

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA Y  
METALÚRGICA**



**CARACTERIZACION DE HIERROS BLANCOS DE ALTO  
CROMO**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO METALURGISTA**

**PRESENTADO POR:**

**LIDIA MARGARITA LOERA GUILLEN**

**LIMA -2009**

## RESUMEN

En el presente informe de suficiencia, se estudia metalográficamente y se mide la dureza de los hierros blancos con alto cromo. El material analizado es un hierro blanco de alto cromo según norma ASTM A532 II B, templado y revenido.

Es importante resaltar la importancia del control de los parámetros durante el tratamiento térmico, porque de ello depende obtener una microestructura óptima que es carburos primarios y secundarios en una matriz predominantemente martensítica.

En general se puede concluir que una buena resistencia a la abrasión en los materiales se debe a la presencia de carburos de cromo, los hierros blancos de alto cromo son los que mejor trabajan en condiciones de alta abrasión. La elevada dureza de los carburos  $M_7C_3$  es lo que aumenta la resistencia a la abrasión en un hierro blanco de alto cromo. Durante el desarrollo de la parte experimental se realizaron controles de calidad (inspección visual, Líquidos penetrantes y ultrasonido) en cada etapa del proceso.

## **CARACTERIZACION DE HIERROS BLANCOS DE ALTO CROMO**

RESUMEN	1
CAPITULO I INTRODUCCION	3
1.1 Metalurgia de los Hierros blancos de alto cromo	7
1.2 Microestructura de Hierro blanco de alto cromo	9
1.3 Tratamientos térmicos en hierros blancos de alto cromo	22
1.4 Dureza de hierros blancos de alto cromo	28
1.5 Optimización de la resistencia a la abrasión y tenacidad de fractura	31
1.6 Aplicaciones	32
CAPITULO II PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	33
2.1 Material en estudio	33
2.2 Análisis Químico	33
2.3 Tratamiento térmico	34
2.4 Preparación de muestra	34
CAPITULO III RESULTADOS	38
3.1 Análisis metalográfico	39
3.2 Ensayo de Dureza	47
3.3 Discusión de resultados y recomendaciones	48
CONCLUSIONES	50
BIBLIOGRAFIA	51
ANEXOS	52

## **CAPITULO I**

### **INTRODUCCION**

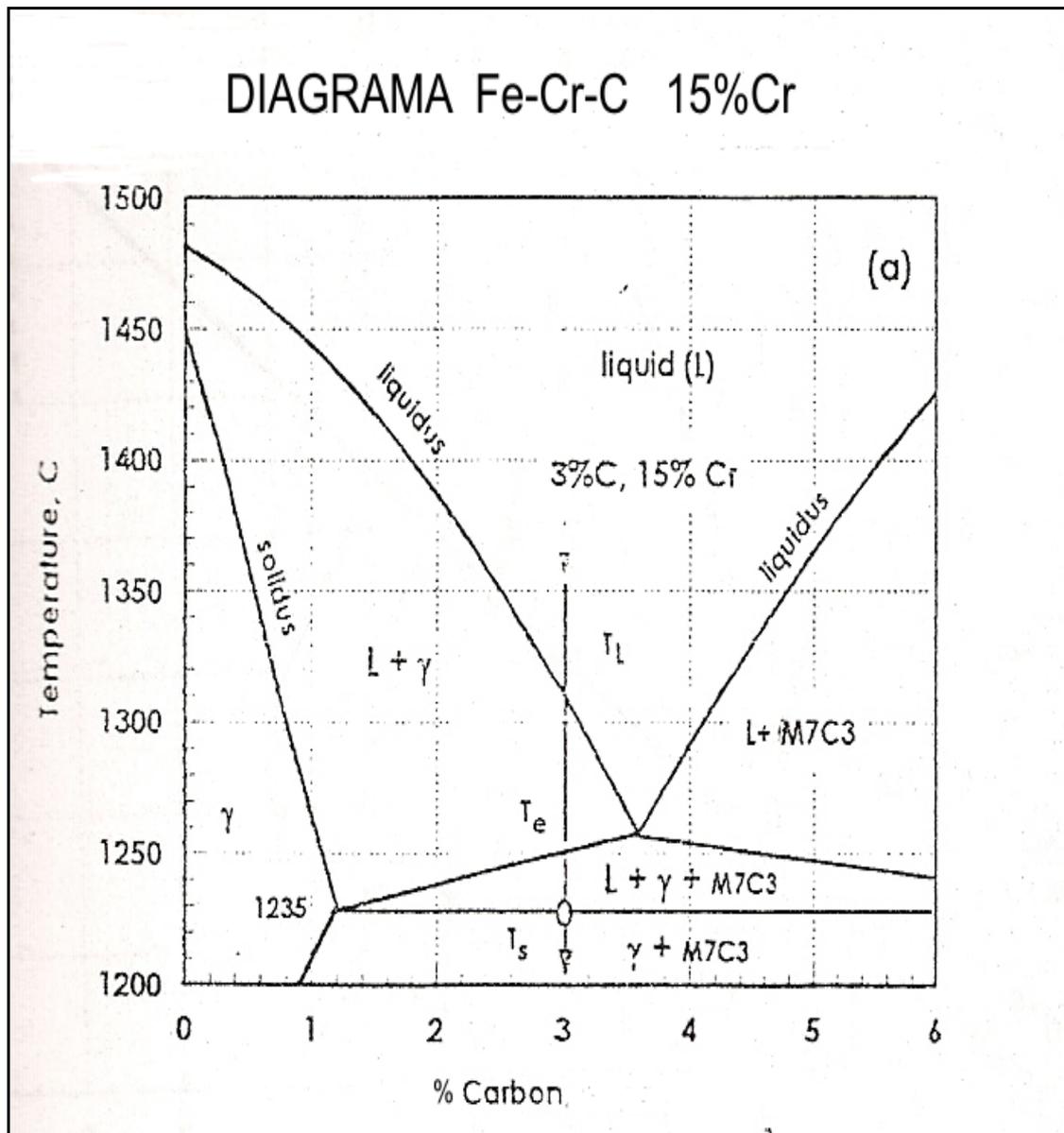
Las hierros blancos de alto cromo son productos de alta demanda por las industrias minera, siderúrgica y cementera, debido a su alta dureza y resistencia a la abrasión. Estos hierros blancos de alto cromo se caracterizan por poseer unas microestructuras formadas por un alto contenido de carburos eutécticos, junto a otra fase predominantemente martensítica.

Los hierros blancos de alto cromo son habitualmente aleaciones hipoeutécticas, su solidificación comienza con la formación de dendritas de austenita y termina con la formación del constituyente eutéctico  $\gamma + M_7C_3$ . En el enfriamiento posterior, en virtud de la típica pérdida de solubilidad de la austenita con la disminución de la temperatura, precipitan cantidades importantes de estos mismos carburos.

El tratamiento térmico de este hierro blanco de alto cromo consiste en una austenitización a una temperatura a la que, o bien precipitan carburos o, por el contrario, se disuelven muchos de los carburos que habían precipitado en el enfriamiento posterior a la fundición (ocurrirá una u otra cosa según sea

su composición química, tamaño de la pieza, condiciones de enfriamiento durante la fundición, etc). De cualquier modo, durante el mantenimiento a elevada temperatura, se obtiene una austenita suficientemente aleada y con un contenido alto de carbono, templable, que se transforma parcialmente en martensita, en el enfriamiento de temple. Queda, sin embargo, después del temple, una fracción importante de austenita retenida, que debe eliminarse con el tratamiento térmico de revenido con el objetivo de conseguir una estabilidad microestructural.

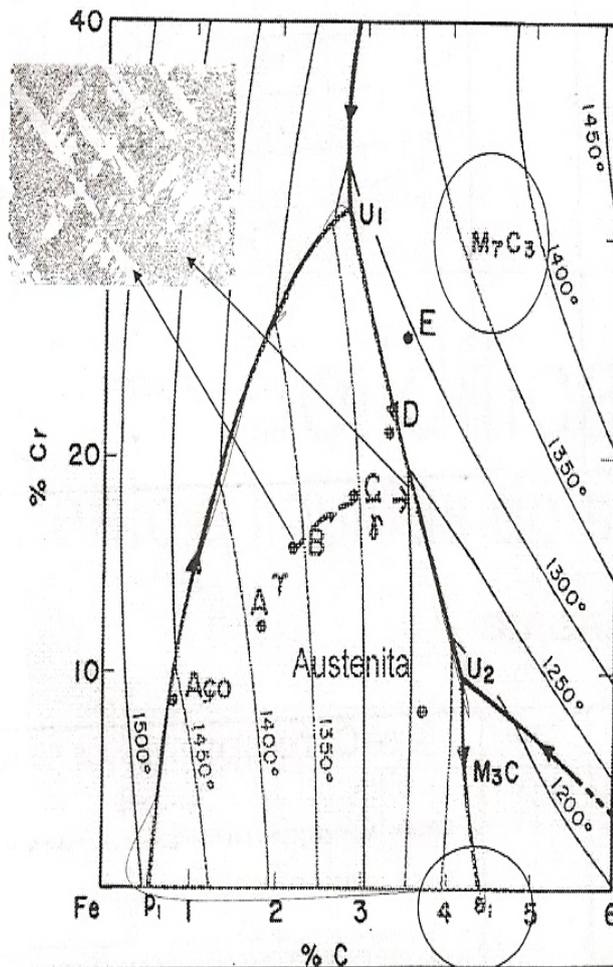
Se plantea el estudio de los hierros blancos de alto cromo , en el que se incluye las características principales de este tipo de aleaciones y se presenta en la parte experimental el material ASTM A 532 II B , que tiene una alta resistencia a la abrasión y es aplicado en la industria minera como protectores de tolva de alimentación para molienda; con muy buenos resultados .



**Fig. 1** Diagrama Hierro Cromo Carbón ( 3 )

## SOLIDIFICACION

- Superficie liquidus sistema Fe-Cr-C



Las aleaciones A, B y C son Hipoeutécticas. Su solidificación comienza con la precipitación de dendritas de austenita a partir del líquido.

La aleación B con 16%Cr y 2.2% C, comienza a solidificar a 1340°C. A medida que crece la fracción de austenita solidificada, el líquido restante se enriquece en % Cr y %C.

Su composición cambia en la dirección de la línea eutéctica "U1- U2". A lo largo de esa línea, entre 1230 y 1240 ocurre la reacción eutéctica:

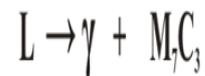


Fig. 2 Superficie líquidos del Diagrama Fe Cr C ( 3 )

## **1.1 Metalurgia de los hierros blanco de alto cromo**

En los hierros blancos de alto cromo, como en la mayoría de materiales resistentes a la abrasión, no hay un balance entre la tenacidad y resistencia al desgaste. Al variar la composición química y el tratamiento térmico, estas propiedades se pueden ajustar para satisfacer las necesidades de la mayoría de las aplicaciones abrasivas.

Como una clase de hierro aleado, los hierros de alto cromo se distinguen por la dureza, los carburos eutécticos  $M_7C_3$  relativamente discontinuos presentes en la microestructura, en contraposición con los carburos eutécticos  $M_3C$  (blandos) más continuos presentes en los hierros aleados con menores contenidos de cromo. Estas aleaciones suelen ser producidas como composiciones hipoeutécticas. (2)

### **1.1.1 Clases de Hierro de alto cromo**

La Especificación ASTM A 532 se refiere a las composiciones y durezas de dos clases generales de hierros de alto cromo (ver Tabla 1). Los Hierros de cromo-molibdeno (clase II de ASTM A 532) contienen 11 a 23% de Cr y hasta el 3,5% Mo, y puede ser suministrado ya sea sin tratamiento térmico con una matriz austenítica o austenítica-martensítica, o sometidos a tratamiento térmico con una microestructura de matriz martensítica para la

máxima resistencia a la abrasión y tenacidad . Por lo general, se considera el más duro de todos los grados de hierros blancos.

Comparado con los hierros blancos Cromo - Níquel de baja aleación, los carburos eutécticos son duros y pueden ser tratados térmicamente para conseguir la mayor dureza en la pieza. El Molibdeno, así como el níquel y el cobre, cuando sea necesario, se añade para prevenir la perlita y garantizar la máxima dureza.

Los hierros blancos de alto cromo (de clase III ASTM A 532) representan el mayor alto grado de cromo-hierro, esta fueron las primeras patentes que datan de 1917. Estos hierros de uso general, también llamado hierro de 25% ó 28% de Cr , contienen de 23 a 28% Cr y 1,5% Mo máximo. Para evitar la presencia de perlita y lograr la máxima dureza, se debe agregar molibdeno y mantener el cobre mas níquel hasta el 1 %. A pesar de que la dureza máxima alcanzada no es tan elevada como en la clase II de Hierros blanco con cromo-molibdeno, estas aleaciones son seleccionados cuando la resistencia a la corrosión también es deseada. ( 2 )

## 1.2 microestructura de hierro blanco de alto cromo

**1.2.1 Matriz optima.-** En gran medida, la matriz metálica del hierro de alto cromo tiene características de acero para herramientas .

Puede ser duro para aumentar la tolerancia a los efectos de carga, o endurecido para reducir el desgaste, aunque por lo general a expensas de la resistencia. La estructura de la matriz puede ser perlita, austenita, martensita o alguna combinación de estas

Al igual que con los aceros, la máxima resistencia a la abrasión se consigue con una estructura de matriz totalmente martensítica. Los Hierros austeníticos de fundición , pese a ser relativamente blandos , pueden dar resultados satisfactorios en muchas aplicaciones de desgaste abrasivo debido al pronunciado trabajo de endurecimiento en servicio.

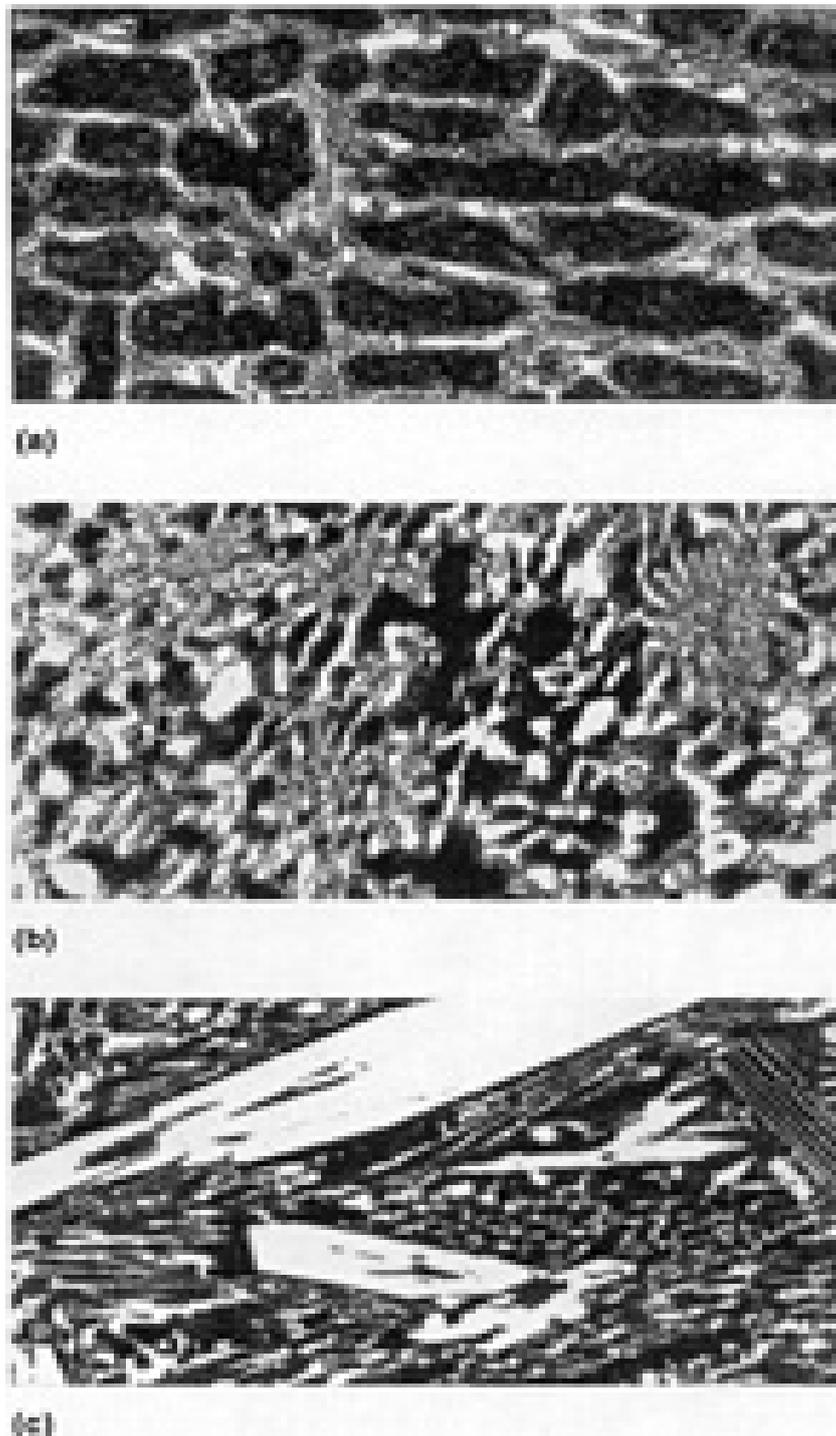
La resistencia a la propagación de grietas es mayor en hierros que tienen matriz totalmente austeníticos. Bajo condiciones de impacto repetido , sin embargo, hierros martensíticos, que se han templado para reducir al mínimo austenita retenida, tienen la máxima resistencia .Las estructuras de matriz perlítica tienen mediana resistencia a la abrasión y baja dureza , por lo tanto no son generalmente deseables.

La perlita siempre ocurre cuando el aleante es insuficiente para evitar su formación . La mayoría de cromo se transforma en carburos de cromo y, por tanto, se necesitan otros elementos aleantes para brindar una adecuada dureza.

La importancia de la matriz es evidente. si la matriz es blanda, la resistencia a la abrasión será menor y tendencia a que los carburos se desgarran o rompan .

**1.2.2 Carburos en hierros blancos de alto cromo .-** Los carburos en hierros blancos de alto cromo son muy duros y resistentes al desgaste abrasivo , pero también son frágiles. En general, se mejora la resistencia al desgaste abrasivo por el aumento de la cantidad de carburo (aumentando el contenido de carbono), mientras que la tenacidad es mejorada por el aumento de la proporción de matriz metálica ( reduciendo el contenido de carbón). La influencia del contenido de carbón en la distribución y forma de la fase carburo es ilustrado en la fotomicrografía de la figura 3.

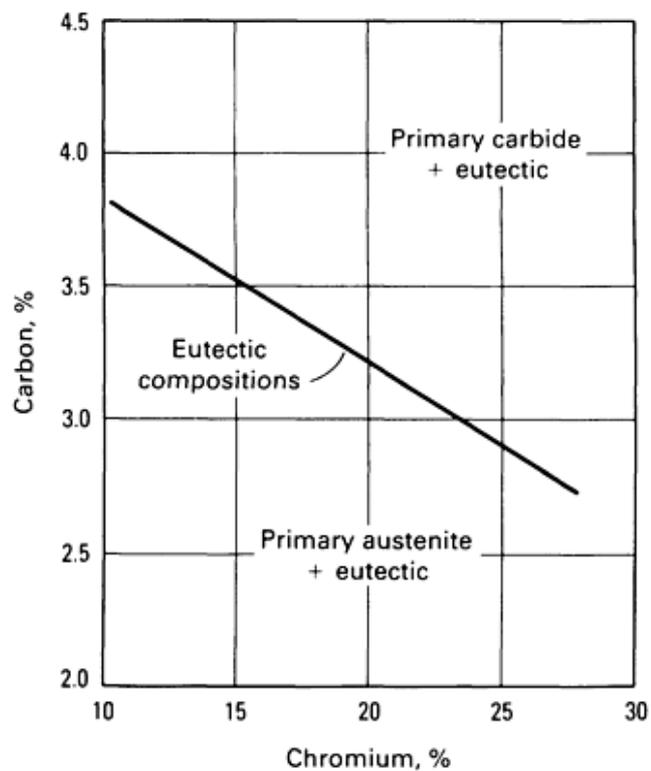
Los hierros blancos de alto cromo tienen carburos muy estables debido al elevado porcentaje de cromo que tiene la aleación.



**Fig. 3** Microestructura de composiciones de hierro blanco de alto cromo (2)

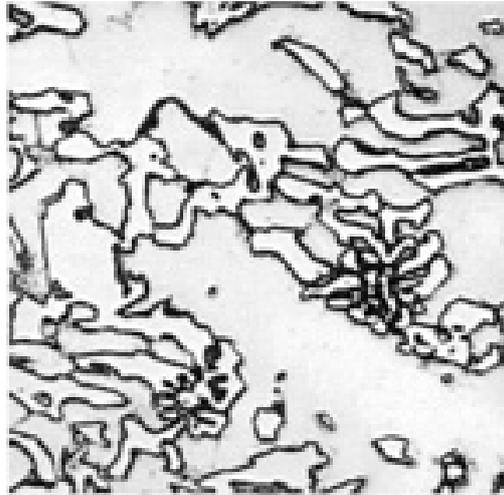
- (a) Bajo carbón (Hipoeutéctico). 75 X
- (b) Eutéctico. 75 X
- (c) Alto carbón (Hipereutéctico). 75 X

Grandes carburos hexagonales ocurren cuando el contenido de carbono excede al contenido de carbón del eutéctico (Fig. 3c). estos carburos de cromo primario, las cuales precipitan a partir de la fusión antes de la solidificación eutéctica, son muy peligrosos debido a que son frágiles y tienen la tendencia a fracturarse bajo el impacto de las partículas abrasivas, por ello debe ser evitado en piezas que sean objeto de cualquier impacto en servicio. El contenido de carbón eutéctico cambia inversamente con el contenido de cromo en estas aleaciones. La relación entre el contenido de cromo y el contenido de carbón eutéctico se muestra en la fig. 4



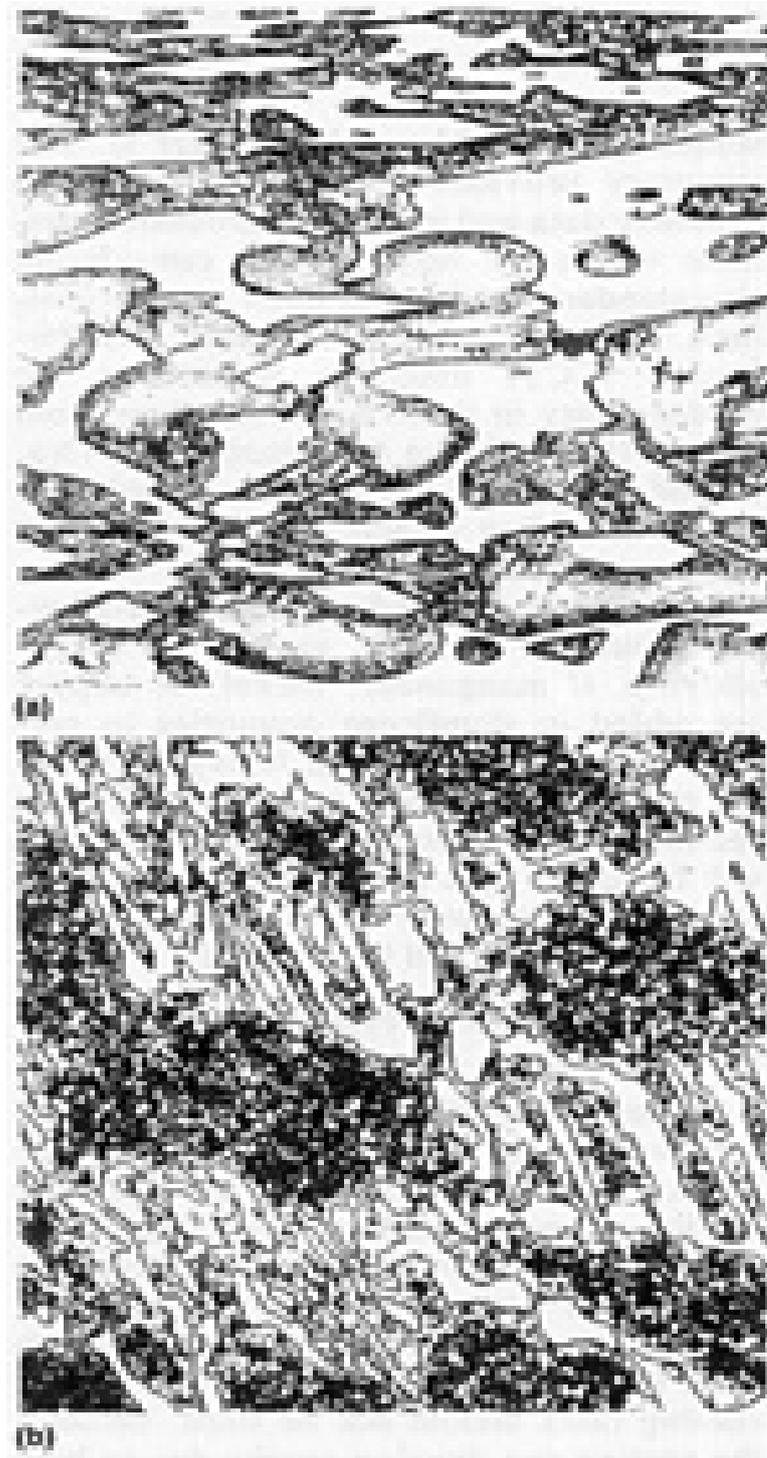
**Fig. 4** Relación entre el contenido de carbón y cromo y la composición eutéctica en hierros de alto cromo ( 2)

**1.2.3 Microestructura Austenítica sin tratamiento térmico .-** La solidificación en aleaciones hipoeutécticas ocurre por la formación de dendritas austeníticas seguido por la formación eutéctica de austenita y carburo de cromo ( $M_7 C_3$ ). Bajo condiciones de equilibrio precipita carburo de cromo adicional a partir de la matriz austenítica con un enfriamiento posterior desde el eutéctico hasta la temperatura crítica, que está cerca a  $760^\circ C$  ( $1400^\circ F$ ) y la transformación a ferrita y carburo ocurre con un enfriamiento posterior. Sin embargo, cuando el enfriamiento es bajo condiciones de no equilibrio tal como las encontradas en la mayoría de piezas fundidas, la austenita se vuelve supersaturada en carbón y cromo. Debido al elevado contenido de cromo y carbón, un hierro fundido austenítico metaestable se desarrolla normalmente, siempre que la transformación perlítica y bainítica hayan sido inhibidas (Fig. 5). Con suficiente aleante de molibdeno, manganeso, níquel y cobre, la transformación perlítica puede ser evitada prácticamente en cualquier sección de la pieza fundida.



**Fig. 5** Hierro de alto cromo con una microestructura de matriz austenítica de fundición . 500 X (2)

**1.2.4 Microestructura Martensítica sin tratamiento térmico.-** La estructura martensítica puede ser obtenida de fundición en piezas de secciones gruesas que enfrían lentamente en el molde . Con una velocidad de enfriamiento lento , la estabilización de la austenita es incompleta y ocurre la transformación parcial de martensita . pero en estas piezas fundidas , la martensita esta mezclada con gran cantidad de austenita retenida ( Fig. 6 ) , y , por lo tanto los niveles de dureza son inferiores a los que pueden ser logrados con un tratamiento térmico . Estas piezas deben contener suficiente aleante para suprimir perlita . El tratamiento térmico subcritico ha sido usado para reducir el contenido de austenita y al mismo tiempo incrementar la dureza .



**Fig. 6** Microestructuras de Hierro de alto cromo (2)  
(a) Microestructura de matriz austenítica martensítica de fundición 500x  
(b) Microestructura martensítica tratada térmicamente ambos a 500 X

**1.2.5 Microestructura martensítica tratada térmicamente.**-Para obtener la máxima dureza y resistencia a la abrasión , la estructura martensítica debe ser producida por un tratamiento térmico completo . La matriz martensítica con carburos secundarios es lo que normalmente se obtiene por tratamiento térmico.

**1.2.6 Selección de Composiciones para obtener estructuras deseadas.**- Muchas secciones complejas , tal como los componentes de bombas , son frecuentemente usados en la condición de austeníticos / martensíticos de fundición para evitar la posibilidad de grietas y distorsión cuando son sometidos a un tratamiento térmico . Para evitar perlita en el enfriamiento del molde, adiciones de aleantes son usualmente requeridos .Como el contenido de carbón aumenta, mas cromo es consumido, formando carburos adicionales , por lo tanto , mayor adición de aleantes son requeridos .

**Tabla 1** Guía de aleantes apropiados para evitar perlita en las diferentes clases de hierro blanco de alto cromo (4)

ASTM A 532 Clase	Cr %	C %	Espesor		
			25mm	50mm	100mm
IIB , C	14-18	2.0	1.0 Mo	1.5 Mo	1.5 Mo + 1.0 (Ni+Cu)
		3.5	2.0 Mo	2.5 Mo	2.5 Mo + 1.0 (Ni+Cu )
IID , E	18-23	2.0	0.5 Mo	1.0 Mo	1.0 Mo + 1.0 (Ni+Cu )
		3.0	1.5 Mo	2.0 Mo	2.0 Mo + 1.0 (Ni+Cu)
IIIA	23-28	2.0	---	0.5 Mo	1.0 Mo
		3.0	1.0 Mo	1.5 Mo	1.5 Mo +1.0 (Ni + Cu)

(a) En base Hierro contienen 0.6 % Si y 0.8 %Mn

El rendimiento óptimo suele lograrse con un tratamiento térmico de estructura martensítica. Una vez más, los aleantes deben ser lo suficiente para asegurar una estructura libre de perlita, con tratamiento térmico, requieren un temple al aire desde la temperatura de austenización. Velocidades de enfriamiento rápido no deben de ser usados. Las piezas de fundición pueden desarrollar fisuras debido a las tensiones de transformación. Así la aleación debe tener suficiente capacidad de endurecimiento para permitir un endurecimiento al aire. Sin embargo mayor cantidad de aleantes con manganeso, níquel y cobre promueve la austenita retenida, la cual disminuye la resistencia a la abrasión. Por lo tanto, es mejor obtener un endurecimiento adecuado principalmente con molibdeno.

**Tabla 2** Guía de aleantes para piezas fundidas de diferentes secciones tratadas térmicamente con temple al aire (4)

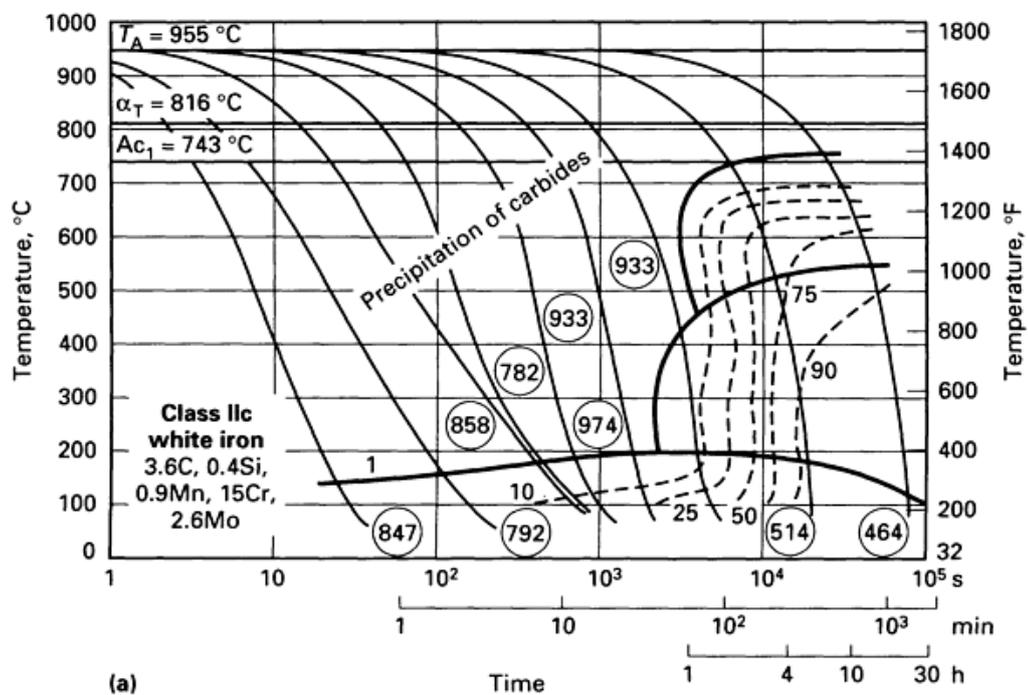
ASTM A 532 Clase	Cr %	C %	Espesor		
			50 mm	125 mm	150-255 mm
IIB , C	14-18	2.0	1.0 Mo	1.5 Mo+0.5 ( Ni +Cu)	1.5 Mo + 1.0 (Ni+Cu)
		3.5	3.0 Mo	2.0 Mo +1.0 ( Ni + Cu)	2.5 Mo + 1.2 (Ni+Cu )
IID , E	18-23	2.0	1.0 Mo	2.0 Mo	2.0 Mo + 0.5 (Ni+Cu )
		3.2	1.5 Mo	2.0 Mo +0.7 ( Ni + Cu)	2.0 Mo + 1.2 (Ni+Cu)
IIIA	23-28	2.0	0.5 Mo	1.5 Mo	1.5 Mo +0.5(Ni + Cu)
		3.0	1.0 Mo	1.5 Mo	1.5 Mo +1.0 (Ni + Cu)

(a) En base Hierro contienen 0.6 % Si y 0.8 %Mn

(b) El níquel y el cobre promueven austenita retenida y debe ser restringido a niveles de 1.2 % máximo; el manganeso se comporta de manera similar y debería ser restringido a 1.0% como máximo.

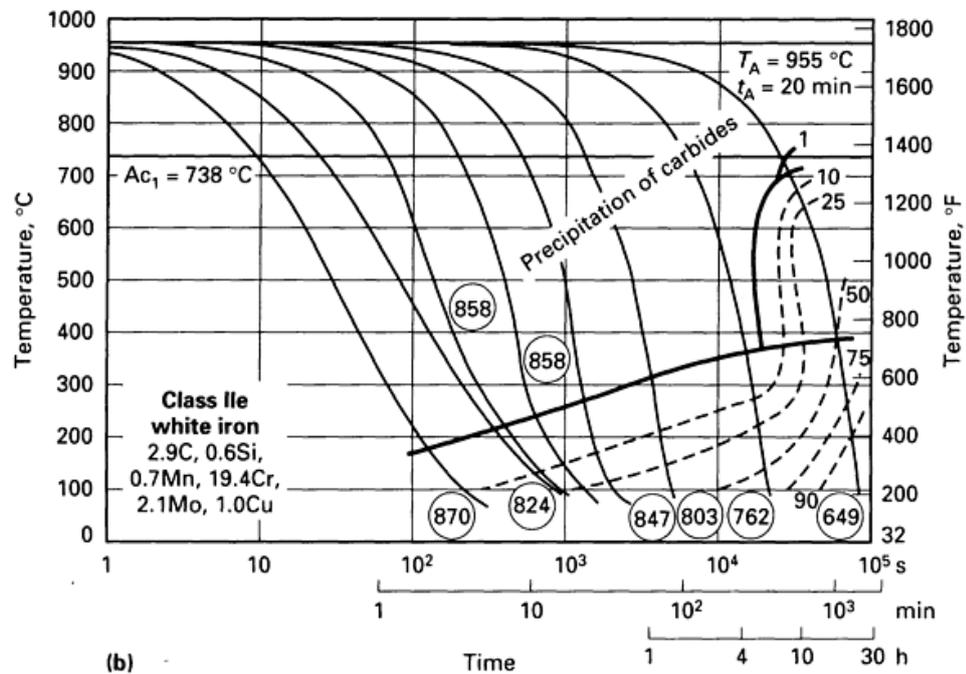
Estas recomendaciones para la aleación específica grado ASTM esta basado en estudios de transformación por enfriamiento continuo de hierros blancos de alto cromo. El resumen proporciona referencias

específicas a los datos disponibles. Típicos diagramas ilustrativos de transformación por enfriamiento continuo (CCT), la templabilidad en tres aleaciones comunes de las clases II y III se presentan en la fig. 7 (a, b, y c).

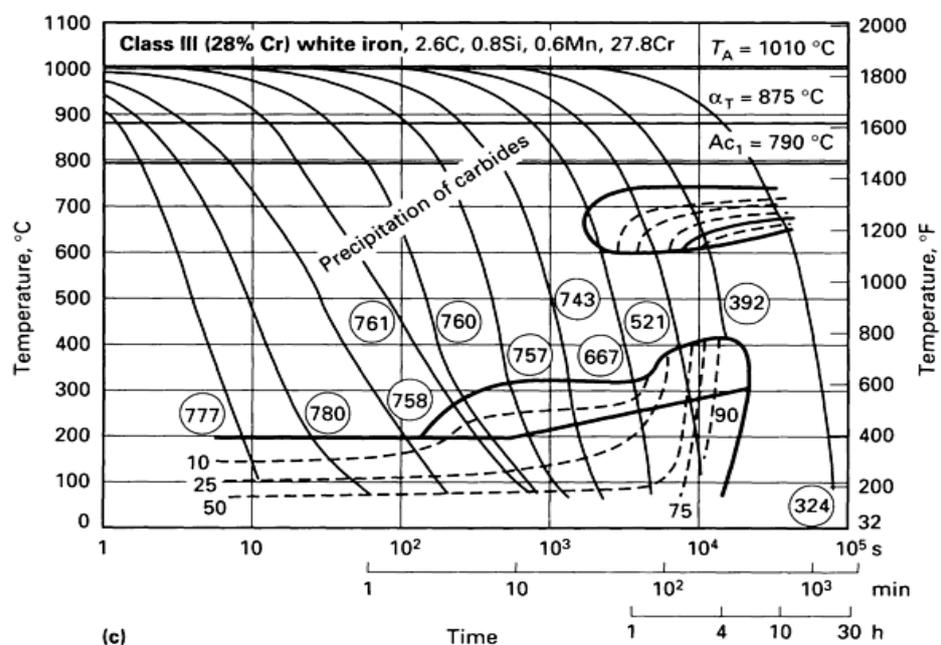


**Fig.7** Diagrama de transformación por enfriamiento continuo. (2)

**(a)** Clase II C Hierro blanco que contiene el 3,6% C-0,4% Si -0, 9% Mn-15% Cr-2.6% Mo



**Fig. 7** Diagrama de transformación por enfriamiento continuo (2)  
**(b)** Clase II E Hierro blanco que contiene el 2,9% C- 0,6% Si -0,7% Mn -19,4%Cr- 2,1% Mo-1,0% Cu.



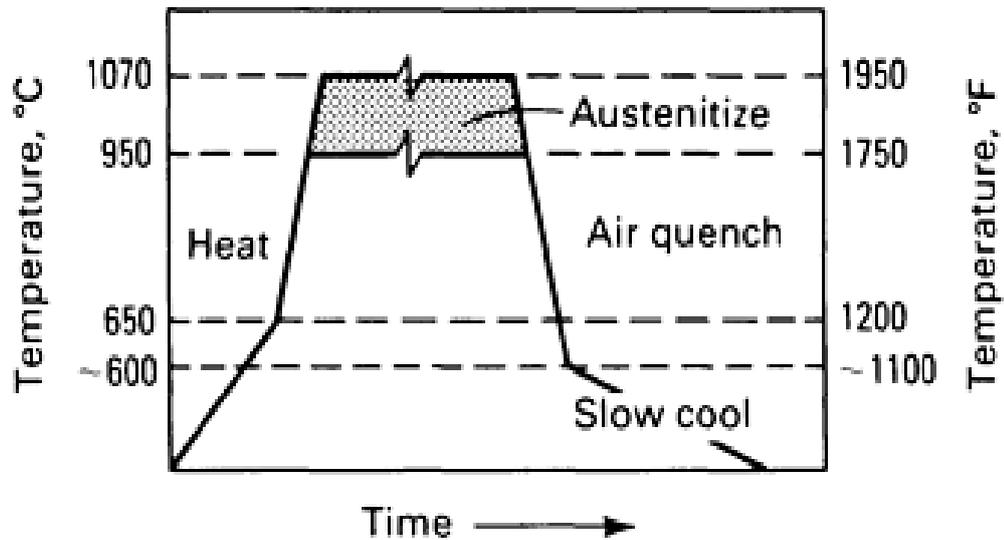
**Fig. 7** Diagrama de transformación por enfriamiento continuo. (2)  
**(c)** Categoría III (28% Cr) Hierro blanco que contiene 2,6% C 0,8% Si 0,6% Mn 27.8%Cr

Cabe señalar que el exceso de aleantes se debe evitar.. Si el manganeso, el níquel y el cobre se añaden en cantidades significativas para evitar la formación de perlita en secciones gruesas, demasiado austenita será retenida en secciones delgadas. Como resultado de ello, enfriado al aire la dureza será inferior al deseado, teniendo en cuenta las secciones delgadas , por lo tanto la resistencia al desgaste abrasivo será menor.

### **1.3 Tratamiento térmico en hierros blancos de alto cromo**

La tenacidad y la resistencia a la abrasión son mejoradas por tratamiento térmico con la finalidad de obtener una estructura martensítica.

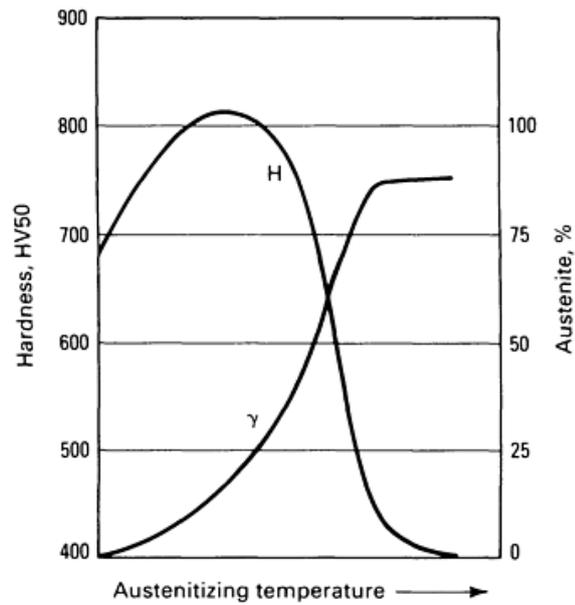
La figura 8 la cual ilustra el proceso de tratamiento térmico, muestra la importancia del calentamiento lento a 650 °C ( 1200°F) para evitar fisuras . Para formas complejas, una velocidad máxima de 30°C/h (50°F/h) es recomendado. Piezas fundidas de formas simples y completamente perlíticas pueden ser calentados más rápidos. La velocidad de calentamiento puede ser acelerada por encima del rojo vivo.



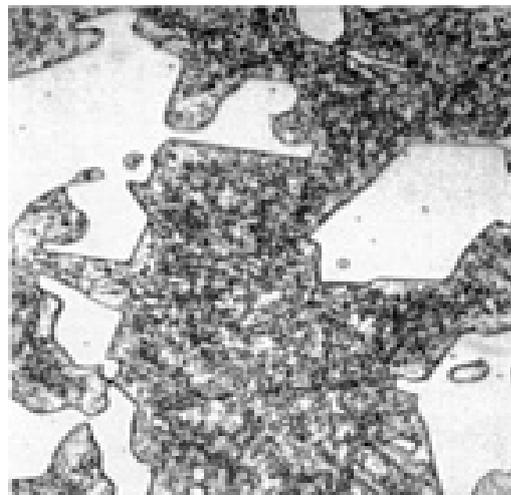
**Fig.8** Registro de tratamiento térmico para endurecer el hierro blanco de alto cromo (2)

**1.3.1 Austenitización.-** Hay una temperatura óptima de austenitización para lograr la máxima dureza Fig. 9 que varía para cada composición. La temperatura de austenitización determina la cantidad de carbono que permanece en solución en la matriz austenítica. Una temperatura demasiado elevada, aumenta la estabilidad de la austenita, mientras que el mayor contenido de austenita retenida reduce la dureza. Las bajas temperaturas resulta en martensita de bajo carbono, disminuyendo ambos la dureza y resistencia a la abrasión. Debido a esta sensibilidad a la temperatura, los hornos que pueden producir uniformes y adecuada temperatura son los más adecuados. El éxito de un tratamiento térmico produce

desestabilización de austenita por la precipitación de finos carburos secundarios  $M_7C_3$  dentro de la matriz austenítica (Fig. 9).



**Fig.9** Influencia de la temperatura de austenitización en la dureza (H) y la austenita retenida en hierro de alto cromo (Y) (2)



**Fig.10** Microestructura de hierro de alto cromo martensita tratada térmicamente, mostrando carburos secundarios finos ( $M_7C_3$ ) (2)

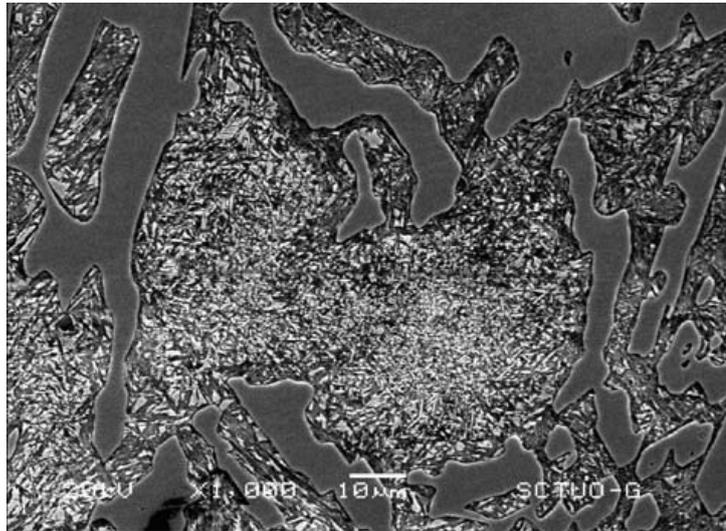
Clase II Hierros que contienen de 14 a 18% de Cr son austenizados en el rango de temperatura de 955 a 1010 ° C (1750 a 1850 ° F).

Clase III Hierros que contienen 23 a 28% de Cr son austenizados en el rango de temperatura de 1010 a 1095 ° C (1850 a 2000 ° F).

Generalmente secciones gruesas requieren temperaturas en el extremo superior del rango. Las piezas deberían mantenerse a esa temperatura, el tiempo suficiente para lograr el equilibrio, disolución de los carburos de cromo para garantizar la adecuada respuesta de endurecimiento. Un mínimo de 4 horas a la temperatura necesaria. Para secciones gruesas, la regla es 1 hora por pulgada de espesor de la sección, es usualmente adecuado. Para las piezas que son totalmente perlíticas antes de tratamiento térmico, el tiempo de retención a la temperatura puede ser disminuido

**1.3.2 Temple .-** Enfriamiento al aire (aire forzado), las piezas desde la temperatura de austenización por debajo del rango de temperatura de la perlita, es decir, entre 550 y 600 ° C (1020 y 1110 ° F), es altamente recomendable. La velocidad de enfriamiento posterior debe ser sustancialmente reducido para minimizar las tensiones, aún al aire o con enfriamiento en el horno, hasta temperatura ambiente es común. Piezas de secciones complejas y gruesas son a menudo vueltos a colocar en el horno, la cual esta de 550 a 600 ° C (1020 a 1110 ° F), y disponer de tiempo suficiente para alcanzar una temperatura uniforme en la pieza. Después que la temperatura es

igualado, las piezas en cualquiera de los dos formas enfriado al aire o en el horno hasta la temperatura ambiente.



**Figura 11. Hierro blanco de alto cromo** con Tratamiento de temple a 1000 °C. (5)

**1.3.3 Revenido** .- Las Piezas se pueden poner en servicio en la condición de endurecido (con enfriamiento) sin tratamiento subcrítico o revenido, sin embargo, el revenido en el rango de 205 a 230 ° C (400 a 450 ° F) durante 2 a 4 h, algunas veces se recomienda para restaurar la dureza en la matriz martensítica y para aliviar las tensiones residuales. La microestructura después del temple siempre contiene austenita retenida en el rango de 10 a 30%. Algo de austenita retenida se transforma siguiendo un revenido a temperaturas bajas, temperatura alta de revenido puede ser usada para reducir aún más el contenido austenita retenida.

**1.3.4 Tratamiento térmico subcrítico** .- Tratamiento térmico subcrítico (Revenido) es realizado a veces, sobre todo en grandes piezas martensíticas tratadas térmicamente , a fin de reducir el contenido de austenita retenida y aumentar la dureza. Los parámetros de revenido necesarios para eliminar la austenita retenida son muy sensibles a la temperatura y el tiempo , dependerá de la composición de colada y la historia térmica previa. Rango típico de temperatura de revenido desde 480 a 540 ° C (900 a 1000 ° F), y rangos de tiempo desde 8 a 12 h. El exceso de temperatura y tiempo resulta en una drástica reducción de resistencia a la abrasión.

El revenido insuficiente resulta en una eliminación incompleta de austenita retenida. La cantidad de austenita retenida no puede ser determinada metalográficamente; aquellos experimentados con estas prácticas de tratamiento térmico, han desarrollado técnicas utilizando instrumentos especializados magnéticos para determinar el nivel de austenita retenida después del revenido.

**1.3.5 Recocido**.- Las Piezas puede ser recocidos para hacerlos más maquinables, ya sea por recocido subcrítico o por un recocido total.

**1.3.6 El recocido subcrítico.-** se logra por medio de la perlitización en el estrecho rango de 695 a 705 ° C (1280 y 1300 ° F) durante 4 a 12 h, que produce durezas que van desde los 400 a 450 HB. Durezas inferiores a menudo puede lograrse con un recocido total , las piezas que se calientan en el rango de 955 a 1010 ° C (1750 a 1850 ° F), seguido por enfriamiento lento hasta 760 ° C (1400 ° F), y manteniendo esta temperatura durante 10 a 50 h, dependiendo de la composición química. El recocido no afecta a los carburos primarios ni a su potencial para su posterior endurecimiento; las condiciones para el endurecimiento de las piezas fundidas también se aplican a las piezas recocidas.

#### **1.4 Dureza de los hierros blancos de alto cromo**

Los rangos de dureza que se puede esperar en los hierros de alto cromo con diferentes microestructuras se muestran en la tabla 3. El valor de la dureza de los microconstituyentes en hierros resistentes a la abrasión, se muestra en la tabla 4. Es evidente que la martensita y los carburos son necesarios para la resistencia a la abrasión.

**Tabla 3** Rango de durezas típicas para piezas fundidas (2)

<b>Estructura de la matriz</b>	<b>Dureza HB</b>
Perlita	320-500
Austenita	420-500
Martensita ( sin tratamiento térmico)	550-650
Martensita ( Tratada térmicamente )	650-850

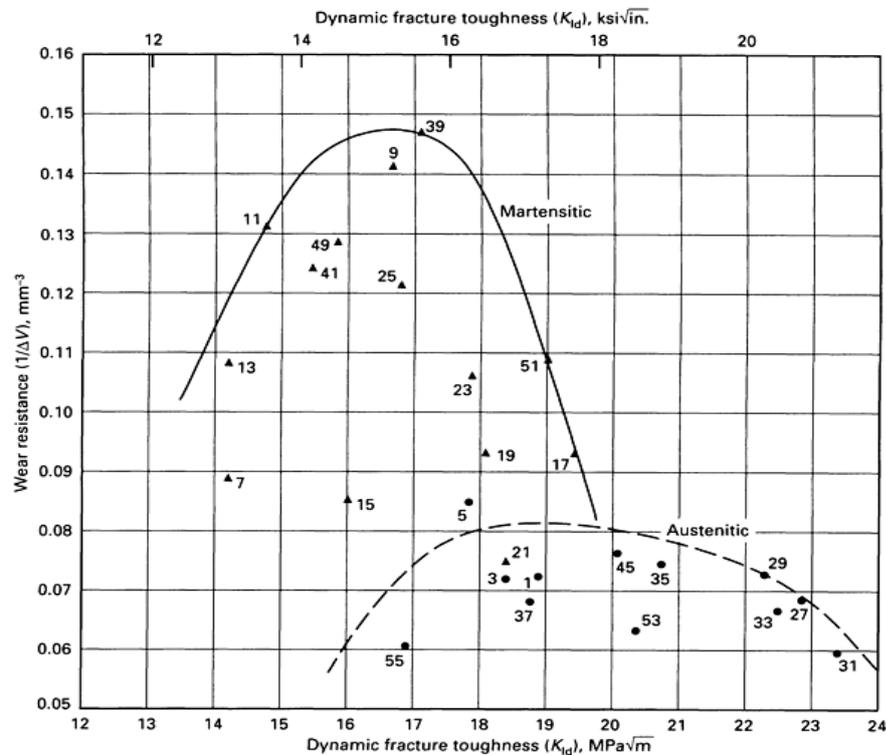
**Tabla 4** Dureza de microconstituyentes ( Fases o Carburos ) (2)

Microconstituyentes	Dureza HV
Ferrita	70-200
Perlita no aleada	250-320
Perlita aleada	300-460
Austenita 12%Mn	170-230
Austenita baja aleación	250-350
Austenita , Hierro alto cromo	300-600
Martensita	500-1010
Cementita ( $Fe_3C$ )	840-1100
Carburo de cromo ( $Fe_2Cr_7C_3$ )	1200-1600
Carburo de molybdeno ( $Mo_2C$ )	1500
Carburo de tungsteno ( WC )	2400
Carburo de vanadio ( VC )	2800
Carburo de titanio ( TiC )	3200
Carburo de boro ( $B_4C$ )	3700

Según la tabla 4 hay muchos carburos que son más duros que el carburo de cromo, pero los aleantes son muy caros y esto limita su aplicación.

### **1.5 Optimización de la resistencia a la abrasión y tenacidad de fractura.**

Resistencia a la abrasión y tenacidad de fractura fueron determinados por una serie de hierros blancos de alto cromo con variaciones de la microestructura y contenido de carburos. Los resultados fueron correlacionados para uno de esos hierros en la fig. 12 se muestra el efecto de la estructura y el tratamiento térmico. Estructuras de matriz austeníticas puede proporcionar mayor tenacidad de fractura, y estructuras de matriz martensítica podrían proporcionar una mejor resistencia a la abrasión. Pero la selección cuidadosa de los tratamientos térmicos (por ejemplo datos de los puntos 17 y 51) siempre proporciona una buena resistencia a la abrasión y razonable tenacidad de fractura. Estos tratamientos térmicos involucrando enfriamiento al aire desde altas temperaturas, seguido por un revenido a 200 ° C (390 ° F).



**Fig. 12** Resistencia al desgaste abrasivo versus Tenacidad de fractura para 2.9% C -19%Cr-2.4%Mo-0.9%Cu; Hierro blanco de alto cromo sujeto a varios tratamientos térmicos: Resistencia al desgaste expresado como el recíproco de la pérdida de volumen ( $\Delta V$ ) (2)

## 1.6 Aplicaciones

Estos hierros de alto cromo se utilizan mucho en las industrias minera, siderúrgica y cementera, en aquellas situaciones en las que el producto debe soportar acciones de desgaste abrasivo, como ocurre en las instalaciones de trituración, molienda, clasificación granulométrica o sistemas de bombeo de lodos abrasivos. Podemos mencionar los siguientes tipos de piezas que son fabricados en hierros blancos de alto cromo: carcazas de bomba, impulsores, platos, codos, forro molino de barras, forro molino vertical, protectores de tolvas de alimentación para molienda.

## CAPITULO II

### PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

#### 2.1 Material de estudio

Como material de estudio se selecciono para este informe la aleación ASTM A532 clase II B , para ello se tomaron muestras extraídas de piezas de colada , a los cuales se les realizo lo siguiente :

Análisis químico, Tratamiento térmico , preparación de muestra, análisis metalográfico y ensayo de dureza .

#### 2.2 Análisis químico

Las muestras de hierro blanco de alto cromo tienen la siguiente composición química

**Tabla 5** Composición Química de hierros blancos de alto cromo (ASTM A532 IIB)

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Ni	%Mo	%Cu
2.0	2.5	2.0	0.10	0.06	14.0	2.5	3.0	1.2
3.3	Max	Max.	Max.	Max.	18.0	Max.	Max.	Max.

\* Mayor información de la composición química de las muestras, es propiedad del autor.

## 2.3 Tratamiento térmico

El tratamiento térmico se realizó en el horno de planta, de la siguiente forma :

2.3.1 Temple : 1000 °C con un tiempo de permanencia de 5 horas, enfriado al aire forzado hasta 500° C y luego al ambiente

2.3.2 Revenido : 500 °C con un tiempo de permanencia de 5 horas y enfriado al aire .

## 2.4 Preparación de muestras

2.4.1 Equipo :

- Cortador de muestras
- Pulidor de muestras
- Microscopio Metalográfico invertido  
Marca : Olympus  
Aumentos : 50X - 1000X
- Durómetro de impacto Pin Brinell ( Portátil )  
Modelo : CPIT Rango : 100-700 HB

2.4.2 Materiales :

- Lijas de agua N° : 180 ,240, 320, 400, 600, 800 ,100.
- Paños de pulido .
- Alúmina
- Alcohol
- Reactivo de ataque: Picral , Nital 5%

### 2.4.3 Procedimiento

2.4.3.1 El corte de la Probeta metalográfica se hará en el cortador de probetas.

2.4.3.2 El desbaste de la muestra

- El desbaste de la muestra se inicia a con lijas de agua # 100 y se continua con 180, 240, 320, 400, 600, 800 y 1000 en forma consecutiva.
- En la pulidora, apoyar la superficie a desbastar contra la lija girando la probeta 90° tantas veces como sea necesario ,hasta que se obtenga las rayas transversales en toda la área ,durante toda esta operación de desbaste se debe lubricar con agua y en cada cambio de # de lija la probeta siempre debe ser lavada con abundante agua de manera que las partículas mas gruesas sean eliminadas y no ocasionen rayas de mayor tamaño a la lija siguiente.

2.4.3.3 Pulido de muestras

- Agregar alúmina o pasta de diamante sobre el paño hasta cubrir su superficie.

- Adicionar alcohol sobre el paño y prender la pulidora de muestras
- Al iniciar el pulido comprimir la muestra con una presión moderada; mover continuamente del centro a la periferia del disco ; pulir hasta obtener una superficie sin ralladuras, semejante a un espejo.
- Observar al microscopio la probeta antes de atacarla a 100X, 200X y 800X antes del ataque químico
- Atacar con reactivos químicos a la probeta , según la estructura metalográfica que se desee determinar

#### 2.4.3.4 Ataque por inmersión

- La probeta es sumergida con la superficie pulida hacia abajo dentro de la luna de reloj que contiene al reactivo elegido, sujetándolo con una pinza.
- Cuando se aprecia que la superficie pulida y en contacto con el reactivo va tomando una coloración gris oscura o amarillenta se detiene el ataque.
- Rápidamente se enjuaga con alcohol , se sacude la probeta y se seca con el aire caliente del secador
- La probeta atacada se cubre con papel secador teniendo cuidado de no rallarlo y se lleva al microscopio metalográfico para realizar el análisis metalográfico.

#### 2.4.3.5 Preparación y ensayo de dureza

- Cortar las muestras de colada con disco de corte, en el cortador de muestras
- Esmerilar las muestras con piedra de grano fino, en no menos de 1mm. de profundidad en la zona a medir la dureza, manteniendo la planitud
- Verificar durómetro con patrones standards certificados.
- Seleccionar el indentador carburado que es utilizado para rangos de dureza entre 300-700 HB
- Colocar el indentador así como el pin dentro del dispositivo, seguidamente colocar al ras de la superficie preparada de la muestra.
- Aplicar un golpe con martillo ( 2-3lb) en la parte superior del dispositivo y verificar la rotura del pin.
- Medir la huella en la superficie usando el microscopio Brinell.
- Anotar el promedio de las lecturas tomadas en el eje X y en el eje Y de la huella.

### **CAPITULO III**

### **RESULTADOS**

En este capítulo se presentara los resultados de análisis metalográfico y ensayo de dureza ; de las muestras extraídas de piezas de colada con tratamiento térmico de temple y revenido

Para la determinación cuantitativa de % Carburos ( CVF ) se usó la formula desarrollada por Maratray y Usseglio – Nanot .

$$\text{CVF \%} = 12.33 \times \%C + 0.55 \times \%Cr - 15.2$$

Nota:: CVF ( Fracción en volumen de carburos )

### 3.1 Análisis metalográfico

#### 3.1.1



#### Muestra Nº 1 (a)

Microestructura : Matriz martensítica con carburos primarios y secundarios

% Carburos (CVF) : 29.4 %

% austenita retenida : Aproximadamente 6%

% Martensita : Aproximadamente 64.4 %

Reactivo : Picral

Aumento : 100X

**Muestra 1 (b)**

Microestructura : Matriz martensítica con carburos primarios y secundarios

% Carburos ( CVF) : 29.4%

% austenita retenida : Aproximadamente 6%

% Martensita : Aproximadamente 64.4 %

Reactivo : Picral

Aumento : 800 X

## 3.1.2

**Muestra N° 2 (a)**

Microestructura : Matriz martensítica con carburos primarios y secundarios .

% Carburos ( CVF) : 31.9%

% austenita retenida : Aproximadamente 6%

% Martensita : Aproximadamente 62.1 %

Reactivo : Nital 5%

Aumento : 100X



### Muestra Nº 2 (b)

Microestructura : Matriz martensítica con carburos primarios y secundarios

% Carburos ( CVF) : 31.9%

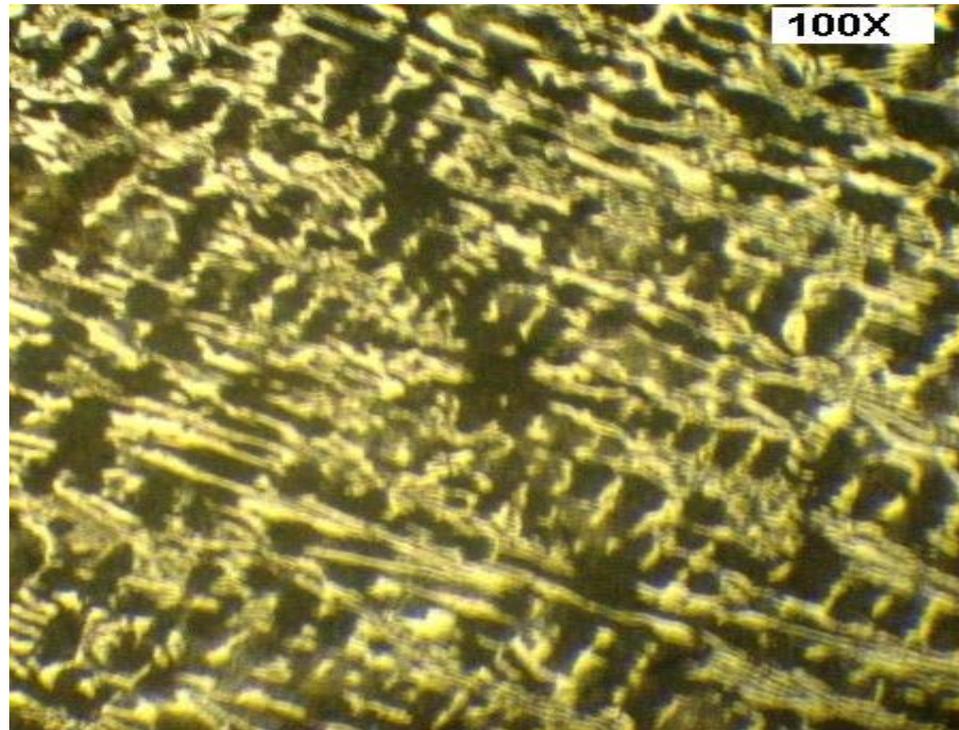
% austenita retenida : Aproximadamente 6%

% Martensita : Aproximadamente 62.1 %

Reactivo : Nital 5%

Aumento : 800X

## 3.1.3

**Muestra N° 3 (a)**

Microestructura : Matriz martensítica con carburos  
Primarios y secundarios diseminados

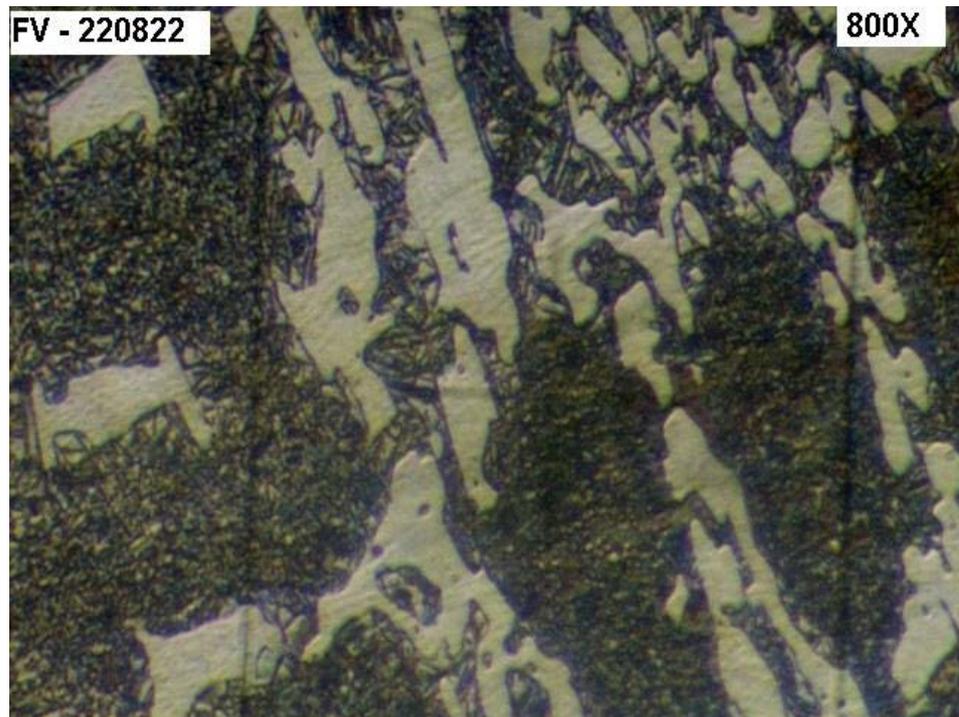
% Carburos ( CVF) : 28.5%

% austenita retenida : Aproximadamente 6%

% Martensita : Aproximadamente 65.5 %

Reactivo : Picral

Aumento : 100X

**Muestra Nº 3 (a)**

Microestructura : Matriz martensítica con carburos primarios y secundarios diseminados

% Carburos ( CVF) : 28.5%

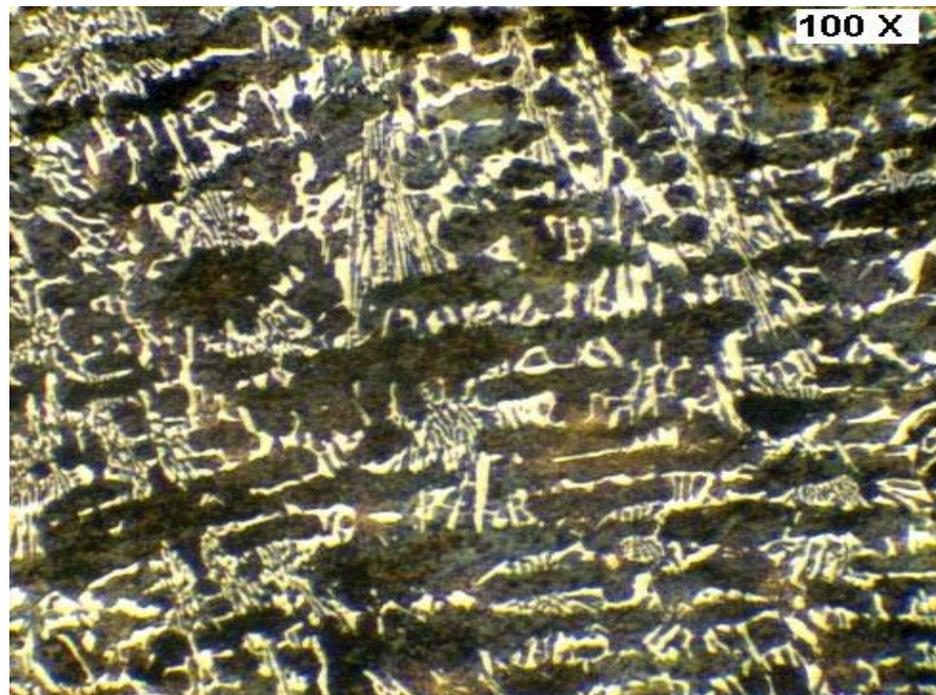
% austenita retenida : Aproximadamente 6%

% Martensita : Aproximadamente 65.5 %

Reactivo : Picral

Aumento : 800X

3.1.4

**Muestra N° 4 (a)**

Microestructura : Matriz martensítica con carburos primarios y secundarios

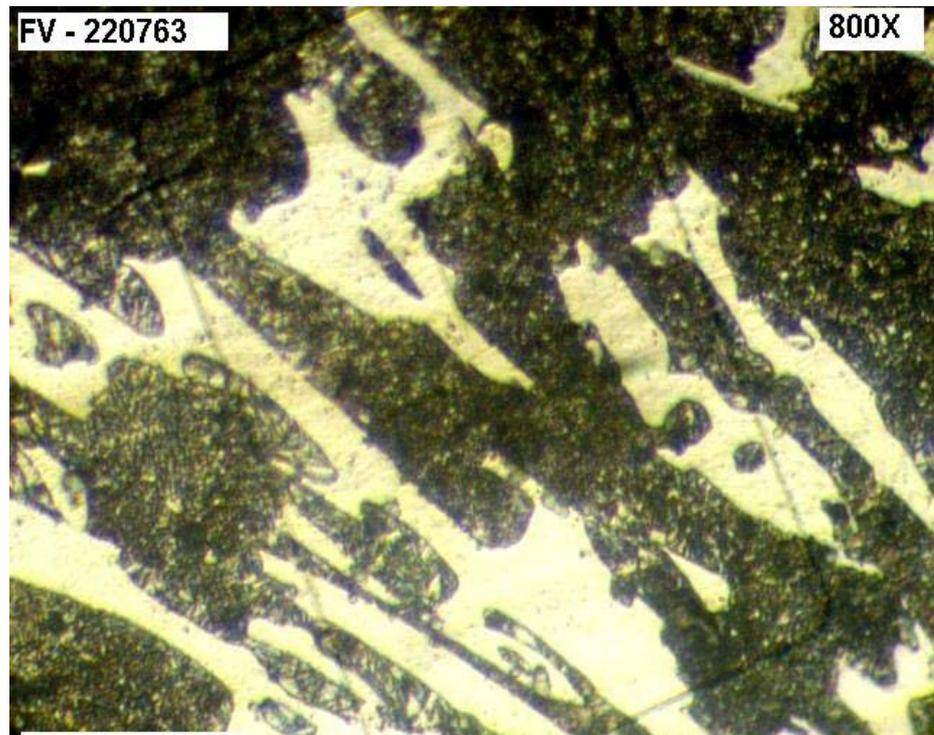
% Carburos ( CVF) : 26.5%

% austenita retenida : Aproximadamente 6%

% Martensita : Aproximadamente 67.5 %

Reactivo : Nital 5%

Aumento : 100X

**Muestra Nº 4 (b)**

Microestructura	: Matriz martensítica con carburos primarios y secundarios
% Carburos ( CVF)	: 26.5%
% Austenita retenida	: Aproximadamente 6%
% Martensita	: Aproximadamente 67.5 %
Reactivo	: Nital 5%
Aumento	: 800X

## 3.2 Ensayo de dureza

### 3.2.1



**Muestra Nº 1** ( Perfil de dureza )

Dureza 673 HB

### 3.2.2 Muestra Nº 2

Dureza : 673 HB

### 3.2.3 Muestra Nº 3

Dureza : 673 HB

## 3.2.4



**Muestra N° 4** ( Perfil de dureza )

Dureza 673 HB

### 3.3 Discusión de resultados y recomendaciones

3.3.1 Según los resultados obtenidos tanto en los análisis metalográficos como en las durezas fueron óptimos. A pesar que a veces puede existir confusión entre la perlita y la martensita la dureza nos ayuda a verificar que el tratamiento fue el adecuado y nos asegura que la microestructura tiene una matriz martensítica.

3.3.2 De las cuatro muestras extraídas de las piezas de colada , a dos de ellas se les realizo un perfil de dureza con la finalidad de verificar que las durezas obtenidas en la superficie se mantengan en todo el espesor de la pieza.

3.3.3 Incrementando el contenido de carbón se incrementa el contenido de carburos en la estructura, estos carburos tienen alta dureza y alta resistencia a la abrasión. Por lo tanto incrementado el contenido del carbón se incrementara la resistencia a la abrasión. Sin embargo, si el contenido de carbón eutéctico es muy alto, se formaran carburos primarios muy gruesos. Estos son frágiles y tienen la tendencia a fracturarse bajo el impacto de las partículas abrasivas, incrementando la perdida de peso por abrasión. Si la matriz es blanda la resistencia a la abrasión será menor , como consecuencia los carburos se desgarran y se romperán.

## CONCLUSIONES

1. Se ha estudiado metalográficamente y se han medido las durezas de la aleación ASTM A 532 II B, templado y revenido.
2. La microestructura está constituida principalmente de austenita retenida (...%), martensita (....%) y carburos (...%).
3. Con este trabajo monográfico se confirma que la alta resistencia a la abrasión está asociada a la presencia de carburos primarios y secundarios de cromo.
4. En general se puede concluir que los hierros blancos de alto cromo son los que mejor trabajan en condiciones de alta abrasión.
5. La elevada dureza de los carburos  $M_7C_3$  es lo que aumenta la resistencia a la abrasión en un hierro blanco de alto cromo.
6. Durante el desarrollo de la parte experimental se realizaron controles de calidad (inspección visual, Líquidos penetrantes y ultrasonido) en cada etapa del proceso.

## BIBLIOGRAFIA

1. Properties and selection :irons, steels and high performance alloys , Volumen 1 ASM Handbooks - 1990 .
2. Castings , Volumen 15 ASM Handbooks - 1990
3. Abrasion .resistant cast Iron Handbook , Edited By Karen E. Frink AFS - 2000.
4. Heat Treating , Volumen 4 ASM Handbooks - 1995.
5. Fernandez -Pariante , I. ; Belzunce –Valera , J. 2006. “Influencia de diversos tratamientos térmicos en la microestructura de una fundición blanca contenido en cromo”. Revista de Metalurgia. p 279-286

## ANEXOS



Fig.13 Liner

Protectores de tolvas de alimentación para molienda , que resisten alta abrasión



Fig. 14 Forro de molino vertical



Fig. 15 Plato de bomba



Fig.16 Impulsores

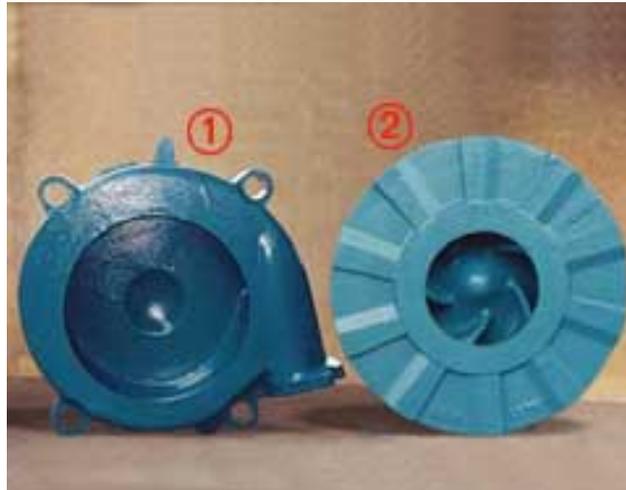


Fig17 1 Carcaza de bomba

2 Impulsor de bomba ash

Las Figuras 15,16 y 17 son repuestos para bombas que utiliza la industria minera para transporte de pulpa de mineral de molienda.