote. Este acero diluye las cantidades de silicio, magnesio, asufre y fósforo en el producto resultante. El contenido de carbono final no se afecta grandemente.

- Hierro nodular: Las hojuelas de grafito son sustituidas por partículas esféricas de grafito, de manera que la matriz metálica se encuentra mucho menos quebrada y se eliminan los elevadores de esfuerzos agudos.

La formación de este grafito esferoidal, se efectúa agregando pequeñas cantidades de cerio o magnesio al hierro fundido antes de vaciarlo. Puesto ambos elementos tienen fuertes tendencias a la formación de carburos, el contenido de silicio el hierro debe ser bastante alto (por lo menos 2.5% en peso) para evitar la formación de hierro blanco en secciones delgadas. El magnesio es el que más se usa, y generalmente se agrega (como aleación níquel - magnesio) en cantidades suficientes para dar un contenido residual de magnesio de 0.1% en peso en el hierro.

Los hierros nodulares producidos por este proceso de magnesio, tienen resistencia a la tensión hasta de 7.7 Ton/cm.

La producción del hierro nodular se pueden hacer usando en lugar de cerio o magnesio, el calcio, carburo de calcio, fluoruro de calcio, litio, estroncio, bario y el gas argón.

#### Hierros colados especiales

Los efectos micro-estructurales que tienen los elementos de aleación sobre un hierro colado son:

- Mejorar las propiedades mecánicas
- Afinar el grano

- Aumentar la dureza al estabilizar la cementita y cuando se desea, estabilizar las estructuras martensítica y austenítica a la temperatura ambiente.

- el níquel promueve la grafitización, tiene un efecto de afinación del grano. Mientras el níquel ayuda a evitar el enfriamiento en secciones delgadas, evita también el grano grande en secciones gruesas. Reduce también la tendencia a agrietarse en las secciones delgadas.

- El cromo: Estabilizador fuerte de los carburos e inhibe la formación de grafito. Además, los carburos formados por cromo son más estables y menos tendientes a grafitarse bajo la aplicación del calor, de lo que es el carburo de hierro. Los hierros que contienen cromo son por lo tanto menos susceptibles al agrietamiento.

El molibdeno: Cuando se agrega en pequeñas cantidades se disuelve en la ferrita; pero en cantidades mayores, forma carburos dobles. Aumenta la dureza de las secciones gruesas. Estimulando la uniformidad de la microestructura. Cuando se agrega entre 0.5% mejoran los valores de impacto.

El vanadio: Estimula la resistencia al calor en los hierros colados. Aumenta la resistencia a la dureza cuando se usa vanadio en combinación con otros elementos de aleación.

El cobre: Ligeramente soluble en hierro. Y tiene un efecto ligeramente grafitizante. Mejora la resistencia a la corrosión atmosférica.

## Hierros maleables

Hay dos procesos principales de maleabilización:

### Proceso de corazón negro

Usa un hierro en el cual la composición típica es:

Carbono - 2.5% en peso  
Silicio - 0.8% es peso  
Magnesio - 0.4% en peso  
Azufre - 0.8% en peso  
Fósforo - 0.1% en peso

T = 1000 Tratamiento  
máxima alcanzada.

Duración = 50 - 170 hrs.

Nota: Dependiendo del tipo de piezas  
y del análisis del hierro o de la  
calidad del producto deseado y  
el análisis de los vaciados  
originales.

La estructura final consiste totalmente de ferrita y carbono de recocido finalmente dividido,  
es blando, fácil de maquinar y casi tan dúctil como el acero colado.

### Proceso de corazón blanco

Se usa un hierro blanco con análisis típico, como sigue:

Carbón 3.3% en peso  
Silicio 0.6% en peso  
Manganeso 0.5% en peso  
Azufre 0.25% en peso  
Fósforo 0.1% en peso

T = 1000°C

Tiempo = 70 - 100 hrs.

Cuando se incluyen los procesos de calentamiento y enfriamiento el ciclo de Tr = 200 hrs.

Al Fracturarse después de tratamiento presenta una apariencia blanca acerada de ahí el  
nombre de corazón blanco.

El hierro maleable se usa cuando se requiere un material resistente y menos frágil que el hierro colado ordinario. Se usa mucho en la industria automovilística en la manufactura de piezas para maquinaria agrícola, accesorios de tubería y plomería, para equipo eléctrico, equipo doméstico, quemadores de gas.

### 1.3.4 DIAGRAMA DE FASE DE ALEACIONES DE Cr.

#### Y DIAGRAMA Fe-C-Cr.

En general las características del sistema Fe-Cr-C presentadas aquí están bien establecidas. Las estructuras que aparecen en el diagrama tienen las siguientes fórmulas y límites de composición.

$M_3C$ , cementita, contiene aproximadamente 15% en peso de Cr

$M_7C_3$ , carburo de cromo triangular, contiene aproximadamente 55% en peso de Fe.

$M_{23}C_6$ , carburos de cromo cúbicos, contienen aproximadamente. Aproximadamente 30% en peso de Fe.

$M_3C_2$ , carburos de cromo ortorombicos, contienen aproximadamente 20% en peso de Fe.

Las otras fases han sido designados como siguen:

L, líquido;  $\alpha$ , ferrita;  $\gamma$ , austenita y  $\sigma$ , sigma.

El contenido de carbono en las aleaciones hierro-cromo-carbono, tiene una influencia muy importante a medida que este se empieza a incrementar.

Si el contenido de carbono es menor al 0.1% es peso, toda la ferrita presente de esta aleación cuyo contenido de cromo oscila 0 y 12% en peso de Cr, se transforma por calentamiento, en austenita o fase ( $\gamma$ ). Por enfriamiento rápido conseguiremos transformar la austenita en martensita. dado que para contenidos de carbono, C 0.05% en peso, el límite de la fase gama esta para Cr-13% en peso.

Las aleaciones que contienen arriba del 13% en peso de Cr caen en la región de la ferrita o la fase alfa ( $\alpha$ ), independientemente de la temperatura a la cual sean calentados. Estas aleaciones serán ferríticas y no sufrirán ningún cambio, por no existir transformación de la fase alfa ( $\alpha$ ) en fase gama ( $\gamma$ ), debido a que al límite de esta corresponde al 13% en peso de Cr.

Con contenidos de cromo entre 12-13% en peso de Cr. forman a elevadas temperaturas estructuras bifásicas ( $\alpha+\gamma$ ), que enfriadas rápidamente presentarán una estructura formada por ferrita y martensita.

Aleaciones con contenidos, de cromo de 35-42% en peso de Cr y de 48-65% en peso a temperaturas bajas de 600 a 800°C, aparece una fase intermetálica llamada fase sigma ( $\sigma$ ), que coexiste con la ferrita.

Con contenidos de cromo de 42-48% en peso, toda la ferrita puede transformarse es fase sigma ( $\sigma$ ), la cual es dura y frágil. Se puede disolver en la ferrita calentando por encima de los 820°C.



Cuando el contenido de carbono aumenta en las aleaciones: hierro-cromo-carbono, aumenta el límite de la fase gama; por lo tanto con contenidos de carbono del 0.6% en peso, límite de la fase gama queda en un contenido aproximado de cromo del 18% en peso. Con carbono  $C > 0.6\%$  en peso, ya que no se amplía el límite y el exceso del carbono queda formado distintos tipos de carburos de hierro y cromo, que dependen de la temperatura, del contenido.

La fase alfa ( $\alpha$ ) pura desaparece en las aleaciones hierro-cromo-carbono, con contenidos de carbono de 0.1% en peso y superiores.

Cuatro de las seis fases en este sistema están en equilibrio las otras no varían en el equilibrio, pero si es de importancia práctica considerar, lo que ocurre aprox. a las  $800^{\circ}\text{C}$ , ya que involucra las fases  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $M_2C$  y  $M_7C_3$ .

Las coordenadas donde no existe ninguna variación son: a 0.05% en peso de C, 2.6% en peso de Cr, y a 0.7% en peso de C., 2% en peso de Cr. Por lo tanto el  $M_7C_3$  es estable en aceros de medio carbono, contenido más del 2% en peso de Cr., pero con los comportamientos de estos aceros durante un tratamiento térmico es diferente que el de un simple acero al carbón. Las aleaciones con cantidades de Cr menores al 2% en peso, tienen un comportamiento similar a la de una aleación simple hierro-carbono. La única diferencia es que las tres regiones pueden existir sobre un rango de temperatura y composición, o mejor dicho sobre un punto fijo.

Si el contenido de Cr, es incrementado, la región de la fase  $\gamma$ , llega a ser pequeña y esto desaparece por completo cerca del 20% en peso de Cr.

A partir del límite de la fase  $\gamma$  hasta contenidos de cromo de 26 a 27% en peso de Cr. las estructuras son bifásicas a elevadas temperaturas.

Jugando con los contenidos de cromo, carbono y la temperatura se puede conseguir aleaciones hierro-cromo-carbono que forman distintas estructuras y carburos para satisfacer las necesidades que mejor convengan.

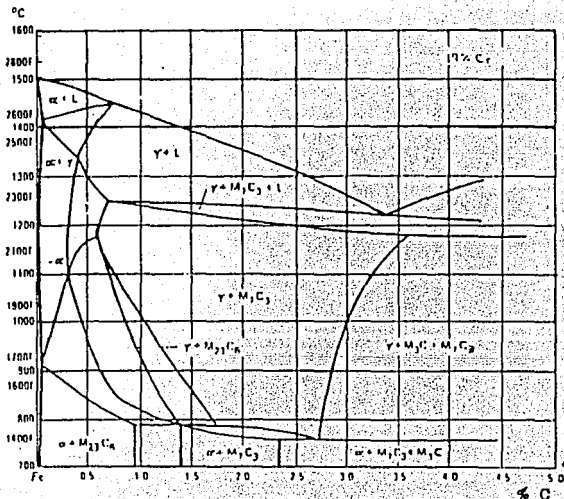


Fig. 1.2 Diagrama de Equilibrio Fe-C-Cr.

## CAPITULO No. 2

### PRINCIPALES COMPONENTES DE LAS ALEACIONES FERROSAS

Dada la importancia de los aceros y fundiciones es necesaria la comprensión de los diagramas Fe-Fe<sub>3</sub>, Fe-C-Cr; así como la función que desempeñan los aleantes que se agregan a dichas aleaciones ferrosas, por lo cual se describe lo que es un acero y una fundición y sus principales aleantes.

#### 2.1 ACEROS.

El acero es una aleación cristalina de hierro, carbono y otros elementos, que endurecen cuando se le enfría bruscamente después de estar arriba de su temperatura crítica. No contiene escoria como producto y se le puede conformar, laminar o forjar. El carbono es un constituyente muy importante por su habilidad para aumentar la dureza y resistencia del acero. No obstante que el acero puede ser vaciado en moldes para conformarlo a un perfil y tamaño definido y complejo, lo más común es que se le solidifique en forma de lingotes, para usarlo después en la fabricación de tubos, barra, láminas, o formas estructurales. La materia prima fundamental para la producción de acero es el arrabio y la chatarra de metales ferrosos.

#### FUNDICIONES.

Las fundiciones son aleaciones de hierro, carbono y silicio que generalmente contienen también manganeso, fósforo, azufre, etc. Son de mayor contenido de carbono que los

aceros y adquieren su forma definitiva por colada, no siendo nunca sometidos a procesos de deformación plástica ni en frío ni en caliente. En general no son dúctiles ni maleables, no obstante mediante aleación apropiada, buen control del hierro base y un adecuado tratamiento térmico, las propiedades de cualquier tipo de fundición puede variar ampliamente. Aunque Las fundiciones comunes son frágiles y tienen más bajas propiedades de resistencia que los aceros, son frágiles, son baratas, pueden fundirse más fácilmente y tienen otras propiedades útiles suficientes para muchísimas aplicaciones. Algunas ventajas de las fundiciones son que su fabricación es más sencilla por emplearse instalaciones menos costosas y realizarse, la fusión, a temperaturas relativamente poco elevadas, y más bajas que las que corresponden al acero; se puede fabricar con relativa facilidad piezas de grandes dimensiones, así como también piezas pequeñas y complicadas que se pueden obtener con precisión de formas y medidas.

## 2.2 PRINCIPALES ALEACIONES EMPLEADAS EN LOS ACEROS.

Los aceros al carbón son muy satisfactorios donde la resistencia y otros requisitos no son muy severos para temperaturas comunes y atmósferas no altamente corrosivas, pero su templeabilidad relativamente baja limita la resistencia que pueda obtenerse excepto en secciones regularmente delgadas. La mayoría de las limitaciones de los aceros al carbón pueden vencerse mediante el uso de elementos de aleación. Los aceros se pueden alea con otros elementos para mejorar sus características físicas y mecánicas, y para producir propiedades especiales tales como resistencia a la corrosión, a la abrasión o al calor. Los aceros que contienen además de las impurezas permanentes (Mn, Si, P, S en concentraciones pequeñas), uno o varios elementos especiales se denominan aceros aleados. Además de las propiedades arriba mencionadas, una de las funciones principales

de la adición de elementos de aleación es el aumentar el tiempo requerido para que la austenita se transforme en perlita o en bainita, de tal manera que una tasa de enfriamiento más lenta todavía pueda evitar esta reacción.

Un acero aleado puede definirse como aquel cuyas propiedades características se deben a algún elemento diferente al carbono. Aunque todos los aceros al carbono contienen moderadas cantidades de Mn (hasta 0.9% en peso) y Si (hasta 0.3% en peso), no se consideran aleados porque la función principal del Mn y Si es de actuar como desoxidantes, se combinan con el oxígeno y azufre para reducir el efecto dañino de estos elementos.

Los elementos de aleación se adicionan a los aceros para muchos propósitos entre los más importantes sobresalen:

1. Aumentar la templabilidad.
2. mejorar la resistencia a temperaturas comunes.
3. Mejorar las propiedades mecánicas tanto a altas como a bajas temperaturas.
4. Mejorar la tenacidad a cualquier dureza o resistencia.
5. Aumentar la resistencia al desgaste.
6. Aumentar la resistencia a la corrosión.
7. Mejorar las propiedades magnéticas.

Los elementos aleantes metálicos se disuelven en la austenita y ferrita formando las soluciones sólidas sustitucionales bajo la condición de que las redes cristalinas sean

iguales. Al disolverse en la ferrita el Si, Co, Mn, Cr, Mo y W, la endurecen en uno y otro grado; al disolverse estos en la austenita elevan su estabilidad al enfriarse.

Como un gran número de aceros se manufacturan, no es posible analizarlos en forma individual; sin embargo, consideraremos brevemente los efectos específicos de los elementos de aleación comunes a sus aplicaciones.

**CARBONO:** No es considerado como un elemento de aleación, sin embargo, es el elemento de más importancia en el acero ya que dependiendo de la cantidad existente de este se tiene un aumento en resistencia a la tracción, aumento de la dureza y la resistencia contra la abrasión y desgaste, además, disminuye la tenacidad y la facilidad de maquinado.

**NÍQUEL:** Este es el elemento más común de aleación de los aceros. Tiene limitada solubilidad en la austenita y es altamente soluble en la ferrita, contribuye a la resistencia y tenacidad de esta. Además, disminuye las temperaturas críticas del acero, amplía el intervalo de temperaturas para un tratamiento térmico exitoso, retarda la descomposición de la austenita y no forma carburos que pueden disolverse con dificultades durante la austenización. Así mismo, reduce el contenido de carbono del eutectoide, por tanto, la estructura de los aceros no endurecidos al níquel contiene mayor porcentaje de perlita que los aceros de carbono tratados de manera similar. Como la perlita se forma a una temperatura menor es más fina y tenaz que la de los aceros no aleados. Estos factores no permiten obtener ciertos niveles de resistencia con inferiores cantidades de carbono incrementando de esta manera la tenacidad a la fatiga. El níquel tiene solo un ligero efecto sobre la templeabilidad, pero es relevante su capacidad para mejorar la tenacidad, sobre todo a bajas temperaturas.

**CROMO:** El cromo es un elemento de aleación menos costoso que el níquel y forma carburos simples y complejos. Estos carburos tienen alta dureza y buena resistencia al desgaste. Es soluble hasta 13% en peso de austenita y tiene solubilidad considerable en ferrita. En los aceros de bajo carbono tiende a entrar en la solución incrementando de esta manera la resistencia y la tenacidad de la ferrita. Cuando el cromo está presente en cantidades que exceden al 5% en peso, las propiedades a altas temperaturas y la resistencia a la corrosión del acero se ven altamente mejoradas. Los aceros al bajo carbono generalmente se carburizan. La presencia del cromo aumenta la resistencia al desgaste de las piezas no es tan alta como la de los aceros al níquel. Al medio carbono estos aceros son endurecibles en aceite. Un acero de alto cromo y alto carbono, se caracteriza por la gran dureza y la resistencia al desgaste. Tal como para cojinetes de bolas y rodillos y para la maquinaria de trituración.

**NIQUEL-CROMO:** La proporción de los elementos de aleación en aceros de esta clase es de dos y media de níquel y por una de cromo. El efecto de níquel de aumentar la tenacidad y la ductibilidad se combina con el efecto del cromo de mejorar la templabilidad y la resistencia al desgaste. Es importante recordar que el efecto combinado de dos o más elementos de aleación sobre la profundidad y distribución de la dureza suele ser mayor que la suma de los efectos de los mismos elementos de aleación utilizados por separado. El cromo proporciona la resistencia al desgaste de la superficie endurecida, mientras que ambos elementos de aleación mejoran la tenacidad de la porción interna. Algunos de sus usos se utilizan para la manufactura de bielas automotrices, flechas de transmisión, levas, etc.

**MOLIBDENO:** Es un elemento de aleación relativamente costoso. Es soluble en ferrita y en austenita y es un puente formados de carburos. Además ejerce un fuerte esfuerzo sobre la templabilidad y de manera semejante al cromo aumenta la dureza y resistencia de los aceros a altas temperaturas. Los aceros al molibdeno son menos susceptibles al fragilizado (cuando se les da un revenido) que los demás aceros aleados este elemento se utiliza más a menudo con el níquel y el cromo o con ambos para aplicaciones de carbonización, mejora la resistencia al desgaste de la superficie endurecida y la tenacidad de la porción interna. Los aceros al níquel-cromo-molibdeno aparte de contar con las propiedades de los aceros al níquel-cromo cuenta con la alta templabilidad que proporciona el molibdeno. Se usan mucho en la industria aeronáutica en las alas, fuselaje, tren de aterrizaje, etc.

**TUNGSTENO:** Este material tiene un marcado efecto sobre la templabilidad, es un fuerte formados de hidrocarburos y retarda el suavizamiento de la martensita el revenido. En general, el efecto de este, es similar al del molibdeno. No se utiliza para aceros estructurales, su principal uso es en aceros para herramientas.

**VANADIO:** Es el más costoso de los elementos de aleación. Es un potente desoxidante y fuerte formados de carburos el cual inhibe el crecimiento de granos. Cuando esta, presenta el vanadio tiene marcado efecto sobre la templabilidad y proporciona altas propiedades mecánicas al enfriamiento con aire. Por tanto los aceros del carbono-vanadio se utilizan para grandes forjas de locomotoras y maquinaria. Se utiliza en manufactura de muelles, herramientas, etc.

**MANGANESO:** Este elemento aparte de ser barato esta presente en todos los aceros como desoxidante. Reduce la tenacidad a la fragilidad en caliente debido a la presencia del



azufre y el sulfuro de manganeso su poder para combinarse con el azufre y el sulfuro de hidrógeno eutectico, conservándose sólido a las temperaturas de laminación. Es débil formador de carburos además de tener un leve efecto sobre la templabilidad.

**SILICIO:** Al igual que el manganeso esta presente en todos los aceros como desoxidante barato. No es un formados de carburos, se disuelve en la ferrita aumentándole tenacidad. Un acero que contiene excelentes propiedades magnéticas para emplearse en núcleos de polos de maquinaria eléctrica.

A continuación se mencionan algunos de los efectos de estos elementos señalados en la siguiente tabla:

## EFECTOS ESPECIFICOS DE LOS ELEMENTOS DE ALEACION EN EL ACERO.

ELEMENTO	SOLUBILIDAD EN HIERRO GAMA	SOLIDA EN HIERRO ALFA	INFLUENCIA DE LA FERRITA	INFLUENCIA DE LA AUSTENITA. (PROF/DIST) DE LA DUREZA	INFLUENCIA EJERCIDA POR MEDIO DEL CARBURO.	
					TENDENCIA A FORMAR CARBURO	ACCIÓN DURANTE EL REVENIDO.
ALUMINIO	1.1% (Aumentado por C)	36%	La endurece considerablemente por solución sólida.	Si se disuelve la austenita aumenta ligeramente la templeabilidad	Negativa (grafitizada)	
CROMO	12.8% (20% con 0.3% C)	Ilimitada	Lo endurece ligeramente aumenta la resistencia a la corrosión.	Aumenta la templeabilidad moderadamente	Mayor que Mn menor que W	Contrarresta ligeramente al suavizamiento
COBALTO	Ilimitada	75%	La endurece considerablemente por solución sólida	Cuando esta disuelta disminuye la templeabilidad	Semejante al Fe	Mantiene la dureza por efecto de la solución sólida
FOSFORO	0.5%	2.8% (independiente del contenido de carbono)	La endurece fuertemente por solución sólida	Aumenta la templeabilidad	Despreciable	
MANGANESO	Ilimitada	3%	La endurece marcadamente reduce la plasticidad.	Aumenta moderadamente la templeabilidad	Mayor que Fe menor que Cr	Muy poca en porcentajes usuales
MOLIBDENO	3% + (6% con 0.3% C)	37.5% (menor con temperatura disminuida)	Proporciona un sistema de endurecimiento por envejecimiento en los aceros aleados alto Mo-Fe	Aumenta fuertemente la templeabilidad (Mo > Cr)	Fuerte mayor que Cr	Se opone al suavizamiento por endurecimiento secundario
NIQUEL	Ilimitada	10% (independiente del contenido de carbono)	10% (independiente del contenido de carbono)	Aumenta ligeramente la templeabilidad pero tiende a retener austenita con alto contenido de carbono	Negativa (grafitizada)	Muy poca en pequeños porcentajes
SILICIO	2% + (6% con 0.35% C)	18.5% (No cambia mucho con el contenido de carbono)	La endurece con pérdidas en plasticidad (Nn < Si < P)	Aumenta moderadamente la templeabilidad	Negativa (grafitación)	Sostiene la dureza por solución sólida
TITANIO	0.75% (18% con 0.20% C)	6% + (con temperatura disminuida)	Proporciona un sistema de endurecimiento por envejecimiento con alto contenido de Ti-Fe.	Probablemente aumenta muy fuerte la templeabilidad de estar disuelto. Los efectos del carburo reducen la templeabilidad	La mayor que se conoce (2% de Ti hace que el acero con 0.5% de carbono no se pueda endurecer	Los carburos persistentes probablemente no se afecta algún endurecimiento secundario
TUNGSTENO	6% (11% con 0.25% C)	33% (menos con temperatura disminuida)	Proporciona un sistema de endurecimiento por envejecimiento en aleaciones con alto W-Fe.	Aumenta fuertemente la templeabilidad en pequeñas cantidades	fuerte	Se opone al suavizamiento por endurecimiento secundario
VANADIO	1% (4% con 0.20% C)	Ilimitada	La endurece moderadamente por solución sólida.	Aumenta fuertemente la templeabilidad cuando esta disuelto	Muy fuerte V Ti < Co ó (b)	Máximo por endurecimiento secundario

#### ALUMINIO:

1. Desoxida eficazmente.
2. Restringe el crecimiento de grano por formación de óxidos.
3. Elemento de aleación en la trituration del acero.

#### CROMO:

1. Aumenta a la corrosión y a la oxidación.
2. Aumenta la templabilidad.
3. Añade alguna resistencia a altas temperaturas.
4. Resiste la abrasión y el desgaste (con alto contenido de carbono)

#### COBALTO:

1. Contribuye a conservar la dureza al rojo, endureciendo la ferrita.

#### FÓSFORO:

1. Aumenta la resistencia del acero al bajo carbono.
2. Aumenta la resistencia a la corrosión.
3. Mejora la maquinabilidad en los aceros de cortado libre (aceros rápidos)

#### MANGANESO:

1. Contrarresta la fragilidad debido al azufre.
2. Aumenta a bajo costo la templabilidad.

#### MOLIBDENO:

1. Eleva la temperatura del inicio del crecimiento del grano de la austenita.

2. Profundiza el endurecimiento.
3. Contrarresta la tenacidad a la fragilidad por revenido.
4. Aumenta las resistencia a alta temperatura, a la fluencia y a la dureza al rojo.
5. Mejora la resistencia a la corrosión en aceros inoxidables.
6. Forma partículas resistentes a la abrasión

#### NÍQUEL:

1. Hace resistentes los aceros no templados o recocidos.
2. Hace tenaces los aceros perlíticos-ferríticos (especialmente a bajas temperaturas).

#### SILICIO:

1. Se emplea desoxidados de propósito general.
2. Elemento de aleación para láminas eléctricas y magnéticas.
3. Mejora la templabilidad de los aceros que no tienen elementos grafitizadores.
4. Hace resistentes los aceros de baja aleación.

#### TITANIO:

1. Fija el carbono en partículas inertes:
  - a) reduce la dureza martensítica y la templabilidad en aceros al cromo medio.
  - b) Previene la formación de austenita en aceros al alto cromo.
  - c).reviene el agotamiento localizado de cromo en aceros inoxidables durante un largo calentamiento.

#### TUGSTENO

1. Forma partículas duras y resistentes a la abrasión en aceros para herramientas.

2. Promueve la dureza la resistencia a altas temperaturas.

#### VANADIO:

1. Eleva la temperatura de inicio de crecimiento del grano de la austenita (promueve el grano fino)
2. Aumenta la templabilidad (cuando esta disuelto).
3. Resiste el revenido y procede un marcado endurecimiento secundario.

### 2.3 INFLUENCIA DE LOS ELEMENTOS DE ALEACIÓN EN LA SUSTITUCIÓN DE LOS PUNTOS CRÍTICOS DEL DIAGRAMA HIERRO-CARBONO.

El efecto general de los elementos de aleación es retardar la rapidez de suavizamiento, de manera que los aceros aleados requerirán una temperatura mayor para tratamiento térmico por revenido para obtener una dureza dada. el níquel, el silicio y en algunas extensión el manganeso, tiene muy poco efecto sobre la dureza del acero por Tratamiento Térmico por revenido.

Sin embargo, los elementos que forman carburos como el cromo el tungsteno, el molibdeno y el vanadio tiene un efecto notable sobre el retardo del suavizamiento. No solo aumenta la temperatura del Tratamiento Térmico, por revenido, sino que cuando que cuando están presentes en altos porcentajes, las curvas de suavizantes para estos aceros que mostrarán un intervalo en el cual la dureza puede aumentar realmente al incrementares la temperatura del Tratamiento Térmico, por revenido. Este comportamiento, característico de los aceros aleados que contienen elementos de formación del carburo, conoce como

dureza secundaria y se cree que se debe a la precipitación retardada de finos carburos aleados.

## FUNDICIONES.

Teóricamente las fundiciones pueden contener de acuerdo con el diagrama hierro-carbono, de 2 a 6.67% en peso de C. Sin embargo, en la práctica su contenido varía de 2 a 4.5% en peso de C, siendo la más frecuente que oscilen entre 2.75% en peso de C a 3.5% en peso de C. El contenido de silicio puede variar de 0.5% a 3.5% en peso de carbono y el manganeso de 0.4% a 2.0% en peso, los porcentajes de azufre pueden oscilar de 0.02% en peso, y los de los fósforos de 0.4% a 0.8% en peso.

La clasificación de las fundiciones más conocida es la siguiente:

- Fundición blanca.
- Fundición gris.
- Fundición maleable.
- Fundición modular.
- Fundiciones aleada.

El contenido de silicio de las aleaciones hierro-carbono y la velocidad de enfriamiento, tienen gran influencia en la formación de una u otra clase de fundición. Velocidades de enfriamiento lentas favorecen la formación de fundición gris velocidades de enfriamiento rápido (temple) en cambio tiende a producir fundición blanca, y en general altos contenidos de silicio de 1.5 - 3.5 provee la formación de fundición gris; bajo contenido de silicio provee

la formación de la fundición blanca. Los constituyentes en las fundiciones son algo diferentes en algunos casos de los que se estudian en el diagrama hierro-carbono correspondiente a los aceros. Las diferencias que existen entre estas y aquellas son debidas principalmente a la presencia de silicio en cantidades bastante elevadas, generalmente variables de 1 a 4% en peso. En la siguiente figura se ilustran los contenidos típicos de silicio y carbono para los aceros y fundiciones grises y blancas.

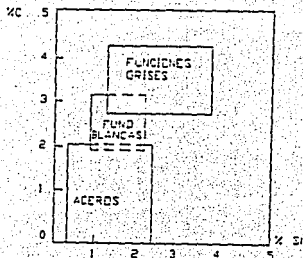


FIG. 21 CONTENIDO DE CARBONO Y SILICIO PARA FUNDICIONES

Cuando se haya presentado en pequeñas cantidades variables de 0.1 a 0.6% no ejerce influencia importante en cambio cuando el silicio se haya presente en porcentajes variables de 0.6 a 3.5% en peso, ejerce indirectamente una acción muy destacada y contribuye a la formación de grafito, que modifica completamente el carácter y las propiedades de la aleación hierro-carbono.

Para elevar la calidad de la fundición es conveniente alearlo con Ni, Cr, Mo, Co, Ti. El propósito de adicionar los elementos de aleación a la fundición es para:

- Incrementar su resistencia mecánica.
- Incrementar su dureza.
- Incrementar su poder de endurecimiento.
- Incrementar la resistencia a la abrasión.
- Incrementar la resistencia al calor.
- Incrementar la resistencia a la corrosión o combinaciones de estas propiedades.

2.5. A continuación se describen brevemente los efectos de los elementos de aleación en las fundiciones.

El estudio de la influencia de los elementos de aleación en las fundiciones es bastante más complicada que en los aceros. Se puede decir que los elementos de aleación modifican la microestructura de las fundiciones y con ellas su dureza y resistencia, además estando en ocasiones estos cambios influenciados por una variación de la templabilidad. Los elementos de aleación modifican también como en los aceros, la situación de los



puntos críticos y además ejercen una acción muy importante y compleja sobre la grafitización.

Ciertos elementos como el silicio, aluminio, níquel y cobre que se disuelven en la ferrita, la endurecen y hacen aumentar su resistencia; son elementos que favorecen la grafitización.

Otros elementos como el cromo, manganeso y molibdeno son formadores de carburos, son elementos que tienden a formar fundición blanca en vez de gris y dificultan la grafitización.

El níquel, el manganeso y el cobre aumentan la estabilidad de la austenita y favorecen la formación de una matriz austenítica.

El silicio, el molibdeno y el aluminio, (el segundo en muy pequeña proporción) aumentan la estabilidad de la ferrita.

En la siguiente tabla se ilustra la influencia de algunos elementos de aleación de las fundiciones.

**TABLA II.2 Influencia de los elementos de aleación en las fundiciones**

ELEMENTOS	GRAFITIZACION	EFECTO SOBRE LOS CARBOROS A ALTA TEMPERATURA	EFECTO EN LA ESTRUCTURA DEL GRAFITO	EFECTO EN EL CARBONO COMBINADO DE LA PERLITA	EFECTO QUE PRODUCE EN LA MATRIZ
ALUMINIO	FAVORECE	DECRECE ESTABILIDAD	ENGRUEZA	DECRECE FUERTEMENTE	ABLANDA Y FABORECE LA FORMACIÓN DE LA FERRITA
CARBONO	FAVORECE	DECRECE ESTABILIDAD	ENGRUEZA	DECRECE FUERTEMENTE	ABLANDA Y FABORECE LA FORMACIÓN DE LA FERRITA
COBRE	FAVORECE	INDIFERENTE	INDIFERENTE	DECRECE LIGERAMENTE	DA DUREZA
CROMO	SE OPONE	ESTABILIZA FUERTEMENTE	AFINA LIGERAMENTE	AUMENTA	AFINA LA PERLITA Y DA DUREZA.
MANGANESO	SE OPONE	ESTABILIZA	AFINA LIGERAMENTE	AUMENTA	AFINA LA PERLITA Y DA DUREZA.
MOLIBDENO	SE OPONE	INDIFERENTE	AFINA LIGERAMENTE	AUMENTA LIGERAMENTE	AFINA LA PERLITA Y DA DUREZA.
NIQUEL	FAVORECE	DECRECE LIGERAMENTE ESTABILIDAD	AFINA LIGERAMENTE	DECRECE Y ESTABILIZA LA PERLITA	AFINA LA PERLITA Y DA DUREZA.
SILICIO	FAVORECE	DECRECE ESTABILIDAD	ENGRUEZA	DECRECE FUERTEMENTE	ABLANDA Y FABORECE LA FORMACIÓN DE LA FERRITA
TITANIO	FAVORECE	DECRECE ESTABILIDAD	AFINA FUERTEMENTE	DECRECE	ABLANDA Y FABORECE LA FORMACIÓN DE LA FERRITA
VANADIO	SE OPONE	ESTABILIZA FUERTEMENTE	AFINA	AUMENTA	AFINA LA PERLITA Y DA DUREZA.

En la segunda columna de la tabla. Se menciona el poder grafitizante de diversos elementos, que señalan el valor de su influencia comparada con la del silicio. Esta información es conveniente completarla con las siguientes aclaraciones:

**ALUMINIO:** La función que señala sirve hasta 2% en peso. Al aumentar el aluminio de 2 a 4% en peso, la acción grafitizante decrece hasta cero.

**TITANIO:** Con 0.1 a 0.2% en peso, el titanio tiene una acción grafitizante más intensa que el silicio, mientras que para mayores porcentajes su acción es inferior como se señala en la tabla.

**MOLIBDENO:** El molibdeno favorece la estabilidad del carburo de hierro y reduce el tamaño de las láminas de grafito y también aumenta la resistencia de la matriz. Se emplea en muchos tipos de fundiciones pero su uso tiene un interés muy especial en las fundiciones aciculares, que tienen una tenacidad muy elevada su función responde 0.8 al 1.5% en peso de molibdeno. Porcentajes de molibdeno inferiores 0.8% en peso tienen una acción más débil y contenidas más elevadas tienen una acción más intensa.

**NÍQUEL:** El níquel facilita la grafitización, se disuelve en el hierro y disminuye la estabilidad del carburo. Su acción es menos activa que la del silicio, ya que tres partes del níquel hacen el mismo efecto que una de silicio.

Aumenta la dureza y resistencia de la matriz y reduce el tamaño de las láminas de grafito y el tamaño del grano. Además y quizá lo más importante, evita la formación de fundición blanca en la esquinas y secciones delgadas de las piezas y mejora su maquinabilidad. Para la fabricación de fundiciones de alta resistencia, se suele emplear de 0.5 a 3% en peso de níquel. De 3.5 a 5% en peso de níquel, se emplea para obtener fundiciones martensíticas de elevada dureza, y más de 15% en peso de níquel para fabricar las fundiciones austeníticas muy resistentes a la corrosión y al calor.

**CROMO:** El cromo estabiliza la cementita y evita la grafitización. Reduce ligeramente el tamaño de las láminas de grafito, y además afina la dureza de la matriz. Se fabrican

fundiciones de 12 a 30% en peso de cromo para resistir a la corrosión y altas temperaturas.

Forma carburos de cromo que son muy estables a altas temperaturas.

**COBRE:** El cobre favorece ligeramente la grafitización y endurece y aumenta la resistencia de la matriz. Mejora la resistencia al desgaste, al choque de las fundiciones, proporcionándoles cualidades antifricción muy interesantes también mejora la resistencia a la corrosión atmosférica y a la acción de agentes corrosivos relativamente debiles. Por su bajo precio es muy empleado para sustituir al niquel.

A continuación se cita la tabla que muestra la influencia de los elementos de aleación en la situación de los puntos críticos del diagrama hierro-carbono.

MODIFICACIONES QUE SE PRODUCEN	Al	Cr	Mn	Mo	Ni	Si
DESPLAZAMIENTO DEL PUNTO EUTECTICO		HACIA LA IZQUIERDA	HACIA LA DERECHA		HACIA LA IZQUIERDA	HACIA LA IZQUIERDA
DESPLAZAMIENTO DE LA TEMPERATURA EUTECTOIDE	HACIA ARRIBA	HACIA ABAJO	HACIA ABAJO		HACIA ABAJO	HACIA ARRIBA
TEMPLABILIDAD	REDUCE	AUMENTA	AUMENTA	AUMENTA		
DESPLAZAMIENTO DEL PUNTO EUTECTOIDE	HACIA LA IZQUIERDA	HACIA LA IZQUIERDA	HACIA LA IZQUIERDA		HACIA LA IZQUIERDA	HACIA LA IZQUIERDA

## CAPITULO No. 3

### FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DESGASTE DE ALEACIONES FERROSAS.

Una vez estudiados los efectos de los elementos de aleación en los aceros y fundiciones, es necesario describir los factores que ocasionan el desgaste de las aleaciones ferrosas.

Hasta la fecha se han hecho muchos estudios respecto al fenómeno del desgaste. Se han planeado diversas clasificaciones de este fenómeno, algunas atendiendo al mecanismo de desgaste otras basándose en la naturaleza de los materiales en contacto, etc., pero hasta ahora no ha sido posible explicar completamente todos y cada uno de los tipos de desgaste que existen.

El fenómeno del desgaste es un factor que daña la vida útil de un componente. El desgaste actúa en situaciones reales en forma compleja, ya que pueden actuar varios mecanismos al mismo tiempo. Por lo tanto, es de vital importancia conocer los mecanismos de desgaste para saber con que requerimientos debe cumplir el material y además se deben conocer las condiciones de trabajo que tendrá el componente y si existen variaciones en dichas condiciones.

Es importante conocer algunos aspectos acerca del fenómeno de desgaste, por lo que, a continuación se hará una breve explicación de su definición, mecanismo y clasificación.

### 3.1 DEFINICIÓN DE DESGASTE.

De acuerdo al Metals Handbook el desgaste ocurre por deformación plástica del material subsuperficial o superficial, y/o arranque de partículas que forman desechos.

Puede ocurrir por contacto de metal contra metal, metal contra sólido no metálico, por flujo de fluidos sobre metal, y por partículas sólidas o líquidas en un flujo de gas.

El desgaste consiste en la pérdida progresiva de material y se debe al el movimiento relativo de una superficie y una o más sustancias en contacto con ellas.

Esto puede como consecuencia, incluir oxidación, corrosión, cedencia, fatiga, esfuerzos friccionales, cascado por impacto, pseudomaquinados (debido a superficies rugosas) y el corte, de formación debidos a partículas abrasivas.

### 3.2 CLASIFICACIÓN DEL DESGASTE

Una clasificación general de los distintos tipos de desgaste y de los cuales se dará una breve explicación, enfatizando únicamente en el desgaste abrasivo y desgaste por erosión, ya que el enfoque del estudio de esta tesis es resistencia de los materiales ferrosos a la abrasión y erosión siendo esta clasificación:

1) Desgaste de Adhesivo.

2) Desgaste por erosión.

3) fatiga por contacto.

- Restregado

- Rayado o Raspado

4) Desgaste por cavitación.

5) Desgaste corrosivo.

- Arañado

6) Desgaste Abrasivo.

- A bajo esfuerzo o bajo momento de inercia.

- A alto esfuerzo o alto momento de inercia.

1) **DESGASTE ADHESIVO:** Ocurre entre dos superficies en rozamiento y se describe en situaciones prácticas como rayado, restregado, raspado.

- RESTREGADO: Es un tipo de desgaste adhesivo que ocurre cuando las superficies empiezan a rozar bajo escasa lubricación.

- RAYADO O RASPADO: Ocurre entre dos superficies en contacto bajo movimientos oscilatorios pequeños. Este proceso aumenta en forma aproximada lineal con la carga normal aplicada, la amplitud y el número de movimiento oscilatorios.

2) **EROSIÓN:** La erosión está íntimamente ligada con el desgaste abrasivo y es resultado del choque de partículas sólidas libres en un flujo, o bien del choque de pequeñas gotas de líquido sobre una superficie.

Estas partículas o gotas están contenidas en una corriente de fluidos y circulan a mayor velocidad de la que tiene un abrasivo durante un fenómeno de abrasión a bajo momento. La velocidad de erosión depende de la energía cinética de la partícula erosiva y

de la trayectoria que esta siga: En materiales dúctiles se produce arañado y en los frágiles propagación de fracturas.

La extensión dañada depende del tamaño, forma, concentración, velocidad y ángulo de ataque de la partícula, siendo este último factor, lo más crítico para la selección del material. Con ángulos de choque relativamente bajos, se produce un proceso de corte o maquinado. La velocidad de desgaste depende de la dureza de la superficie.

A grandes ángulos de choque, las partículas, se impactan y causan deformación de la superficie, lo que resulta en astillado o picado. En esta situación se necesita un material con posibilidades de absorber gran cantidad de energía sin deformarse o fracturarse.

Para aumentar la resistencia a la erosión se pueden utilizar caucho elástico o polimeros, por su módulo elástico

-EROSIÓN LÍQUIDA: La integridad de un material puede destruirse por la erosión causada debido a las altas presiones asociadas con un líquido en movimiento.

El líquido causa endurecimiento por deformación sobre la superficie metálica, conduciendo a una deformación local, agrietamiento y pérdida de material.

Hay dos tipos de erosión líquida, estos son:

- La cavitación.
- La proyección de gotas.



Uno de los factores de mucha importancia para la selección de materiales resistentes a la erosión es el diseño, ya que involucra a la velocidad del fluido a los ángulos de choque.

3) **FATIGA POR CONTACTO:** Este tipo de abrasión se da en componentes de maquinas sujetas a contacto rodante y puede aparecer por la perdida repentina de materiales por picadura o astillado. Se atribuye a la carga ciclica de dos superficies en contacto mutuo y usualmente sin mayor pérdida de material. Este fenómeno esta estrechamente ligado con la falla por fatiga, pues también tiene un periodo de incubación antes de que aparezca el daño superficial.

Existen dos mecanismos básicos de fatiga por contacto:

- FRACTURAS INICIADAS EN LA SUPERFICIE: Ocurre en componentes duros dispuestos han forma contraria al contacto, cuando el rodado y el deslizado ocurre en la superficie.

- FRACTURAS NUCLEADAS EN LA SUPERFICIE: Ocurre cuando rompimiento y/o deslizado y además una alta concentración de esfuerzos en una cara subsuperficial.

4) **DESGASTE POR CAVITACIÓN:** Ocurre cuando un líquido se somete a cambios bruscos de presión. A bajas presiones se forman burbujas, que al entrar a regiones de alta presión se colapsan, estos colapsos, en la interfase del metal, provocan lo que se conoce como desgaste por cavitación-erosión.

5) **DESGASTE CORROSIVO:** Uno de los principales factores que afectan a los metales ferrosos en general, es la corrosión; la cual se puede definir como una destrucción lenta y progresiva de un metal por la acción de un agente exterior.

Los principales tipos de corrosión son:

- Corrosión uniforme
- Corrosión localizada
- Corrosión intergranular

La corrosión es un fenómeno complejo, cuyas causas verdaderas y forma de actuar aún no se han aclarado por completo, sin embargo, actualmente se admite que la corrosión de un metal o una aleación se produce por:

- Acción electroquímica
- Acción química
- Acción bioquímica
- Acompañado de erosión

Comúnmente no se toma en cuenta la contribución de la corrosión en la pérdida de material. En algunas ocasiones la corrosión afecta el proceso de desgaste mecánico y con esto se conoce como desgaste corrosivo.

Bajo tales condiciones los productos de corrosión, removidos más fácilmente que si fuera el metal base, exponen al material base a futuros ataques corrosivos.

Inversamente en otras ocasiones los productos de corrosión pueden ayudar a detener el desgaste.

Existen varios métodos para combatir y prevenir de alguna manera el desgaste corrosivo ya que acelera de alguna forma las velocidades de desgaste abrasivo en los materiales ferrosos; a continuación se hará un estudio sobre las formas de desgaste abrasivo y la forma de contrarrestar este fenómeno ; debido a que es el principal factor de pérdidas económicas que se dan en la industria minera, sementera, del vidrio, de remoción de tierras y en general, de cualquier superficie sujeta a una constante fricción ya sean lubricadas o no lubricadas.

6) DESGASTE ABRASIVO: Ocurre cuando una porción de material es removido desde una superficie por la acción de corte o arañado de partículas duras; éste desgaste involucra la aradura o canaladura de contactos superficiales localizados en un material más blando. La velocidad de desgaste depende del grado de penetración del abrasivo, por lo que se puede relacionar con la dureza del material.

La influencia notable de la relación entre la dureza del material abrasivo y la del material atacado, es la siguiente: Cuando el material dañado es más blando que el material abrasivo se produce un desgaste severo; si el abrasivo es más blando que la superficie, la velocidad de desgaste se reduce y el daño se puede aminorar ampliamente si se aumenta la dureza de la superficie.

Cuando las durezas del abrasivo y la superficie son más o menos iguales se tiene que hacer un cambio en cualquiera de las dos, variará substancialmente la velocidad de desgaste, por lo que es aconsejable tener controlada la relación:

Dureza del abrasivo/ Dureza del material

Los contactos abrasivos pueden llegar a formar partes duras contactando sobre una fase más blanda. Los contactos localizados pueden ocurrir por partículas duras que llegan a encajarse a una superficie y dañar la superficie contactada. Fases duras (carburos, boruros, fosfuros, etc.) forman una barrera protectora circundante a una matriz blanda, por lo que dichas fases, influyen en la velocidad de abrasión.

## ARAÑADO

Este tipo de desgaste involucra la remoción de partículas de relativamente buen tamaño de la superficie de un material, por la acción de un abrasivo grande. Las altas presiones y condiciones de impacto, provocan que el abrasivo corte a la superficie atacada y se produzcan largas raspaduras o acanaladuras que por lo general se perciben a simple vista.

Para contrarrestar este efecto se requiere que el material posea gran tenacidad. Es por ello que a menudo, se sacrifica dureza (que da resistencia a la abrasión), para obtener tenacidad.

## ABRASIÓN A BAJO ESFUERZO O A BAJO MOMENTO DE INERCIA

Esta forma de desgaste resulta de la acción de deslizamiento de partículas abrasivas libres, moviéndose sobre una superficie. Los esfuerzos involucrados son bajos, más bajos que la resistencia a la fractura del abrasivo. El material se desprende por el raspado, proceso del micromaquinado a bajos ángulos de choque. Se tiene que los abrasivos puntiagudos y angulares dan el mayor desgaste. Como los esfuerzos de choque son bajos, esto implica que no es necesaria mucha tenacidad en el material, es decir, con una superficie muy dura se obtienen buenos resultados. La abrasión a bajo momento ocurre en conductos manejando flujos libres de minerales, tamices, conductos de arena, etc.

Para contrarrestar este tipo de desgaste se usan comúnmente hierros colados aleados y ladrillos cerámicos.

## ABRASIÓN A ALTO ESFUERZO O ALTO MOMENTO DE INERCIA

Ocurre cuando un abrasivo, a menudo un mineral es atrapado entre dos superficies como carga o una situación análoga, lo que da como resultado la remoción de partículas relativamente pequeñas (microscópicas) de la superficie desgastada. La acción de "pellizcado" de ambas superficies causa la fragmentación del abrasivo. La superficie de desgaste está sujeta a muy altas presiones que causan además de la penetración del abrasivo en la superficie, la fractura de fases duras (carburos, boruros, etc.) y la deformación plástica de la matriz.

## 6.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA VELOCIDAD DE DESGASTE ABRASIVO

- 1) **Tamaño de la partícula abrasiva:** El volumen del material removido, aumenta rápidamente al ir aumentando el tamaño de la partícula abrasiva. Esta relación se mantiene hasta llegar a un punto crítico, después del cual la velocidad o razón del desgaste disminuye considerablemente.
- 2) **Forma de la partícula abrasiva:** Una partícula de forma angular y puntiaguda causa mayor desgaste que una partícula redondeada, aún en el caso de que la partícula de forma angular sea más blanda que la redondeada.
- 3) **Dureza del abrasivo:** Si la dureza del abrasivo es menor que la dureza del material desgastado la razón o velocidad de desgaste es baja. Si el material desgastándose es mucho más blando que el abrasivo se produce un desgaste severo.
- 4) **Forma del metal:** La dureza puede ser una guía para seleccionar un metal resistente al desgaste, si todas las demás variables permanecen constantes en una aplicación. Pero no es un método confiable para seleccionar en base a el.
- 5) **Velocidad de la partícula abrasiva:** El volumen de desgaste se incrementa ligeramente conforme la velocidad de deslizamiento aumenta. El incremento es más marcado para grandes tamaños de grano abrasivo. Con el aumento de velocidad, se produce también calor friccional que también puede influir en el aumento de la velocidad de desgaste.

6) Cargas de contacto: El desgaste volumétrico es directamente a la carga nominal aplicada. Esto puede verse en la alta deformación de la superficie desgastándose.

## 6.2 FORMAS DE INCREMENTAR LA RESISTENCIA A EL DESGASTE ABRASIVO

Existen varias formas de incrementar la resistencia a el desgaste de un componente dado. Para poder elegir cual de estas alternativas es la que se debe usar, hay que tomar en cuenta las condiciones de servicio bajo las cuales opera, es decir, que tiempo de mecanismo de desgaste esta involucrado, así como cargas, velocidad, temperatura, tipo de ambiente, etc., que tengan efecto sobre el. Tomando en cuenta lo anterior se puede decir la forma de aumentar la existencia al desgaste de un componente por medio de:

- Un tratamiento térmico total
- Tratamiento térmico superficial
- Aplicación de un recubrimiento superficial
- Tratamiento superficial de difusión

Las capas duras, o bien los recubrimientos duros son muy útiles cuando la principal causa del desgaste es la abrasión.

## 6.3 DENTRO DE LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS SUPERFICIALES PARA INCREMENTAR LA RESISTENCIA A EL DESGASTE SE TIENE:

- 1) Endurecimiento por flama: Se desarrolla una capa relativamente profunda y es muy usado para componentes largos como son: Partes de generadores y equipos de

generación de potencia. Como el proceso de endurecimiento depende de la formación de martencita, el contenido de carbono deberá ser más alto de 0.35% en peso para asegurar una dureza suficiente.

Son comúnmente usados aceros al carbón con 0.40 a 0.50% en peso de carbono o aceros aleados con un contenido de carbono semejante

- 2) Endurecimiento por inducción: Generalmente produce una capa endurecida más uniforme para lo que se produce en el de flama. La profundidad de la capa depende de la frecuencia y el poder de entrada de la unidad de calentamiento por flama.
- 3) Carburizados: Consiste en adicionar carbono a la superficie del metal por medio de difusión, y se lleva acabo a temperaturas elevadas y en un medio que sea apropiado para tal difusión.
- 4) Carbunitrurados: El endurecimiento se lleva acabo por la absorción de carbono y nitrógeno de la atmósfera del horno, a elevada temperatura.

Ocasionalmente algunas partes primero se carburizan, luego se recalientan en una atmósfera de carbunitrurado y se temple en aceite. Esto produce una capa extremadamente dura con una excepcional posibilidad de pulirse para largas superficies sujetas a desgaste bajo altas cargas.

- 5) Cianurado (carbunitrurado líquido): Es un tratamiento térmico que produce una capa resistente al desgaste en superficies ferrosas.



- 6) **Nitruración por gas:** Proceso de endurecimiento en el cual se introduce nitrógeno en la superficie de una aleación ferrosa sólida, llevando el metal a una temperatura adecuada en contacto con un gas con nitrógeno, usualmente amoníaco no requiere un temple posterior para producir una capa dura.

Las principales razones para nitrurar son:

- Obtener superficies de alta dureza
- Incrementar la resistencia al desgaste
- Incrementar la vida útil (contra la fatiga)
- Incrementar la resistencia a la corrosión (excepto para aceros inoxidable)
- Obtener una superficie que sea resistente al efecto de ablandamiento por el calor a temperaturas arriba de la temperatura de nitruración.

- 7) **Ionitruración:** Cuando una muestra de acero es puesta en una atmósfera de nitrógeno a una presión baja y cuando un potencial de 500 a 1000 volts es aplicado con la muestra como cátodo, se produce iones de nitrógeno que golpean la muestra, la calientan y se difunden en ella. La composición de la capa producida depende del potencial de nitrógeno o carburo nitrógeno de la atmósfera

Su resistencia al desgaste es mejor que la que provee un nitrurado convencional.

- 8) **Tratamiento térmico con láser:** Se usa láser de alto poder de  $\text{CO}_2$ .

**Ventajas:** Selectividad y la precisión en el control de la energía láser. Se puede endurecer selectivamente una área pequeña con una profundidad controlada, sin distorsión de la parte y una pequeña perturbación en la superficie.

El método de aleaciones superficiales se lleva a cabo por medio de ajustar la energía del rayo para que una delgada capa del sustrato superficial sea rápidamente calentada hasta su punto de fusión y templada por la masa del material no calentado. Si una capa delgada de carburo; cromo y otro componente endurecible, se aplica sobre el metal (superficie) y es tratado con este proceso, la capa se funde y mezcla con el material de la superficie llegando a ser un componente integral de dicha superficie. En esta forma se puede adicionar un carburo duro a un acero dulce para obtener resistencia a el desgaste y/o corrosión en una área seleccionada. Se puede obtener resistencia a la erosión por la fusión de un recubrimiento cerámico en la superficie a tratar.

- 9) **Implantación de iones:** Ofrece la posibilidad de incrementar las propiedades contra el desgaste y la fricción de los metales. Un rayo de iones de una especie seleccionada es dirigida a un sustrato de metal en vacío y los iones se implantan a una profundidad de 10nm a una micra dependiendo del potencial de aceleración, el número atómico del ion y la naturaleza del sustrato de la muestra. Teóricamente la concentración de la especies implantadas no están sujetas a limitaciones de solubilidad. Las concentraciones típicas están en un rango de 0.5 a 5% en peso. La fricción y el desgaste pueden afectarse por dicha implantación.

## CAPITULO No. 4

### INFLUENCIA DE LA MICROESTRUCTURA EN LA RESISTENCIA A LA ABRASIÓN Y LA TENACIDAD DE LOS HIERROS Y ACEROS.

En el panorama general del desarrollo tecnológico moderno no es posible descuidar de ningún modo la evolución que se ha presentado en el terreno de los materiales resistentes a la abrasión, erosión y tenacidad. Por lo tanto el ingeniero necesita un mejor conocimiento de las diferentes aleaciones disponibles en el mercado, para ser capaz de diseñar el material más adecuado para cada aplicación.

El comportamiento de los materiales resistentes al desgaste abrasivo así como la tenacidad, están ligados íntimamente a los efectos intrínsecos de los componentes microestructurales. Un dato adicional en la resistencia a la abrasión y la tenacidad que es importante incluir, es la dureza de estos materiales como un indicador aproximado de su resistencia.

Variando la composición de una aleación así como también seleccionando un tratamiento térmico adecuado es posible cambiar la relación de una microestructura; es decir se puede cambiar la relación entre los carburos en la microestructura y la matriz de esta. La matriz determina la habilidad para absorber los impactos, resistir la corrosión, el calor, etc. Los carburos proveen la resistencia a la abrasión pero, alterando la composición se pueden desarrollar materiales para absorber en forma mayor o menor los impactos e inversamente ofrecer mayor o menor resistencia a la abrasión u combinaciones de estas.

La siguiente figura nos ofrece un panorama más amplio de lo expuesto anteriormente en la cual se compara la resistencia a la abrasión para varios tipos de aceros y fundiciones empleadas en la industria como una función de su composición y microestructura, mediante la pérdida de peso

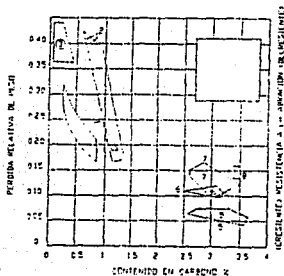


FIG. 43. PÉRDIDA DE PESO EN FUNCIÓN DE EL CONTENIDO DE CARBONO PARA DIFERENTES TIPOS DE ACEROS Y FUNDICIONES.

Aceros austeníticos de 12% Mn  
 Aceros austeníticos de 6% de Mn-1% Mo  
 Aceros fundidos perlíticos  
 Aceros forjados templados, y revenidos  
 Aceros al Cr-Mo, templados y revenidos  
 Fundiciones martensíticas al 15% Cr-3% Mo  
 Fundiciones del 12 al 20% Cr-Mo  
 rutas de fundición  
 Fundiciones de 26% de Cr templadas  
 Fundiciones de 6% de Ni-9% de Cr  
 Fundiciones perlíticas blancas

A partir de esta gráfica es fácil llegar a algunas conclusiones más generales: Sobre la resistencia a la abrasión.

a) La resistencia a la abrasión depende en general del contenido en carbono de la aleación y de su microestructura.

b) A un contenido de carbón dado, los materiales martensíticos tienden a tener la mejor resistencia a la abrasión.

c) Los materiales con una matriz perlítica tienen la resistencia, a la abrasión más baja, y aún contenido relativamente bajos de perlita en una matriz preponderantemente martensítica o austenítica pueden resistir en forma significativa la abrasión.

d) Los niveles más altos de resistencia a la abrasión en los materiales sometidos al ensaño del triturador de mandíbula se han dado en las aleaciones ferrosas de alto cromo que contienen molibdeno.

A partir de lo anterior se puede deducir que; la cantidad de carbón presente determinada la cantidad de carburos, mientras la adición de aleantes, tales como cromo y molibdeno, determinan la dureza y la estabilidad de los carburos.

El gran volumen de la fracción principal de los carburos eutécticos en la microestructura. Proveen la alta dureza necesaria para la trituración y molienda de otros materiales; mientras que la matriz soporta los carburos en la fase metálica. Para elevar la resistencia a la abrasión y erosión no basta con la determinación de la dureza; lo que es importante es la cantidad y tipo de carburos formados, es decir la cantidad y la calidad de los carburos formados así como el tipo de matriz resultante.

En los hierros al alto cromo, la matriz metálica soporta los carburos en la fase, los cuales pueden ser ajustados por el contenido de aleantes y por un tratamiento térmico para desarrollar un balance apropiado entre la resistencia a la abrasión y la tenacidad necesaria para resistir impactos repetitivos.

Tal como se señaló en la figura anterior la resistencia a la abrasión de los aceros austeníticos al manganeso aumenta con el creciente contenido de carbono. Esta influencia positiva del carbono sobre la resistencia a la abrasión no se debe tanto a la presencia de carburos, sino a la mayor capacidad de la austenita de endurecer en servicio, es decir que la resistencia al desgaste se obtiene en el proceso de abrasión mismo por el endurecimiento en servicio de una delgada capa superficial. Son materiales muy dúctiles con alargamientos de hasta un 60%; el aumento en el límite elástico reduce las deformaciones plásticas de las piezas desgastadas en servicio hasta secciones relativamente delgadas, el alargamiento y la ductilidad no sufren modificaciones significativas por la influencia del carbono es una estructura libre de carburos; la resistencia a la tracción y la dureza del acero tratado para disolver los carburos, también aumentan con el contenido en carbono, una disminución aguda en la ductilidad se produce, cuando están presente en la estructura carburos en los bordes de los cristales.

Para evitar los riesgos de ruptura en servicio, es por lo tanto necesario limitar en algunos casos el contenido en carbono, el cual es por otro lado de gran importancia para la resistencia a la abrasión y la resistencia mecánica.

Una colocada de alto carbono tendrá en la condición bruta de fundición, no solamente un alto contenido en carburos, sino que una cantidad apreciable de perlita en los límites de los granos, debido a la segregación y el enfriamiento lento en los moldes. En estas condiciones la estructura es tan frágil que se puede producir un agrietamiento en el molde o durante el tratamiento térmico. Así es como el máximo de carbono permisible en el acero que da determinado por el éxito que se tenga en evitar por medios metalúrgicos la precipitación de los carburos. Para reducir el riesgo de grietas en piezas de alto carbono o

de gran espesor durante la producción o en servicio, resulta beneficioso agregar otros elementos de aleación, entre los cuales el más adecuado es el molibdeno.

El molibdeno no solamente retarda la precipitación de los carburos en los límites de los cristales, lo mismo que la perlita, sino que también elimina la precipitación de carburos aciculares. El níquel aumenta la estabilidad de la austenita, pero reduce su tendencia al endurecimiento en servicio y por lo tanto su resistencia a la abrasión. El cromo se agregó para aumentar la resistencia a la tracción y disminuir la fluencia del acero en servicio. Este efecto va sin embargo asociado con una disminución en la ductilidad debido a la precipitación y estabilización de los carburos en los límites de los cristales. Resulta entonces, que el único elemento adecuado para mejorar las propiedades del acero sin efectos secundarios indeseables es el molibdeno.

Estas ventajas aunadas a un tratamiento térmico adecuado de endurecimiento por dispersión de carburos que consiste en un mantenimiento a 580 ó 610°C seguido de una reaustenización de 960 a 101 °C y templado al agua, este tratamiento crea un refinamiento del grano y una dispersión de carburos esferoidizados en la austenita con una mejora de la resistencia a la abrasión y de las propiedades mecánicas, especialmente en las piezas fundidas de secciones grandes; es por esto que los aceros austeníticos al manganeso. Evidentemente esto tiene su origen en el hecho de que la austenita con menos manganeso es menos estable. Un mayor endurecimiento en trabajo significa una mayor resistencia al desgaste.

Sin embargo, un menor contenido en manganeso disminuye la capacidad para disolver los carburos y evitar las transformaciones perlíticas y martensíticas. El contenido de manganeso más bajo con el cual aún es posible obtener, después de enfriamiento rápido,

una estructura completamente austenítica es de alrededor de 6% en peso en presencia de molibdeno bajo estas condiciones, un acero con 6% en peso de Mn, 1% en peso de Mo y 1.3% en peso de C, parece ser la mejor solución. Este acero tiene una mejor ductilidad que el acero de 12% en peso de Mn, pero una mayor resistencia a la abrasión. De cualquier manera su ductilidad sigue siendo suficiente para muchas de las aplicaciones en las que se usa el acero con 12% en peso de Mn.

La limitación que tiene este acero es que por sobre ciertos espesores no es posible la transformación parcial de la austenita al templear, lo que conduce a una cierta cantidad de perlita y martensita en el centro de las piezas de gran espesor.

En los aceros martensíticos al alto y medio carbono, existe una variedad de aceros con contenido de carbono en el rango entre 0.4 y 1.2% en peso, cromo entre 0.5 y 6.0% en peso y molibdeno de 0.3% ó 1.0% en peso que utilizan para piezas o acciones de desgaste; como piezas y bolas de molinos. Estos aceros son también conocidos que limitaremos comentarlos a destacar la importancia del carbón y del tratamiento térmico. La mejor resistencia a la abrasión se obtiene con una martensita de alto carbono sin templear. El temple reduce en forma significativa la resistencia a la abrasión, pero en la mayoría de los casos es necesario para obtener la dureza deseada. El contenido en carbono también debe limitarse por la misma razón. La resistencia de los aceros al manganeso conocidos popularmente como Hadfield; es considerablemente menor que la de las fundiciones de alto cromo y de los aceros martensíticos.

La estructura de las fundiciones de alto cromo consiste en carburos eutécticos ricos en cromo del tipo  $M_7C_3$ , en una matriz austenítica o en productos de transformación de la



austenita. Con carburos secundarios finamente dispersos. El carburo  $M_7C_3$ , tiene una dureza Vickers de 1200 a 1600, es el único carburo presente con contenidos de cromo superiores al 14 % con contenidos de cromo entre 10 y 14% en peso también puede encontrarse presente cementita de la fórmula  $(Fe, Cr) C$ , produciendo una influencia negativa en la resistencia a la abrasión de la estructura disminuye con el aumento en el contenido de cromo y con la disminución en el contenido en carbono. Por consiguiente, para una resistencia óptima a la abrasión, el contenido de cromo debe ser superior al 14% en peso.

Para obtener la mejor resistencia a la abrasión es importante que los carburos se sostengan en una matriz dura y resistente. Una matriz blanda se desgasta prematuramente dejando a los carburos sin apoyo, por lo que se quiebran y son arrastrados por la acción abrasiva antes de que su alta resistencia al desgaste sea utilizada. Tanto la cantidad de carburos como la resistencia de la matriz martensítica dependen del contenido de carbono. Las matrices austeníticas y perlíticas resultan desfavorables, por que son más blandas, pero una austenita dependen de su composición, es decir, de su inestabilidad, y de la naturaleza de las sollicitaciones mecánicas.

La presencia de contenidos relativamente bajos de perlita en una estructura martensítica también es suficiente para reducir en forma drástica la resistencia del material a la abrasión. Como ya se ha visto que para tener una buena resistencia a la abrasión es necesario tener un alto contenido de carbono junto con una estructura exenta de perlita y de austenita estable. Pero resulta que un alto contenido de carbono significa una gran cantidad de carburos y menos cromo disponible en la matriz para la templabilidad. Para evitar la formación de perlita es por lo tanto necesario agregar otros elementos aleación que mejoren la templabilidad. El elemento de aleación más apropiado es el molibdeno la adición

de níquel, cobre o manganeso debe ser controlada debido a la fuerte tendencia de estos elementos a estabilizar la austenita por lo tanto la mejor resistencia a la abrasión se obtiene con la aleación de 15% en peso de Cr-3% en peso de Mo y de 2.4 a 3.6% en peso de C. El molibdeno se emplea para aumentar la templabilidad de modo que se obtenga una matriz martensítica después de templado al aire para espesores de hasta 90 mm. Para mayores espesores se necesitan aleaciones de más alta templabilidad tales como las aleaciones: 15% en peso de Cr - 2% en peso de Mo - 1% en peso de Co y 3.4% en peso de C - 20% en peso de Cr - 2% en peso de Mo - 1% en peso de Co y 3.0% en peso de C. Estas fundiciones son fundiciones blancas que además de resistir la abrasión poseen una alta resistencia a la abrasión por lo tanto lo hace especialmente aptos para partes de bombas para pulpas abrasivas.

## CAPITULO No. 5

### RESISTENCIA A LA ABRASIÓN Y A LA TENACIDAD EN HIERROS Y ACEROS.

El enorme y al mismo tiempo, incremento en el costo del remplazo de partes gastadas en la maquinaria representa un reto continuo a la tecnología de materiales. En general de los componentes desarrollados para contrarrestar el desgaste deben poseer, en primer lugar todos estos, una adecuada resistencia a la abrasión; sin embargo, frecuentemente estos también deben tener la habilidad para resistir los impactos y para resistir los ataques químicos.

Los requerimientos para una buena resistencia a la abrasión en combinación con una buena tenacidad es generalmente algo restringida. Esto puede ser ilustrado con muchos ejemplos simples; por ejemplo, un material que es altamente resistente a la abrasión es duro y frágil. Esta aparente exclusividad de tenacidad y resistencia a la abrasión ha sido conocida desde hace tiempo. Los aceros austeníticos al manganeso combinan una excelente resistencia a la abrasión y al mismo tiempo retienen satisfactoriamente la tenacidad; pero en muchos casos de abrasión, no es posible obtener un endurecimiento suficiente en servicio y en este caso se desgastan muy rápidamente. Aún en los casos en que las condiciones de endurecimiento en servicio sean optimas, su resistencia a la abrasión es considerablemente menor que la de las fundiciones de alto cromo y de los aceros martensíticos.

La relación entre la resistencia a la abrasión y tenacidad es de fundamental importancia para el desarrollo de materiales. Se han desarrollado tres ensayos diferentes

para la determinación de la resistencia a la abrasión y se han empleado varios métodos para la medida de la tenacidad. Los ensayos de abrasión son: el ensayo de la rueda de hule; el cual fue desarrollado especialmente para el estudio de la resistencia a la abrasión a bajo esfuerzo y erosión, el ensayo del pasador y el ensayo del triturador de mandíbula.

Como el propósito principal de este trabajo es dar una perspectiva de la experiencia obtenida en el desarrollo de aleaciones para uso en ambientes relativamente abrasivos a alto esfuerzo. Las aleaciones utilizadas en ambientes abrasivos a alto esfuerzo no solo deben ser resistentes a la abrasión, sino también deben tener la mayor tenacidad posible para resistir a las fracturas.

A continuación se discuten los resultados obtenidos de dos pruebas de abrasión a alto esfuerzo:

- a) El ensayo del triturador de mandíbula.
- b) El ensayo del pasador

Las pruebas de tenacidad incluyen:

- a) El ensayo por impacto de Charpy.
- b) El ensayo a la tenacidad por fractura.
- c) El ensayo a la fatiga por compresión y rolado.

El efecto de las variables metalúrgicas que afectan a la resistencia a la abrasión influyen en conjunto con los efectos de las mismas variables metalúrgicas que afectan a la tenacidad

Dentro de la evolución del potencial de una aleación, la resistencia a la abrasión y tenacidad, son consideradas entre las más importantes; otras son la resistencia a la corrosión y el costo de la aleación en términos de pérdida de peso por abrasión.

### 5.1 RESISTENCIA A LA ABRASIÓN EN LOS ACEROS.

La figura (5.1) representa una relación general entre la relación de desgaste por arañado y el contenido de carbono de un gran número de materiales ferrosos. Esta relación basada en unos 110 puntos de datos listados en las tablas II y III y el apéndice B, dan una vista de la forma de la curva en la cual se puede observar claramente, que, la relación de desgaste es una función directa del contenido de carbón dentro de un rango de 0 a cerca de 0.8% en peso de C. Un pequeño incremento, de carbono dentro de este rango resulta una considerable mejora en la resistencia a la abrasión. Esta porción de la curva incluye la mayoría de los tipos de aceros estructurales y de construcción, así como los aceros forjados fundidos y los aceros inoxidable de alta aleación bajo carbono.

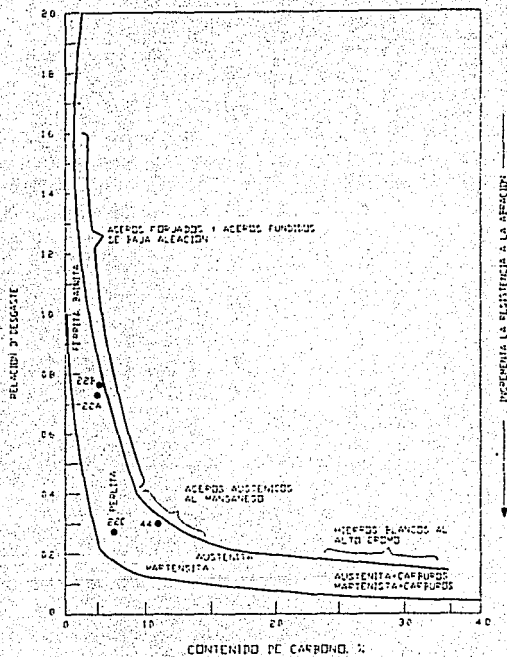


FIG. 51. RELACION D' DESGASTE EN FUNCION DEL CONTENIDO DE CARBONO PARA VARIOS MIEBROS Y ACEROS

Con un contenido de carbono más grande de 0.8% en peso, la resistencia a la abrasión se incrementa muy lentamente con el contenido de carbono. Esta región de la curva agrupa principalmente los aceros austeníticos al manganeso duros y relativamente frágiles, pero resistentes a la abrasión como los hierros blancos al cromo. Estas dos clases de materiales, están separadas por un intervalo en el contenido de carbono por el cual solo pocos grados o tipos de aleación resistentes a la abrasión son conocidas.

Mientras el efecto de carbono en la resistencia a la abrasión en los aceros es altamente poderoso, en cantidades aproximadamente de 0.8% en peso de C; por encima de este nivel o incrementos adicionales en C son de importancia secundaria, únicamente en los aceros, ya que en las fundiciones el contenido es mayor, donde se favorece la formación de carburos, aumentando su resistencia a la abrasión y la tenacidad, y este puede liberarse para tener un equilibrio entre resistencia a la abrasión y tenacidad.

Por ejemplo los hierros blancos con matrices esencialmente austeníticas tales como los hierros fundidos con 27% en peso de Cr, tienden a ocupar el borde superior de la curva, mientras que los hierros blancos con matrices constituidas principalmente de martensita tales como los hierros al 15% en Cr, 3% en peso de Mo tratados térmicamente, se agrupan alrededor del borde inferior de la curva. Datos más detallados están reportados en la tabla III y apéndice B. Debido al efecto del carbón en la resistencia a la abrasión de los hierros blancos es necesario hacer mención que la cantidad de carbono en conjunto con otros elementos, controlan la cantidad, morfología, constitución y cristalografía de los carburos de una manera complicada. En general la resistencia a la abrasión es incrementada por un aumento en la dureza completa de la aleación y por un incremento en el tamaño de los carburos en la fase.

El efecto de la microestructura es una variable metalúrgica muy importante en aceros con contenidos de carbono por abajo del nivel de 0.8% en peso de C. Los materiales con estructuras, ferríticas, bainíticas, perlíticas y austeníticas tienen una tenacidad elevada, se agrupan alrededor del límite superior de la curva pero tienen una baja resistencia a la abrasión, mientras las estructuras martensíticas se agrupan a lo largo de la banda inferior de la curva (alta resistencia al abrasión). Las estructuras martensíticas son las preferidas cuando se ha considerado mejorar la resistencia a la abrasión en los aceros. Un ejemplo típico es el punto 22C, el cual representa un acero AISI 4340 resistente a la abrasión por arañado, templado y enfriado (205°C).

En esta condición, la resistencia a la abrasión de los aceros de bajo carbono, comparados a la de los aceros austeníticos al manganeso al alto carbono (# 44) son relativamente favorables. Los aceros 4340 templados a altas temperaturas (620°C); producen un agregado de ferrita y carburos que causan que la resistencia a la abrasión decrezca rápidamente (# 22B). El punto 22A corresponde a la resistencia a la abrasión del mismo acero 4340 en condiciones de normalizado. El cual exhibe una microestructura de perlita fina. La resistencia de la estructura perlítica fina es un poco mejor que la de la martensita templada a altas temperaturas (# 22B); pero sin embargo sumamente inferiores a las de los aceros martensíticos (# 22C).

Una de las principales ventajas que presentan los aceros; y en especial los aceros al manganeso, es que proveen una excelente resistencia a la abrasión y tenacidad, pero para obtener una resistencia a la abrasión adecuada; dependen del endurecimiento que puedan lograr en servicio. Pero en general, los aceros Hadfield (acero al manganeso) son probablemente los aceros resistentes a la abrasión más populares. La razón de su



popularidad es el hecho de que con un tratamiento térmico adecuado, proveen una adecuada combinación de tenacidad y resistencia a la abrasión.

## 5.2 TENACIDAD EN ACEROS.

Los resultados de pruebas de impacto y de pruebas de abrasión por arañado están recopilados en la tabla II y representados en la figura (5.2).

Como se puede observar se han establecido cuatro áreas, específicas que agrupan a la mayoría de los aceros comerciales; las cuales son:

- a) Área A: aceros forjados y aceros fundidos de baja aleación.
- b) Área B: aceros austeníticos al manganeso.
- c) Área C: aceros tratados térmicamente (incluyendo a los aceros fundidos)
- d) Área D: hierros blandos al alto cromo resistentes a la abrasión.

El área A indica que, en general los aceros tienen baja tenacidad cuando estos tienen la más grande resistencia a la abrasión. Aquí se puede observar claramente que los efectos de los factores estructurales que determinan o influyen en la tenacidad son diferentes a los factores que influyen en la resistencia a la abrasión. Lo anterior se puede ilustrar con los resultados de los aceros AISI 4340.

En las condiciones de calentamiento elevado y enfriamiento brusco (650°C), los aceros (# 22B reportado en la figura 5.2), consiste de ferrita y finos carburos; estos poseen relativamente una pobre resistencia a la abrasión; pero una aceptable tenacidad Charpy

muestra V de (22 ft - lb, 29.8J). Algunos aceros cuando son normalizados (estructura de fina perlita # 22 A) exhiben una mejora, pero comparativamente una baja resistencia a la abrasión, aunque su tenacidad es baja (6.0 ft - lb 8.1J). Por otra parte los aceros 4340 templados a 450°F (205°C) # 22C, exhiben una excelente resistencia a la abrasión, mientras retienen una tenacidad cerca de (7.8 ft - lb 10.6J) como en las condiciones de normalizado.

Estos resultados ilustran lo complicado del efecto de la estructura en la tenacidad y explica el porque de los datos tan amplios en la banda. Sin embargo a partir de los datos reportados en la tabla II es posible reconocer que; los aceros comerciales de baja tenacidad pero mayor resistencia a la abrasión son los aceros de mayor contenido de carbono. Esto permite que en pocas excepciones aceros ferríticos de bajo carbono muy duros (algunas veces con pequeñas cantidades de perlita) y los aceros austeníticos (por ejemplo los aceros inoxidable) abarquen la porción derecha de la banda (alta tenacidad y baja resistencia a la abrasión, mientras la porción izquierda de la banda la cubren los de (alta resistencia a la abrasión y a baja tenacidad). los cuales son característicos por tener una mezcla de estructuras de ferrita más carburos o martensita más bainita.

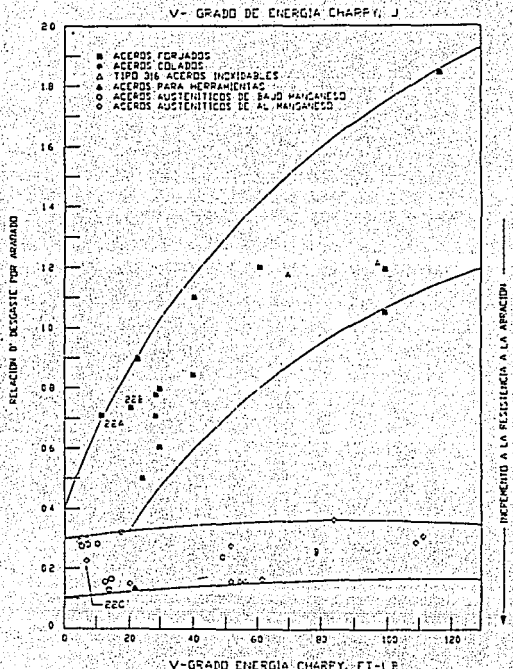


FIG. 5.2. RELACION ENTRE LA RESISTENCIA AL DESGASTE POR ABRASADO Y LA TENACIDAD DE VARIOS ACEROS Y ACEROS

El área B es un grupo único de resultados que demuestran como los aceros al manganeso relacionan la tenacidad con la resistencia a la abrasión de los aceros. Relativamente esto puede decir la inclinación moderada de la banda, la cual muestra como puede ser mejorada la tenacidad con una pequeña pérdida en la resistencia a la abrasión.

La banda agrupa los aceros austeníticos al manganeso con contenidos de manganeso entre 6 y 12% en peso y un contenido de carbono entre 0.65 y 1.35% en peso. También aquí, el contenido de carbono afecta la resistencia a la abrasión, aunque en grados más pequeños que los excibidores en las bandas A. Significativamente, las aleaciones con los contenidos de carbono más bajos presentan la peor resistencia a la abrasión y que con los contenidos de carbono más elevados tienen la mejor resistencia a la abrasión. La estructura en la porción derecha de la banda son enteramente austeníticas y poseen grandes tenacidades.

La banda A y B se interceptan en el área C, el cual agrupa los resultados de los materiales -en el área C, el cual agrupa los resultados de los materiales que poseen buena resistencia a la abrasión; pero solo intermedia o baja tenacidad. Son varios materiales que se agrupan en la área los cuales son: Los aceros fundidos o vaciados, aceros para herramientas, y algunos aceros austeníticos al manganeso.

Las estructuras encontradas más frecuentemente en estas áreas son: martensíticas, bainíticas y austeníticas acompañadas por carburos.

### 5.3 HIERROS COLADOS BLANCOS AL ALTO CROMO

La pequeña área D cerca del origen del plano corresponde a los resultados de los hierros blancos al alto cromo, frágiles pero con elevada resistencia a la abrasión. El área no contiene un solo punto, aunque la resistencia a la abrasión y tenacidad de estos hierros están reportados en la tabla III y apéndice B.

La resistencia a la abrasión de cualquier hierro fundido blanco al alto cromo, tratado térmicamente o no, se encuentra en el intervalo de 0.05 - 0.18 para hierros con microestructura de la matriz martensítica y austenítica y relaciones mayores a 0.45 son obtenidos con hierros con una microestructura perlítica mientras que los valores de Charpy son del orden de unos cuantos (ft-libra).

A partir de los datos reportados de los ensayos de tenacidad y resistencia a la abrasión (Charpy y resistencia a la abrasión por arañado); la relación entre la tenacidad y la resistencia a la abrasión es analizada en términos del índice de tenacidad a la fractura (K) y los resultados de la resistencia a la abrasión determinados por el ensayo del pasador. Para un ingeniero la figura anterior representa un mapa de experiencias metalúrgicas en la investigación sobre la resistencia a la abrasión y tenacidad de varios materiales empleados comúnmente en la industria. En otras palabras; proporciona una representación rápida de lo que es posible y lo que es casi imposible en términos de las condiciones de diseño de materiales para la mayoría de combinaciones de propiedades deseables: buena resistencia a la abrasión y tenacidad.

Dependiendo de los requerimientos para una aplicación en particular es frecuente encontrar que se requieran las más distantes tenacidades para la mayor resistencia a la abrasión; o viceversa. En general en los aceros estructurales y de construcción, las estructuras martensíticas son las que dan la mejor combinación de tenacidad y resistencia a la abrasión. El balance óptimo entre la resistencia a la abrasión y tenacidad, puede ser realizado por un juicioso cambio en el contenido de carbono. Si la tenacidad es la más importante el contenido de carbono debe ser decreciente; en el otro caso, para mejorar la resistencia a la abrasión, el contenido de carbono debe ser incrementado. Estos decrementos marcan que entre dos aceros de diferentes contenidos de carbono (por ejemplo 0.4 y 0.2% en peso de C); ambos templados de carbono y enfriados bruscamente son duros pero el primero con el contenido de carbono alto tiene la resistencia a la abrasión más elevada.

En los aceros austeníticos al manganeso, el contenido de carbono esta alrededor de un valor relativamente alto; y preferentemente observan decrementos (1.5% en peso de C - 0.5% en peso de C). A fuera de estos límites, estos aceros son quebradizos.

Dentro de este rango, la resistencia a la abrasión se incrementa con el incremento de carbono, pero, se mantienen las altas tenacidades de estos aceros. Es importante que el carbono sea mantenido en solución tanto como sea posible; a temperaturas altas de solución y grandes tiempos de calentamiento se incrementa la solubilidad del carbono, y severas velocidades de enfriamiento pueden prevenir la formación de carburos o productos de transformación frágiles.

Es más difícil llevar a cabo en partes de secciones densas (gruesas) una rápida velocidad de enfriamiento y por lo tanto es deseable modificar la composición de los aceros para llevar a cabo un mejor endurecimiento. Aún en estas condiciones de fundición, es posible encontrar una combinación de tenacidad y resistencia a la abrasión en los aceros austeníticos al manganeso, cuando el tamaño de la sección es moderado, hasta un máximo de 3 in (75 mm).

Para los aceros y aleaciones definidos por el área C de la figura anterior la posibilidad para manipular la resistencia a la abrasión y la tenacidad es completamente limitada. La resistencia a la abrasión es relativamente buena; sin embargo; las tenacidades correspondientes de estos materiales son marginados frecuentemente a consecuencia de los contenidos de carbono.

En principio, las mismas reglas aplicadas a estos aceros son para los aceros estructurales y construcción, de los cuales los martensíticos templados parecen dar la mejor combinación de tenacidad y resistencia a la abrasión y para asegurar un endurecimiento de secciones densas (espesor grueso), es conveniente adicionar los aleantes necesarios para llevar a cabo o asegurar estructuras martensíticas.

#### 5.4 RESISTENCIA A LA ABRASIÓN Y LA TENACIDAD EN LOS HIERROS

Una de las características importantes y por lo cual los hierros fundidos han cobrado gran aceptación dentro del terreno de los materiales resistentes a la abrasión y tenacidad es el hecho de que requieren menores costos de producción; es decir, menores costos de fabricación, lo que implica que se requieran instalaciones de fabricación menos costosas y

complicadas para manufacturación que las utilizadas para producción de los aceros, por lo tanto los hierros fundidos y en especial los hierros fundidos blancos de alta aleación es un grupo importante de materiales cuya producción debe considerarse por separado tanto del resto de las fundiciones ordinarias, como de los aceros.

Debido a que se han encontrado ciertas relaciones existentes entre las variables metalúrgicas y la resistencia a la abrasión de los hierros al alto cromo a alta aleación; estos materiales han encontrado gran utilidad comercialmente debido a que variando su composición y con un tratamiento térmico adecuado son reconocidos como proveedores de la mejor combinación de resistencia a la abrasión y tenacidad. Los resultados de la resistencia a la abrasión que son discutidos a continuación fueron obtenidos de las pruebas del pasador, del ensayo de la rueda de hule o el ensayo de arañado (gouging); reportados en la tabla III. Desafortunadamente la mayoría de los datos reportados de desgaste fueron rara vez obtenidos de el mismo hierro tratado térmicamente. Por ejemplo, solo en dos casos (los hierros con # 62 A y 62 F) ambos datos fueron obtenidos por las pruebas de el pasador y por la prueba de la abrasión por arañado.

A partir de los datos conjuntados en la tabla III es posible realizar algunas observaciones generales: Los hierros conteniendo una matriz de esferodita # 69 tiene la más baja resistencia a la abrasión; los hierros conteniendo una matriz perlítica # 54, 56 B, 59 B, 61 y 68, también tienen una pobre resistencia a la abrasión, aunque ligeramente mejor que la de los hierros teniendo una matriz de esferodita; los hierros austeníticos tratados térmicamente o hierros martensíticos, tienen mucho mayor resistencia a la abrasión que la diferencia relativa en resistencia a la abrasión de los hierros teniendo las matrices



mencionadas arriba pueden ser observadas en la figura (5.3) austeníticos y martensíticos tienen una resistencia a la abrasión muy similar.

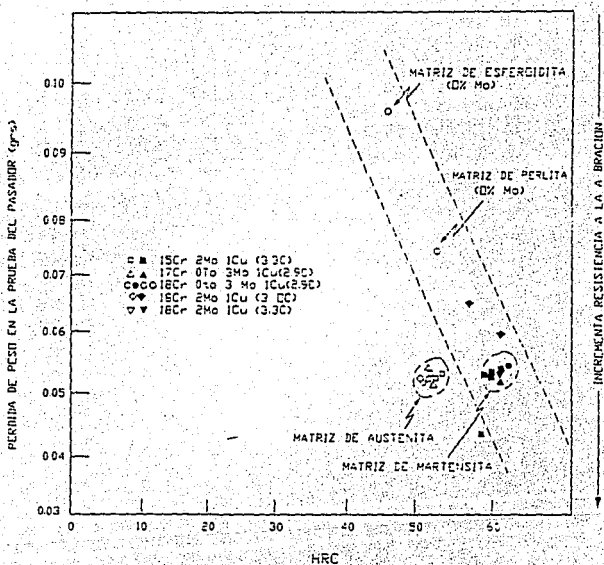


FIG. 5.4 RESISTENCIA A LA ABRASION DE HIERROS AL ALTO CARBONO PRESENTANDO VARIOS VALORES DE DUREZA Y MICROESTRUCTURAS DEL LA MATRIX

En realidad, los hierros austeníticos tienen un ligero aumento en la resistencia a la abrasión en la prueba del pasador. Los datos del triturador de mandíbula y la rueda de hule, mostrados en la tabla III; indican que los hierros martensíticos tienen ligeramente, mayor resistencia a la abrasión. La prueba del pasador, el ensayo del triturador de mandíbula y la rueda de hule, indican que la resistencia a la abrasión de los hierros austeníticos y la de los hierros martensíticos, son excelentes; pero la diferencia en las pruebas pueden causar que el mecanismo de interacción entre el abrasivo y la microestructura sean diferentes y por lo tanto, cambie el comportamiento relativo de un hierro en otra prueba.

Debido a que la prueba del pasador es sencilla, rápida y tiene excelente reproducibilidad, ha sido utilizada ampliamente en común con estudios de los efectos de las variables metalúrgicas en la resistencia a la abrasión a un alto esfuerzo. Por ejemplo, dentro de un grupo dado de hierros que sean hierros austeníticos o martensítico, el efecto de los elementos de aleación de la variación de un tratamiento térmico adecuado cambian significativamente puede ser explicado por los cambios en las propiedades de los diversos componentes de la microestructura. La figura (5.4), muestra los efectos del carbono, silicio y molibdeno en la resistencia a la abrasión de los hierros fundidos blancos al alto cromo.

A medida que se incrementa, el contenido de carbono la resistencia a la abrasión se incrementa si la microestructura de la matriz es austenítica o martensítica, como lo muestra la figura (5.4 A) sin embargo a bajos contenidos de carbono las fundiciones (no tratadas térmicamente) austeníticas exhiben una resistencia a la abrasión ligeramente mejor, que algunos hierros después de ser tratados térmicamente, la diferencia llega a ser de poca importancia.

A contenidos de carbono cerca del eutéctico (cerca del 3% en peso de C para hierros). Lo anterior está íntimamente relacionado con el contenido de carbono; ya que este influye en la forma y distribución de los carburos en la fase; dado que la resistencia al desgaste es mejorada por el incremento en la cantidad de carburos (incrementando la cantidad de carbono), mientras que la tenacidad es mejorada por el incremento en la proporción de la matriz metalúrgica (reduciendo el contenido de carbono). Cuando el contenido de carbono es mayor. Estos son los carburos de cromo primarios los cuales precipitan de la fundición por la solidificación en el eutéctico; son completamente dañinas para la tenacidad por impacto. El contenido de carbón en el eutéctico, cambia inversamente con el contenido de cromo en las aleaciones. La relación entre el contenido del carbón en el eutéctico y el contenido de cromo es mostrado en la siguiente figura.

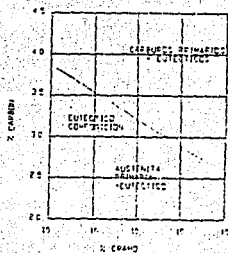


FIG. 3.1 RELACION DEL CONTENIDO DE CARBONO Y CROMO EN EL PUNTO EUTECTICO

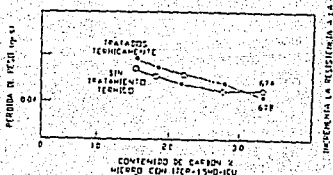


FIG. 3.4 EFECTO DEL CONTENIDO DE ALEACION EN LA RESISTENCIA A LA ABRASION

FALLA DE ORIGEN

El silicio normalmente debe mantenerse en un intervalo de 0.4 a 0.6% en peso para los hierros blancos al alto cromo para minimizar cualquier tendencia a formar perlita, a medida que se incrementa el contenido de silicio.

Un hierro de 18 Cr - 2 MO - 1 Co (# 76 A) enfriado en un molde de enfriamiento de arena para fundición de sección plana de (17 mm) de espesor presenta cerca del 1% en peso de perlita cuando el contenido de silicio es de 1.2% en peso alrededor del 10% en peso de perlita esta presente en algunos hierros conteniendo 1.6% en peso Si (# 77 AISI el intervalo de perlita se mantienen entre 1 y 10% en peso como máximo, implica que la presencia de pequeñas cantidades de perlita no afecta la resistencia al desgaste de los hierros siempre y cuando la estructura de los hierros sea austenítica, un enfriamiento simultáneo en un plato de acero de 50 mm de espesor causa la formación de esferoidita.

La presencia de 30% en peso de esferoidita en un hierro con 1.6% en peso Si (# 77 B) decrece drásticamente la resistencia a la abrasión (incrementa la pérdida de peso) en la prueba del pasador. Estos efectos los podemos observar en la figura 5.4 b.

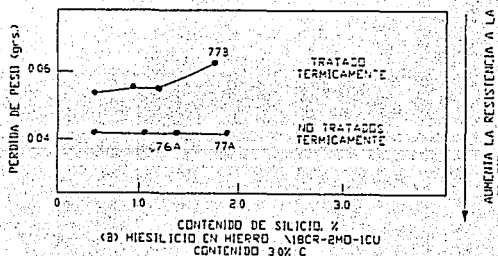


FIG 5.4.B. EFECTO DEL CONTENIDO DE ALEACION EN LA RESISTENCIA A LA ABRASION

La figura (5.4 c) representa los cambios en resistencia a la abrasión de un hierro al 18 Cr - 1 Cu, a medida que el contenido de molibdeno es incrementado de 0 a 3% en peso. La matriz de un hierro con (# 68) sin molibdeno es del 90% en peso de perlita después de fundida y enfriada en un plato de (17 mm) el tratamiento térmico causa la formación de esferoidita sobre el molibdeno libre en el hierro (# 69). La enorme mejora en la resistencia a la abrasión con la adición del 1% en peso de Mo es debida a la eliminación de perlita o esferoidita.

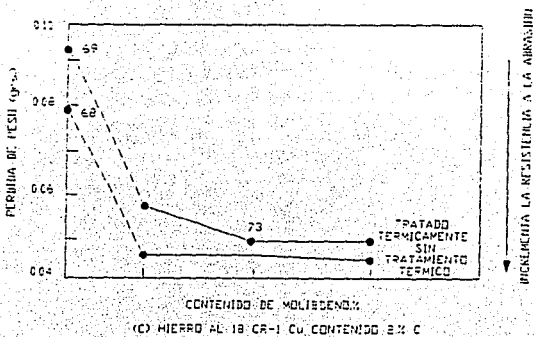


FIG. 5.4.C. EFECTO DEL CONTENIDO DE ALEACION EN LA RESISTENCIA A LA ABRASION

Si el contenido de Mo es incrementado; en el punto donde la matriz es completamente austenítica. Implica que el endurecimiento sea elevado, por lo tanto la dureza de la matriz se ha elevado o incrementado.

Variando la composición de los hierros al alto cromo, así como un tratamiento térmico adecuado se puede lograr hierros que resistan mayor o menor los impactos, por lo tanto es importante tener una adecuada combinación entre la resistencia a la abrasión y al mismo tiempo resistan los impactos; o en su defecto ajustar estas propiedades a las necesidades de trabajo requeridas.

## 5.5 TENACIDAD EN HIERROS

Una de las propiedades de los hierros al alto cromo, además de ser excelentes resistentes a la abrasión, es la propiedad de resistir los impactos (tenacidad); es por esto que en la actualidad estos materiales son reconocidos como proveedores de la mejor combinación de resistencia a la tensión por flexión se relacionan con los valores de la tenacidad.

La tabla III muestra los resultados de las pruebas de la tenacidad a la fractura, del ensayo por compresión, el ensayo a la fatiga por compresión y la prueba de flexión por rotado. Cada prueba o ensayo determina un tipo diferente de tenacidad, por lo tanto los valores de resistencia a la compresión, ni los valores de resistencia a la tensión por flexión se relacionan con los valores de la tenacidad de fractura.

En general los hierros conteniendo una matriz martensítica han presentado la más baja resistencia a la tensión por flexión y alta resistencia a la compresión. Una excepción a esta observación ocurre en los hierros de 20 Cr - 2 Mo - 1 Cu y los 27 Cr, han presentado regular resistencia a la flexión y alta resistencia compresiva.

En los hierros con 15 Cr - 3 Mo, cuando son comparadas a los hierros martensíticos, los perlíticos presentan la más alta resistencia a la tensión por flexión, pero tienen la peor resistencia compresiva y la resistencia a la fatiga por compresión. Los hierros martensíticos al 15 Cr - 3 Mo tienen la mejor resistencia a la compresión y resistencia a la fatiga por rolado, en cambio tienen la peor resistencia a la tensión por flexión.

La prueba de la tenacidad de fractura, la cual determina la resistencia al agrietamiento o fisuración, es la prueba más ampliamente utilizada para la caracterización de la tenacidad de los hierros al alto cromo debido principalmente a la excelente reproducibilidad y a la elevada sensibilidad a los cambios tan pequeños en la microestructura de los hierros. Cabe mencionar que estas pruebas han sido solamente utilizadas recientemente para caracterizar a los hierros blancos, y los datos aún no han sido relacionados con su funcionamiento o comportamiento en servicio.

Estas pruebas son ampliamente utilizadas para caracterizar los aceros, especialmente los aceros de alta resistencia para aplicaciones críticas, tales como tren de aterrizaje de aviones y componentes de turbinas de gas. La mayoría de los hierros utilizados en la prueba del pasador para el estudio de el efecto de las variables metalúrgicas en la resistencia a la abrasión; son utilizados para el estudio de el efecto de las variables metalúrgicas en la tenacidad a la fractura. En la tabla IV se comparan los valores de las

fracturas obtenidas para los hierros blancos con las obtenidas por otras aleaciones resistentes a la abrasión. Las aleaciones se enlistan en orden creciente de rudeza para demostrar que en general el concepto de incrementar la dureza determina un decremento en la tenacidad; pero esto no siempre es verdadero. Probablemente este concepto es verdadero cuando se comparan microestructuras semejantes o iguales. La comparación de microestructuras semejantes entre sí de la tabla IV sólo es para aceros perlíticos (# 29 y 30), dado que al incrementar la dureza de los aceros perlíticos decrece su tenacidad. Existe sólo dos ejemplos de aceros martensíticos (# 23 y 27 A) mostrados en la tabla IV, ambos tienen un contenido semejante de carbono y valor de dureza, sin embargo uno es rolado, endurecido y templado, mientras el otro es acero vaciado, endurecido y templado.

Los aceros rolados (# 23) presentan bajos valores de tenacidad a la fractura de 21 KSI ( $\text{in}^{1/2}$ ) ( $23\text{MN/m}^{3/2}$ ), mientras que los aceros vaciados Mn-Si-Cr-Ni Mn (#27 A) exhiben una tenacidad de fractura de 32 KSI ( $\text{in}^{1/2}$ ) ( $35\text{MN/m}^{3/2}$ ). Cuando algunos aceros Mn-Si-Cr-Ni Mo son calentados a altas temperaturas (# 27 B) tienen una microestructura de ferrita - carburos agregados teniendo una dureza de 34 HRC, un incremento en la tenacidad de fractura de 90 KSI ( $\text{in}^{1/2}$ ) ( $100\text{MN/m}^{3/2}$ ). Por comparación con un acero perlítico Cr-Mo (# 29) teniendo similarmente un contenido de carbono pero menos duro que los aceros calentados a altas temperaturas como el Mn-Si Cr-Ni-Mo, ha tenido una tenacidad de fractura de tan sólo 38 KSI ( $\text{in}^{1/2}$ ) ( $42\text{MN/m}^{3/2}$ ).



**TABLA IV**  
**Tenacidad a la fractura de varias aleaciones resistentes a la abrasión.**

No.	Tipo de Material	Contenido carbón %	HRC	Tenacidad a la fractura MN/n
29	Acero perlítico Cr-Mo	0.63	27	42
24	Rieles de acero C-Mn	0.8	31	34
27 B	Aceros altamente templados al Mn-Si-Cr-Ni-Mo	0.55	34	100
30	Aceros perlíticos Cr-Mo	0.88	37	34
82	Hierros con 27 Cr	2.7	50	31
51 B	Hierros con 9 Cr - 6 Ni	3.4	50	25
-	Hierros austeníticos Cr-Mo	2.9 a 3.6	49 a 53	18 a 24
-	Hierros martensíticos Cr-Mo	2.9 a 3.6	55 a 64	21 a 32
23	Aerosol Mn-Cr-Mo	0.65	57	23
27 A	Aceros al Mn-Si-Cr-Ni-Mo	0.55	58	35
28	Aceros al Mn-Si-Cr-Mo	0.63	58	28

Un resumen de los datos de la tenacidad de fractura son representados en la figura 5.5 como una función de la dureza. Estos resultados son dados para varios hierros al alto cromo teniendo un alto porcentaje de carbono de 2.9-3.3% en peso (excepto cuando es mencionado. Los hierros teniendo una matriz austenítica son separados de los hierros tratados térmicamente teniendo una microestructura de la matriz predominante martensítica. Aunque la dureza de los hierros tratados térmicamente, propiamente siempre son más grandes que las de los hierros fundidos solidificados en la austenítica, la tenacidad de fractura de estos pueden ser altas o bajas (por ejemplo comparando los hierros con # 78) los resultados de la tenacidad de fractura pueden ser relacionados con los resultados de las durezas de los hierros con gran cantidad de Cr-Si la matriz resultante es una mezcla de martensita y austenita y el resto de los componentes es constante. La dependencia de la tenacidad a la fractura con el contenido de cromo no puede ser explicado por las diferencias de la microestructura de la matriz. Probablemente la influencia del cromo en la tenacidad a la fractura se ha cambiado la composición de los carburos primarios.

Mejoramiento de la tenacidad y la resistencia a la abrasión en los hierros blancos al alto cromo.

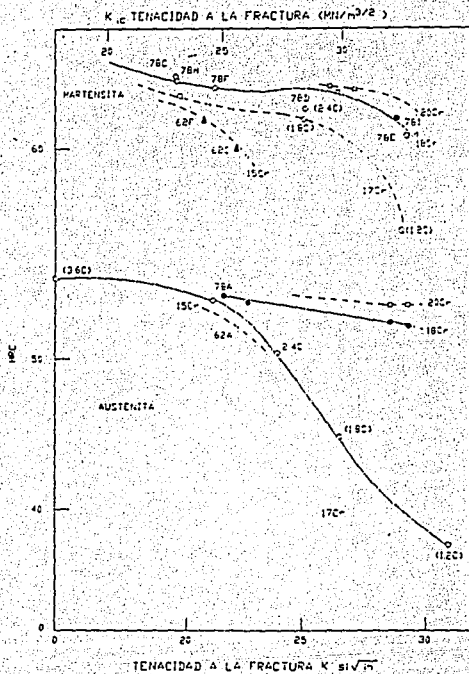


FIG. 5.50 MUESTRA LA DURESA CONTRA TENACIDAD DE VARIOS ACEROS AL ALTO CROMO

Como se puede observar, de los resultados de la tenacidad de fractura para los hierros al alto cromo dados en la tabla IV, se puede obtener un amplio rango de valores de tenacidad, dependiendo principalmente de su microestructura, Esto también demuestra que los hierros con una matriz constantemente de martensita o austenita exhibe una excelente resistencia a la abrasión; por la baja pérdida de peso en la prueba del pasador. Esto se muestra esquemáticamente en la figura 5.6

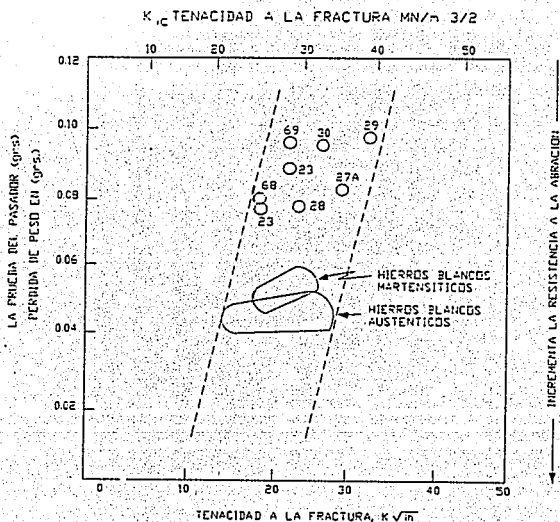


FIG 5.6 RESISTENCIA A LA ABRASIÓN CONTRA LA TENACIDAD A LA FRACTURA PARA VARIOS MATERIALES

Para poder obtener altos valores de tenacidad de fractura en hierros al alto cromo, es conveniente seleccionar una composición y un tratamiento térmico adecuado, esto hace posible producir un hierro teniendo buena tenacidad a la fractura, sin sacrificar la resistencia a la abrasión.

Un resumen de los resultados obtenidos y discutidos están representados en la tabla V. La cual muestra el efecto de las variables metalúrgicas en la resistencia a la abrasión y la tenacidad.

TABLA V: Efecto de las variables en la resistencia a la abrasión y la tenacidad en hierros al alto cromo

Incrementado la cantidad de variables	Prueba del pasador Resistencia a la abrasión		Tenacidad a la fractura	
	Solidificación Austenítica	Tratamiento Térmico	Solidificación Austenítica	Tratamiento térmico
- Carbón	I. G.	I. G.	D. G.	I. G.
- Silicio	No afecta	D. S.	I. G.	No afecta
- Molibdeno	I. S.	I. S.	No afecta	No afecta
- Refinamiento de carburos eutecticos	D. G.	D. G.	I. G.	D. G.
- Precipitación de carburos secundarios	I. S.	No afecta	I. G.	D. G.
- Austenita retenida	NA	No afecta	NA	I. G.
- Presencia de 0 a 10% de martensita	No afecta	NA	No afecta	NA
- Presencia de 0 a 10% de perlita	D. S.	ND	I. S.	ND
- Presencia de 0 a 30% de agregado de carburos y ferrita	ND	D. G.	ND	I. G.
- Templado a 410°F (210°C)	ND	I. G.	ND	I. G.
- Templado a 600 - 800	ND	No afecta	ND	D. G.

NA = Aún no aplicable D. G. = Decrece grandemente ND = Aún no determinado I. S. = Incrementa significativamente  
I. G. = Incrementa grandemente D. S. = Decrece significativamente

A medida que el contenido de carbono se incrementa más allá del nivel del 2% en peso de C, las aleaciones cambian de clasificado estando como aceros o siendo

clasificados como hierros. A medida que el contenido de carbono aumenta, la cantidad de carburos eutécticos se incrementa y por lo tanto la tenacidad a la fractura decrece. Esta tendencia es observada, si los hierros que solidifican en la austenita tienen una matriz austenítica o han sido tratados térmicamente para formar, una matriz predominante martensítica. Como es de esperar, la resistencia a la abrasión de algunos de estos hierros se incrementa con el aumento en la cantidad de carburos eutécticos, sin importar, que microestructura de la matriz este presente, aunque el cambio de proporción para cada microestructura de la matriz no sea la misma . figura 5.a.

Incrementando el contenido de silicio en los hierros conteniendo 18% en peso Cr, se incrementa la dureza y la tenacidad a la fractura de los hierros con una matriz austenítica, figura 5.7. La resistencia a la abrasión no cambia significativamente con el aumento en el contenido de silicio, figura 5.4 b. Aparentemente con (a) cantidades pequeñas de perlita menores que el 10% en peso en un hierro predominantemente austenítico, no afecta adversamente ni a la resistencia a la abrasión ni a la tenacidad a la fractura.

Por lo tanto, este es un buen ejemplo de como puede ser incrementada la tenacidad a la fractura a medida que la dureza es incrementada sin pérdida alguna en la resistencia a la abrasión total o global.

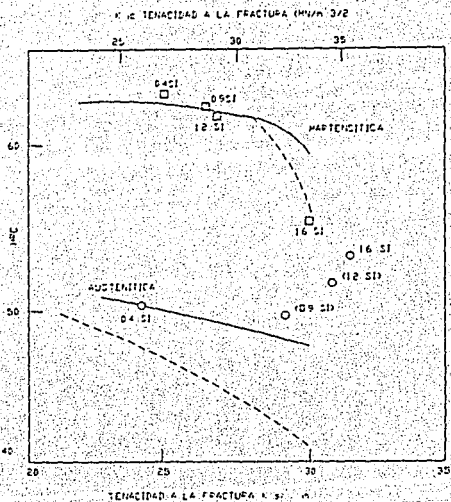


FIG 57 MUESTRA LA PUREZA CONTRA LA TENACIDAD DE VARIOS TIPOS AL ALTO CROMO

La figura 5.7 muestra también los resultados obtenidos cuando la serie de hierros al silicio arriba mencionados son tratados térmicamente a 955°C para formar hierros a martensíticos. El contenido de silicio disminuye drásticamente la dureza de los hierros tratados térmicamente por el incremento en la cantidad de esferoidita en la matriz los resultados de la tenacidad a la fractura sigue la predicción de la figura 5.5 para los hierros con 18% en peso de Cr, excepto cuando la cantidad de esferoidita, alcanza el 30% en peso en los hierros con 1.6% en peso de silicio.

La presencia de aproximadamente 30% en peso de esferoidita en los hierros, reduce la dureza y la resistencia a la abrasión significativamente, pero incrementa la tenacidad a la fractura. Pequeñas cantidades de esferoidita (menor a 5% en peso) presente en los hierros conteniendo de 0.9 - 1.2% en peso de Si; no afecta la resistencia a la abrasión, pero la tenacidad a la fractura de estos hierros al silicio es incrementada. Investigaciones adicionales son necesarias para comprender mejor estos resultados inesperados de los efectos de silicio en la tenacidad a la fractura como se ha mostrado en este trabajo y por resultados previos. El silicio, promueve la formación de perlita o esferoidita en los hierros blancos al alto cromo, por lo tanto, es necesario estudiar el diseño de aleaciones para utilizar el efecto observado del silicio en la tenacidad a la fractura.

La tenacidad a la fractura de un hierro fundido libre (# 68) conteniendo 18% en peso de Cr, con una microestructura del 90% en peso perlita, tiene un valor relativamente bajo de 20.7 KSi (in)<sup>1/2</sup> (22.8 MN/m<sup>3/2</sup>). Algunos hierros (# 70) conteniendo 1% en peso de Mo y suficiente endurecimiento, completamente austeníticos han tenido una tenacidad a la fractura de 28.1 KSi (in)<sup>1/2</sup> (30.9 MN/m<sup>3/2</sup>).

Los hierros libres de Mo tratados térmicamente y enfriados en un plato de acero de 2 in (50 mm) produciendo una microestructura de la matriz de esferoidita para (100% en peso) (#69) han tenido tenacidad a la fractura de 24.9 KSi (in)<sup>1/2</sup> (27.4 MN/m<sup>3/2</sup>).

Un hierro conteniendo 1% en peso de Mo (# 71) y tratado térmicamente para tomar una matriz martensítica han tenido durezas de 63 HRS y tenacidades a la fractura de 22.9 KSi (in)<sup>1/2</sup> (25.2 MN/m<sup>3/2</sup>), estos hierros martensíticos han tenido cantidades muy bajas de austenita a partir de los resultados mencionados arriba, se puede concluir que las microestructuras de la matriz enlistados en orden decreciente a la tenacidad a la fractura son: La austenita esferoidita, martensítica y perlítica. Las pruebas de abrasión del pasador clasifican algunas de estas microestructuras en orden decreciente a la resistencia a la abrasión como son: La austenita, martensítica, perlita y esferoidita. Estas clasificaciones se observan en la tabla VI.

Un hierro con 15 Cr - 2 Mo - 1 Cu con (# 62 H) enfriados con un perfil de temperaturas de 1010°C dan como resultado una mezcla en la microestructura de la matriz de austenita más ferrita acicular que exhibe una tenacidad a la fractura de 26.3 KSi (in)<sup>1/2</sup> (28.9 MN/m<sup>3/2</sup>).

Estos valores en hierros conteniendo ferrita acicular en la matriz han sido clasificados tan altos como en los hierros austeníticos; sin embargo su resistencia a la abrasión no es tan buena como la de un hierro austenítico. Cuando es comparada la tenacidad a la fractura de los hierros austeníticos y martensíticos, como fue mencionado anteriormente, los hierros martensíticos pueden o no pueden tener tenacidad a la fractura.



**TABLA VI**

**Clasificación de creciente de microestructuras de la matriz resistentes a la abrasión y tenacidad a la fractura de los hierros fundidos blancos al alto cromo.**

Microestructura de la matriz	
Orden decreciente	Orden decreciente
Ensayo del pasador	Tenacidad a la fractura
Austenita	Austenita
Martensita	Esferoedita
Perlita	Martensita
Esferoedita	Austenita más carburos
	Secundarios perlítica

Se debe considerar que el orden de clasificación esta basado en resultados de un sólo hierro.

Los hierros austeníticos tienen un bajo valor cuando la matriz consiste de agregados de carburos secundarios precipitados. Estas observaciones fueron dadas para hierros con 15%, 18% y 27% en peso de Cr (# 62 A, 79 y 82). Si la precipitación es severa la calcificación de los valores de la tenacidad a la fractura de los hierros austeníticos están entre las de los hierros perlíticos y martensíticos.

La resistencia a la abrasión de los hierros austeníticos son ligeramente incrementados cuando grandes cantidades de carburos secundarios son precipitados.

## CAPITULO No. 6

### CLASIFICACIÓN, SELECCIÓN Y USOS DE ALEACIONES FERROSAS RESISTENTES A LA ABRASIÓN Y EROSIÓN DE ACUERDO A LA ASTM.

#### .1 Clasificación de los hierros blancos de alta aleación.

La sociedad americana de prueba de materiales (ASTM) en su sección a 532 correspondiente a los hierros colados blancos de alta aleación, resistentes a la abrasión, contempla dos grandes grupos.

- a) Los hierros blancos al cromo - níquel; las cuales son aleaciones de bajo contenido de cromo; contienen de 3 - 5 % en peso de Ni y de 1 - 4 % en peso de C, con una modificación en la aleación que comprende de 7 - 11 % en peso de Cr.
- b) Los hierros al cromo - molibdeno : las cuales son aleaciones de bajo contenido de cromo; contienen de 3 - 5% en peso de Ni y de 1 - 4% en peso de Mo y con frecuencia se adiciona a esta aleación Ni - Cr.
- c) Un tercer grupo comprende los hierros blancos con 25 - 28% en peso de Cr, los cuales pueden contener otros aleantes adicionales como Mo y/o Ni en un contenido máximo del 1.5%. Pero para nuestros fines de estudio este tercer grupo no es considerado.

Los hierros al cromo - níquel, también son comúnmente conocidos como Ni - Hard los cuales se dividen en 4 grupos:

Clase 1 tipo A: Este tipo es recomendado cuando la resistencia a la abrasión es el requerimiento principal y la resistencia al impacto por carga es secundario.

Clase 1 tipo B: Este tipo es recomendado cuando la resistencia a la abrasión es el requerimiento secundario y la resistencia al impacto por carga es primario.

Clase 1 tipo C: Es un grado especial la cual ha sido desarrollada para molientes.

Clase 1 tipo D: Son fierros al cromo - níquel modificados; que contienen altos niveles de cromo. Tienen altos niveles de tenacidad y esfuerzo y además; son resistentes a la corrosión por ataque químico.

#### Principales aplicaciones:

Clase 1 tipo A: Aplicaciones de máxima resistencia a la abrasión, como son triturados de coque, trenes de laminación, bombas para pulpas abrasivas y tubería para transporte de abrasivos.

Clase 1 tipo B: Recomendadas para aplicaciones donde se requieren altas tenacidades y esfuerzos moderados. Como son platos trituradores cóncavos.

Clase 1 tipo D: Tienen altos niveles de tenacidad y esfuerzo. Estos son comúnmente empleados para volutas de bombas en maniobras de suspensiones abrasivas y corrosivas y pulverización de carbón.

## 6.2 La clase de hierros al alto cromo.

Según la clasificación de ASTM A 532 de estos hierros al alto cromo se dividen en dos partes.

Clase II del ASTM A 532 que contiene del 11 -23% en peso de Cr y 3.5% en peso de Mo.

Clase III del ASTM A 532 contienen del 23 - 28% en peso de Cr con el 1.5% en peso del Mo. Esta clase no es resistente a la abrasión como la clase II estas aleaciones son seleccionadas cuando la resistencia a la corrosión es deseada.

La clase II de los hierros blancos al alto cromo son superiores a la abrasión y son utilizados eficazmente en impulsores y volutas de bombas para suspensiones, pulpas y lechadas abrasivas, moldes para ladrillo y en muchas aplicaciones pueden resistir duros impactos por carga, tales como impactos de martillo, rodillos de pulverización y rodillos para laminación.

Esta clase de hierros al alto cromo son más utilizados en la industria debido a su eficacia en la resistencia a la abrasión y su bajo costo.

Los hierros al cromo - níquel también son útiles, debido a su alto costo se limita su uso. En la industria por lo tanto son más recomendados los hierros al alto cromo.

### 6.3 CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES DE MATERIALES RESISTENTES A LA ABRASIÓN.

I.- Construcción de partes de acero para maquinaria. Elaboración de partes de maquinaria de acero.

APLICACIONES: - Partes de acero al carbón y baja aleación.

- Maquinarias sujetas al deslizamiento entre metal y metal y sujetas a impactos

POR EJEMPLO: Flechas, engranajes y otros tratados térmicamente y superficies maquinadas. También se usa para renovar las partes de acero gastadas para acercarla a la dimensión previa a superficie sólida.

CARACTERÍSTICAS: Dureza: De 250 a 350 HB.

Desgaste: Como estructuras de aleaciones de acero.

PROPIEDADES MECÁNICAS: Excelente combinación de resistencia y dureza.

II Maquinaria de acero en fase sólida.

APLICACIONES: En superficies no lubricadas expuestas a deslizamiento entre metal y metal.

EJEMPLOS:- Partes de rodamiento de tractores.

- palas mecánicas.
- Elaboración de barras.

**CARACTERÍSTICAS:** Dureza: 400- 550 HB.

Desgaste: Comparable a la inducción del endurecimiento o superficies lubricadas.

**PROPIEDADES MECÁNICAS:** Alta resistencia favorable dureza y resistencia a impacto.

### III. Alta aleación para condiciones puramente abrasivas

**APLICACIONES:** Superficies sujetas a abrasión debida al manejo de rocas, mineral arcilla, arena, etcétera; diente o muelas para cavar superficies de trituración, tornillos transportadores.

**CARACTERÍSTICA:** Desgaste: excelente para deslizamiento y trituración de abrasivo.

Dureza: de 400 a 600 HB.

No maquinables: pueden ser solo esmerilados.

**PROPIEDADES MECÁNICAS:** Mayor dureza que la mayoría de los minerales, se pulen en servicio, nula ductilidad.

### IV Carburo Tungsteno para abrasión extrema.

**APLICACIONES:** Superficies sujetas a abrasión móvil de roca, arena, minerales, cemento, etc.; dientes o muelas para excavadora, tornillos transportadores, superficies de trituración.

**CARACTERÍSTICAS:**Dureza: de 350 a 450 HB.

**Desgaste:** Se considera como el mejor material para  
contrarrestar la abrasión móvil.

**PROPIEDADES MECÁNICAS:** - Excelente resistencia a la abrasión.

- Mayor dureza.

TABLA I-TIPO Y COMPOSICIONES DE MATERIALES EXAMINADOS

No.	MATERIALES	% EN PESO DE CADA ELEMENTO									
		C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	P	S	OTROS	
<b>ACERO INOXIDABLE</b>											
1	TIPO 316	0.042	1.60	0.51	17.17	13.50	2.23	0.017	0.024	0.29Co, 0.24Cu	
<b>ACERO DULCES O FORJADOS</b>											
2	Mn-Mo-Co	0.065	1.79	0.15	0.09	0.16	0.31	-----	-----	0.20Cu, 0.01Ni 0.10Ce, 0.024Ce, 0.01Al	
3	Mn-Mo-Co	0.078	1.33	0.03	0.04	0.09	0.25	-----	-----	0.18Cu, 0.033Co, 0.0054V, 0.003Ti	
4	Mn-Cr-Ni-Mo-Cu-V	0.11	1.32	0.33	1.44	1.25	0.31	-----	-----	0.75Cu, 0.086V 0.12V, 0.10Al	
5	Mn-V	0.15	1.17	0.56	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
6	Mn-Cr-Ni-Mo-Cu-V	0.16	1.44	0.19	1.41	1.21	0.39	0.013	0.007	0.66Cu, 0.06V 0.02Ti, 0.05V, 0.0032B	
7	"T" Tipo A"	0.19	0.84	0.28	0.56	-----	0.18	0.011	0.021	-----	
8	Mn-Cr-Ni-Mo-Cu-V	0.20	1.35	0.32	1.47	1.51	0.40	-----	-----	0.76Cu, 0.12V 0.19Cu, 0.01Al	
9	Mn-Ni-Mo	0.12	1.71	0.33	-----	0.73	0.20	-----	-----	-----	
10	AISI 1020	0.22	0.45	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
11	Mn-Ni-Mo	0.24	1.11	0.19	0.04	3.24	0.74	0.021	0.018	-----	
12	Mn-Cr-Ni-Mo	0.24	1.18	0.18	0.75	3.14	0.51	0.022	0.019	-----	
13	Mn-Cr-Ni-Mo	0.24	1.22	0.20	1.43	3.15	0.25	0.022	0.019	-----	
14	Mn-Cr-Ni-Mo	0.25	1.17	0.30	1.39	0.87	0.78	0.022	0.019	-----	
15	Mn-Cr-Ni-Mo	0.25	1.22	0.28	1.40	1.58	0.47	0.022	0.019	-----	
16	Mn-Ni-Mo-Cu-B	0.27	1.60	0.23	-----	0.74	0.17	-----	-----	0.29Cu, 0.014Al, 0.0016B, 0.04Ti 0.16Cu, 0.06Al, 0.0017B, 0.04Ti 0.28Cu, 0.023Ti, 0.048Al, 0.002B, 0.004N	
17	Mn-Ni-Mo-B	0.27	2.10	0.30	-----	0.82	0.17	-----	-----	0.09Cu, 0.015Al, 0.0017B, 0.04Ti	
18	Mn-Ni-Mo-B	0.28	1.60	0.25	0.05	0.09	0.18	0.011	0.025	0.03Cu, 0.026Ti, 0.03Al, 0.001B, 0.006N	
19	Mn-Ni-Mo-B	0.29	2.36	0.24	-----	0.86	0.15	-----	-----	-----	
20	Cr-Mo-B	0.30	0.82	0.22	0.35	0.04	0.27	0.010	0.017	-----	
21	Cr-Ni-Mo	0.27	-----	-----	1.00	3.00	2.00	-----	-----	-----	
22	AISI 4340*	0.40	0.70	0.30	0.80	1.80	0.25	-----	-----	-----	
23	Mn-Cr-Mo	0.65	1.75	0.13	0.75	-----	-----	0.13	-----	-----	
24	C-Mn	0.80	1.00	0.18	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
<b>ACEROS COLADOS</b>											
25	Si-Cr-Mo	0.34	0.84	1.82	1.82	0.22	0.57	-----	-----	-----	
26	Mn-Si-Cr-Mo	0.43	1.39	1.48	0.83	-----	0.49	-----	-----	-----	
27	Mn-Si-Cr-Ni-Mo	0.55	1.44	1.32	0.68	0.96	0.63	-----	-----	0.08Cu	
28	Mn-Si-Cr-Mo	0.63	1.44	1.48	0.83	-----	0.49	-----	-----	-----	
29	Cr-Mo	0.63	0.71	0.59	2.30	-----	0.34	0.028	-----	-----	
30	Cr-Mo	0.68	0.95	0.72	2.44	-----	0.35	0.027	-----	-----	
<b>ACEROS PARA HERRAMIENTAS</b>											
31	AISI H-11*	0.35	-----	-----	5.0	-----	1.5	-----	-----	-----	
<b>ACEROS AUSTENITICOS DE BAJO CONTENIDO DE MANGANESO</b>											
32	6Mn-5Cr-1Mo	0.7	8.02	0.53	5.07	-----	1.01	0.019	0.015	-----	
33	6Mn-5Cr-1Mo	1.05	6.12	0.54	5.04	-----	1.00	0.021	0.019	-----	
34	6Mn-5Cr-1Mo	1.22	6.02	0.55	4.93	-----	0.95	0.020	0.019	-----	
35	6Mn-1Mo-1Ti	1.10	8.52	0.59	-----	-----	1.07	-----	-----	0.36Ti	
36	6Mn-1Mo-1Ti	1.21	9.13	0.62	-----	-----	0.99	-----	-----	0.134Ti	
37	6Mn-1Mo-1Ti	1.27	9.43	0.56	-----	-----	1.08	-----	-----	0.32Ti	
33	6Mn-1Mo-1Ti	1.30	8.61	0.50	-----	-----	0.93	-----	-----	0.27Ti	
33	6Mn-1Mo-1Ti	1.38	8.47	0.49	-----	-----	1.00	-----	-----	0.05Ti	



TABLA I-TIPO Y COMPOSICIONES DE MATERIALES EXAMINADOS (CONTINUACIÓN)

No.	MATERIALES	% EN PESO DE CADA ELEMENTO								
		C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	P	S	OTROS
<b>ACEROS AUSTENITICOS DE ALTO CONTENIDO DE MANGANESO</b>										
40	12Mn-1Mo	0.66	12.74	0.51	-----	-----	0.96	-----	-----	-----
41	12Mn	0.93	12.97	0.50	-----	-----	-----	-----	-----	-----
42	12Mn-1Mo	0.93	12.00	0.50	-----	-----	1.00	-----	-----	-----
43	12Mn-1Mo	0.97	12.50	0.50	-----	-----	0.94	-----	-----	-----
44	12Mn	1.10	12.50	0.50	-----	-----	-----	-----	-----	-----
45	12Mn	1.24	12.50	0.50	-----	-----	0.05	-----	-----	-----
46	12Mn-1Mo-1Ti	1.26	12.50	0.50	-----	-----	0.96	-----	-----	0.25Ti
47	12Mn-1Mo-1Ti	1.29	12.50	0.50	-----	-----	0.94	-----	-----	0.018Ti
48	12Mn-1Mo-1Ti	1.29	12.50	0.50	-----	-----	1.02	-----	-----	0.13Ti
49	12Mn-1Mo-1Ti	1.31	12.50	0.50	-----	-----	0.92	-----	-----	-----
<b>HIERROS COLADOS BLANCOS</b>										
50	12Cr-4Ni	3.19	0.64	0.57	3.30	3.94	-----	0.031	0.033	-----
51	9Cr-8Ni	3.42	0.67	1.61	8.64	6.17	-----	0.029	0.036	-----
52	12Cr-1Mo-1Cu	3.25	0.70	0.62	12.7	-----	0.68	-----	-----	1.20Cu
53	15Cr-3Mo	2.51	0.80	0.47	14.7	-----	2.62	-----	-----	-----
54	15Cr-3Mo	3.59	0.8	0.40	15.0	-----	2.60	-----	-----	-----
55	15Cr-3Mo	3.60	0.8	0.40	15.0	-----	2.60	-----	-----	-----
56	15Cr-3Mo	3.60	0.84	0.42	14.95	-----	2.62	-----	-----	-----
57	15Cr-3Mo	3.60	0.8	0.40	15.0	-----	2.69	-----	-----	-----
58	15Cr-3Mo	3.60	0.8	0.40	15.0	-----	2.60	-----	-----	-----
59	15Cr-3Mo	3.60	0.85	0.42	14.96	-----	2.61	-----	-----	-----
60	15Cr-3Mo	3.68	0.8	0.40	15.0	-----	2.60	-----	-----	-----
61	15Cr-3Mo	3.62	0.8	0.40	15.0	-----	2.60	-----	-----	-----
62	15Cr-2Mo-1Cu	3.25	0.66	0.49	15.12	-----	1.95	0.039	0.029	1.06Cu
63	17Cr-1.5Mo-1Cu	1.23	0.70	0.47	17.99	-----	1.49	0.044	0.025	1.08Cu
64	17Cr-1.5Mo-1Cu	1.83	0.74	0.46	16.55	-----	1.56	0.040	0.029	1.10Cu
65	17Cr-1.5Mo-1Cu	2.43	0.75	0.47	16.99	-----	1.58	0.040	0.029	1.00Cu
66	17Cr-1.5Mo-1Cu	3.01	0.75	0.44	17.16	-----	1.60	0.04	0.029	1.06Cu
67	17Cr-1.5Mo-1Cu	3.65	0.76	0.50	17.35	-----	1.60	0.039	0.029	1.13Cu
<b>HIERROS COLADOS BLANCOS</b>										
68	18Cr-1Cu	2.89	0.78	0.57	18.0	-----	0.03	0.036	0.025	0.96Cu0.99
69	18Cr-1Cu	2.87	0.78	0.59	18.1	-----	0.04	0.039	0.024	0.95Cu
70	18Cr-1Mo-1Cu	2.85	0.78	0.59	18.1	-----	1.10	0.039	0.029	0.96Cu
71	18Cr-1Mo-1Cu	2.90	0.78	0.57	18.2	-----	1.02	0.028	0.025	1.00Cu
72	18Cr-2Mo-1Cu	2.89	0.76	0.58	18.1	-----	2.12	0.025	0.096	1.00Cu
73	18Cr-2Mo-1Cu	2.90	0.77	0.59	18.2	-----	2.13	0.026	0.097	1.00Cu
74	18Cr-2Mo-1Cu	3.03	0.76	0.41	18.2	-----	1.96	0.036	0.028	0.98Cu
75	18Cr-2Mo-1Cu	3.03	0.78	0.90	18.2	-----	1.96	0.036	0.028	0.96Cu
76	18Cr-2Mo-1Cu	3.03	0.76	1.17	18.2	-----	1.96	0.036	0.028	0.98Cu
77	18Cr-2Mo-1Cu	3.06	0.78	1.60	18.2	-----	1.96	0.036	0.028	0.98Cu
78	18Cr-2Mo-1Cu	3.28	0.75	0.81	18.2	-----	2.00	0.042	0.029	0.96Cu
79	18Cr-3Mo-1Cu	2.87	0.77	0.57	18.1	-----	3.02	0.037	0.026	0.98Cu
80	18Cr-3Mo-1Cu	2.83	0.76	0.59	17.8	-----	3.14	0.039	0.027	0.96Cu
81	18Cr-2Mo-1Cu	2.89	0.73	0.55	19.35	-----	2.06	0.015	0.016	1.00Cu
82	27Cr	2.68	0.83	0.36	27.60	-----	-----	0.009	0.008	1.02Cu
83	27Cr	2.38	0.80	0.4	26.67	-----	-----	-----	-----	-----
84	27Cr	3.11	0.80	0.4	27.00	-----	-----	-----	-----	-----

TABLA II-DUREZA, TENACIDAD Y RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ACEROS.

No	TIPO DE ACERO	HB	ENERGIA DE IMPACTO DE CHARPY ft-lb (J)	RELACION DE DESGASTE	PRUEBA DEL PASADOR	RUEDA DE CAUCHO	COMPONENTES DE PRINCIPALES DE LA MICROESTRUCTURA <sup>o</sup>	
<b>ACRO INOXIDABLE</b>								
1	138 (0.04C)	183	105	142	1.20		A	
<b>ACEROS LABRADOS</b>								
2A	Mn-Mo-Co (0.05C)	212	108	148	1.28	0.1429	F	
2B	Mn-Mo-Co (0.05C)	228	108	148	1.12	0.1397	F	
3	Mn-Mo-Co (0.08C)	187	78	108	1.51	0.1550	F	
4A	Mn-Cr-Ni-Mo-Cu-V (0.11C)	290	17	23	0.88	0.1240	B, M	
4B	Mn-Cr-Ni-Mo-Cu-V (0.11C)	290	-----	-----	0.80	0.1248	B, M	
5	Mn-V (0.15C)	225	63 <sup>a</sup>	85	1.20	-----	F, P	
6	Mn-Cr-Ni-Mo-Cu-V (0.16C)	333	-----	-----	0.75	0.1179	M, B	
7A	T-11TIPO A(0.19C)	260	42	57	1.08	0.1353	0.845	M, B
7B	T-11TIPO A(0.19C)	378	-----	-----	0.64	0.1240	-----	F, C
8A	Mn-Cr-Ni-Mo-Cu-V (0.20C)	380	51	69	0.48	0.1123	-----	B, M
8B	Mn-Cr-Ni-Mo-Cu-V (0.20C)	380	-----	-----	0.50	0.1123	-----	B, M
9	Mn-Ni-Mo (0.21C)	444	-----	-----	0.39	0.1053	0.498	M, B
10	AISI 1020 (0.22C)	103	120 <sup>a</sup>	163	1.87	0.156	-----	F, P
11	Mn-Ni-Mo (0.24C)	251	44	60	0.84 <sup>a</sup>	0.1290	-----	F, C
12	Mn-Cr-Ni-Mo (0.24C)	283	35	47	0.79 <sup>a</sup>	0.1265	-----	F, C
13	Mn-Cr-Ni-Mo (0.25C)	273	34	46	0.77 <sup>a</sup>	0.1257	-----	F, C
14	Mn-Cr-Ni-Mo (0.25C)	294	30	41	0.66 <sup>a</sup>	0.1199	-----	F, C
15	Mn-Cr-Ni-Mo (0.25C)	286	35	47	0.71 <sup>a</sup>	0.1226	-----	F, C
16	Mn-Ni-Mo-Cu-B (0.27C)	338	-----	-----	0.66	0.1215	0.713	M, B
17	Mn-Ni-Mo-B (0.27C)	394	-----	-----	0.67	0.1211	0.662	M, B
18A	Mn-Mo-Cu-B (0.28C)	379	-----	-----	0.72	0.1216	0.630	M, B
18B	Mn-Mo-Cu-B (0.28C)	434	-----	-----	0.52	0.1162	0.550	M, B
19	Mn-Ni-Mo-B (0.29C)	462	-----	-----	0.47	0.1083	0.512	M, B
20A	Cr-Mo-B (0.30C)	365	-----	-----	0.59	0.1156	0.520	M, B
20B	Cr-Mo-B (0.30C)	456	-----	-----	0.44	0.1108	0.440	M, B
21A	Cr-Ni-Mo (0.27C)	510	-----	-----	0.36	0.0654	0.756	M
21B	Cr-Ni-Mo (0.27C)	520	-----	-----	0.48	0.0654	0.738	M
22A	AISI 4340 (0.4C)	320	6.0	8.1	0.67	-----	-----	F, P
22B	AISI 4340 (0.4C)	343	22.0	29.8	0.72	-----	-----	F, C
22C	AISI 4340 (0.4C)	520	7.8	10.6	0.23	-----	-----	M
23	AISI 4340 (0.65C)	600	-----	-----	-----	0.0780	-----	M
24	C-Mn (0.80C)	292	-----	-----	-----	-----	-----	P

TABLA II-DUREZA, TENACIDAD Y RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DE ACEROS (CONTINUACIÓN).

No	TIPO DE ACERO	HB	ENERGÍA DE IMPACTO DE CHARNPY (J)		RELACION DE DESGASTE	PRUEBA DEL PASADOR	RUEDA DE CAUCHO	COMPONENTES PRINCIPALES DE LA MICROESTRUCTURA <sup>a</sup>
<b>ACERO COLADOS</b>								
25	Si-Cr-Mo (0.34C)	538	11	15	0.28 <sup>a</sup>	0.0873	-----	M
26	Mn-Si-Cr-Mo (0.43C)	366	12.5	17	0.25	0.088	-----	M, B
27A	Mn-Si-Cr-Ni-Mo (0.55C)	620	-----	-----	-----	0.80	-----	M, B
27B	Mn-Si-Cr-Ni-Mo (0.55C)	330	-----	-----	-----	0.104	-----	F
28	Mn-Si-Cr-Mo (0.63C)	620	-----	-----	-----	0.077	-----	M, B
29	Cr-Mo (0.63C)	260	-----	-----	0.38	0.0563	0.505	P, C
30	Cr-Mo (0.88C)	343	-----	-----	0.38	0.0942	0.460	P, C
<b>ACERO PARA HERRAMIENTAS</b>								
31A	AISI H-11 (0.35C)	658	28	38 <sup>a</sup>	0.20	0.0728	0.710	M
31B	AISI H-11 (0.35C)	670	13	17.6 <sup>a</sup>	0.19	0.0738	0.702	M
<b>ACERO AUSTENITICOS DE BAJO CONTENIDO DE MANGANESO</b>								
32A	6Mn-SCR-1Mo (0.7C)	339	5.0	6.8	0.30	-----	-----	A, C
32B	6Mn-SCR-1Mo (0.7C)	243	18.3	25	0.34	-----	-----	A, C
33A	6Mn-SCR-1Mo (1.0C)	352	4.0	5.4	0.27	-----	-----	A, C
33B	6Mn-SCR-1Mo (1.0C)	285	9.0	12	0.29	-----	-----	A, C
34A	6Mn-SCR-1Mo (1.2C)	385	3.5	4.7	0.27	-----	-----	A, C
34B	6Mn-SCR-1Mo (1.2C)	275	5.8	7.9	0.28	-----	-----	A, C
35	9Mn-1Mo-1Ti (1.1C)	207	30	41	0.34	-----	-----	A
36	9Mn-1Mo-1Ti (1.2C)	224	14.7	20	0.21	-----	-----	A
37	9Mn-1Mo-1Ti (1.25C)	207	48	65	0.27	-----	-----	A
38	9Mn-1Mo-1Ti (1.3C)	-----	18	24	0.25	-----	-----	A
39	9Mn-1Mo-1Ti (1.35C)	208	16.3	22	0.18	-----	-----	A
<b>ACERO AUSTENITICOS DE ALTO CONTENIDO DE MANGANESO</b>								
40	12Mn-1Mo (0.65C)	191	88	119	0.42	-----	-----	A
41	12Mn (0.95C)	185	102	138	0.33	-----	-----	A
42	12Mn-1Mo (0.95C)	188	53	72	0.32	0.0871	-----	A, P
43	12Mn-1Mo (1.09C)	192	107	145	0.29	-----	-----	A
44	12Mn (1.1C)	169	-----	-----	0.28	0.092	-----	A
45	12Mn (1.25C)	198	59	80	0.21	-----	-----	A
46	12Mn-1Mo-1Ti (1.25C)	201	53	72	0.21	-----	-----	A
47	12Mn-1Mo-1Ti (1.3C)	204	64	87	0.22	-----	-----	A
48	12Mn-1Mo-1Ti (1.3C)	201	57	77	0.22	-----	-----	A
49	12Mn-1Mo-1Ti (1.3C)	199	25	34	0.21	-----	-----	A

A - austenita, M - martensita, F - ferrita, B - bainita, P - perlita, y C - carburos.

TABLA III-DUREZA, TENACIDAD Y RESISTENCIA A LA ABRASIÓN

No	TIPO DE HIERRO	TENACIDAD				RESISTENCIA A LA ABRASIÓN				
		HR C	RESISTEN- CIA A FRACTU- RAS, Ksl in <sup>10</sup> (MN/m <sup>2</sup> )	RESISTEN CIA A LA COMPRESI ÓN ksl (MN/m <sup>2</sup> )	RESISTEN CIA AL RO-LADO (MN/m <sup>2</sup> )	RESISTEN CIA A LA TENSION Ksl (MN/m <sup>2</sup> )	RELA- CION DE DES- GAS- TE	PRUE -BA DEL PASA- DOR	PRUE- BA DE RUED A DE CAU- CHO	PRINCIPALES COMPONENTE S DE LA MICROESTRU CTURA
50A	2Cr-4Ni	53.2	22.0 (24.2)	--	--	--	--	0.035	A, C, m	
50B	2Cr-4Ni	53.2	--	384 (2950)	369 (2540)	--	--	--	A, C, m	
51A	Cr-Ni	50.7	--	--	--	--	0.151	--	A, C, m	
51B	Cr-Ni	50.3	23.2 (25.5)	314 (2160)	308 (2120)	--	--	0.055	A, C, m	
52A	Cr-Ni	50.5	--	282 (1840)	--	94 (648)	--	--	P, C, m	
52B	Cr-Ni	63.0	--	455 (3140)	--	--	0.073	--	M, C, A, SC	
53A	15Cr-3Ni	47.1	--	226 (2030)	--	--	--	--	A, C	
53B	15Cr-3Ni	61.7	24.0 (26.4)	436 (3000)	--	--	0.076	--	M, C, A, SC	
54	15Cr-3Ni	41.3	--	229 (1580)	--	100 (689)	0.435	--	P, C, A, SC	
55	15Cr-3Ni	67.9	--	472 (3250)	--	--	0.048	--	M, C, A, SC	
56A	15Cr-3Ni	--	--	339 (2340)	--	74 (510)	--	--	M, C, A, SC, P	
56B	15Cr-3Ni	42.4	23.2 (25.5)	238 (1640)	170 (1170)	101 (696)	0.407	--	P, C, SC, S	
56C	15Cr-3Ni	63.8	--	443 (3050)	421 (2906)	--	--	--	M, C, A, SC	
57	15Cr-3Ni	67.5	--	465 (3210)	--	--	0.044	--	M, C, A, SC	
58	15Cr-3Ni	67.7	--	452 (3120)	--	--	0.053	--	M, C, A, SC	
59A	15Cr-3Ni	56.4	--	338 (2320)	--	--	--	--	M, C, A, SC, P	
59B	15Cr-3Ni	43.3	--	236 (1630)	--	--	--	0.142	P, C, SC, S	
60	15Cr-3Ni	62.8	--	460 (3170)	--	--	0.062	--	M, C, A, SC	
61	15Cr-3Ni	45.0	--	238 (1630)	--	--	0.331	--	P, C, A, SC	
62A	15Cr-2Ni-1Cu	48.8	21.9 (24.1)	341 (2350)	--	--	0.093	0.0424	A, C, SC	
62B	15Cr-2Ni-1Cu	60.0	20.9 (23.0)	477 (3250)	--	--	--	0.0553	A, C, M, SC	
62C	15Cr-2Ni-1Cu	59.9	23.2 (25.5)	473 (3270)	--	--	--	0.0448	A, C, M, SC	
62D	15Cr-2Ni-1Cu	57.1	21.8 (24.0)	447 (3080)	--	--	--	0.0444	A, C, M, SC	
62E	15Cr-2Ni-1Cu	58.6	18.0 (20.9)	444 (3000)	--	--	--	0.0454	A, C, M, SC	
62F	15Cr-2Ni-1Cu	61.2	22.2 (24.2)	471 (3250)	--	--	0.093	0.0474	0.0472	A, C, M, SC
62G	15Cr-2Ni-1Cu	57.3	30.1 (33.1)	445 (3000)	--	--	--	0.0399	A, C, M, SC	
62H	15Cr-2Ni-1Cu	54.0	26.3 (28.9)	399 (2750)	--	--	--	0.0538	A, C, F	
63A	1.5Cr-2Ni-1Cu (1.2C)	31.9	30.5 (33.5)	407 (2810)	--	--	--	0.0516	A, C	
63B	1.5Cr-2Ni-1Cu (1.2C)	52.7	28.3 (29.1)	504 (3470)	--	--	--	0.0568	M, C, A, SC	
64A	1.5Cr-2Ni-1Cu (1.8C)	41.7	26.5 (29.1)	371 (2500)	--	--	--	0.0487	A, C	

TABLA III-DUREZA, TENACIDAD Y RESISTENCIA A LA ABRASION (CONTINUACIÓN)

No.	TIPO DE HIERRO	TENACIDAD				RESISTENCIA A LA ABRASION				
		HR C	RESISTEN- CIA A LA FRACTU- RAS, KSI in. (MN/m <sup>2</sup> )	RESISTEN- CIA A LA COMPRESION KSI (MN/m <sup>2</sup> )	RESISTEN- CIA AL ROLADO (MN/m <sup>2</sup> )	RESISTEN- CIA A LA TENSION KSI (MN/m <sup>2</sup> )	RELA- CION DE GAS- TE	PRUE- BA DEL PASA- DOR	PRUE- BA DE RUED A DE CAU- CHO	PRINCIPALES COMPONENTE S DE LA MICROESTR C-TURA
64E	1.5Cr-2Ni-1Cu (1.8C)	60.3	25.7 (28.2)	491 (3360)	--	--	--	0.0542	--	M, C, A, SC
65A	1.5Cr-2Ni-1Cu (2.4C)	46.8	24.1 (26.5)	330 (2280)	--	--	--	0.0470	--	C, M
65B	1.5Cr-2Ni-1Cu (2.4C)	61.5	25.6 (28.1)	477 (3260)	--	--	--	0.0497	--	M, C, A, SC
66A	1.5Cr-2Ni-1Cu (3.0C)	50.4	21.8 (23.7)	329 (2270)	--	--	--	0.0445	--	A, C, M
66B	1.5Cr-2Ni-1Cu (3.0C)	62.7	20.6 (22.6)	474 (3270)	--	--	--	0.0443	--	M, C, A, SC
67A	1.5Cr-2Ni-1Cu (3.6C)	52.0	16.0 (17.6)	345 (238)	--	--	--	0.0417	--	A, C, M
67B	1.5Cr-2Ni-1Cu (3.6C)	60.1	19.3 (21.2)	458 (3160)	--	--	--	0.0405	--	M, C, A, SC
68	18Cr-1Cu	54.9	20.7 (22.8)	--	--	--	--	0.0771	0.1644	P, C, A
69	18Cr-1Cu	35.9	24.9 (27.4)	--	--	--	--	0.0609	0.1966	S, C
70	18Cr-1Mo-1Cu	43.8	26.1 (30.9)	--	--	--	--	0.0434	0.0773	A, C, M
71	18Cr-1Mo-1Cu	63.0	22.9 (25.2)	--	--	--	--	0.0508	0.0805	M, C, A, SC
72	18Cr-2Mo-1Cu	49.4	27.4 (30.1)	--	--	--	--	0.0421	--	A, C, M
73	18Cr-2Mo-1Cu	62.8	23.5 (25.8)	--	--	--	--	0.0475	0.0538	M, C, A, SC
74A	18Cr-2Mo-1Cu (0.4S)	50.5	23.8 (25.2)	--	--	--	--	0.0428	--	A, C, M
74B	18Cr-2Mo-1Cu (0.4S)	63.7	24.5 (27.0)	--	--	--	--	0.0488	--	M, C, SC, A
75A	18Cr-2Mo-1Cu (0.8S)	50.7	29.0 (31.9)	--	--	--	--	0.0435	--	A, C, M
75B	18Cr-2Mo-1Cu (0.8S)	62.9	26.3 (28.9)	--	--	--	--	0.0512	--	M, C, A, SC, S
76A	18Cr-2Mo-1Cu (1.6S)	51.8	31.0 (34.1)	--	--	--	--	0.0431	--	A, C, M, P
76B	18Cr-2Mo-1Cu (1.6S)	62.4	26.8 (29.5)	--	--	--	--	0.0508	--	M, C, SC, S
77A	18Cr-2Mo-1Cu (0.4S)	53.3	31.4 (34.5)	--	--	--	--	0.0433	--	A, C, M, P
77B	18Cr-2Mo-1Cu (0.4S)	55.4	29.1 (32.0)	--	--	--	--	0.0566	--	M, C, SC, S
78A	18Cr-2Mo-1Cu	50.9	22.0 (24.2)	--	--	--	--	0.0415	--	A, C, M
78A <sup>c</sup>	18Cr-2Mo-1Cu	53.0	23.2 (25.5)	--	--	--	--	0.0526	--	A, C, M
78B	18Cr-2Mo-1Cu	64.5	18.3 (20.1)	--	--	--	--	0.0479	--	M, C, A, SC
78C	18Cr-2Mo-1Cu	64.0	20.0 (22.0)	--	--	--	--	0.0494	--	M, C, A, SC
78D	18Cr-2Mo-1Cu	62.9	25.3 (27.8)	--	--	--	--	0.0465	--	M, C, A, SC
78E <sup>c</sup>	18Cr-2Mo-1Cu	59.9	29.2 (32.1)	--	--	--	--	0.0496	--	M, C, M, SC
78F	18Cr-2Mo-1Cu	63.0	22.2 (24.4)	--	--	--	--	--	--	M, C, A, SC
78F <sup>c</sup>	18Cr-2Mo-1Cu	62.8	21.4 (23.5)	--	--	--	--	0.0566	--	M, C, A, SC
78G	18Cr-2Mo-1Cu	63.6	24.2 (26.6)	--	--	--	--	0.0484	--	M, C, A, SC
78H	18Cr-2Mo-1Cu	61.5	20.0 (22.0)	--	--	--	--	0.0425	--	M, C, A, SC
78I	18Cr-2Mo-1Cu	50.4	29.0 (31.9)	--	--	--	--	0.0425	--	M, C, A, SC
79	18Cr-3Mo-1Cu	54.4	23.0 (25.3)	--	--	--	--	0.0414	0.0702	A, C, M, SC
80	18Cr-3Mo-1Cu	63.0	23.2 (25.5)	--	--	--	--	0.0486	0.0541	M, C, A, SC
81A	18Cr-2Mo-1Cu	50.3	28.5 (31.4)	286 (1970)	--	--	--	--	--	A, C, SC
81B	18Cr-2Mo-1Cu	63.3	27.5 (30.2)	416 (2870)	--	100 (698)	0.081	--	0.051	M, C, A, SC
81C	18Cr-2Mo-1Cu	62.9	35.8 (28.2)	--	--	--	--	--	--	M, C, A, SC
82	27Cr	49.7	27.7 (30.5)	33 (2330)	338 (2180)	--	0.133	--	--	A, C, SC
83A	27Cr	50.4	--	400 (2700)	--	120 (827)	--	--	--	A, C, SC

TABLA III-DUREZA, TENACIDAD Y RESISTENCIA A LA ABRASIÓN (CONTINUACIÓN)

No	TIPO DE HIERRO	TENACIDAD				RESISTENCIA A LA ABRASIÓN				
		HR C	RESISTEN CIA A LA FRACTU RAS; Ksl in (MN/m <sup>3/2</sup> )	RESISTEN CIA A LA COMPRESION Ksl (MN/m <sup>2</sup> )	RESISTEN CIA AL RO-LADO (MN/m <sup>2</sup> )	RESISTEN CIA A LA TENSION Ksl (MN/m <sup>2</sup> )	RELA CION DE DES GAS TE	PRUE -BA DEL PASA DOR	PRUE BA DE RUED A DE CAU CHO	PRINCIPALES COMPONENTES DE LA MICROESTRUC TURA
83B	27Cr	59.3	--	419 (2890)	--	137 (945)	1.127	--	--	M, C, A, SC
84A	27Cr	55.5	--	392 (2700)	--	108 (731)	--	--	0.099	A, C, SC
84B	27Cr	61.4	--	429 (2960)	--	136 (938)	0.099	--	--	M, C, A, SC

\*A = AUSTENITA, M = MARTENSITA, S = ESFEIODITA, F = FERRITA ACICULAR, C = CARBURO PRIMARIO, SC = CARBURO SECUNDARIO

P = PELITA, EN CASO DE MENOS CARÁCTERES = CANTIDADES PEQUEÑAS.

b OBTENIDO DE OTRA COMPOSICION SIMILAR.

c SOLIDO COMO GRAFITO

APENDICE A

TABLA A-1 Materiales de prueba tratados termicamente.

No.	MATERIALES	TRATAMIENTO TERMICO
<b>ACERO INOXIDABLE</b>		
1	TIPO 316 (0.04C)	ANALIZADOS A 1900 F (1040 C) - 1h, ENFRIADOS EN AGUA (1 hr)
<b>ACERO DULCES O FORJADOS</b>		
2A	Mn-Mo-Co (0.06C)	ROLADO EN CALIENTE 0.5-in. (13-mm) REVESTIMIENTO
2B	Mn-Mo-Co (0.06C)	ROLADO EN CALIENTE 0.5-in. (13-mm) DE REVESTIMIENTO 1 h A 1150 F (620 C)
3	Mn-Mo-Co (0.06C)	ROLADO EN CALIENTE Y ENROLLADO 0.37-in. (9.5-mm) Skelp
4A	Mn-Cr-Ni-Mo-Cu-V (0.011C)	ROLADO EN CALIENTE 1-in. EN UN MOLDE DE 25-mm
4B	Mn-Cr-Ni-Mo-Cu-V (0.011C)	ROLADO EN CALIENTE 1-in. EN UN MOLDE DE 25-mm
5	Mn-V (0.015C)	ROLADO EN CALIENTE 5/16-in. (8-mm)
6	Mn-Cr-Ni-Mo-Cu-V (0.016C)	ROLADO EN CALIENTE 1-in. (25-mm) EN UN MOLDE DE 25-mm
7A	"T-1" TIPO A (0.19C)	ROLADO EN CALIENTE 1-in. (25-mm) EN UN MOLDE DE 25-mm, 1700 F (925 C), AGUA TEMPLADA, 1200 F (650 C)
7B	"T-1" TIPO A (0.19C)	ROLADO EN CALIENTE 1-in. (25-mm) EN UN MOLDE DE 25-mm, 1700 F (925 C), AGUA TEMPLADA, 400 F (205 C)
8A	Mn-Cr-Ni-Mo-Cu-V (0.20C)	ROLADO EN CALIENTE 1-in. (25-mm) EN UN MOLDE DE 25-mm
8B	Mn-Cr-Ni-Mo-Cu-V (0.20C)	ROLADO EN CALIENTE 1-in. (25-mm) EN UN MOLDE DE 25-mm
9	Mn-Ni-MO (0.21C)	ENDURECIDO Y TEMPLADO
10	Mn-Ni-MO (0.21C)	ROLADO EN CALIENTE 1-in. (25-mm) EN UN MOLDE DE 25-mm
11	Mn-Ni-MO (0.21C)	1525 F (830 C), EN UN MOLDE DE 25-mm A 1150 F (620 C)
12	Mn-Cr-Ni-Mo (0.24C)	1460 F (810 C) EN UN MOLDE DE 25-mm A 1150 F (620 C)
13	Mn-Cr-Ni-Mo (0.24C)	1470 F (800 C) EN UN MOLDE DE 25-mm A 1150 F (620 C)
14	Mn-Cr-Ni-Mo (0.25C)	1560 F (865 C) EN UN MOLDE DE 25-mm A 1150 F (620 C)
15	Mn-Cr-Ni-Mo (0.25C)	1510 F (820 C) ENFRIADO EN UN PERFIL DE TEMPERATURA A 1150 F (620 C)
16	Mn-Ni-Mo-B (0.27C)	ENDURECIDO Y TEMPLADO A 333 HB
17	Mn-Ni-Cu-B (0.28C)	ENDURECIDO Y TEMPLADO A 394 HB
18A	Mn-Ni-Cu-B (0.28C)	ENDURECIDO Y TEMPLADO A 379 HB
18B	Mn-Ni-Cu-B (0.28C)	ENDURECIDO Y TEMPLADO A 434 HB
19	Mn-Ni-Cu-B (0.28C)	ENDURECIDO Y TEMPLADO A 462 HB
20A	Cr-Mo-B (0.30C)	ENDURECIDO Y TEMPLADO A 366 HB
20B	Cr-Mo-B (0.30C)	ENDURECIDO Y TEMPLADO A 456 HB
21A	Cr-Ni-B (0.27C)	ENDURECIDO Y TEMPLADO A 510 HB
21B	Cr-Ni-B (0.27C)	ENDURECIDO Y TEMPLADO A 520 HB
22A	AlSi 4340 (0.4C)	1750 F (955 C), ENFRIADO EN AIRE
22B	AlSi 4340 (0.4C)	1600 F (870 C), ENFRIADO EN ACEITE, 1200 F (650 C)
22C	AlSi 4340 (0.4C)	1600 F (870 C), ENFRIADO EN ACEITE, 400 F (205 C)
23	Mn-Cr-Mo (0.65C)	AUSTENITIZADOS Y ENFRIADOS, TEMPLADOS A 560 HB
24	C-Mn (0.050C)	ROLADO EN BANDILLA, LENTO ENFRIAMIENTO
<b>ACERO COLADOS</b>		
25	Si-CrMo (0.34C)	1650 F (900 C) ENFRIADO EN AGUA, 450 F (230 C)
26	Mn-Si-Cr-Mo (0.43C)	1750 F (955 C), ENFRIAMIENTO EN AIRE, 450 F (230 C)
27A	Mn-Cr-Si-Ni-Mo (0.55C)	1700 F (250C) ENFRIADO EN AIRE 400 F (205 C), 1750 F (955 C), ENFRIAMIENTO POR VENTILACION, 450 F (205 C)
27B	Mn-Cr-Si-Ni-Mo (0.55C)	IGUAL QUE 27A ADICIONAL 1200 F (650 C)
28	Mn-Cr-Si-Mo (0.63C)	1200 F (650 C), CALENTADO LENTAMENTE A 1750 F (955 C), 4H, ENFRIADO POR AIRE, 450 F (230 C)
29	Cr-Mo (0.63)	1800 F (980 C), ENFRIADO POR AIRE, 1075 F (580 C)
30	Cr-Mo (0.88)	1800 F (980 C), ENFRIADO POR AIRE, 1075 F (580 C)
<b>ACERO PARA HERRAMIENTAS</b>		
31A	AlSi H-11 (0.35C)	ENDURECIDO Y TEMPLADO A 400 F (205 C)
31B	AlSi H-11 (0.35C)	ENDURECIDO Y TEMPLADO A 600 F (450 C)
<b>ACERO AUSTENITICOS AL MANGANESO COLADOS</b>		
32A	6Mn-Cr-1Mo (0.7C)	1100 F (595 C)-24H, ENFRIADO POR AIRE, 1500 F (1040 C)-2H, ENFRIADO POR ACEITE
32B	6Mn-Cr-1Mo (0.7C)	1100 F (595 C)-24H, ENFRIADO POR AIRE, 1500 F (1040 C)-2H, ENFRIADO POR ACEITE
33A	6Mn-Cr-1Mo (1.0C)	1100 F (595 C)-24H, ENFRIADO POR AIRE, 1500 F (1040 C)-2H, ENFRIADO POR ACEITE
33B	6Mn-Cr-1Mo (1.0C)	1100 F (595 C)-24H, ENFRIADO POR AIRE, 1500 F (1040 C)-2H, ENFRIADO POR HORNO

TABLA A-1 Materiales de prueba tratados térmicamente. (CONTINUACIÓN)

No.	MATERIALES	TRATAMIENTO TERMICO
34A	6Mn-Cr-1Mo (1.2C)	1100 F (595 C)-24H, ENFRIADO POR AIRE, 1600 F (1040 C)-2H, ENFRIADO POR ACEITE
34B	6Mn-Cr-1Mo (1.2C)	1100 F (595 C)-24H, ENFRIADO POR AIRE, 1600 F (1040 C)-2H, ENFRIADO POR HORNO
35	9Mn-1Mo-Ti (1.1C)	1950 F (1065 C)-2H, ENFRIADO POR ACEITE
36	9Mn-1Mo-Ti (1.2C)	TRATADO EN SOLUCION, ENFRIADO POR AGUA
37	9Mn-1Mo-Ti (1.25C)	1950 F (1065 C)-2, ENFRIADO POR ACEITE
38	9Mn-1Mo-Ti (1.3C)	1950 F (1065 C)-2, ENFRIADO POR AGUA
39	9Mn-1Mo-Ti (1.35C)	TRATADO EN SOLUCION, ENFRIADO POR AGUA
<b>ACERO AUSTENITICOS AL MANGANESO</b>		
40	12Mn-Mo (0.65C)	1900 F (1040 C)-4H, ENFRIADO POR AGUA
41	12Mn (0.55C)	1900 F (1040 C)-4H, ENFRIADO POR AGUA
42	12Mn-Mo (0.75C)	NADA
43	12Mn-Mo (1.0C)	1900 F (1040 C)-4H, ENFRIADO POR AGUA
44	12Mn (1.1C)	1900 F (1040 C), ENFRIADO POR AGUA
45	12Mn (1.25C)	1900 F (1040 C)-4H, ENFRIADO POR AGUA
46	12Mn-1Mo-Ti (1.25C)	1900 F (1040 C)-4H, ENFRIADO POR AGUA
47	12Mn-1Mo-Ti (1.3C)	1900 F (1040 C)-4H, ENFRIADO POR AGUA
48	12Mn-1Mo-Ti (1.3C)	1900 F (1040 C)-4H, ENFRIADO POR AGUA
49	12Mn-1Mo-Ti (1.3C)	1900 F (1040 C)-4H, ENFRIADO POR AGUA
<b>HIERROS COLADOS BLANCOS</b>		
50A	2Cr-4Ni	NADA
50B	2Cr-4Ni	410 F (210 C)-1H
51A	2Cr-6Ni	410 F (210 C)-1H
51B	2Cr-6Ni	410 F (210 C)-2H
52A	12Cr-1Mo-1Cu	NADA
52B	12Cr-1Mo-1Cu	1750 F (955 C)-1H, ENFRIADO POR ACEITE, 400 F (205 C)
53A	15Cr-3Mo	1750 F (955 C)-1H, ENFRIADO POR ACEITE, 400 F (205 C)
53B	15Cr-3Mo	1750 F (955 C)-1H, ENFRIADO POR ACEITE, 400 F (205 C)
54	15Cr-3Mo	1650 F (900 C)-6H, ENFRIADO POR HORNO, 400 F (205 C)
55	15Cr-3Mo	1650 F (900 C)-1H, ENFRIADO POR ACEITE, 400 F (205 C)
56A	15Cr-3Mo	NADA
56B	15Cr-3Mo	1650 F (900 C)-1H, ENFRIADO POR HORNO, 400 F (205 C)
56C	15Cr-3Mo	1650 F (900 C)-1H, ENFRIADO POR HORNO, 400 F (205 C)
57	15Cr-3Mo	1650 F (900 C)-6H, ENFRIADO POR ACEITE, 400 F (205 C)
58	15Cr-3Mo	1800 F (990 C)-1H, ENFRIADO POR ACEITE, 400 F (205 C)
59A	15Cr-3Mo	NADA
59B	15Cr-3Mo	1800 F (990 C)-6H, ENFRIADO POR HORNO, 400 F (205 C)
60	15Cr-3Mo	1800 F (990 C)-1H, ENFRIADO POR ACEITE, 400 F (205 C)
61	15Cr-3Mo	1800 F (990 C)-6H, ENFRIADO POR HORNO, 400 F (205 C)
62A	12Cr-1Mo-1Cu	410 F (210 C)-2H
62B	12Cr-1Mo-1Cu	1800 F (1010 C)-4H
62C	12Cr-1Mo-1Cu	1850 F (1010 C) 4H, ENFRIADO POR AIRE, 410 F (210 C)
62D	12Cr-1Mo-1Cu	1850 F (1010 C) 4H, ENFRIADO POR AIRE, 600 F (315 C)
62E	12Cr-1Mo-1Cu	1850 F (1010 C) 4H, ENFRIADO POR AIRE, 800 F (425 C)
62F	12Cr-1Mo-1Cu	1750 F (955 C)-4H, ENFRIADO POR AIRE 410 F (210 C)-2H
62G	12Cr-1Mo-1Cu	2150 F (1175 C)-4H, ENFRIADO POR HORNO A 1850 F (1010 C) EN 3H SUELTO A 18050 F (1010 C) 4H, ENFRIADO POR AIRE, 410 F (210 C)-2H
62H	12Cr-1Mo-1Cu	1850 F (1010 C)-4H, PROGRAMA DE ENFRIAMIENTO PARA FORMAR BAINITA, ENFRIADO POR AIRE, 410 F (210 C)-2H
63A		
<b>HIERROS COLADOS BLANCOS</b>		
67A	12Cr-1.5Mo-1Cu	410 F (210 C)-2H
63B		
A		
67B	12Cr-1.5Mo-1Cu	1650 F (1010 C)-4H ENFRIADO POR AIRE, 410 F (210 C)-2H
68	18Cr-1Cu	410 F (210 C)-2H
69	18Cr-1Cu	1750 F (955 C)-4H ENFRIADO A 2-in. 50 mm REVESTIDO EN AIRE
70	18Cr-1Mo-1Cu	410 F (210 C)-2H ENFRIADO EN UN REVESTIMIENTO DE 2 in Y AL AIRE
71	18Cr-1Mo-1Cu	1750 F (955 C)-4H ENFRIADO A 2-in. 50 mm REVESTIDO EN AIRE, 410 F (210 C)-2H
72	18Cr-1Mo-1Cu	410 F (210 C)-2H ENFRIADO EN UN REVESTIMIENTO DE 2 in Y AL AIRE
73	18Cr-1Mo-1Cu	1750 F (955 C)-4H EN UN REVESTIMIENTO DE 2-in. ENFRIADO AL AIRE



TABLA A-1 Materiales de prueba tratados termicamente. (CONTINUACIÓN)

No.	MATERIALES	TRATAMIENTO TERMICO
74A		410 F (210 C)- 2h
77A		
74B		
A		
77B		1750 F (955 C)- 4h ENFRIADO A 2h. 50 mm REVESTIDO EN AIRE, 410 F (210 C)- 2h
78A	18Cr-2Mo-1Cu	410 F (210 C)- 2 h
78B	18Cr-2Mo-1Cu	1700 F (925 C)- 4 h ENFRIADO A 2 In. (50mm) REVESTIDO EN AIRE, 410 F (210 C)- 2 h.
78C	18Cr-2Mo-1Cu	1750 F (955 C)- 4 h ENFRIADO A 2in. (50mm) REVESTIDO EN AIRE, 410 F (210 C)- 2 h
78D	18Cr-2Mo-1Cu	1850 F (1010 C)- 4 h ENFRIADO A 2N (50 mm) REVESTIDO EN AIRE 410 F (210 C)- 2h
78E	18Cr-2Mo-1Cu	2100 F (1150 C)- 4 h ENFRIADO A 2N (50 mm) REVESTIDO EN AIRE 410 F (210 C)- 2h
78F	18Cr-2Mo-1Cu	2100 F (1150 C)- 4 h ENFRIADO A 2n (50 mm) REVESTIDO EN AIRE 1750 F (955 C)- 4h, ENFRIADO A 2n (50 mm) REVESTIDO EN AIRE 410 F (210 C)- 2 h
78G	18Cr-2Mo-1Cu	2150 F (1175 C) - 4h, ENFRIADO A 2n (50 mm) REVESTIDO EN AIRE 1750 F (955 C)-4h, ENFRIADO A 2in (50 mm) REVESTIDO EN AIRE, 410 F (210 C)- 2h
78H	18Cr-2Mo-1Cu	2200 F (1205 C)- 4h, ENFRIADO A 2n (50 mm) REVESTIDO EN AIRE, 1750 F (955 C)- 4 h, ENFRIADO A 2in (50 mm) REVESTIDO EN AIRE, 410, (210 C) - 2 h
78I	18Cr-2Mo-1Cu	2200 F (1205 C)- 4 h, ENFRIADO A 2in (50 mm) REVESTIDO EN AIRE, 1850 F (1010 C)-4 h, ENFRIADO A 2n (50 mm) REVESTIDO EN AIRE, 410 F (210 C) 2 h
79	18Cr-3Mo-1Cu	410 F (210 C)-2V h
80	18Cr-3Mo-1Cu	1750 F (955 C)-4 h, ENFRIADO A 2n (50 mm) REVESTIDO EN AIRE 410 F (210 C) 2 h
81A	18Cr-2Mo-1Cu	NADA
81B	20Cr-2Mo-1Cu	1750 F (955 C)- 1 h, ENFRIADO POR AIRE, 400 F (205 C)
81C	20Cr-2Mo-1Cu	1750 F (955 C)- 1 h, ENFRIADO POR AIRE, 400 F (205 C)
82	27Cr	1850 F (1010 C)- 1 h, ENFRIADO POR AIRE, 410 F (210 C)- 2 h
83A	27Cr	410 F (210 C) - 2 h
83B	27Cr	NADA
84A	27Cr	1850 F (1010 C)- 2 h, ENFRIADO POR AIRE, 450 F (230 C)
84B	27Cr	NADA
		1850 F (1010 C)- 2 h, ENFRIADO POR AIRE, 450 F (230 C)

APENDICE B

TABLA B-1 - DATOS ADICIONALES DE ACEROS RESISTENTES A LA ABRASION

TIPO DE ACERO	TRATAMIENTO TERMICO	HB	RELACION DE DESGASTE	PERDIDA DE PESO EN LA RUEDA DE CAUCHO
AISI 4140 (0.40C)	1550 F (845 C), EN FRIADO EN ACEITE	582	-----	0.219
AISI 4140 (0.40C)	1550 F (845 C), EN FRIADO EN ACEITE, 1000 F 540 C)	550	-----	0.235
AISI 4140 (0.40C)	1550 F (845 C), EN FRIADO EN ACEITE, 1000 F 540 C)	409	-----	0.410
AISI 4140 (0.40C)	1550 F (845 C), EN FRIADO EN ACEITE, 1000 F 540 C)	363	-----	0.531
AISI 4140 (0.40C)	NORMALIZADO	320	0.674	-----
AISI 4140 (0.40C)	ENFRIADO, 1200 F (650 C)	340	0.716	-----
AISI 4140 (0.40C)	ENFRIADO, 400 F (205 C)	520	0.232	0.281
AISI 1085 (0.82C)	REJA ABIERTA	456	-----	0.278
AISI 1080 (0.85C)	REJA ABIERTA	450	-----	0.220
AISI 1080 (0.85C)	REJA ABIERTA	455	-----	-----
6Cr-1Mo (0.88C)	1950 F (1065 C), EN FRIADO EN AIRE, 450 F (230 C)	601	0.112	-----
6Cr-1Mo (0.88C)	1950 F (1065 C), EN FRIADO EN AIRE, 1000 F (540 C))	601	0.148	-----
5Mn-1Mo-2Cr (1.0C)	1900 F (1040 C), EN FRIADO EN HORNO	288	0.245	-----
65Mn-1Mo (1.27C)	1900 F (1040 C), EN FRIADO POR AGUA, 140 F (80 C)	200	0.192	-----
6Mn-1Mo-Ti (1.23C)	1900 F (1040 C), EN FRIADO POR AGUA, 140 F (80 C)	200	0.170	-----
6.5Cr-1Mo (1.01C)	1900 F (1040 C), EN FRIADO EN EL HORNO	240	0.292	-----
6.5Mn-1Mo-2Cr (0.99C)	1900 F (1040 C), EN FRIADO EN EL HORNO	241	0.318	-----
6.5Mn-1Mo-5Cr (1.0C)	1900 F (1040 C), EN FRIADO EN EL HORNO	246	0.324	-----
6.5Mn-3Mo-2Cr (1.02C)	1900 F (1040 C), EN FRIADO EN EL HORNO	241	0.294	-----
6.5Mn-2Cr (1.0C)	1900 F (1040 C), EN FRIADO EN EL HORNO	474	0.329	-----
6.5Mn-1Mo-1Cr (1.00C)	1900 F (1040 C), EN FRIADO EN EL HORNO	299	0.307	-----
9Mn-1Mo (1.27C)	1900 F (1040 C), EN FRIADO EN AGUA, 140 F (80 C)	208	0.219	-----
9Mn-1Mo-Ti (1.24C)	1900 F (1040 C), EN FRIADO EN AGUA, 140 F (80 C)	199	0.213	-----
12Mn (0.93C)	1900 F (1040 C), EN FRIADO EN AGUA	185	0.328	-----
12Mn (1.00C)	1900 F (1040 C), EN FRIADO EN AGUA	199	0.279	-----
12Mn (1.24C)	1900 F (1040 C), EN FRIADO EN AGUA	198	0.212	-----
12Mn (1.27C)	1900 F (1040 C), EN FRIADO EN AGUA, 140 F (80 C)	211	0.207	-----

TABLA B-II- DATOS ADICIONALES DE RESISTENCIA A LA ABRASIÓN

TIPO DE HIERRO	TRATAMIENTO TERMICO	MICROESTRUCTUR A	HB	HRC	RELACION DE DESGAST E
12Cr-2Mo-2Ni-1Cu (3.39C)	NADA		569	55.5	0.117
12Cr-2Mo-2Ni-1Cu (3.39C)	1650 F (900 C), AIRE FRIO		666	62.7	0.065
12Cr-2Mo-2Ni-1Cu (3.39C)	COLADO Y REFRIGERADO A-100 F (-75 C)	M, A, C, P	682	61.7	0.068
13Cr (2.65)	172 F (940 C), AIRE FRIO, 535 F (260 C)	A, C, M, SC	648	59.7	0.148
15Cr-2Mo-1Cu (3.26C)	NADA	A, C, M, SC, P	557	54.8	0.093
16Cr-2Mo-2Ni-1Cu (3.20C)	1600F (900C), AIRE FRIO	M, C, A, SC	690	61.1	0.101
16Cr-2Mo-2Ni-1Cu (3.20C)	NADA	A, C, M	538	53.8	0.125
16Cr-2Mo-2Ni-1Cu (3.20C)	COLADO Y REFRIGERADO A-100 F (-75 C)	A, C, M	653	59.0	0.110
17Cr-1Mo (2.32C)	1725 F (940 C), AIRE FRIO, 535 F (260 C)	M, C, A, SC	676	60.3	0.128
20Cr-2Mo-1Cu (2.87C)	NADA	A, C, M, SC	536	53.6	0.109
23-Cr (2.84C)	1725 F (940 C), AIRE FRIO, 535 F (260 C)	M, C, A, SC	627	58.5	0.175
27Cr-0.5Mo (2.58C)	1850 F (1010 C), AIRE FRIO, 450 F (230 C)	M, C, A, SC	650	59.9	0.124
27Cr-0.5Mo (3.10C)	1850 F (1010 C), AIRE FRIO, 450 F (230 C)	M, C, A, SC	709	63.1	0.066
27Cr-5Mo (2.60C)	1850 F (1010 C), AIRE FRIO, 450 F (230 C)	M, C, A, SC	721	64.0	0.065

\*M = MARTENSITA, A = AUSTENITA, P= PERLITA, C = CARBUROS EUTECTICOS, SC = CARBUROS SECUNDARIOS.

## CONCLUSIONES

En el panorama general del desarrollo tecnológico moderno no es posible descuidar la evolución que se ha desarrollado en el terreno de los materiales resistentes a la abasión, erosión y tenacidad; por lo tanto el ingeniero necesita un mejor conocimiento de las diferentes y/o diversas aleaciones disponibles en el mercado, para ser capaz de seleccionar y diseñar el material más adecuado para cada aplicación individual.

La selección de materiales es casi siempre el resultado de un balance entre su durabilidad en el servicio y su costo.

Los aceros aleados en particular las fundiciones al alto cromo alto carbono, son materiales que ofrecen una gran resistencia a la abrasión y a la tenacidad. Estos hierros blancos a alto cromo son reconocidos como proveedores de la mejor combinación de resistencia a la abrasión y la tenacidad; ya que variando su composición y seleccionando un tratamiento térmico adecuado estas propiedades pueden ser ajustadas para satisfacer las necesidades pertinentes.

Para el Ingeniero Químico, no se puede decir que sea indispensable el manejo de este tipo de materiales, pero si es de suma importancia que tenga conocimiento de ello; ya que, en cualquier empresa donde desempeñe su labor profesional tendrá que enfrentar problemas de este tipo. Para lo cual, debe tener en cuenta que existan ciertas microestructuras que en combinación con otras variables metalúrgicas nos proporcionan dichas propiedades. Dado que la selección de estos materiales corresponde a los profesionistas en el área de materiales y en el ultimo de sus casos al fabricante mismo.

Dado que en México falta mucho por realizar en materia de selección de materiales y/o métodos adecuados para combatir la abrasión, el objetivo del presente trabajo está encaminado a recopilar información que ayude a la selección de estos materiales.

En este trabajo, solo se contempla una introducción a los materiales resistentes a la abrasión y erosión, por lo que aún falta mucho por hacer a respecto; pero se puede tomar como punto de partida para futuros estudios acerca de estos materiales, y así obtener una mejor comprensión de los mismos tanto por los Ingenieros Químicos como profesionistas afines.

## BIBLIOGRAFÍA

CIENCIA DE MATERIALES PARA INGENIERIA  
CARL. A. KEYSER  
ED. LIMUSA

CORROSIÓN Y CONTROL DE CORROSIÓN  
HERBERT H. UHLIG  
URMO SA DE EDICIONES

CORROSION MECHANISMS  
FLORIAN MANSFELD  
CHEMICAL INDUSTRIES/28 de 1987

CORROSIÓN Y OXIDACIÓN FUNDAMENTOS  
JOHN.M WEST  
ED. LIMUSA 1986

ENGINEERING MATERIAL HANDBOOK  
CHARLES L. MANTEL  
ED. MC GRAW-HILL

FERROUS METALS 2.1 A 10.6  
SAE HANDBOOK PARTE 1  
1976

MATERIALES PARTES Y COMPONENTES  
FUNDAMENTOS DE CIENCIA DE LOS MATERIALES, GUY, A. G.  
ED. MC GRAWHILL 1980

INTRODUCTION TO MATERIALS SCIENCE FOR ENGINEER  
JAMES F. SHACKELFOOD      DIAGRAMA Fe-CFe<sub>3</sub>  
ED. MACMILLAN

LA CIENCIA Y LA INGENIERIA DE LOS MATERIALES  
DONALD R ASKELAND  
ED. IBERIAMERICANA

MATERIALS CHARACTERIZATION  
ASM HANDBOOK VOL. 10  
1986

MATERIALES DE INGENIERIA Y SUS APLICACIONES  
FLINN Y TROJAN  
ED. MC GRW-HILL  
1979

MATERIALS SCIENCE AND TECHNOLOGY  
R. W. CAHN, P. HAASEN, E. J. KRAMER  
ED. VCH VOL. 2, 5, 7 Y 15  
1991

METALS HANDBOOK  
AMERICAN SOCIETY FOR METALS  
VOL./1 1978 Y VOL./10 1986

### TESIS PROFESIONALES

ACEROS INOXIDABLES  
ESQUIVEL GOMEZ MARIA ELENA  
1989

LOS ACEROS EN LA INGENIERIA QUIMICA  
MARIA ELENA AGUILA MEZA  
1992

SELECCION DE MATERIALES EN ING. QUIMICA  
ABEL GUTIERREZ JACINTO  
CARLOS GUTIERREZ JACINTO  
1988

SOLDABILIDAD Y COMPARAION DE LA SOLDADURA AL  
ALTO CROMO-ALTO CARBONO  
RAMON SANCHEZ REYES  
HECTOR RAMON HERNANDEZ LUA  
1993

### ARTICULOS

1.- HARD FACING ALLOYS.  
HOWARD S. AVERY  
THE ASM REPORT SYSTEM  
CLIMAX MOLYBDENUM COMPANY  
PAGINA 1 - 19  
1979

2.- MODERNOS MATERIALES RESISTENTES AL DESGASTE:  
DESARROLLOS RECISTENTES.  
CLAUDIO BERTOLI  
CLIMAX MOLYBDENUM COMPANY  
ITALIA.

REVISTA LATINOAMERICANA DE SIDERURGICA  
No. 180, ABRIL 1975

3.- OPTIMIZING ABRASION RESISTANCE AND TOUGHNESS IN  
STEELS AND IRONS FOR THE MINING INDUSTRY.  
D. E. DIESBURE  
F. BORIK  
CLIMAX MOLYBDENUM COMPANY OF MICHIGAN A SUBSIDIARY OF  
A M A X 118  
PAGINAS 15 - 39 (1980)

4.- UTILIZATION AND APPLICATION OF A SUPERIOR ABRASION  
RESISTANT MATERIAL FOR SEVERE CRUSHING APPLICATION  
P. E. HEGMEGEE, JR.  
NORDBERY MACHINERY GROUP  
REXNORD INC.  
PAGINAS 201 - 205.  
1980