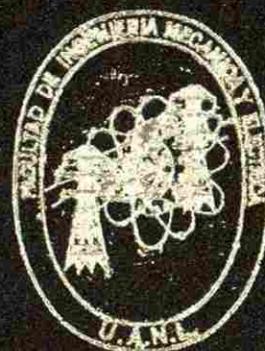


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



ANALISIS METALOGRAFICO Y MECANICO  
DE HIERROS GRISES

TESIS

EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS  
DE LA INGENIERIA MECANICA CON ESPECIALIDAD  
EN MATERIALES

QUE PRESENTA

HERIBERTO GUZMAN HERNANDEZ

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L.  
NOVIEMBRE DE 1996

TM

Z5853

.M2

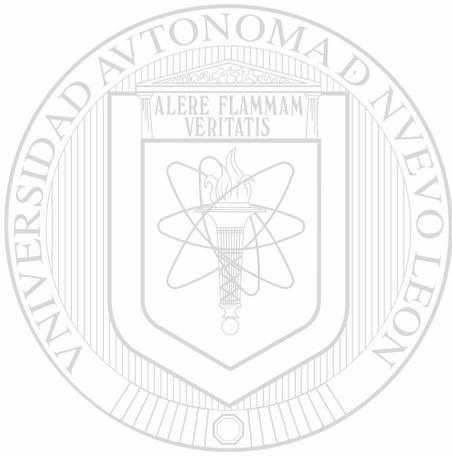
FINE

1996

G8



1020118270



# UANL

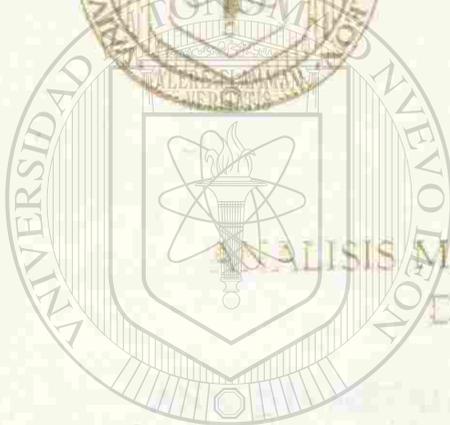
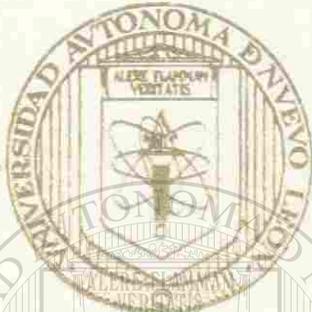
---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



ANÁLISIS METALOGRAFICO Y MECANICO  
DE HIERROS GRISES

TESIS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS  
QUE PRESENTA

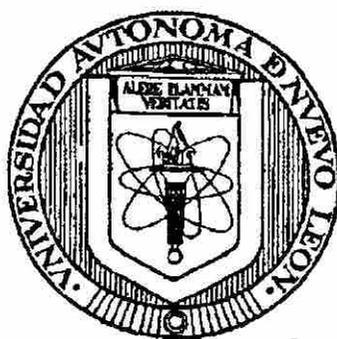
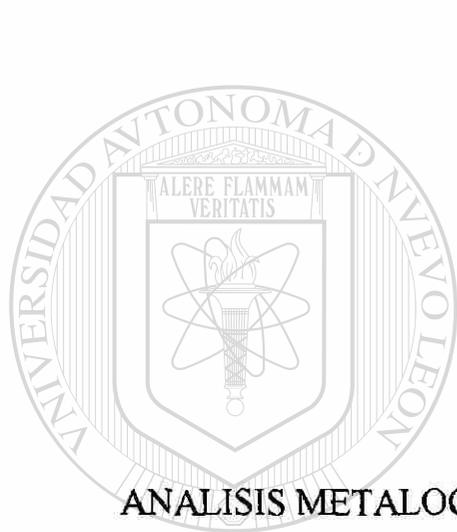
HERIBERTO GUZMAN HERNANDEZ

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L.  
NOVIEMBRE DE 1996

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

DIVISION ESTUDIOS DE POST-GRADO



ANALISIS METALOGRAFICO Y MECANICO DE HIERROS GRISES

TESIS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA

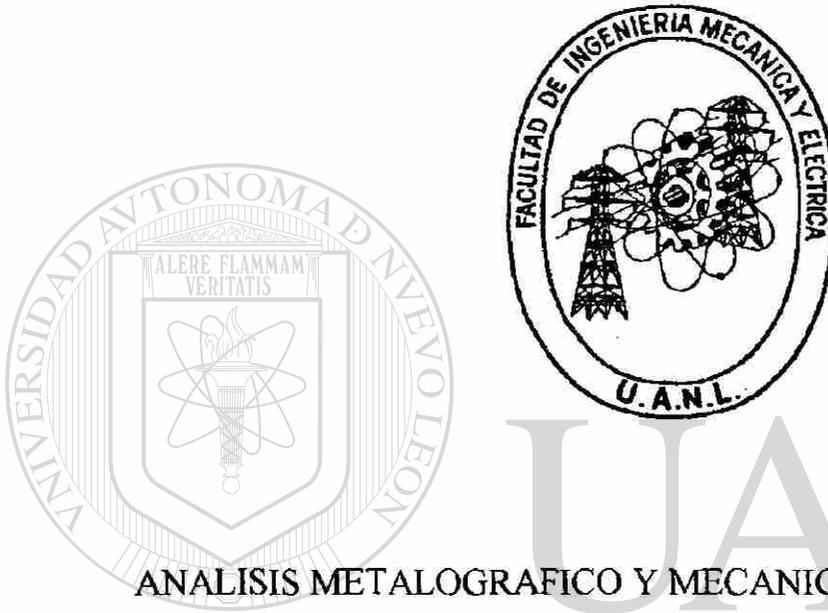
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS  
INGENIERIA MECANICA CON ESPECIALIDAD EN MATERIALES

QUE PRESENTA

HERIBERTO GUZMAN HERNANDEZ

SAN NICOLAS DE LOS GARZA NOVIEMBRE DE 1996

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA  
DIVISION ESTUDIOS DE POST-GRADO



ANALISIS METALOGRAFICO Y MECANICO DE HIERROS GRISES

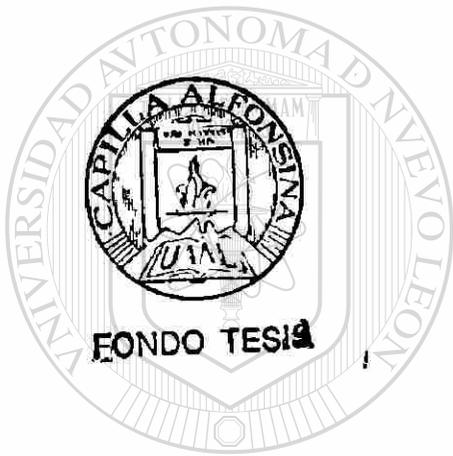
TESIS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA <sup>®</sup>  
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS  
INGENIERIA MECANICA CON ESPECIALIDAD EN MATERIALES

QUE PRESENTA

HERIBERTO GUZMAN HERNANDEZ

SAN NICOLAS DE LOS GARZA NOVIEMBRE DE 1996



# UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



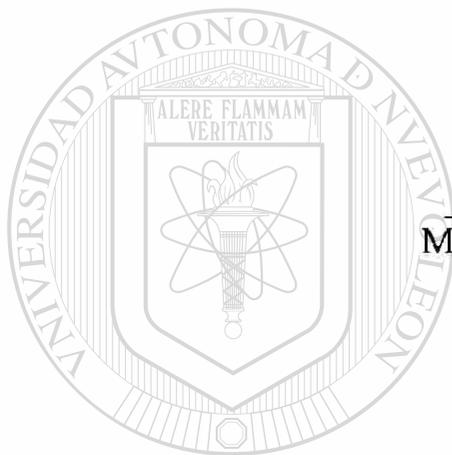
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

DIVISION ESTUDIOS DE POST-GRADO

Los miembros del Comité de tesis recomendamos que la presente tesis realizada por el **Ing. Heriberto Guzmán Hernández** sea aceptada como opción para obtener el grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería mecánica con especialidad en materiales

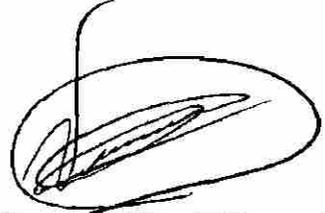


El Comité de Tesis

  
M.C. José Ernesto Bernal Avalos  
Asesor

  
M.C. Rogelio Rodríguez Alanís  
Coasesor

  
M.C. Heriberto Ruiz Caballero  
Coasesor

  
M.C. Roberto Villarreal Garza  
División de Estudios de Postgrado

San Nicolas de los Garza N. L. a 5 de Noviembre de 1996

## PROLOGO

El presente trabajo ha sido realizado con el objeto de construir un soporte para futuras investigaciones en Ingeniería de Materiales ferrosos. Incluye información de primer nivel en el estudio de las fundiciones grises. Así como estudios metalográficos de diversas aleaciones de fundiciones con sus respectivas fotomicrografías.

Además un aspecto importante en la utilización de los diagramas hierro carburo de hierro en su fase estable, así como la metaestable, hierro grafito y el proceso de endurecimiento termoquímico.

Por otra parte se incluye información de todos los tratamientos térmicos de las fundiciones, también se hace referencia a la influencia de algunos metales como son el cobre, manganeso, titanio, vanadio, cromo, etc. en la formación de aleaciones aleadas para obtener algunas propiedades deseadas especiales como pudieran ser resistentes a la corrosión, resistentes al desgaste, etc.

Se hace referencia al tipo de tratamiento que se efectúa después de cementado, para tener las condiciones mecánicas más adecuadas tanto en la superficie de la pieza como en el núcleo de la misma.

Por último se incluye un capítulo sobre la cementación y tratamiento en el hierro colado donde se habla sobre los tratamientos para endurecimiento superficial en las fundiciones, sus características y condiciones más adecuadas para desarrollarlo.

# Síntesis

## Capítulo I

En este punto se analiza y se define las estructuras que aparecen en las aleaciones al carbono así como sus propiedades mecánicas de los hierros forjados si aleación y hierro forzado al níquel. También se analizan algunas especificaciones de aceros estándares representativos.

## Capítulo II

Se analizan algunas condiciones con grafito en forma nodular o esferoidal, en forma de laminillas y fundiciones en grafito dentro del sistema hierro grafito que tratan las fundiciones, así como se analizan ampliamente las microestructuras de las fundiciones gris, maleable y nodular.

## Capítulo III

Este tema trata de diagrama de hierro carbón estable, formación de grafito así como la influencia de azufre, fósforo, manganeso, oxígeno e hidrógeno en las fundiciones.

## Capítulo IV

Este punto trata de las características mecánicas de las fundiciones, así como la influencia de la composición y de la microestructura en las características mecánicas de las fundiciones y se clasifican de acuerdo a la resistencia de atracción de las condiciones

de los grises, también se describen unas características importantes de las fundiciones ordinarias así como su relación entre la composición y su microestructura con su resistencia.

## Capitulo V

En este tema se trata las fundiciones perlíticas, así como la composición de las fundiciones grises ordinarias de uso mas frecuente, también su sensibilidad a su espesor para conseguir las propiedades mecánicas deseadas

## Capitulo VI

Se describe las fundiciones aleadas , los efectos de los elementos de la aleación de las fundiciones como son el aluminio, titanio, cobre, manganeso, molibdeno, níquel, y cromo además la clasificación de las aleaciones aleadas.

## Capitulo VII

Aquí se habla de los tratamientos térmicos mas comunes en las fundiciones como son el recocido, en sus diferentes modalidades, temple y revenido, nitruración, así como el análisis de las fundiciones templadas, y su microestructura en su fundición blanca

## Capitulo VIII

Se analizan las fundiciones maleables en sus dos fases principales como son: fabricación de piezas de fundición blanca y recocido de las mismas, también se analizan la fundición maleable europea y la americana.

## Capitulo IX

Este capitulo trata de las fundiciones de grafito esferoidal así como la fabricación de fundiciones con ese tipo de grafito con adiciones de magnesio. Se analizan las propiedades de las fundiciones dúctiles, los tratamientos térmicos y también fundiciones de grafito nodular con azufre y selenio.

# CAPITULO I

## SISTEMA Fe-Fe<sub>3</sub>C

### DIAGRAMA HIERRO-CARBURO DE HIERRO

#### INTRODUCCION

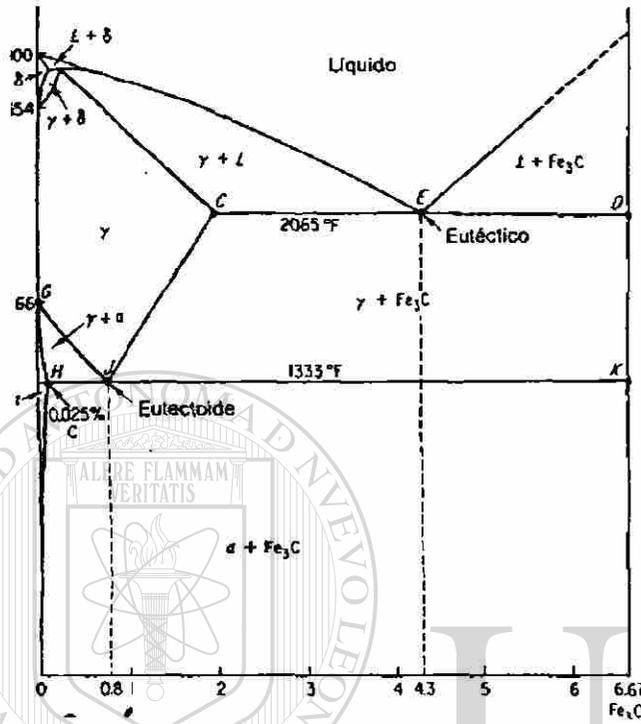
La temperatura a que tienen lugar los cambios alotropicos en el hierro esta influida por elementos de aleación, de los cuales el más importante es el carbono. la figura 1.1 muestra la porción de interés del sistema de aleación hierro-carbono. Esta es la parte entre hierro puro y un compuesto intersticial, carburo de hierro, Fe<sub>3</sub>C, que contiene 6.67 % de carbono por peso; por tanto, esta porción se llamará diagrama de equilibrio hierro-carburo del hierro. Antes de estudiar este diagrama, es importante que se entienda que éste no es un verdadero diagrama de equilibrio, pues el equilibrio implica que no hay cambio de fase con el tiempo; sin embargo, es un hecho que el compuesto carburo de hierro se descompondrá en hierro y carbono (grafito), lo cual tomará un tiempo muy largo a temperatura ambiente, y aun a 1,300°F tarda varios años formar el grafito. El carburo de hierro se llama *fase metaestable*; por tanto, el diagrama hierro-carburo de hierro, aunque técnicamente presenta condiciones metaestables, puede considerarse como representante de cambios en equilibrio, bajo condiciones de calentamiento y enfriamiento relativamente lentos.

## ANÁLISIS METALOGRAFICO Y MECÁNICO DE HIERROS GRISES

## ÍNDICE

Prologo .....	4
Síntesis .....	5
CAPITULO I.- Sistema Fe-Fe <sub>3</sub> C .....	8
CAPITULO II.- Sistema Fe-Grafito .....	27
CAPITULO III.- Diagrama hierro-carbono estable .....	50
CAPITULO IV.- Características mecánicas de las fundiciones	57
CAPITULO V.- Fundición perlítica .....	66
CAPITULO VI.- Fundiciones aleadas .....	71
CAPITULO VII.- Tratamientos térmicos de las fundiciones ....	76
CAPITULO VIII.- Fundiciones maleables .....	83
CAPITULO IX.- Fundiciones de grafito esferoidal .....	87
Conclusiones .....	93
Glosario.....	95
Bibliografía .....	113

El diagrama muestra tres líneas horizontales que indican reacciones isotérmicas. En términos generales, la figura 1.1 se ha marcado con letras griegas para representar las soluciones sólidas; sin embargo, es práctica común dar nombres especiales a la mayoría



de las estructuras que aparecen en el diagrama. La solución sólida se llama *austenita*.

La figura 1.2 muestra ampliada la porción del diagrama de la esquina superior izquierda. Esta se conoce como *región delta*, debido a la solución sólida delta. Se debe reconocer la línea horizontal a 2,720°F, por ser una reacción peritética.

Fig. 1-1: Diagrama de equilibrio hierro-carburo de hierro marcado en términos generales

La ecuación de la reacción peritética se puede escribir como:

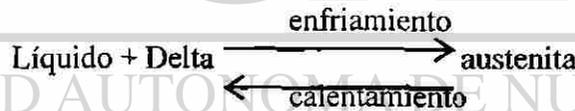


Tabla I: Propiedades tensiles del hierro forjado sin aleación y del hierro forjado al níquel.

propiedad	hierro forjado	
	sin aleación	al níquel
Resistencia tensil, lb/pulg <sup>2</sup>	48,000	60,000
Punto de cedencia, lb/pulg <sup>2</sup>	30,000	45,000
Elongación, porcentaje en 8 pulg	25	22
Reducción en área, porcentaje	45	40

La solubilidad máxima de carbono en Fe delta b.c.c. es de 0.10 % (punto M), mientras que en el Fe gamma f.c.c. es mucho mayor. La presencia de carbono influye en el cambio alótrópico delta  $\rightleftharpoons$  gamma. Conforme se agrega carbono al hierro, la temperatura del cambio alótrópico aumenta de 2,554 a 2,720°F al 0.10 % de C. Considerése el significado de la línea NMPB. Al enfriar, la porción NM representa el principio del cambio de estructura cristalina de Fe delta b.c.c a Fe gamma f.c.c. para aleaciones que contienen menos del 0.10 % de C. La porción MP representa el principio del cambio de la estructura cristalina por medio de una reacción peritética para aleaciones entre 0.10% y 0.18% de C. para aleaciones que contienen menos de 0.18% de C en enfriar, el fin de cambio de estructura cristalina está dado por la línea NP. La porción PB representa el principio y el fin del cambio de estructura cristalina por medio de la reacción peritética. En otras palabras, para aleaciones entre 0.18% y 0.50% de C, el cambio alótrópico empieza y termina a temperatura constante. Nótese que cualquier aleación que contiene más del 0.50% de C contará el diagrama a la derecha del punto B y se solidificará en austenita directamente. La solución sólida delta y el cambio alótrópico no se estudiarán aquí. Como ningún tratamiento térmico comercial se hace en la región delta, no habrá razón para referirse nuevamente a esta porción del diagrama.

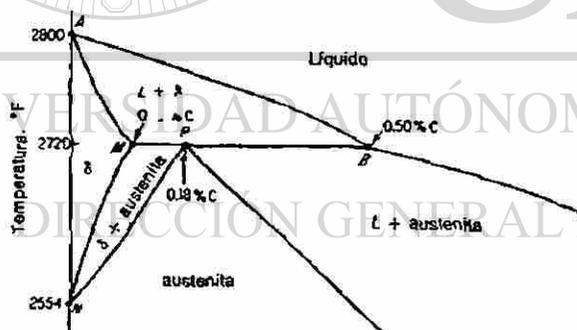
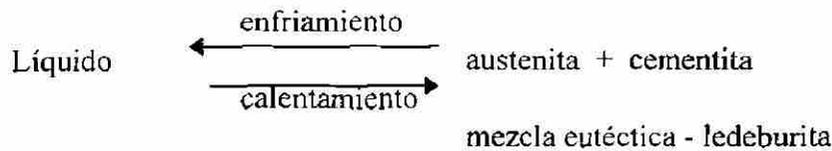


Fig. 1.2: Región delta del diagrama hierro-carburo de hierro

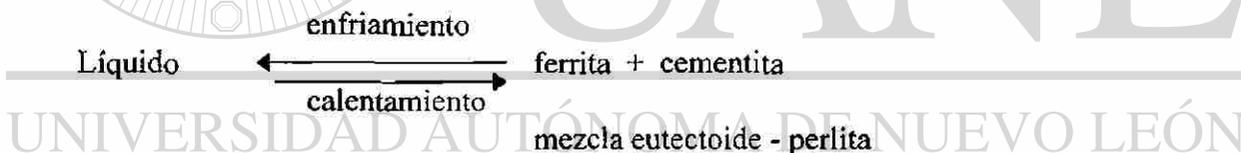
El diagrama de la figura 1.3, que tiene los nombres comunes insertados muestra una reacción eutéctica a 2,065°F.

El punto eutéctica, E, está a 4.3% de C y a 2,065°F. Como la línea horizontal CED representa la reacción eutéctica, siempre que una aleación cruce esta línea, la reacción deberá ocurrir. Cualquier líquido que esté presente cuando esta línea se alcanza debe ahora solidificarse en la muy fina mezcla íntima de las dos fases que están en cualquier extremo de la línea horizontal: austenita y carburo de hierro (llamada cementita). Esta mezcla eutéctica se llama ledeburita, y la ecuación puede escribirse como.



La mezcla eutéctica generalmente no se ve en la microestructura, ya que la austenita no es estable a temperatura ambiente y debe sufrir otra reacción durante el enfriamiento.

Hay una pequeña área de solución sólida a la izquierda de la línea GH. Se sabe que 1,666 °F representa el cambio en la estructura cristalina de Hierro puro y f.c.c. a alfa b.c.c. Esa área es solución sólida de una pequeña cantidad de carbono disuelto en Fe alfa b.c.c. y se llama ferrita. El diagrama muestra una tercera línea horizontal HJK, que representa una reacción eutectoide. El punto eutectoide, J, está a .80 % de C y a 1,373°F. Cualquier austenita presente debe ahora transformarse en la muy fina mezcla eutectoide de ferrita y cementita, llamada perlita. La ecuación puede escribirse como:



Por debajo de la línea eutectoide, cada aleación consistirá de una mezcla de ferrita y cementita según lo indicado.

Si se toma como base el contenido de carbono, es práctica común dividir el diagrama hierro-carburo de hierro en dos partes. Aquellas aleaciones como contienen menor de 2% de carbono se conocen como aceros, y aquellos que contienen más del 2% de carbono se conocen como *hierros fundidos*.

El intervalo de acero se subdivide aun más en base al contenido de carbono eutectoide (0.8% de C).

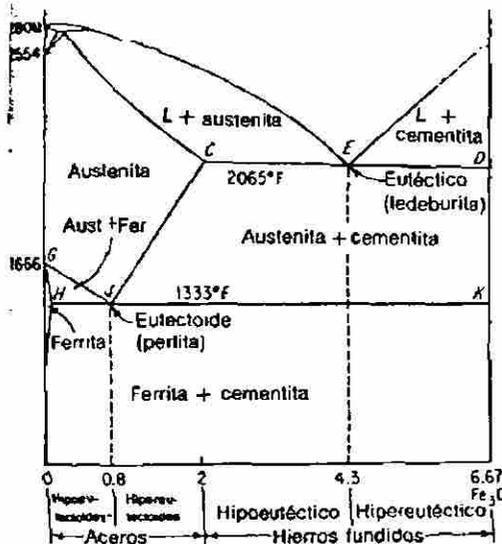


Fig. 1.3: Diagrama de equilibrio hierro-carburo de hierro marcado con los nombres comunes para las estructuras

Los aceros que contienen menos de 0.8 % de C se llaman aceros hipoeutectoides, en tanto que los que contienen de 0.8 a 2.0% de C se llaman aceros hipereutectoides. El intervalo de hierro fundido también puede subdividirse por el contenido de carbono eutectico (4.3 % de C). Los hierros fundidos que contienen menos

del 4.6 % de C se conocen como hierros fundidos hipoeutéticos, en tanto que los que contienen más de 4.3% de C se llaman hierros fundidos hipereutecticos.

## DEFINICION DE ESTRUCTURAS

Ahora se definirán los nombres que, por razones descriptivas o conmemorativas, se han asignado a las estructuras que aparecen en este diagrama.

**Cementita** o carburo de hierro, fórmula química Fe<sub>3</sub>C, contiene 6.67 % de C por peso. Es un compuesto intersticial típicamente duro y frágil de baja resistencia tensil (aproximadamente 5,000 lb/pulg<sup>2</sup>), pero de alta resistencia compresiva. Es la estructura más dura que aparece en el diagrama. Su estructura cristalina es ortorrómbica.

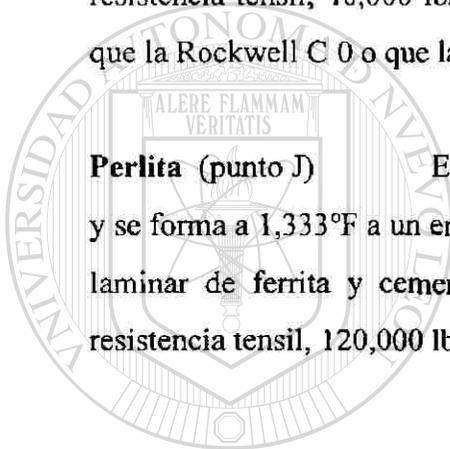
**Austenita,** Es el nombre dado a la solución sólida intersticial de carbón disuelto en hierro gamma (f.c.c.). La máxima solubilidad es el 2 % de C a 2,065°F (punto C). Las propiedades promedio son: resistencia tensil, 150,000lb/pulg<sup>2</sup>; Elongación, 10 % en 2 pulg; dureza Rockwell C 40, aproximadamente; y tenacidad alta. Generalmente no es

estable la temperatura. Bajo ciertas condiciones, es posible obtener austenita a la temperatura ambiente.

**Ledeburita** Es la mezcla eutéctica de austenita y cementita; contiene 4.3 % de C y se forma a 2,065°F.

**Ferrita** Es el nombre dado a la solución sólida alfa. Es una solución sólida intersticial de una pequeña cantidad de carbón disuelto en hierro gamma (b.c.c.). La máxima solubilidad es 0.025 % de C a 1333°F (punto H), y disuelve sólo 0.008 % de C a temperatura ambiente. Es la estructura más suave. Las propiedades promedio son: resistencia tensil, 40,000 lb/pulg<sup>2</sup>; elongación, 40 por ciento en 2 pulg.; dureza, menor que la Rockwell C 0 o que la Rockwell B 90.

**Perlita (punto J)** Es la mezcla de eutectoide que contiene 0.80 por ciento de C y se forma a 1,333°F a un enfriamiento muy lento. Es una mezcla muy fina, tipo placa o laminar de ferrita y cementita (figuras 1.4 b) y c). Las propiedades promedio son: resistencia tensil, 120,000 lb/pulg<sup>2</sup>; elongación, 20 % en 2 pulg.; dureza, Rockwell C 20.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

SOLUBILIDAD DE CARBONO EN HIERRO



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

La *austenita*, que es f.c.c con cuatro átomos por celda unitaria, representa un empaquetamiento de átomos mucho más denso que la ferrita, que es b.c.c. con dos átomos por celda unitaria. Esto se muestra por la expansión que tiene lugar cuando la austenita cambia a la ferrita en enfriamiento lento. Si se supone que los átomos de hierro son esferas, es posible, de las dimensiones reticulares y suponiendo que la distancia de mayor aproximación es igual al diámetro atómico, calcular la cantidad de espacio vacío en ambas estructuras cristalinas. El cálculo muestra que el porcentaje de espacio sin llegar en la red f.c.c es del 25 % y en la red b.c.c. es del 32 %. (figura 1.4 a).

Tanto la austenita como la ferrita, los átomos de carbono se disuelven intersticialmente, o sea en los espacios sin llenar de la estructura reticular.

Intersticios de las estructuras b.c.c. (izquierda) y f.c.c. (derecha) figura 1.5. El diámetro máximo de la esfera extraña (negra) que puede entrar en la red b.c.c. se indica por el átomo negro, con dos de las cuatro posiciones posibles sobre una cara que aquí se muestran llenas. La red f.c.c. tiene mucho menos orificios, pero, como lo muestra la esfera negra, el orificio es mucho más grande.

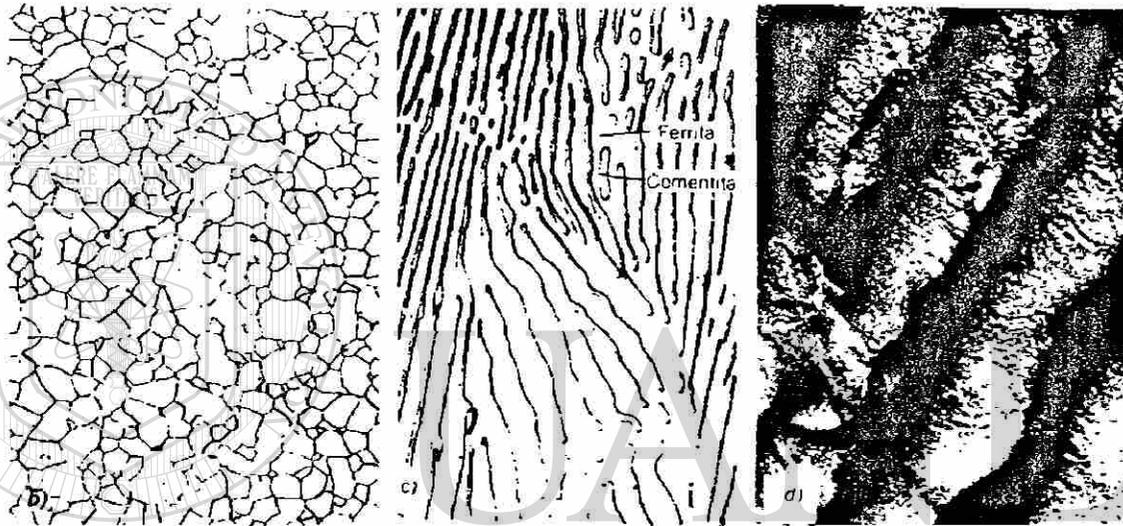


Fig. 1.4 a) austenita, 500x; b) perlita, 100x; c) perlita, micrografo de electrones, 17 000x; aumentada

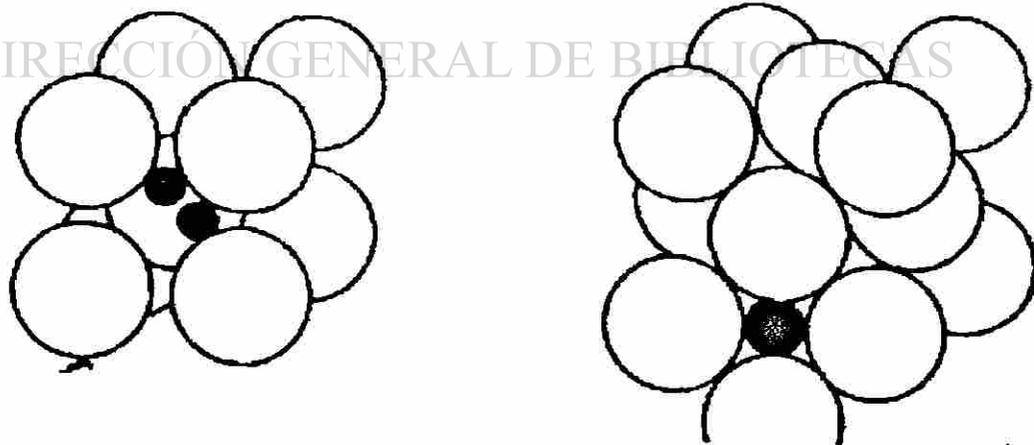


Fig. 1.5: Intersticios de las estructuras b.c.c (izquierda) y f.c.c (derecha). El diámetro máximo de la esfera extraña (negra) que puede entrar en la red b.c.c. se indica por el átomo negro, con dos de las cuatro

posiciones posibles sobre una cara que aquí se muestran llenas. La red f.c.c tiene mucho menos orificios, pero, como lo muestra la esfera negra, el orificio es mucho más grande.

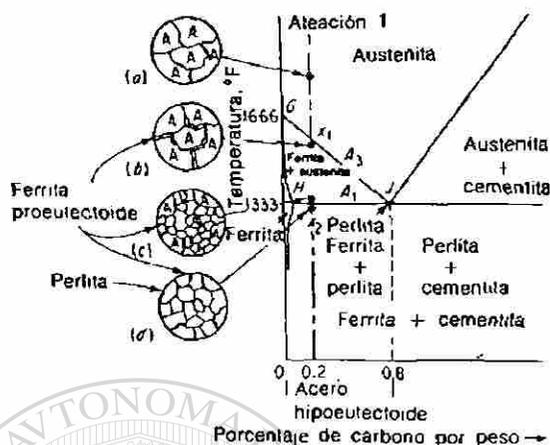


Fig. 1-6; Representación esquemática de los cambios en microestructura durante el enfriamiento lento de acero al 0.20% de carbono A) Austenita; b) Formación de granos de ferrita en las fronteras de grano de austenita c) crecimiento de granos de ferrita - la composición de austenita es ahora de 0.8% de carbono d) la austenita se transforma a perlita a 1333 °F

Figura 1.6 es la representación esquemática de los cambios en microestructura durante el enfriamiento lento de acero al 0.20% de carbono. a) Austenita; b) formación de granos de ferrita en las fronteras de grano de austenita; c) crecimiento de granos de ferrita la composición de austenita es ahora de 0.8 % de carbono; d) la austenita se transforma a perlita a 1,333°F.

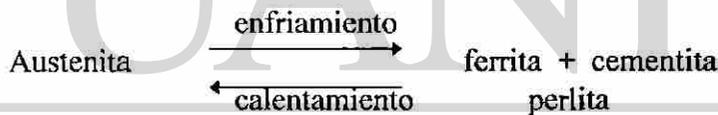
## ENFRIAMIENTO LENTO DEL ACERO

La porción de acero del diagrama hierro-carburo de hierro reviste un interés máximo.

La aleación 1 es un acero hipoeutectoide que contiene 0.20% de carbono. En el intervalo de austenita, esta aleación consta de una solución sólida intersticial uniforme. Cada grano contiene 0.20 % de carbono disuelto en los espacios de la estructura reticular de hierro f.c.c. al enfriarse lentamente nada sucede hasta que la línea GJ se cruza en el punto X. esta línea se conoce como línea de temperatura crítica superior del lado hipoeutectoide y se designa como A. el cambio alotrópico de hierro f.c.c. a hierro b.c.c. tiene lugar a 1,666°F para hierro puro y disminuye en temperatura con el aumento de

contenido de carbono, como lo muestra la línea A; por tanto, en x, la ferrita debe empezar a formarse en las fronteras de grano de la austenita.

Como la ferrita puede disolver muy poco carbono, en aquellas áreas que cambian a ferrita, el carbono debe salir de la solución antes que los átomos se rearreglen por sí mismos a b.c.c. el carbono que sale de solución es disuelto en la austenita restante, así que, como el enfriamiento avanza y la cantidad de ferrita aumenta, la austenita restante se hace más rica en carbono. Su contenido de carbono se mueve gradualmente hacia abajo y a la derecha a lo largo de la línea A. Finalmente como, la línea HJ se alcanza en el punto X. Esta línea se conoce como línea de temperatura crítica inferior en el lado hipoeutectoide y se designa como A. La línea A es la de temperatura eutectoide y constituye la mínima temperatura a la que el hierro f.c.c. puede existir bajo condiciones de equilibrio. Precisamente arriba de la línea A, la microestructura consta de aproximadamente de 25 % de austenita y 75 % de ferrita. La austenita restante, el 25 % del material total y que contiene .8 % de carbono, experimenta ahora la reacción eutectoide



Nótese que la austenita cambia en la línea A, por tanto, cuando la reacción está completa, la microestructura mostrará aproximadamente 25 % de perlita y 75 % de ferrita.

Considérese la reacción eutectoide con más detalle. La austenita cambia a ferrita y es solución sólida intersticial en la que cada grano restante disuelve .8% de C en Fe f.c.c.; sin embargo, la ferrita es Fe b.c.c. y disuelve muy poco carbono de modo que el cambio en la estructura cristalina no puede ocurrir hasta que los átomos de carbono salgan de la solución.

Por tanto, el primer paso es precipitar los átomos de carbono para formar placas de cementita (carburo de hierro). En el área inmediatamente adyacente a la placa de

cementita, el hierro se vacía de carbono y átomos pueden ahora rearrreglarse por sí mismos para formar ferrita b.c.c. de cada lado de la placa de cementita se forman delgadas capas de ferrita.

El proceso continua con la formación de capas alternas de cementita y ferrita para dar la fina mezcla de tipo huella dactilar conocida como perlita - figura 1.7 La reacción generalmente empieza en la frontera de grano de austenita, con la perlita creciendo a lo largo de la frontera y dentro del grano.

Como la ferrita y la perlita son estructuras estables, en la microestructura permanece en forma sustancial hasta llegar a la temperatura ambiente y consta aproximadamente 75% de ferrita proeutectoide (áreas claras) y 25 % de perlita (áreas oscuras).

Las áreas oscuras en esta microestructura no parecen ciertamente una mezcla, por lo que se supone que es perlita; sin embargo, mayor amplificación revela la fina mezcla de tipo huella dactilar de perlita.

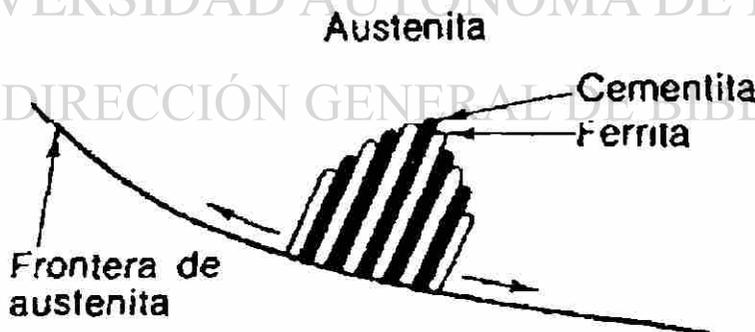


Fig. 1-7 Esquema de la formación y crecimiento de perlita

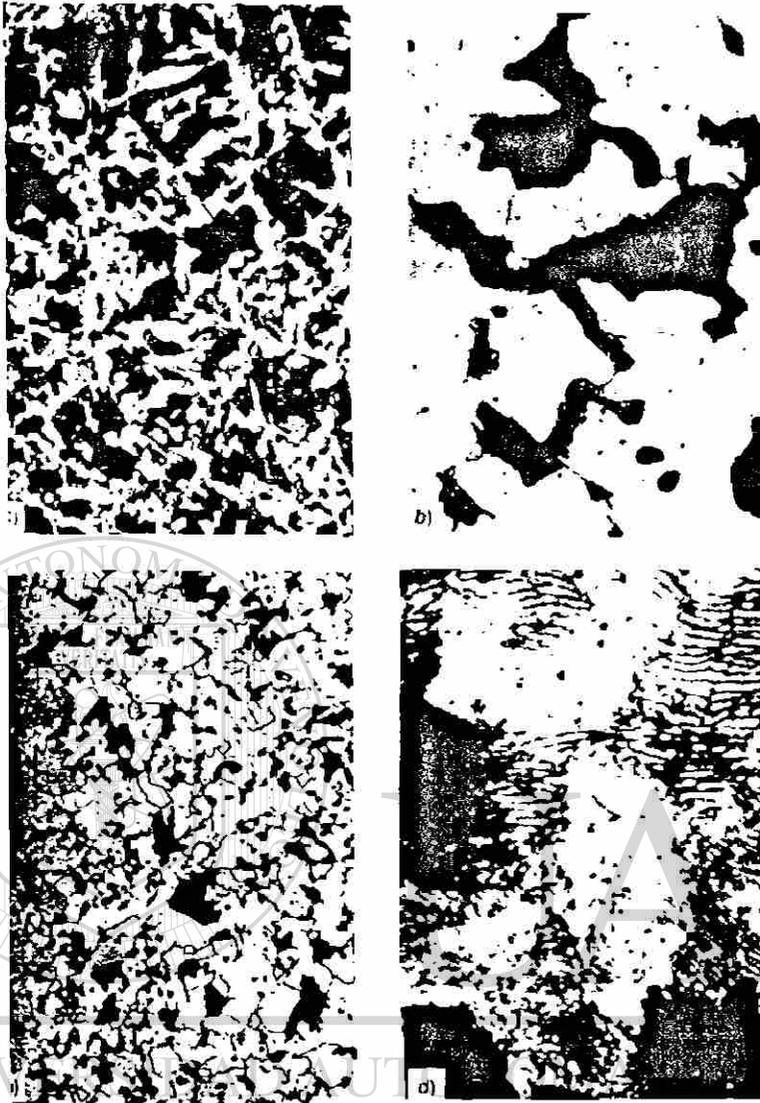


Fig. 1-8: Fotomicrografías de a) acero al 0.20% de carbono, enfriado lentamente. 100x; B) lo mismo que a 500x c) acero al 0.40% de carbono, enfriado lentamente, 100x ; d) acero eutectoide (0.80% de carbono), enfriado lentamente, 500x Todas las muestra fueron atacadas químicamente con nital al 2%. Las áreas oscuras son perlita y las clara son ferrita.

Los cambios descritos serían los mismos para cualquier acero hipoeutectoide. La única diferencia estaría en la relativa cantidad de ferrita y perlita figura 1.8 a), b) y c). A mayor proximidad de contenido de carbono a la composición eutectoide (0.8 % C), más perlita estará presente en la microestructura. La estructura de un acero al 0.4% de C lentamente enfriado muestra aproximadamente 50% de perlita, en tanto que la composición eutectoide (0.8%) de C muestra el 100% de perlita figura 1.8 d)

La aleación 2 es un acero hipereutectoide que contiene 1% de carbono. En el intervalo de austenita, esta aleación consta de solución sólida f.c.c. uniforme, cada uno de cuyos granos contiene 1% de carbono disuelto intersticialmente. Al enfriarse

lentamente, nada pasa hasta que la línea CJ se cruza en el punto X. Esta línea se conoce como línea de temperatura crítica superior en el lado hipereutectoide y se marca por Acm. La línea Acm muestra la máxima cantidad de carbono que se puede disolver en austenita como función de la temperatura.

Por arriba de la línea Acm, la austenita es una solución sólida insaturada. En la línea Acm, punto x la austenita está saturada en carbono. Conforme la temperatura disminuye, el contenido de carbono de la austenita, o sea, la máxima cantidad de carbono que puede disolverse en austenita, descende a lo largo de la línea Acm, hacia el punto J.

Por lo tanto, en tanto que la temperatura desciende de  $x_3$  a  $x_4$ , el exceso de carbono por encima de la cantidad requerida para saturar la austenita se precipita como cementita, principalmente a lo largo de las fronteras de grano.

Por último en  $x_4$  se alcanza la línea de temperatura eutectoide, se llama línea de temperatura crítica inferior, en el lado hipereutectoide y se marca A<sub>3</sub>J.

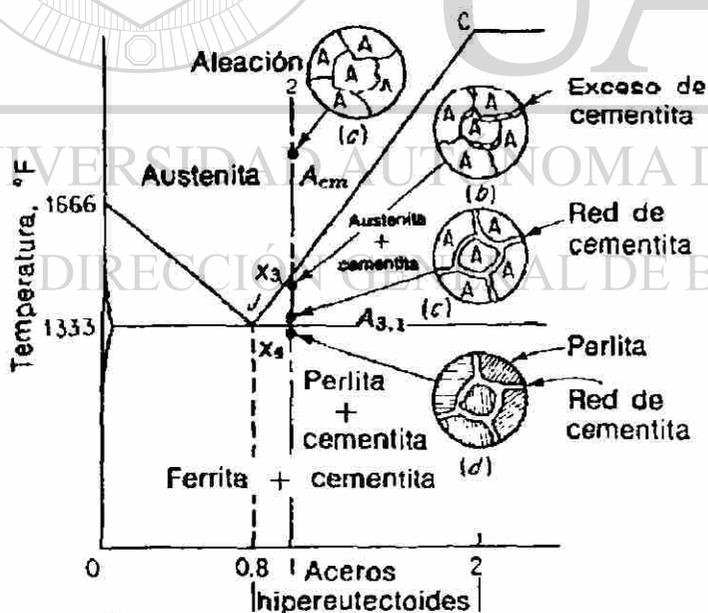


Fig. 1-9 Representación esquemática de los cambios en microestructura durante el lento enfriamiento de un acero al 1% de carbono. A) Austenita; B) formación de exceso de cementita en las fronteras de grano de austenita; crecimiento de exceso de cementita para formar una red - la composición de austenita es ahora del 0.8% de carbono d) la austenita se transforma en perlita a 1 333 F

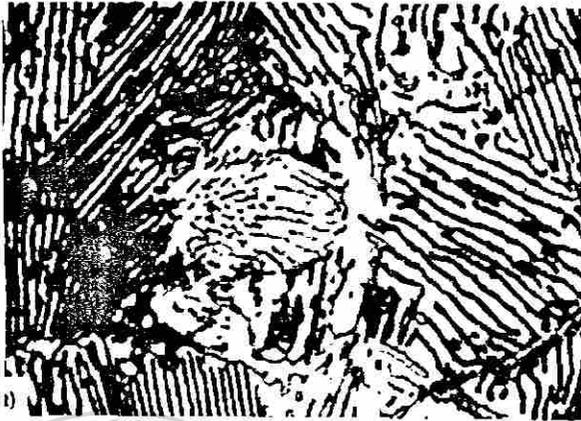


Fig. 1-10: Fotomicrografías de a) acero al 1% de carbono, enfriado lentamente, 500x; b) acero al 1.2% de carbono, enfriado lentamente, 300x. Las áreas de perlita están rodeadas por una red blanca de cementita proeutectoide. Nótese el incremento en espesor de la red de cementita con el aumento en contenido de carbono.



Precisamente arriba de la línea A<sub>3, 1</sub>, la microestructura consta en mucho de austenita, con el exceso de cementita proeutectoide como una red que rodea los grano de austenita. Aplicando la regla II con cementita del lado derecho de la línea, la cantidad de cementita sería

$$\text{porcentaje de cementita} = \frac{1.0 - 0.8}{6.67 - 0.8} \times 100 = 3.4 \%$$

y la cantidad de austenita sería

$$\text{porcentaje de austenita} = \frac{6.67 - 1.0}{6.67 - 0.8} \times 100 = 96.6 \%$$

La línea A<sub>3, 1</sub>, para aceros hipereutectoides representa el principio y el fin del cambio alotrópico de austenita f.c.c. a ferrita b.c.c. mediante el mismo proceso descrito, la austenita restante (que contiene 0.8% de C) se transforma a mezcla eutectoide, perlita.

A la temperatura ambiente, la microestructura consta de 96.6 % de perlita (formada de austenita en la línea A<sub>3, 1</sub>) y una red de 3.4 % de cementita proeutectoide (formada entre las líneas A<sub>cm</sub> y A<sub>3, 1</sub>).

Nótese la diferencia que existe en significado de las líneas de temperatura crítica superior, A<sub>3</sub> y A<sub>cm</sub>. La primera incluye un cambio alotrópico, en cambio que la segunda abarca solo un cambio en la solubilidad de carbono.

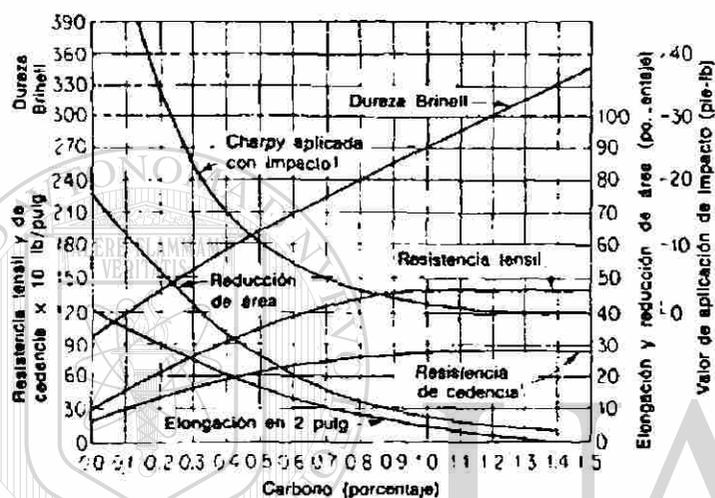


Fig. 1.11; Efecto del contenido de carbono sobre las propiedades mecánicas de un acero trabajado en caliente.

Las propiedades mecánicas de una aleación dependen de las propiedades de la aleación y de la forma en que éstas últimas estén ordenadas para formar la estructura. La ferrita es relativamente suave, con baja resistencia tensil, en tanto que la cementita es dura, con muy baja resistencia tensil. La combinación de éstas dos fases en la forma de la eutectoide (perlita) produce una aleación de resistencia tensil mucho mayor que la de cualquiera de las fases. Como la cantidad de perlita aumenta con un incremento en contenido de carbono para aceros hipoeutectoides, la resistencia y la dureza brinell también aumentarían hasta la composición eutectoide de 0.8%

## LINEAS DE TEMPERATURA CRITICA

La figura 1.10 muestra las líneas de temperatura crítica superior e inferior como líneas en condiciones de equilibrio y algunas veces se indican como A<sub>e3</sub>, A<sub>e</sub>, etc.

Cuando las líneas críticas realmente se determinan, se encuentra que no ocurren a la misma temperatura. La Línea crítica en calentamiento es siempre mayor que la línea en enfriamiento. Para distinguir las líneas críticas en calentamiento de las que ocurren en enfriamiento, las primeras se llaman Ac (c es la palabra en francés *chauffage*, que significa calentamiento) y las segundas Ar (r de la palabra en francés *refroidissement*, que significa enfriamiento). Por tanto, la línea crítica superior de un acero hipoeutectoide al calentarse se marcaría como Ac<sub>3</sub> y la misma línea en enfriamiento sería Ar<sub>3</sub>.

La rapidez de calentamiento y enfriamiento tiene un efecto definido en el intervalo de temperatura entre estas líneas. A menos velocidad de calentamiento y enfriamiento las dos líneas se acercarán más entre sí, de manera que para calentamiento y enfriamiento infinitamente lentos ocurrirían probablemente a la misma temperatura, exactamente.

La Figura 1.12, muestra los resultados del análisis térmico de una serie de aceros al carbono con una rapidez de calentamiento y enfriamiento en la posición de líneas críticas; también se muestran las líneas Ac<sub>2</sub> y Ar<sub>2</sub>, mismas que se deben al cambio magnético en hierro a 1,414 °F.

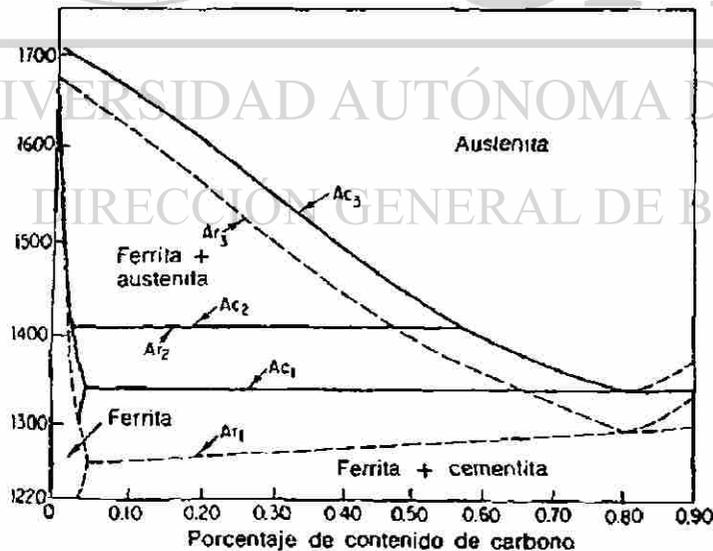


Fig. 1-12: Porción hipoeutectoide del diagrama hierro-carburo de hierro

## CLASIFICACION DEL ACERO

Para clasificar el acero se pueden utilizar varios métodos:

### **Método de manufactura**

Este da lugar al acero bessemer, de hogar abierto, de horno abierto, de horno eléctrico, de crisol, etc.

### **Uso**

Generalmente se refiere al uso final que se le dará al acero, como acero para máquinas, para resortes, para calderas, estructural o acero para herramientas.

### **Composición química**

Este método indica, por medio de un sistema numérico, el contenido aproximado de los elementos importantes en el acero. Es el método de clasificación más conocido, el cual se estudiará con mayor detalle.

---

Las especificaciones para los aceros representan los resultados del esfuerzo conjunto de la American Iron and Steel Institute (AISI) y de la Society of Automotive Engineers (SAE) en un programa de simplificación destinado a lograr mayor eficiencia para satisfacer las necesidades de acero de la industria de los Estados Unidos.

El primero de los cuatro o cinco dígitos de la designación numérica indica el tipo a que pertenece el acero. De este modo, 1 indica un acero al carbono; 2 un acero al níquel, 3 un acero al níquel-cromo, etc. En el caso de acero de aleación simple, el segundo dígito indica el porcentaje aproximado del elemento predominante en la aleación. Los dos o tres últimos dígitos generalmente indican el contenido del carbono medio dividido entre 100. Así, el símbolo 2520 indica un acero al níquel de aproximadamente 5% de níquel y 0.20% de carbono.

Además de los números, las especificaciones AISI pueden incluir un prefijo literal para indicar el proceso de manufactura empleado en la producción de acero. Las especificaciones SAE ahora emplean las mismas designaciones numéricas de cuatro dígitos que las AISI, pero eliminando todos los prefijos literales.

En la tabla II aparecen algunas especificaciones de acero estándar representativo para aceros al carbono y aceros de maquinado libre, así como para aceros de aleación en la tabla II

TABLA II; Algunas especificaciones de acero estándar representativo

NUM AISI*	%C	%Mn	%P max.	%S max.	NUM SAE
		ACEROS	AL	CARBONO	
C1010	0.08-0.13	0.30-0.60	0.04	0.50	1010
C1015	0.13-0.18	0.30-0.60	0.04	0.50	1015
C1020	0.18-0.23	0.30-0.60	0.04	0.50	1020
C1025	0.22-0.28	0.30-0.60	0.04	0.50	1025
C1030	0.28-0.34	0.60-0.90	0.04	0.50	1030
C1035	0.32-0.37	0.60-0.90	0.04	0.50	1035
C1040	0.37-0.44	0.60-0.90	0.04	0.50	1040
C1045	0.43-0.50	0.60-0.90	0.04	0.50	1045
C1050	0.48-0.55	0.60-0.90	0.04	0.50	1050
C1055	0.50-0.60	0.60-0.90	0.04	0.50	1055
C1060	0.55-0.65	0.60-0.90	0.04	0.50	1060
C1065	0.60-0.70	0.60-0.90	0.04	0.50	1065
C1070	0.65-0.75	0.60-0.90	0.04	0.50	1070
C1074	0.70-0.80	0.50-0.80	0.04	0.50	1074
C1080	0.75-0.88	0.60-0.90	0.04	0.50	1080
C1085	0.80-0.93	0.70-1.00	0.04	0.50	1085
C1090	0.85-0.98	0.60-0.90	0.04	0.50	1090
C1095	0.90-1.03	0.30-0.50	0.04	0.50	1095
		ACEROS	DE	MAQUINADO	LIBRE

B1112	0.13 max	0.70-1.00	0.07-0.12	0.16-0.23	1112
B1113	0.13 max.	0.70-1.00	0.07-0.12	0.24-0.33	1113
C1110	0.08-0.13	0.30-0.60	0.04	0.08-0.13	
C1113	0.10-0.16	1.00-1.30	0.04	0.24-0.33	
C1115	0.13-0.18	0.60-0.90	0.04	0.08-0.13	1115
C1120	0.18-0.23	0.70-1.00	0.04	0.08-0.13	1120
C1137	0.32-0.39	1.35-1.65	0.04	0.08-0.13	1137
C1141	0.37-0.45	1.35-1.65	0.04	0.08-0.13	1141
C1212	0.13 max.	0.70-1.00	0.07-0.12	0.13-0.23	1112
C1213	0.13 max.	0.70-1.00	0.07-0.12	0.24-0.33	1113
C12L14	0.15 max.	0.80-1.20	0.80-1.20	0.25-0.35	12L14

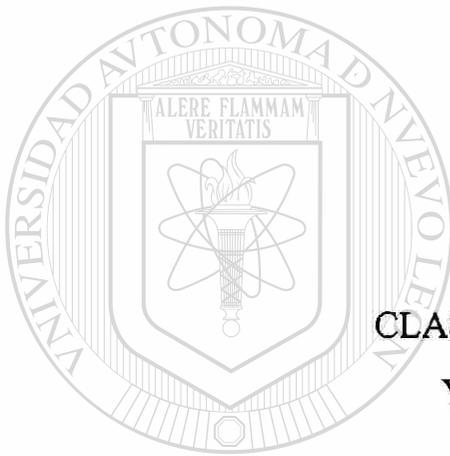
Tabla III: Algunas especificaciones de acero aleado representativo

AISI	%C	%Mn	%Ni	%Cr	%Mo	%V	SAE	TIPO
1330	0.28-0.33	1.60-1.90					1330	Aceros al
1340	0.38-0.43	1.60-1.90					1340	Mn
2317	0.15-0.20	0.40-0.60	3.25-3.75				2315	Aceros al
2330	0.28-0.33	0.60-0.80	3.25-3.75				2330	3% Ni
E2512	0.09-0.14	0.45-0.60	4.75-5.25					Aceros al
2515	0.12-0.17	0.40-0.60	4.75-5.25				2515	5% Ni
3115	0.13-0.18	0.40-0.60	1.10-1.40	0.55-0.75			3115	Aceros al
3130	0.28-0.33	0.60-0.80	1.10-1.40	0.55-0.75			3130	Ni-Cr
3140	0.38-0.43	0.70-0.90	1.10-1.40	0.55-0.75			3140	
E3310	0.08-0.13	0.45-0.60	3.65-3.75	1.40-1.75			3310	
4023	0.20-0.25	0.70-0.90			0.20-0.30		4023	Aceros al
4037	0.35-0.40	0.70-0.60			0.20-0.30		4037	Mo
4419	0.18-0.23	0.45-0.65			0.45-0.60		4419	
4118	0.18-0.23	0.70-0.90		0.40-0.80	0.08-0.15		4118	Aceros al
4130	0.28-0.33	0.40-0.60		0.80-1.10	0.15-0.25		4130	Cr-Mo
4140	0.38-0.43	0.75-1.00		0.80-1.10	0.15-0.25		4140	

4150	0.48-0.53	0.75-1.00		0.80-1.10	0.15-0.25	4150	
4320	0.17-0.22	0.45-0.60	1.65-2.00	0.40-0.60	0.20-0.30	4320	Aceros al
4340	0.38-0.43	0.60-0.80	1.65-2.00	0.70-0.90	0.20-0.30	4340	Ni-Cr Mo
4720	0.17-0.22	0.50-0.70	0.90-1.20	0.35-0.55	0.15-0.25	4720	
4620	0.17-0.22	0.45-0.60	1.65-2.00		0.20-0.30	4620	Aceros al
4626	0.24-0.29	0.40-0.65	0.70-1.00		0.15-0.25	4626	Ni-Mo
4820	0.18-0.23	0.50-0.70	3.25-3.75		0.20-0.30	4820	
5120	0.17-0.22	0.70-0.90		0.70-0.90		5120	Aceros al
5130	0.28-0.33	0.70-0.90		0.80-1.10		5130	Cr
5140	0.38-0.43	0.70-0.90		0.70-0.90		5140	
5150	0.48-0.53	0.70-0.90		0.70-0.90		5150	
E52100	0.95-1.10	0.25-0.45		1.30-1.60		52100	
6118	0.16-0.21	0.50-0.70		0.50-0.70	0.12	6118	
6150	0.48-0.53	0.70-0.90		0.80-0.10	0.15	6150	
8620	0.18-0.23	0.70-0.90	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	8620	Aceros al
8630	0.28-0.33	0.70-0.90	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	8630	Cr-V
8640	0.38-0.43	0.75-1.00	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25	8640	
8720	0.18-0.23	0.70-0.90	0.40-0.70	0.40-0.60	0.20-0.30	8720	Aceros al
8740	0.38-0.43	0.75-1.00	0.40-0.70	0.40-0.60	0.20-0.30	8740	bajos
8822	0.20-0.25	0.75-1.00	0.40-0.70	0.40-0.60	0.20-0.40	8822	Ni-Cr-Mo
			Si				
9260	0.56-0.64	0.75-1.00	1.80-2.20			9260	Aceros al
			Ni				Si
E9310	0.08-0.13	0.45-0.65	3.00-3.50	1.00-1.40	0.08-0.15	9310	
9840	0.38-0.43	0.70-0.90	0.85-1.15	0.70-0.90	0.20-0.30	9840	
9850	0.48-0.53	0.70-0.90	0.85-1.15	0.70-0.90	0.20-0.30	9850	
94B30	0.48-0.53	0.70-0.90	0.85-1.15	0.70-0.90	0.20-0.30	94b30	

## CAPITULO II

# SISTEMA Fe-GRAFITO



### FUNDICIONES

### CLASIFICACIONES, CALIDADES Y MICROESTRUCTURAS

1. Las fundiciones son aleaciones de hierro, carbono y silicio que generalmente contienen también manganeso, fósforo, azufre, etc. son de mayor contenido en carbono que los aceros (2 a 4.5%) y adquieren su forma definitiva directamente por colada, no siendo nunca las fundiciones sometidas a procesos de deformación plástica ni en frío ni en caliente. En general, no son dúctiles ni maleables y no pueden forjarse ni laminarse.

En las fundiciones grises, que en la practica son las mas importantes, aparecen durante la solidificación y posterior enfriamiento, laminas de grafito (fig. 2.1, 2.2, 2.3 y 2.4 ) que al originar discontinuidad en la matriz, son la causa de loas características mecánicas de las fundiciones grises sean, en general, muy inferiores a las de los aceros, aunque sean, sin embargo, suficientes para muchisimas aplicaciones

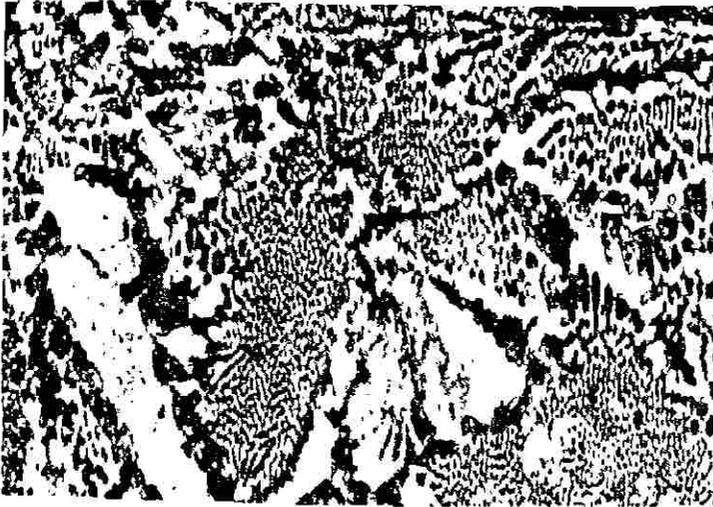


Fig. 2.1 Microestructura de una fundición blanca hipereutética. Se observan importantes masas blancas de cementita hipereutética. También se observan agrupaciones pseudoeutecticas derivadas de la ledeburita que están constituidas por pequeñas partículas negras de perlita sobre un fondo blanco.

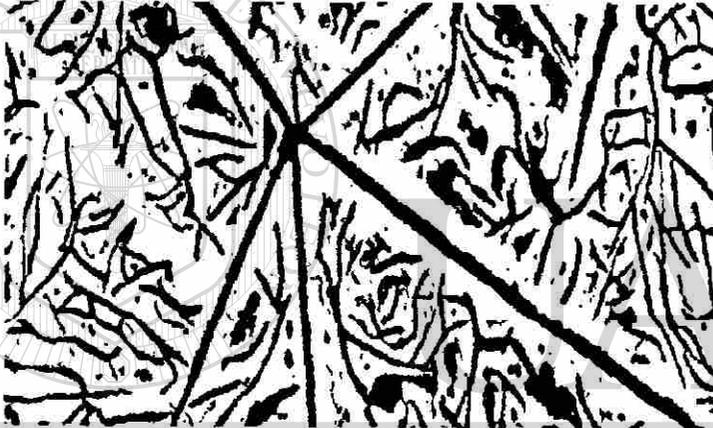


Fig. 2.2 Microestructura de una fundición gris hipereutética. Se observan largas láminas de grafito hipereutético. La probeta estaba pulida, pero sin atacar.



Fig. 2.3 Láminas de grafito de una fundición gris hipocutética. La probeta estaba pulida sin atacar.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



BIBLIOTECAS

El cubilote es la instalación mas empleada para la fabricación de la mayoría de las piezas de fundición. Para la fabricación de piezas de fundición, se emplea generalmente como materia prima fundamental el arrabio o lingote de hierro y además se utilizan también en las cargas de los hornos y cubilotes, chatarras de fundición, y a veces, se emplea también además cantidades variables de chatarra de acero. Durante los procesos de fabricación se suelen hacer algunas veces adiciones de ferrosilicio y ferromanganeso, y en algunas ocasiones especiales, se añade también ferrocromo, níquel, etc., para obtener en cada caso la composición deseada.

En la practica su contenido varia de 2 a 4.5%, siendo lo mas frecuente que oscile de 2.75 a 3.5%. El contenido en silicio suele oscilar de 0.5 a 3.5% y el de manganeso de 0.4 a 2%. Excepcionalmente, los contenidos en silicio y manganeso llegan algunas veces a 4%, y en ocasiones se fabrican fundiciones especiales hasta 15% de silicio. Los porcentajes de azufre suelen oscilar de 0.01 a 0.20%, los de fósforo de 0.040 a 0.80% y en algunos casos excepcionales llega a 1.5%.

---

## PRINCIPALES PROPIEDADES DE LAS FUNDICIONES

El empleo de la fundición para la fabricación de piezas para usos muy diversos, ofrece, entre otras, las siguientes ventajas:

1. Las piezas de fundición son, en general, mas baratas que las de acero ( que es el material que mas se utiliza en los talleres y fabricas de maquinaria, motores, instalaciones, etc.), y su fabricación es también mas sencilla por emplearse instalaciones menos costosas y realizarse la fusión a temperaturas relativamente poco elevadas, y mas bajas que las que corresponden al acero.

2. Las fundiciones son: en general, mucho mas fáciles de mecanizar que los aceros.
3. . Se pueden fabricar con relativa facilidad de grandes dimensiones y también piezas pequeñas y complicadas, que se pueden obtener con gran precisión de formas y medidas, siendo además en ellas mucho menos frecuente la aparición de zonas porosas que en las piezas fabricadas con acero fundido.
4. Para numerosos elementos de motores, maquinaria, etc., son suficientes las características mecánicas que poseen las fundiciones. Su resistencia a la compresión es muy elevada ( $50$  a  $100 \text{ kg/mm}^2$ ) es también aceptable para muchas aplicaciones. Tienen buena resistencia al desgaste y absorben muy bien ( mucho mejor que el acero), las vibraciones de maquinaria, motores, etc., a que a veces están sometidas.
5. Su fabricación exige menos precauciones que la del acero y, sin necesidad de conocimientos técnicos muy especiales, se llegan a obtener fundiciones con características muy aceptables para numerosas aplicaciones.
6. Como las temperaturas de fusión de las condiciones son, como hemos dicho antes, bastante bajas, se pueden sobre pasar con bastante facilidad, por lo que en general suele ser bastante fácil conseguir que las fundiciones en estado liquido tengan gran fluidez, y con ello se facilita la fabricación de poco espesor. En la solidificación presentan mucha menos contracción que los aceros y, además, su fabricación no exige como la de los aceros, el empleo de refractarios relativamente especiales de precio elevado.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

### CLASIFICACION DE LAS FUNDICIONES.

A continuación estudiaremos las fundiciones clasificadas de dos formas diferentes: primero de acuerdo con su *fractura*, y luego, por su microestructura, dejando el estudio de las fundiciones aleadas y especiales para mas adelante.

## CLASIFICACION DE LAS FUNDICIONES POR SU FRACTURA

Por el aspecto de las fracturas que presentan al romperse los lingotes de hierro obtenidos en el horno alto colados en arena y por el aspecto que tienen después de rotas las piezas fundidas, se clasifican las fundiciones en las tres primeras clases citadas anteriormente: fundición gris, blanca y atochada. La fundición gris contiene, en general, mucho silicio, 1.5% a 3.5%; la blanca, poco silicio, generalmente menos de 1%, y la atochada tiene, generalmente, un contenido de silicio intermedio, variable de 0.6 a 1.5%. El color oscuro que tienen las fracturas de las fundiciones grises y atochadas, se debe a la presencia en las mismas de gran cantidad de laminas de grafito.

El contenido de silicio de las aleaciones y la velocidad de enfriamiento, tienen gran influencia en la formación de una u otra clase de fundición. Las velocidades de enfriamiento muy lentas favorecen la formación de fundición gris; el enfriamiento rápido tiende, en cambio, a producir fundición blanca. Finalmente, el azufre y el manganeso ejercen también una cierta influencia contraria a la del silicio, y favorecen la formación de fundición blanca. Sin embargo, el manganeso y el azufre, cuando se encuentran formando inclusiones no metálicas de sulfuro de manganeso, no ejercen influencia favorable ni desfavorable en la formación de grafito ni en la aparición de fundiciones grises o blancas.

### DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS CLASIFICACION DE LAS FUNDICIONES POR SU MICROESTRUCTURA.

Las fundiciones que se obtienen en los altos hornos y en los cubilotes se pueden clasificar de acuerdo con la microestructura en tres grandes grupos:

1. Fundiciones en las que todo el carbono se encuentra combinado, formando cementita y que al romperse presentan fractura de fundición blanca.
2. Fundiciones en las que todo el carbono se encuentra en estado libre, formando grafito, son fundiciones ferríticas.

3. Fundiciones en las que parte del carbono se encuentra combinado formando cementita y parte libre en forma de grafito. A este grupo, que es el más importante de todos, pertenecen la mayoría de las fundiciones que se fabrican y se utilizan normalmente, como son las fundiciones grises, atorchadas, perlíticas, etc. Es interesante señalar que en la práctica es muy difícil encontrar fundiciones en las que todo el carbono aparezca en forma de grafito, como se acaba de indicar, para las fundiciones del segundo grupo; pero, sin embargo, se cita esta clase de fundición que casi puede considerarse como teórica, porque creemos que señalándola se facilita el estudio de todas las demás clases. Las fundiciones de ese grupo reciben el nombre de fundiciones grises ferríticas y en ellas todo el carbono se encuentra en forma de grafito.

Con cierto criterio amplio, también se podrían incluir en este segundo grupo, aunque no encaja exactamente en él, las fundiciones maleables cuya matriz es de ferrita y en las que el grafito se presenta en forma de nódulos. La fundición maleable se obtiene, primero se fabrica la fundición blanca y luego, por recocido de esta, se obtiene la fundición maleable, en la que el grafito tiene forma nodular. Existen además otras clases de fundiciones con grafito nodular, mejor dicho esferoidal, fabricadas con cerio o magnesio, en la tabla IV se indican los límites de composición de las fundiciones de uso más frecuente, y en tabla V se indica la forma de presentarse el carbono en las diferentes fundiciones.

Tabla IV Composición de las fundiciones de uso más corriente

Clase de Fundición	Composición en %					
		C	Si	Mn	P	S
Gris	Corriente	2,50-4,00	1,00-3,80	0,40-1,00	0,005-1,00	0,05-0,25
	Alta Resistencia	2,80-3,30	1,40-2,00	0,50-0,80	0,05-0,15	0,05-0,12
	Blanca	1,80-3,20	0,50-1,90	0,25-0,80	0,05-0,20	0,06-0,18
Maleable (composiciones de las fundiciones blancas)	Europea (blanca)	2,50-3,00	0,50-1,25	0,40-0,60	0,50-0,10	0,05-0,10
	Americana (negra)	2,00-2,75	0,50-1,20	0,40-0,60	0,05-0,10	0,05-0,10

## PRINCIPALES CONSTITUYENTES MICROSCOPICOS DE LAS FUNDICIONES

Los mas importantes son la ferrita, la cementita, la perlita ( formada por ferrita y cementita), el grafito y la steadita. Suele presentarse también la sorbita y en ocasiones, aunque menos frecuentes, la bainita y la martensita. También se puede señalar como constituyentes microscópico las inclusiones no metálicas de sulfuro de manganeso, y como menos importante todavía los silicatos complejos de hierro y manganeso.

Tabla V Clasificación general de las fundiciones de acuerdo a la forma de presentarse el carbono que contienen. No se han considerado ciertos casos muy especiales, como el de las fundiciones martensíticas, aciculares, etc.

Modo de presentarse el carbono	Clase de Fundición	Constituyentes
Fundiciones sin grafito		
Todo el carbono se presenta combinado	Fundición blanca 1) Hipereutectica	1) Cementita primaria en forma de agujas o bandas y cementita secundaria y perlita
	Fundición Blanca 2) Hipoeutectica	2) Cementita secundaria y perlita
Fundiciones con grafito en forma de láminas		
Parte del carbono se presenta combinado y parte en forma de láminas de grafito	Fundición atruchada Muy difícil de mecanizar	Grafito, cementita y perlita
	Fundición perlítica Alta resistencia	Grafito y perlita
	Fundición gris ordinaria Muy fácil de mecanizar y baja resistencia	Grafito, perlita y ferrita
Todo el carbono se presenta en forma de grafito en laminillas	Fundición ferrítica Fácil de mecanizar y muy baja resistencia	Grafito y ferrita

## Fundiciones con grafito en forma nodular o esferoidal

El grafito se presenta en forma nodular	Fundición maleable de corazón negro. Alta resistencia y buena tenacidad	Ferrita y grafito nodular. A veces también algo de cementita y perlita que no han llegado a transformarse en grafito
Teóricamente el carbono debía de haber desaparecido por descarbonación. En la práctica queda algo en forma perlítica y algo en forma nodular	Fundición maleable de corazón blanco Buena resistencia y buena tenacidad	Teóricamente, sólo ferrita. En la práctica suele quedar algo de grafito en nódulos y a veces algo de cementita y perlita sin transformar
El carbono se presenta en forma de grafito esferoidal y en forma de carbono combinado	Fundiciones especiales con grafito en forma esferoidal. (Fabricadas con cerio o magnesio.) Alta resistencia y muy buena tenacidad.	Ferrita, grafito en forma esferoidal y perlita. A veces también martensita revenida

**Grafito.-** El grafito es una forma elemental del carbono. Es blando untuoso, de color gris oscuro, con peso específico 2.25, que es aproximadamente 1/3 del que tiene el acero. Se presenta en estado libre en algunas clases de fundiciones, ejerciendo una influencia muy importante en sus propiedades y características. Estas dependen fundamentalmente de la forma de grafito, de su tamaño, cantidad y de la forma en que se encuentre distribuido.

En las fundiciones grises, que son la de mayor aplicación industrial, se presenta en forma de las laminas u hojuelas. En las fundiciones maleables, se presenta en forma de nódulos y en otras especiales en forma esferoidal.

Refiriéndonos a las fundiciones grises se puede decir que la presencia del grafito en cantidad importante, baja la dureza, la resistencia y el modulo de elasticidad en comparación con los valores que corresponderían a las mismas microestructuras sin

grafito, es decir, a la matriz que se puede considerar como un acero. El grafito, además, reduce las contracciones durante la solidificación.

En cambio, el grafito mejora la resistencia al desgaste y a la corrosión. Disminuye el peligro de los agarrotamiento por roce de mecanismos y piezas de maquinas y motores, ya que en cierto modo actúa como un lubricante. También mejora la maquinabilidad y reduce las contracciones durante la solidificación.

Cuando se presenta en forma de nódulos (fundición maleable) o en forma esferoidal ( fundición con cerio o magnesio), la disminución de la resistencia y de la tenacidad es menor. Por ello estas fundiciones tienen mayores resistencia y alargamientos que las fundiciones grises ordinarias.

**Steadita.-** La steadita es un compuesto de naturaleza eutéctica, duro y frágil y de bajo punto de fusión ( $960^{\circ}$ ) que aparece en las fundiciones de alto contenido de fósforo (en general, se presenta cuando el  $P > 0.15\%$ ). La steadita tiene un 10% de fósforo y su peso específico es próximo al del hierro. Como casi todo el fósforo que contiene las fundiciones se halla formado parte de la steadita, tendremos que una fundición con 1% de fósforo, por ejemplo, tiene aproximadamente en su microestructura 10% de steadita.

En la fundición gris la steadita esta compuesta de un eutéctico celular binario de ferrita y fósforo de hierro. En las fundiciones atorchadas y blancas la steadita esta constituida por un eutéctico ternario de ferrita, fosfuro de hierro y cementita. El fosfuro de hierro que forma parte de la steadita tiene una dureza elevada, 600 a 700 vickers, y la steadita suele tener de 300 a 350 vickers. En las fundiciones grises se observa que casi siempre en las proximidades de la steadita la dureza suele ser un poco mas elevada que en las demás zonas.

**Ferrita.-** Las principales características de este constituyente se señalaron al estudiar los aceros. Aquí solo destacaremos que, en general, la ferrita de los aceros se diferencia de la fundición, en que esta suele contener en disolución cantidades muy

importantes de silicio que elevan su dureza y resistencia. Así por ejemplo, desde valores de 28 Kg./mm<sup>2</sup> y 120 brinell en fundiciones de 2.5% de silicio.

**Perlita.-** Aquí conviene señalar que, debido a la presencia de silicio, el contenido en carbono de la perlita de las fundiciones es inferior al de los aceros. Al variar en las fundiciones el silicio de 0.5 a 3%, varía el porcentaje de carbono de la perlita de 0.8 a 0.5%.

**Lebedurita.-** Es el constituyente eutectico que se forma en el enfriamiento de las fundiciones de las fundiciones a 1.145° aproximadamente, en el momento en que termina la solidificación. Esta formada por 52% de cementita y 48% de austenita saturada. la ledeburita no existe a la temperatura ambiente en las fundiciones ordinarias, debido a que en el enfriamiento se transforma en cementita y perlita. Sin embargo, en las fundiciones se puede conocer las zonas donde existió la ledeburita, por el aspecto eutectico con que quedan esas agrupaciones de perlita y cementita.

---

## FUNDICIONES BLANCAS SIN GRAFITO

Las fundiciones blancas son aleaciones hierro-carbono cuyos procesos de solidificación y de transformación se realizan de acuerdo con las leyes generales correspondientes al diagrama hierro-carbono metaestable que se señala al estudiar los aceros y están constituidas fundamentalmente por perlita y cementita.

## FUNDICIONES CON CARBONO EN FORMA DE GRAFITO.

Las fundiciones grises, atorchadas, maleables, perlíticas y algunas especiales, pertenecen en cambio a una familia muy diferente de la que acabamos de estudiar de fundiciones blancas. En su microestructura, además de la ferrita, cementita y perlita,

aparece un nuevo constituyente, el grafito. Mas adelante en las fundiciones grises el carbono que se encuentra en forma de grafito ocupa un volumen mucho mayor que el carbono que se presenta en forma combinada en las fundiciones blancas. Por eso el peso específico de las fundiciones grises es menor que el de las blancas. El proceso de solidificación y enfriamiento en ambas fundiciones es diferente. En el proceso de enfriamiento de las fundiciones grises se produce en la zona de 1,000 a 800 una ligera dilatación debida a la formación de grafito que no se observa en las fundiciones blancas. En los procesos de fusión desde el estado liquido hasta la temperatura ambiente, las fundiciones blancas se contraen, aproximadamente, un 2.1%. El acero en cambio se contrae 5.2% aproximadamente.

### INFLUENCIA DEL SILICIO EN LAS FUNDICIONES.

Las leyes que rigen la formación de los constituyentes en las fundiciones grises, son algo diferentes de las que se estudian en el diagrama hierro-carburo 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%. El silicio se presenta normalmente en las fundiciones en forma de siliciuro de hierro disuelto en la ferrita o hierro alfa, no pudiendo observarse por lo tanto directamente su presencia por medio de examen microscópico. Cuando se halla en pequeñas cantidades, variables de 0.1 a 0.6%, no ejerce influencia importante. en cambio, cuando el silicio se halla presente en porcentajes variables de 0.6 a 3.5%. ejerce indirectamente una acción muy destacada y contribuyente a la formación de grafito, que modifica completamente el carácter y las propiedades de las aleaciones hierro-carburo.

En la figura se pudo ver el diagrama de Maurer, que fue uno de los primeros que señalaron de una forma clara la relación que hay entre los porcentajes de carbono y silicio y la clase de fundición que se obtiene en cada caso.

En las fundiciones, además del silicio y la velocidad de enfriamiento, también tiene una gran influencia en la

formación de grafito los contenidos de carbono, azufre y manganeso.

En efecto, muy pequeñas variaciones de carbono, hacen que en determinadas circunstancias la fundición pase de gris a blanca. Pero como en la fabricación normal de fundiciones en cubilote, por estar en todos los casos la fundición en contacto con el que, esas variaciones de carbono son muy pequeñas (suelen oscilar entre 3 y 3.5%) en la practica normal a esa influencia debida a la acción del carbono se le suele dar mucha menos importancia que a la del silicio, aunque en realidad la tenga también muy importante. El carbono favorece la formación de grafito y cuanto mayor sea el porcentaje de carbono mas fácil es la formación de grafito. La acción del azufre y del manganeso es, en general, contraria a la grafitizacion.



## INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO EN LAS FUNDICIONES

La velocidad de enfriamiento, que depende del espesor de las piezas y de la clase de molde empleado, es otro factor que también ejerce una influencia decisiva en la calidad y microestructura de las fundiciones. Los enfriamientos rápidos tienden a producir fundiciones blancas; los enfriamientos lentos favorecen la formación de grafito y, por lo tanto, la formación de fundiciones grises. Esta influencia es tan marcada que con una misma composición al variarse la velocidad de enfriamiento se obtienen diferentes calidades con distinta durezas y microestructura. La velocidad de enfriamiento que suele variar principalmente con el espesor de las piezas, también se modifica con la naturaleza de los moldes.

Los pequeños espesores se enfrían mucho mas rápidamente que los grandes. Un molde metálico, enfría mas rápidamente que un molde de arena. En los moldes metálicos el enfriamiento de la fundición será mas o menos rápida según sea el espesor del molde.

En algunos casos, para alcanzar las mayores velocidades de enfriamiento, los moldes metálicos son refrigerados con agua. Un ejemplo de la influencia que la velocidad de enfriamiento ejerce en la microestructura de las fundiciones, se puede observar en los resultados obtenidos con una pieza en las que hay zonas de muy diferente espesor. Sus escalones son de 3, 6, 12, y 24 mm. La composición es la siguiente: C = 3.25% y Si = 1.75%.

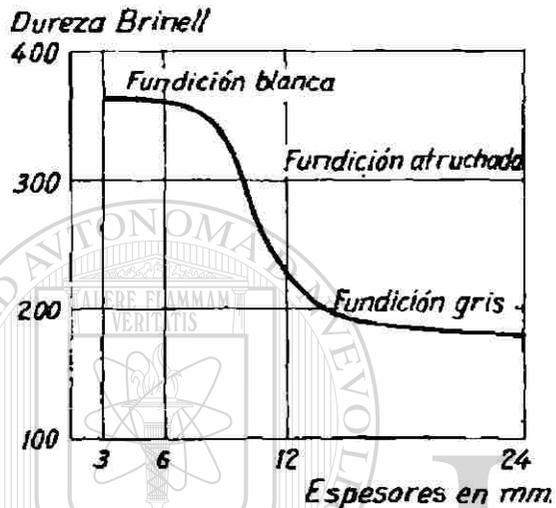
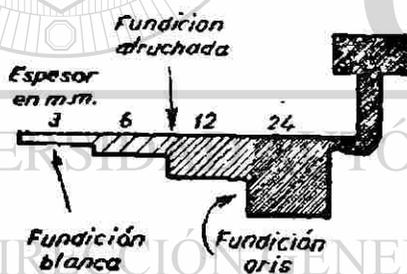


Fig. 2-5. Influencia de la velocidad de enfriamiento en la dureza y en la microestructura que se obtiene con una fundición de la siguiente composición C = 3.25%; Si = 1.75%; S = 0.045%, y P = 0.050%

Utilizando molde de arena, se obtuvo en los escalones de 3 y 6 mm de espesor fundición blanca con una dureza de 365 Brinell, y en los escalones de 12 y 24 mm de espesor se obtuvo fundición gris con durezas de 220 a 240 Brinell. En el escalón de 12 mm hay una zona intermedia de fundición atruchada con 240 a 350 Brinell de dureza.



## PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS Y COMPOSICIONES DE LAS FUNDICIONES GRISES.

Las fundiciones blancas son duras, frágiles, de fractura blanca y cristalina y en ellas el carbono se presenta combinado en forma de cementita. Las fundiciones grises son más blandas, de fractura grisácea y una parte del carbono se encuentra en forma de

grafito. Para obtener fundiciones grises, se deben vigilar los porcentajes de azufre y manganeso, que conviene que sean bastante bajos. Las fundiciones atorchadas son de características y microestructura intermedia entre las fundiciones blancas y las fundiciones grises.

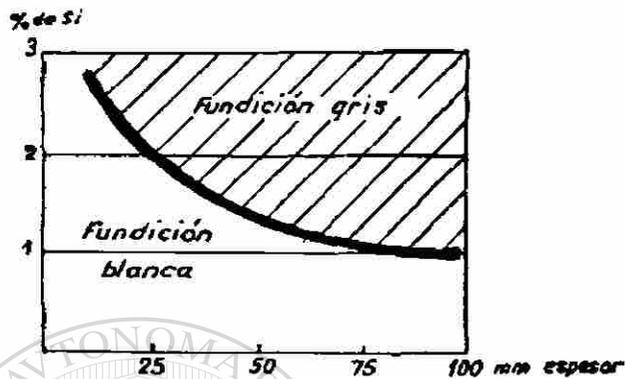


Fig. 2-6: Contenidos en silicio que deben sobrepasarse, para obtener en cubilote piezas de fundición gris fácilmente mecanizables en diferentes espesores. Se consideran siempre contenidos de carbono superiores a 3.20%, que es lo que normalmente se obtienen en cubilotes

Las fundiciones grises son, las más utilizadas en la construcción mecánica y puede decirse que el 95% de las fundiciones que se fabrican en la actualidad son fundiciones grises.

Cuando no se exigen una características mecánicas muy elevadas, las condiciones más interesantes que, en general, conviene que cumplan las fundiciones son: 1ª que cuelen bien; 2ª. que se mecanicen con facilidad, y 3ª que no tengan poros. Para que cuelen bien deben ser de baja temperatura de fusión y para ello conviene que tengan contenidos en carbono bastante elevados. En el cubilote, empleando un proceso de trabajo normal, se obtenía contenidos en carbonos variables de 3.00 a 3.75% y contenidos en silicio de 1.25 a 2.50% que, en general, son valores aceptables y convenientes. En la práctica normal el contenido en carbón de las fundiciones grises suele variar de 2.75 a 3.50%.

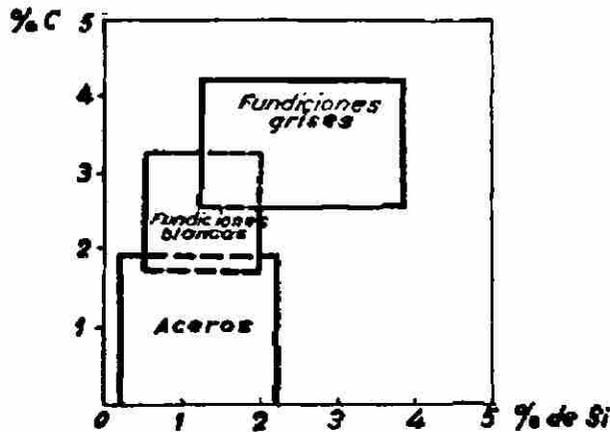


Fig. 2-7: Contenidos en carbono y en silicio correspondientes a las fundiciones grises, a las fundiciones blancas y a los aceros

En piezas de espesor medio de fundición gris ordinaria puede considerarse normal la siguiente composición: C:3.25% y Si:1.75%. Así, estos valores pueden servir de referencia de la composición de las fundiciones grises. La resistencia a la tracción de las fundiciones grises ordinarias suele variar de 10 a 20 Kg./mm<sup>2</sup> y su dureza de 120 a 180 Brinell. La resistencia de las fundiciones grises de calidad suele variar de 20 a 35 Kg./mm<sup>2</sup> y su dureza de 180 a 250 Brinell.

Las fundiciones para ser fácilmente mecanizables deben contener en general altos porcentajes de silicio. Si el contenido en silicio es bajo, puede aparecer fundición blanca, muy difícil de mecanizar. En la figura se señalan los contenidos en silicio que se deben rebasar para poder obtener fundición gris con diferentes espesores cuando se cuela la fundición en moldes secados en estufa.

### Microestructuras de fundiciones grises y hierros nodulares tratados por nitruración



Hierro gris clase 30

3% Picral

500X

Fig. 2-8 Nitruado por baño de sales líquidas a 1060°F (571°C) por 3 horas y enfriado en agua. Las hojuelas de grafito son de tipo A en una matriz de perlita. La capa de nitruro de hierro (blanco) en la superficie. Nota la microestructura evidentemente tiene nitrógeno que emigró a lo largo de las hojuelas de grafito



Hierro dúctil grado 80-55-06

3% Picral

500x

Fig. 2-9 Nitruado por baño de sales líquidas a 1060°F(571°C) por 3 horas y enfriado en agua. La capa de nitruro de hierro (blanco) en la superficie con piel porosa. Nódulos de grafito en matriz de perlita y ferrita libre (constituyentes claros)

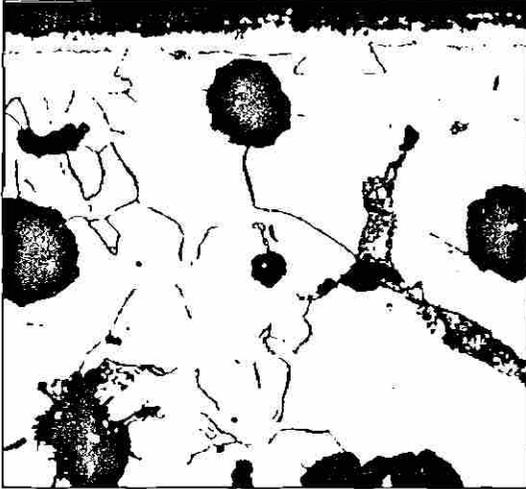
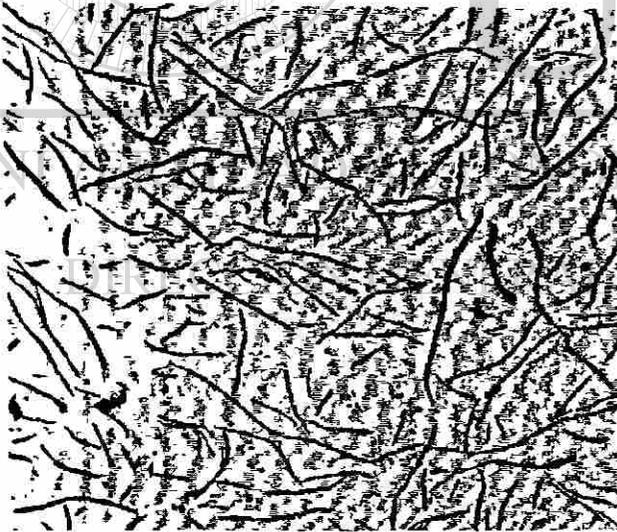


Fig. 2-10: Nitruado por baño de sales líquido a 1060 F (571 C) por 3 horas y enfriado en agua. Presenta nódulos de grafito en una matriz de libre ferrita (claros) con algo de perlita (grises irregulares); La capa de nitruro de hierro (blanco) en la superficie.

3% Picral

500X

Hierro dúctil grado 65-45-12



Únicamente pulida (no atacada)

100X

Fig. 2-11 Distribución de hojuelas de grafito tipo A en un hierro gris, caracterizado por una distribución uniforme y orientación aleatoria.

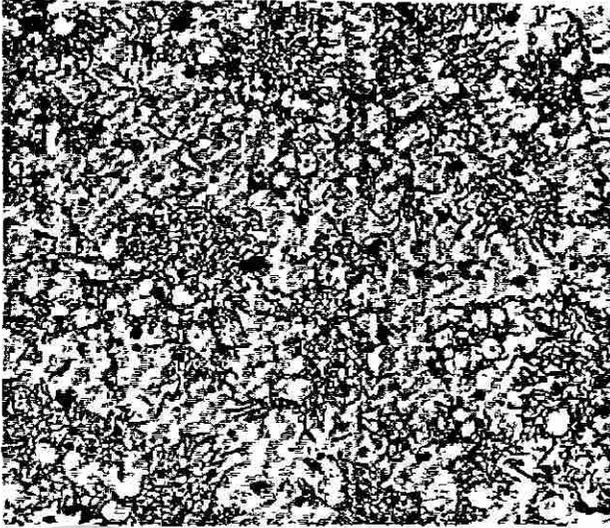
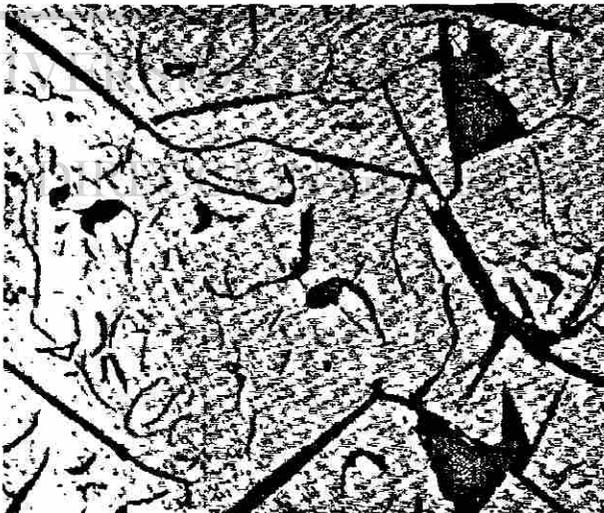


Fig. 2-12: Distribución de hojuelas de grafito tipo B en un hierro gris, caracterizado por un grupos de rosetas y orientación aleatoria.

Unicamente pulida (no atacada)

100X



Unicamente pulida (no atacada)

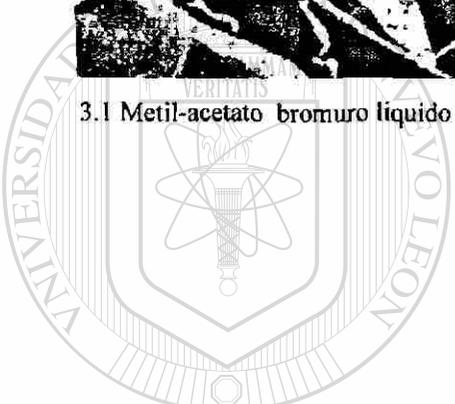
100X



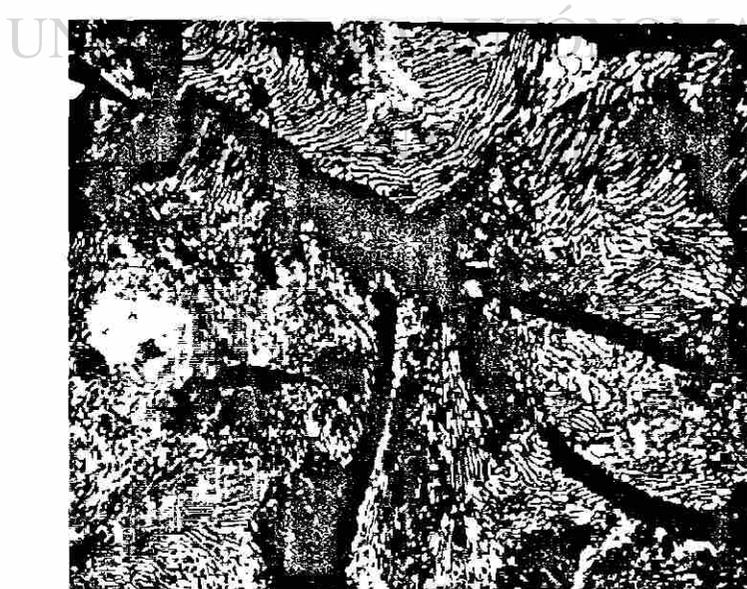
Fig. 2-14: Micrografía con un microscopio de barrido de electrones de hierro gris hipereutético con una matriz atacada que muestra la posición tipo de grafito B en el espacio.

3.1 Metil-acetato bromuro líquido

130X



UANL



UNIVERSIDAD DE NUEVO LEÓN  
BIBLIOTECAS

Fig. 2-15: hierro gris clase 30. Estructura de hojuelas de grafito tipo A en una matriz de perlita (alternando laminas claras de ferrita y oscuras de cementita )

3% Nital

500X

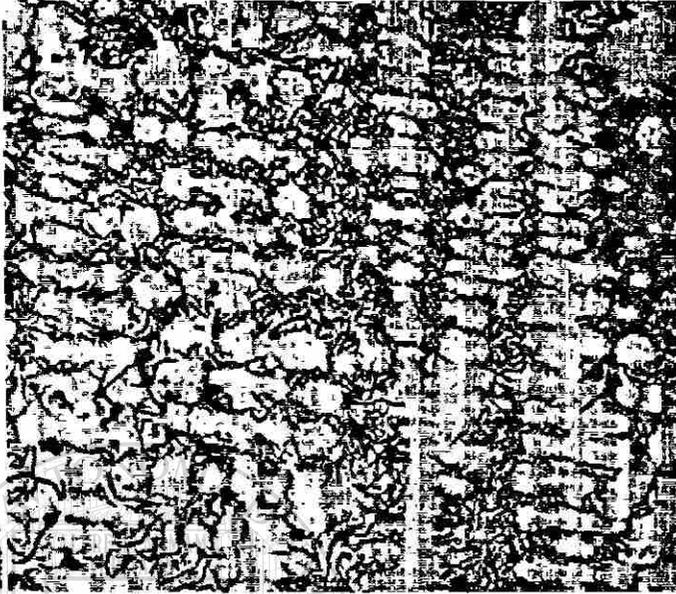
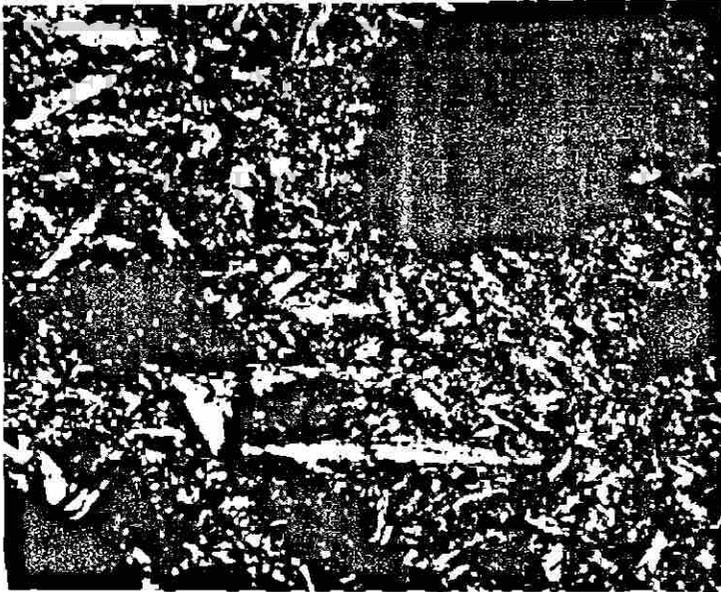


Fig. 2-16: Distribución de hojuelas de grafito tipo E en un hierro gris, caracterizado por segregación interdendrítica y orientación preferencial.

Unicamente pulida (no atacada)

100X



2% Nital

500X

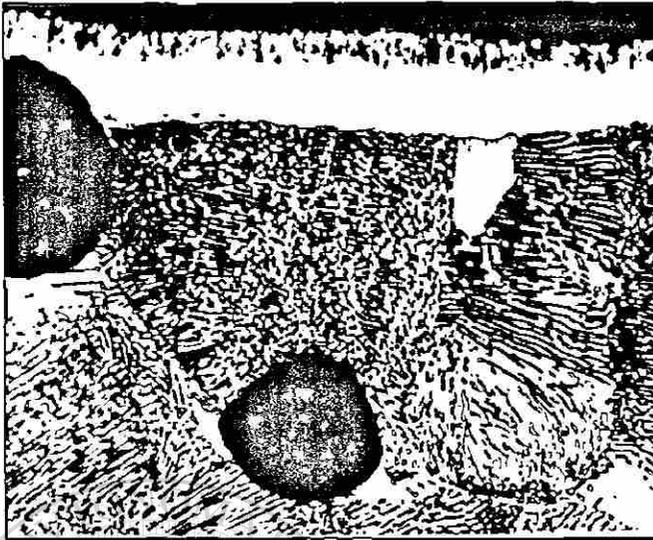


Fig. 2-19 Hierro dúctil grado 80-55-06 nitrurado en baño de sales a 1060 F (571 C) por 3 horas y enfriado en agua. La superficie muestra nitruros (blanco) con poros; grafitos nodulares en matriz de perlita y libre de ferrita (constituyente claro), este revela los detalles de los nódulos de grafito.

3% Picral



Fig. 2-20: Clase 50 de hierro gris vaciado tamaño de hojuelas de 7 grafito con segregación, interdendrítica las hojuelas son principalmente del tipo D (orientación aleatoria)

3% Picral

1000X

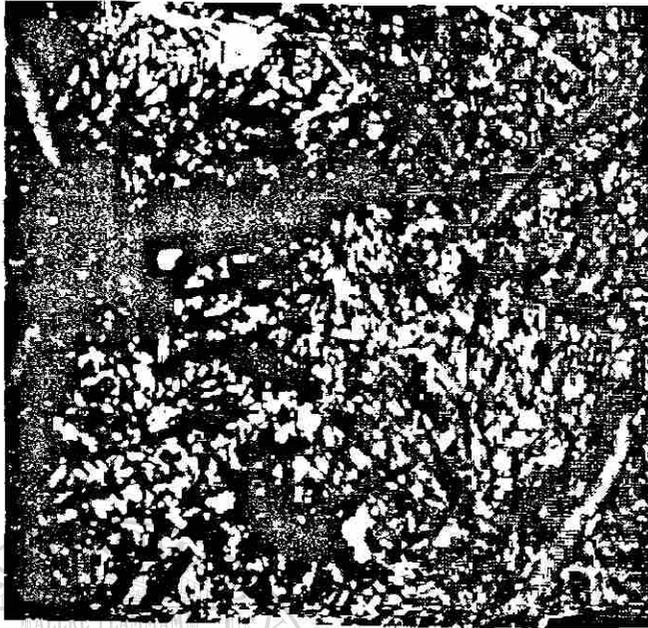


Fig. 2-21 hierro gris clase 30B (3.45% C, 2.17% Si) austenizado a 1600 F (871 C), enfriado en aceite. Grafito tipo A en un matriz de martensita (oscuro); con algunas partículas de carburo (claro, lineados) y austenita retenida (blanco)

3% Picral

1000X



Fig. 2-22: SAE G4000d hierro gris austenizado a 1,800 F (982 C) en aceite. Estructura que muestra el efecto de Austenización en una excesiva temperatura: matriz martensita y que contiene una gran cantidad de austenita retenida (las áreas claras son la matriz)

3% Picral

1000X

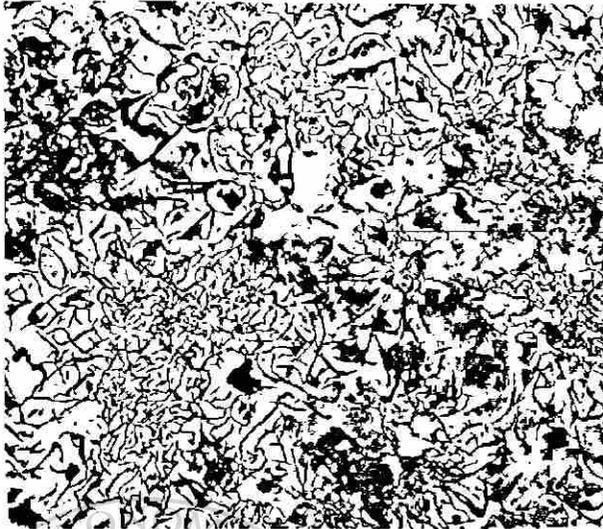
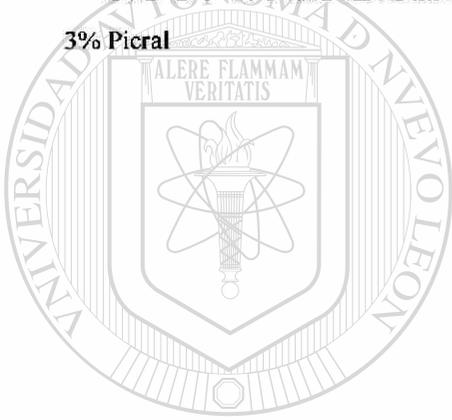


Fig. 2.23: Hierro gris (3.3-3.6 C, 2.25-2.60 Si) con un estructura anormal (hojuela de grafito tipo B y excesiva ferrita, en perlita), que es el resultado de una pobre resistencia

3% Picral

100X



UANL

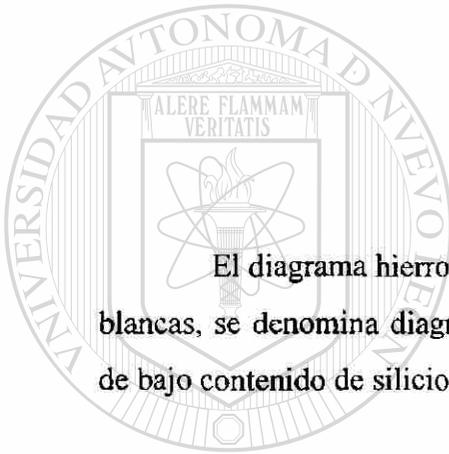
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

# CAPITULO III

## DIAGRAMA HIERRO-CARBONO

### ESTABLE



El diagrama hierro-carbono que se señala al estudiar los aceros y las fundiciones blancas, se denomina **diagrama metaestable** y corresponde a aleaciones hierro-carbono de bajo contenido de silicio.

Las transformaciones que se producen en los calentamientos y enfriamientos de las fundiciones grises deben estudiarse con ayuda de un diagrama de hierro-carbono un poco diferente del de los aceros, que se llama **diagrama hierro-carbono estable** (que señala los fenómenos y transformaciones estables correspondiente a las aleaciones hierro-carbono), y se refiere, en general, a las aleaciones de alto contenido en silicio (1 a 4% generalmente). Una característica de este diagrama estable es que sus constituyentes son grafito y hierro en lugar de cementita y hierro, que son los constituyentes de una forma lenta.

Otra circunstancia importante que debe cumplirse para que las transformaciones se verifique de acuerdo con el diagrama estable, además de un alto contenido en silicio es que el enfriamiento de las aleaciones se verifique de una forma lenta.

En la figura 3.1 junto al clásico diagrama hierro-carbono metaestable, se señala con líneas de puntos un diagrama estable que nos servirá para estudiar las transformaciones que experimentan las fundiciones grises, atochadas y algunas especiales en los procesos de calentamiento y enfriamiento, y para conocer también las microestructuras que en cada caso se probar obtener.

En la figura 3.2 se ha señalado el diagrama estable correspondiente a 1.5% de silicio, que es un contenido que se puede considerar como medio entre los utilizados en las fundiciones grises de uso corriente. Se observa que en el diagrama estable las líneas de transformación están desplazadas hacia arriba y hacia la izquierda.

Los contenidos en carbono de las aleaciones eutécticas y eutéctoides del diagrama estable, varían con el contenido en silicio de las fundiciones y son inferiores a los que correspondan al diagrama metaestable. En las transformaciones del diagrama estable, para una temperatura determinada, la austenita es capaz de disolver menor cantidad de carbono que el que disuelve a la misma temperatura la austenita cuando las transformaciones se hacen de acuerdo con el diagrama metaestable.

En la figura 3.3 se señalan las variaciones que experimentan el contenido en carbono de las composiciones eutéctoides al variar el contenido de silicio. Observando los gráficos de la figura, se ve que con cierta aproximación se puede conocer fácilmente el contenido en carbono de la aleación eutéctica y de la perlita de fundiciones de diverso contenido en carbono con ayuda de las siguientes fórmulas:

$$\text{carbono eutéctico} = 4.3 - \% \text{si}/3.$$

$$\text{carbono eutécticoide} = .9 - \% \text{si}/9.$$

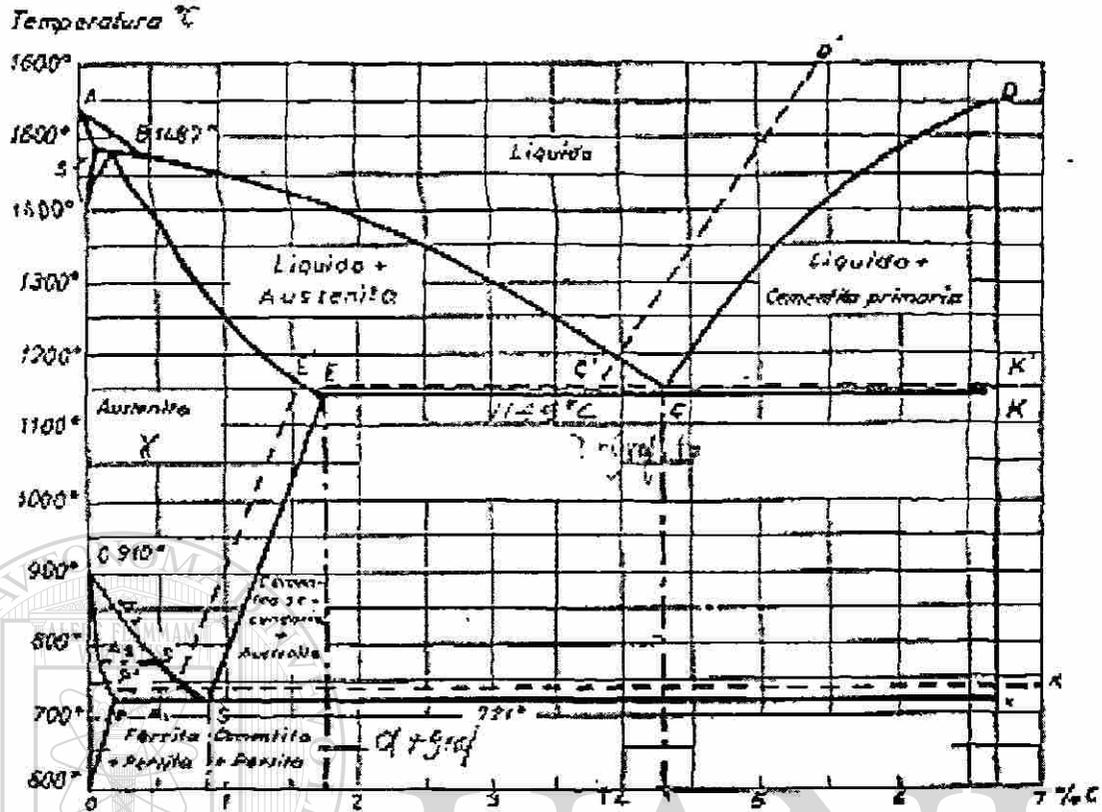


Fig. 3. Diagrama Fe-C

## UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN FORMACION DE GRAFITO.

### DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

La aparición del grafito en vez de cementita en las aleaciones hierro carbono, es debida a la inestabilidad del carburo de hierro en determinadas circunstancias y condiciones que hacen imposible su existencia y favorecen, en cambio, la formación del grafito.

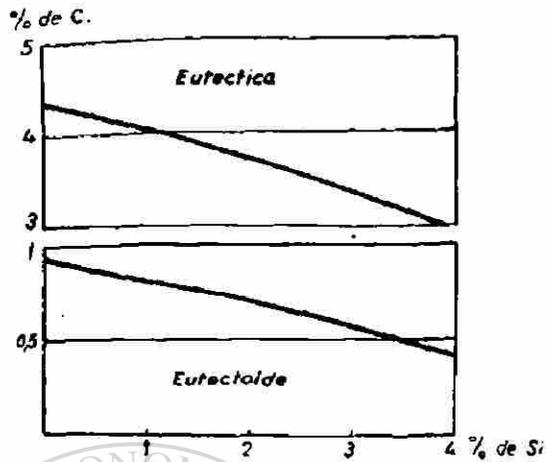
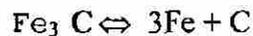


Fig. 3.2 Influencia del contenido de silicio de las fundiciones en el porcentaje de carbono de las composiciones eutectica y eutectoide.

Las principales circunstancias que favorecen la formación de grafito son, como ya hemos señalado antes, un elevado porcentaje de silicio y un enfriamiento relativamente lento. Experimentalmente se ha comprobado también que la presencia de núcleos de cristalización en la fase líquida, ejerce gran influencia en la formación del grafito. El manganeso, azufre y cromo favorecen en cambio la formación de cementita. La máxima temperatura alcanzada por la aleación durante la fusión y la temperatura de colada, también influyen en la cantidad, tamaño y distribución de las laminas de grafito. En algunos casos el grafito se forma directamente, y en otros se forma al desdoblarse la cementita en grafito y hierro, según la siguiente reacción:

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



En general, el grafito se forma más fácilmente a temperaturas elevadas que a bajas temperaturas, y en las fundiciones hipereutecticas se realiza más fácilmente la formación de grafito cuando parte de la aleación está todavía fundida, que cuando toda ella se encuentra en estado sólido.

## INFLUENCIA DEL AZUFRE, FOSFORO, MANGANESO, OXIGENO E HIDROGENO EN LAS FUNDICIONES

**Azufre.-** El azufre se opone a la grafitización del carbono y favorece la formación de cementita. Su influencia en ausencia del manganeso es verdaderamente sensible. El azufre tiene una fuerte afinidad con el manganeso y al combinarse ambos elementos forman el sulfuro de manganeso, que no tiene en cambio ninguna influencia en la formación del grafito o de la cementita. Por lo tanto, inversamente a lo que antes hemos explicado, la primera adición de azufre, a una fundición de un contenido relativamente elevado de manganeso, tiende indirectamente a grafiticar la fundición. Esto es debido a que el azufre, ya que al principio favorecen la grafitización en lugar de oponerse a ella.

En cambio, cuando el azufre existe en exceso en una fundición con poco manganeso, se forma con el hierro el sulfuro de hierro que favorece la formación de cementita y tiende, por lo tanto, a blanquear la fundición. En las fundiciones, los contenidos en azufre suelen variar de 0.10 a 0.200%.

El azufre en ocasiones, cuando se encuentra en las fundiciones en cantidades importantes y forma S Fe, por no haber suficiente cantidad de manganeso, puede dar lugar al fenómeno de temple invertido. Suele ocurrir que el azufre aparece segregado en las zonas centrales próximas a las mazarotas o rechupes en forma de sulfuro de hierro que tiende a blanquear en esos puntos a la fundición. Entonces ocurre que la zona central es mas dura que la periferia, y por eso este fenómeno suele conocerse con el nombre de temple invertido.

**Fósforo.-** El fósforo se suele añadir a veces intencionalmente a la fundición con objeto de favorecer su colabilidad y se emplea cuando se quiere fabricar piezas de forma complicada o de carácter decorativo u ornamental.

El fósforo no ejerce influencia muy sensible sobre la grafitización del carbono en las fundiciones, aunque puede decirse que, en general, se opone ligeramente a ella. La presencia del fósforo da lugar a un aumento de la fragilidad y aumenta la dureza.

La mejora de la colabilidad de las fundiciones por la presencia del fósforo es debida a la formación del eutectico steadita de bajo punto de fusión que suele aparecer en los contornos de los granos.

En el hierro dulce la ferrita llega a contener en disolución hasta 1.7% de fósforo, y cuando el porcentaje de fósforo es superior a 1.7% se forma un eutectico binario de hierro con fósforo en solución y fósforo de hierro.

En las fundiciones blancas se forma un eutectico binario de 39% de ferrita con algo de fósforo en solución, fosfuro de hierro y cementita.

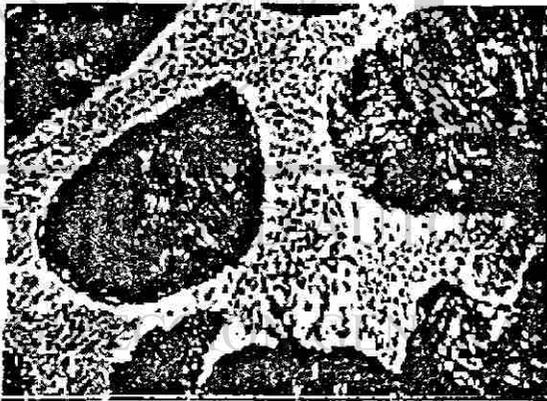


Fig. 3.3 Eutectico de steadita formado por agrupaciones de fosfuro de hierro sobre un fondo blanco de ferrita. Se observan también grandes cristales negros de perlita

En las fundiciones grises se forma un eutectico binario de 39% de ferrita con algo de fósforo en solución y 61% de fosfuro de hierro.

Un contenido normal en fósforo en las fundiciones es, por ejemplo, 0.150% empleándose contenidos mas bajos cuando se desea alta resistencia, y mas elevados, de 0.50 a 1.50%, cuando se desea alta colabilidad.

**Manganeso.-** El manganeso se opone lo mismo que el azufre, como ya hemos indicado antes, a la grafitización del carbono y favorece en cambio, la formación de cementita. Tiende a blanquear las fundiciones y a aumentar su dureza dificultando la mecanización. Normalmente las fundiciones suelen contener de 0.4 a 1.5% de manganeso. El manganeso con el azufre forma inclusiones de sulfuro de manganeso, y como ya hemos señalado anteriormente, el principal papel del manganeso es neutralizar el azufre, evitando la formación del sulfuro de hierro

**Oxígeno.-** El oxígeno es un antigrafitizante energético que se encuentra presente en mayor o menor cantidad en todas las fundiciones. Se presenta principalmente en forma de inclusiones no metálicas, muchas de ellas submicroscópicas, de óxido de hierro, de manganeso, de aluminio y de silicio.

El porcentaje de oxígeno que contienen las fundiciones suele variar de 0.002 a 0.20%. Con altos porcentajes de oxígeno la colabilidad del metal disminuye mucho, se producen rechupes importantes y la estructura puede sufrir sensibles modificaciones.

**Hidrógeno.-** El hidrógeno se presenta también casi siempre como impureza gaseosa en las fundiciones y da lugar a porosidades en las piezas cuando el porcentaje es importante.

El hidrógeno suele provenir de la humedad de los moldes, de vapor de agua contenido en el aire soplado, de la humedad del coque.

La solubilidad del hidrógeno en la fundición aumenta con el porcentaje de silicio. Por ello las fundiciones altas en silicio suelen ser más porosas que las de bajo contenido en silicio. Una de las ventajas de las fundiciones inoculadas es que al fabricarse en el horno con bajo porcentaje de silicio, y añadirse luego el ferrosilicio al canal de colada o la cuchara, se consigue limitar mucho la absorción y como consecuencia se reduce notablemente los riesgos de que aparezcan luego porosidades en las piezas.

## CAPITULO IV

# CARACTERISTICAS MECANICAS DE LAS FUNDICIONES



## INFLUENCIA DE LA COMPOSICION Y DE LA MICROESTRUCTURA EN LAS CARACTERISTICAS MECANICAS DE LAS FUNDICIONES.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

El estudio de las características mecánicas de las fundiciones es más difícil que el de los aceros. La composición química de una fundición ordinaria no da como en los aceros al carbono normalizados una idea de su resistencia, ya que otros factores como el método de

enfriamiento, la temperatura de fusión y de colada, el espesor de las piezas, la acción de inoculantes, el subenfriamiento, etc., tienen también una influencia muy importante en sus propiedades.

En la figura 4.1 se ha representado gráficamente la relación que hay entre las diferentes durezas y resistencias de las diferentes clases de las fundiciones que se pueden obtener con la misma composición se obtienen resistencias y durezas muy diferentes al variar la microestructura que depende principalmente de la velocidad de enfriamiento. se observa que en todas esas fundiciones la dureza aumentada progresivamente desde la fundición ferrítica, que con 140 Brinell es la mas blanda, hasta la fundición blanca, que con 300 a 550 Brinell, es la mas dura, teniendo las fundiciones perlíticas, que se pueden considerar de una calidad intermedia, una dureza de 180 a 220 Brinell.

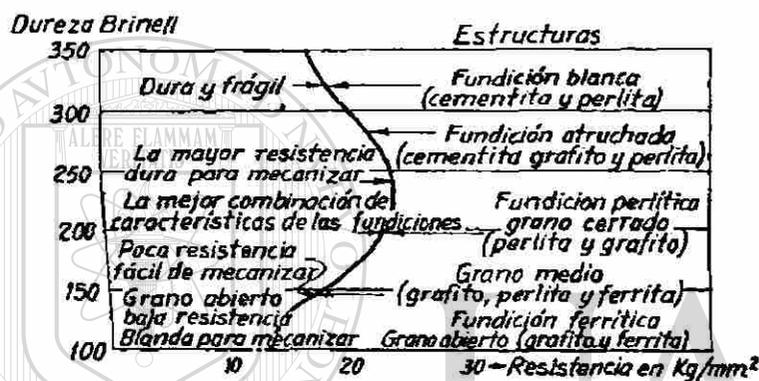


Fig. 4.1 Relación entre la dureza y la resistencia a la tracción de las fundiciones y su microestructura

Las fundiciones de mayor dureza son las que tienen los microconstituyentes de máxima dureza. Cuanto mas cementita contienen son mas duras y cuanto mas ferrítica y grafito son mas blandas. Por eso, las fundiciones blancas que tienen mucha cementita son muy duras, las ferríticas y grises que tienen mucho grafito y ferrita son las mas blandas, y las perlíticas y atruchadas, que tienen cantidades variables de unos y otros constituyentes, tienen una dureza intermedia.

Estudiando, en cambio, solo las fundiciones grises, si se encuentra una cierta correspondencia entre las durezas y las resistencias, como se puede observar en la figura 4.2. Para bajas resistencias la relación entre la dureza y la resistencia es de 13, aproximadamente, y para altas resistencias de 7 o a veces menos.

Las resistencias a la tracción y a la compresión de las fundiciones son diferentes en vez de ser iguales entre si como los aceros. Para bajas durezas la resistencia a la compresión llega a ser unas 5 veces mayor que la resistencia a la tracción y para altas resistencias esa relación baja a 2.5. cuando mayor sea la resistencia de la matriz, mayor será la resistencia de la fundición se debe estudiar teniendo en cuenta los dos factores: la matriz y las laminas de grafito.

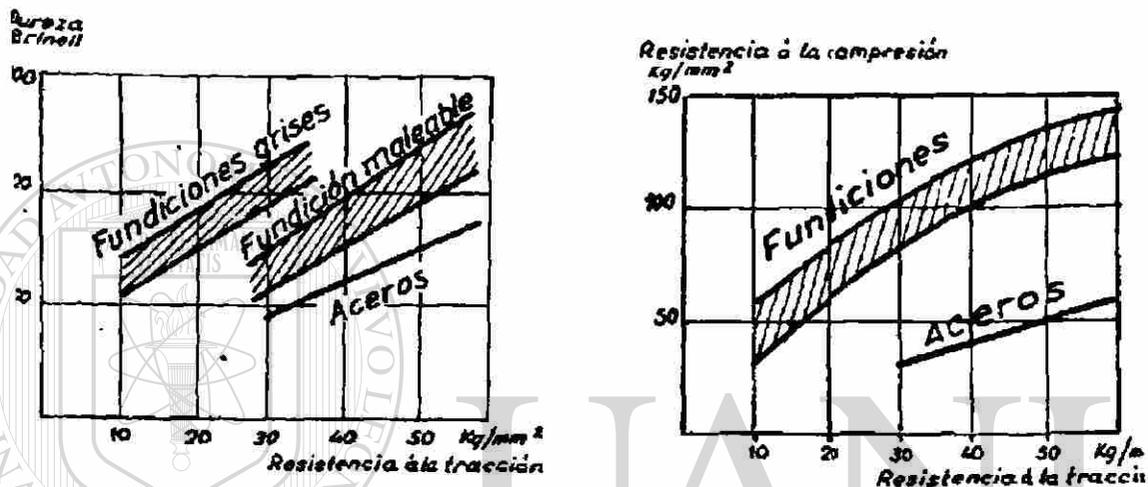


Fig. 4.2 a) Equivalencia aproximada entre la durezas y las resistencias a la tracción de los aceros y fundiciones grises maleables. Las equivalencias entre la resistencia y la dureza de las fundiciones se da solo a titulo de orientación

b) Relación entre la resistencia a la tracción y la resistencia a la compresión en las fundiciones y en los aceros

La resistencia de la matriz suele variar de 50 a 98 Kg./mm<sup>2</sup>, aproximadamente. El silicio eleva la resistencia de la ferrita y, por lo tanto, la de la matriz que suele estar constituida por ferrita y perlita. La ferrita de una fundición que contiene, por ejemplo, 2.55 de silicio 6 0.8% de manganeso, puede considerarse que como valor medio tienen una resistencia aproximada de unos 5 Kg./mm<sup>2</sup>. En los aceros la ferrita que contiene muy poco silicio solo tiene una resistencia aproximada de 30 Kg./mm<sup>2</sup>.

Cuando en las fundiciones grises, además de ferrita, hay perlita, la resistencia de la matriz es superior a 50 Kg./mm<sup>2</sup>, y cuando la matriz es totalmente perlítica, su resistencia llega a unos 98 Kg./mm<sup>2</sup>, aproximadamente. La resistencia de la matriz de las fundiciones grises puede conocerse, con cierta aproximación, empleando la formula:

(  $50 + 60 \times C$  ), en la que C es el tanto por ciento de carbono combinado que varia de 0 a 0.8%, aproximadamente. Según esta formula, la máxima resistencia a la tracción de la matriz es  $98 \text{ Kg./mm}^2$ .

La influencia del grafito en la resistencia a la tracción de las fundiciones es bastante complicada. Una formula, derivada de la que antes hemos citado, muy útil para conocer la resistencia de las fundiciones grises, es la siguiente:  $R = \alpha ( 50 + 60C)$ , en la que R es la resistencia a la tracción,  $\alpha = 0.2$ . Si la fundición es ferrítica, se obtiene:  $R=0.20 \times 50=10 \text{ Kg./mm}^2$ . Cuando la fundición es perlítica y tiene grandes laminas de grafito:  $R = 0.20 (50+48) = 19.3 \text{ Kg./mm}^2$ . En el caso de que las laminas sean pocas y pequeñas :  $\alpha= 0.40$ , con lo que se llega a resistencias de  $R = 0.40 \times 50 = 20 \text{ Kg./mm}^2$  para fundición ferrítica y a  $R = 0.40 (50+48) = 39.2 \text{ kg./mm}^2$  para fundición perlítica.

Como resumen de lo explicado, que se refiere solo a las fundiciones grises, se comprende que para alcanzar en estas fundiciones la máxima resistencia a la tracción, hay que procurar: 1º Que la matriz sea de máxima resistencia, es decir, que la matriz sea perlítica. 2º Obtener el menor porcentaje posible de carbono grafitico, ya que cada partícula de grafito es causa de una disminución de resistencia, y 3º conseguir que las laminas de grafito sean pequeñas, lo mas redondeadas posible y estén bien distribuidas.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

CARACTERISTICAS MECANICAS DE LAS FUNDICIONES GRISES Y  
CLASIFICACION DE ACUERDO CON SU RESISTENCIA A LA  
TRACCION

En la practica industrial, cada día se tiene mas en cuenta la resistencia a la tracción de las fundiciones grises, y es frecuente clasificar las fundiciones por la resistencia a la tracción. (fig. 4.3)

En las figuras 4.5, 4.6 y 4.7 se señalan las resistencias, durezas y módulos de elasticidad que se obtienen en piezas de diferentes espesores con las fundiciones de 15, 20, 30, etc., Kg./mm<sup>2</sup> (es decir, fundiciones que en probeta de 30mm dan 15, 20, 30 Kg./mm<sup>2</sup> de resistencia). para completar la idea general que estamos dando sobre las diferentes clases de fundiciones de resistencias relativamente elevadas que en la actualidad se emplean en la industria, a continuación señalamos las características principales de los cinco grupos mas importantes.

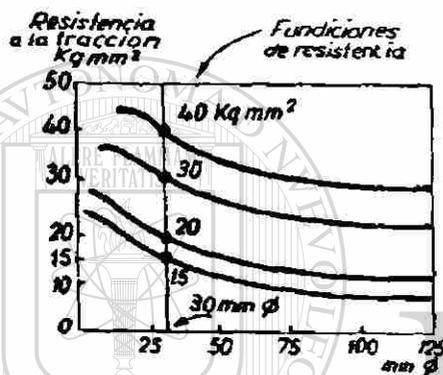


Fig. 4.5: Influencia del espesor de las piezas en las variaciones de la resistencia a la tracción de fundiciones de diferentes resistencias ( esta resistencia se refiere a redondos de 30 mm. De espesor)

1.º Fundiciones de menos de 15 kg/mm<sup>2</sup>. Son, en general, fundiciones con menos de 0.5% de carbono combinado.

2.º Fundiciones de 20 Kg./mm<sup>2</sup>, aproximadamente ( 15 a 25 Kg./mm<sup>2</sup>). Son en general, perlíticas con grafito laminar.

3.º Fundiciones de 30 kg/mm<sup>2</sup> aproximadamente ( 25 a 35 Kg./mm<sup>2</sup>). Son fundiciones perlíticas de propiedades muy parecidas a las anteriores, aunque con frecuencia suelen ser alcanzadas.

4.º Fundiciones de 40 Kg./mm, aproximadamente ( 35 a 50 Kg./mm<sup>2</sup>). Son en general, fundiciones aciculares con grafito laminar muy fino.

5.º Fundiciones de 60 kg/mm<sup>2</sup>, aproximadamente (50 a 60 Kg./mm<sup>2</sup>). Son en general, fundiciones con grafito esferoidal

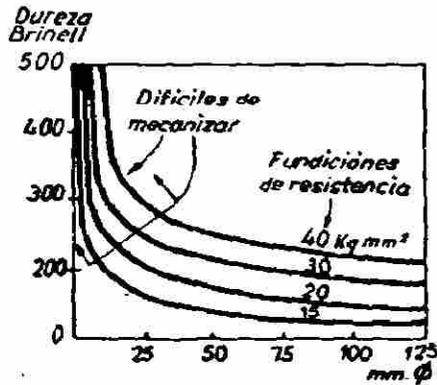


Fig. 4.6 Influencia del espesor de las piezas en la variación de la dureza de las fundiciones de diferentes resistencias a la tracción

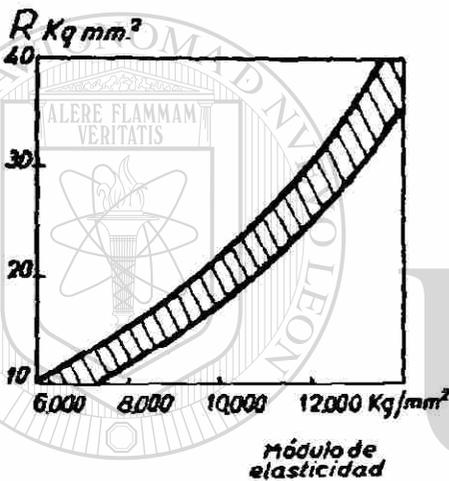


Fig. 4.7 Relación aproximada entre la resistencia de las fundiciones y su módulo de elasticidad

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
 DESCRIPCIÓN DE ALGUNAS CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES  
 DE LAS FUNDICIONES ORDINARIAS. <sup>®</sup>

Resistencia al desgaste.- Es muy difícil señalar de una forma muy concreta el comportamiento o resistencia al desgaste de un determinado material, porque son muy complejos y numerosos los factores que para ello deben tenerse en cuenta. Los más importantes son: la presión con que actúan las cargas, la velocidad de desplazamiento relativo de las piezas, el tipo de lubricante empleado, el grado de oxidación y de corrosión superficial y la diferencia de dureza que hay entre los materiales que rozan. Sin

embargo, se puede decir a título informativo que, en general, las fundiciones grises y en especial las fundiciones grises perlíticas, dan excelentes resultados cuando se emplean para la fabricación de piezas de motores y maquinas que deben resistir al desgaste. No se ha podido encontrar una ley que relacione directamente alguna característica mecánica de los materiales con su resistencia al desgaste, aunque T.L. Oberle ha llegado a establecer un índice denominado factor Modell = Dureza Vicquers/ Modulo de elasticidad, que da una idea aproximada de la resistencia al desgaste relativo que se puede llegar a producir en diferentes clases de materiales.

Observando los valores de la tabla se ve que el comportamiento de la fundición gris es excelente comparado con el de otros materiales.

Resistencia a la corrosión.- las fundiciones ordinarias tienen en general una resistencia al agua, a los ambientes de ciudades industriales y a otros medios ligeramente corrosivos bastante superior a la de los aceros ordinarios. Por eso las fundiciones son muy empleadas para la fabricación de piezas de maquinaria o instalaciones que queden a la intemperie o en contacto con el agua como canalizaciones, bombas, radiadores, calderas, compresores, etc. Además, la superficie un poco rugosa de las fundiciones que puede cubrirse muy bien con brea, alquitrán u otras pinturas protectoras, que mejoran aun su propia resistencia.

## DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

### RELACION ENTRE LA COMPOSICION DE LAS FUNDICIONES Y SU MICROESTRUCTURA Y RESISTENCIA.

recientemente numerosos autores, sobre todo los americanos, consideran que es mas representativo del carácter de una fundición el valor del  $C + Si/3$  o aun mas el del  $C + Si/3 + P/3$  que recibe el nombre de (carbono equivalente). Finalmente, en Alemania se tiende a valorar el carácter de las fundiciones de acuerdo con el  $I_s$  (índice de saturación), que se determina por la formula:

$$I_s = \frac{C}{4.3 - (Si/3)} \quad \text{O también} \quad I_s = \frac{C}{4.3 - (Si/3 + P/3)}$$

Criterio que, en cierto modo, es parecido al del carbono equivalente pero expresado con diferente coeficiente.

Una fundición es hipoeutectica si el equivalente es inferior a 4.3 eutectica si su valor es 4.3 y hipereutectica si es superior a 4.3. Considerando los valores del índice de saturación, también se puede conocer el carácter de las fundiciones. Serán hipoeutecticas cuando ese valor es inferior a 1, eutecticas con el índice de saturación igual a 1 y hipereutecticas cuando es superior a 1.

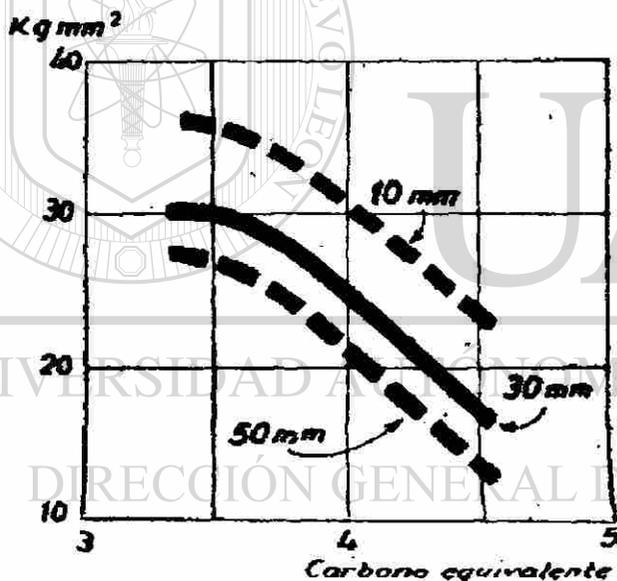
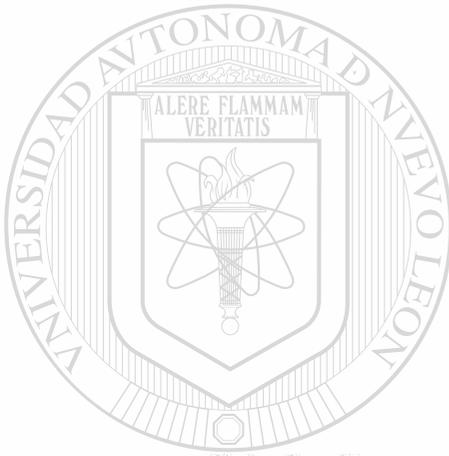


Fig. 4.8 Influencia del carbono equivalente (%C +%Si/3 +%P/3) en las resistencias que se obtienen en las piezas de fundición de diferentes espesores.

Con la ayuda de las curvas de la figura 4.8 se puede conocer para diferentes espesores la resistencia a la tracción que se obtiene con fundiciones con diversos valores del carbono equivalente.

## CAPITULO V

# FUNDICION PERLITICA



### FUNDICION PERLITICA

UANL

Entre las diversas clases de las fundiciones que se fabrican en la actualidad, la fundición perlítica es una de las de mayor interés industrial y una de las que cada día tiene mayores aplicaciones. La fundición perlítica es una fundición gris, que esta constituida por una serie de laminillas de grafito embebidas en una masa de perlita laminar y puede considerarse como un acero eutectoide en el que se hallan incrustadas innumerables laminas de grafito.

Para una gran mayoría de los empleos corrientes de las fundición gris, como la fabricación de piezas de motores, maquinaria y de instalaciones industriales, su resistencia a la tracción varia normalmente, como ya hemos dicho antes, de 20 a 35 Kg./mm<sup>2</sup>, tiene gran tenacidad y gran resistencia al desgaste.

La perlita que aparece en estas fundiciones suele contener un porcentaje de carbono de 0.80%, aproximadamente. En la figura 5.1 se señalan diferentes piezas de fundición de distintos espesores con diversos contenidos en carbono total, en las fundiciones, en cambio, el carbono total es la suma del carbono que se encuentra en forma de grafito y de carbono que se encuentra combinado, es decir, del carbono que se encuentra en forma de cementita.

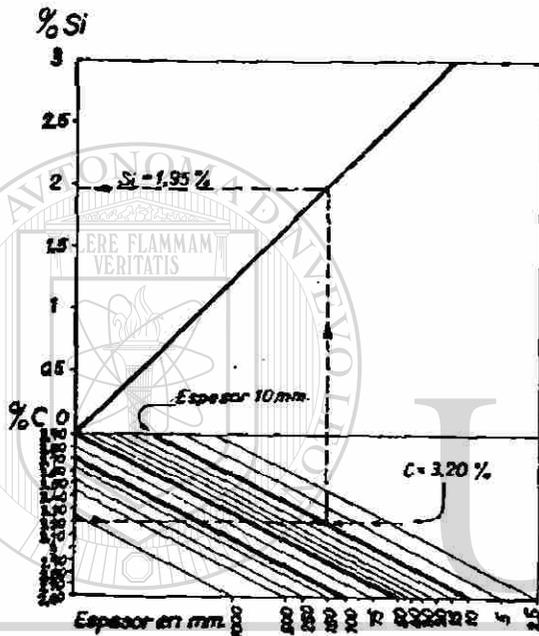


Fig. 5-1: Contenidos aproximados de carbono y silicio que son necesarios para obtener fundición perlítica, en piezas de diferentes espesores colados en arena seca

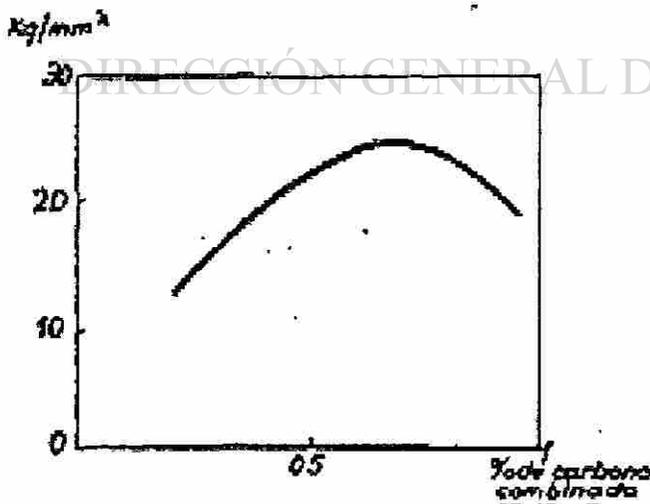


Fig. 5-2: Relación entre el carbono total y la resistencia en las fundiciones perlíticas. Se procura reducir el contenido de carbono total en las fundiciones hasta 2.8 a 2.5% (acerar la fundición) para aumentar la resistencia a la tracción de las fundiciones. Esto se consigue porque las fundiciones perlíticas de menor porcentaje de carbono son las que tienen menor cantidad de láminas de grafito.

En las fundiciones grises perlíticas se ha observado que cuanto menor sea el porcentaje de carbono que contienen, mayor es su resistencia.

Esto es natural que ocurra, ya que si consideramos diversas fundiciones grises de estructura perlítica, en las que el porcentaje de carbono combinado es constante 0.80% aproximadamente, tendremos que debe cumplirse, como en todas las fundiciones:

$$\text{Carbono total} = \text{Carbono grafitico} + \text{Carbono combinado}$$

Y, por tanto, como al disminuir el carbono total disminuye la cantidad de laminas de grafito, vemos que en las fundiciones de matriz perlítica al disminuir el porcentaje de carbono total disminuye el numero de laminas de grafito y aumenta la resistencia a la tracción.

También se ve en las fundiciones que con el mismo porcentaje de carbono total y la misma distribución de laminas de grafito, tienen mayor resistencia las que tienen matriz perlítica.

Esto quiere decir que aumenta su resistencia al aproximarse el porcentaje de carbono combinado a 0.80%. Resumiendo, se puede decir que para obtener una fundición perlítica de máxima resistencia hay que obtener:

- 1º una matriz perlítica;
- 2º que las laminas de grafito sean poco numerosas, y
- 3º que estén bien distribuidas y sean muy pequeñas.

## COMPOSICION DE LAS FUNDICIONES GRISES ORDINARIAS DE USO MAS FRECUENTE.

Aunque en las fundiciones es difícil dar reglas para elegir en cada caso la composición mas conveniente para un empleo definido

### SENSIBILIDAD AL ESPESOR

Uno de los problemas que mas preocupa en ocasiones a los fundidores es conseguir piezas de fundición gris de alta resistencia a la tracción sin que aparezcan zonas blancas (de dureza muy elevada ) que dificultan mucho la mecanización de las piezas, y aun a veces llegan a impedir que las herramientas puedan tomear o taladrar algunas zonas del material. se tiende a evitar que en los ángulos vivos o secciones delgadas de las piezas llegue a blanquear la fundición.

En la figura 5.3 se señalan las durezas que se obtienen con probetas de diferentes espesores (variables de 1/8" a 1"), fabricadas con fundiciones de diferente composición.

Al observar la figura se ve que las fundiciones al carbono fundidas sin precauciones especiales dan, en general, gran irregularidad de dureza cuando se fabrican piezas con zonas de espesor muy diferentes.

En cambio, se ve en las fundiciones aleadas, como la acción del níquel mejora el comportamiento de las fundiciones al igual las durezas que se obtienen en las zonas de diferente espesor, y con ello aumentan sus posibilidades de aplicación.

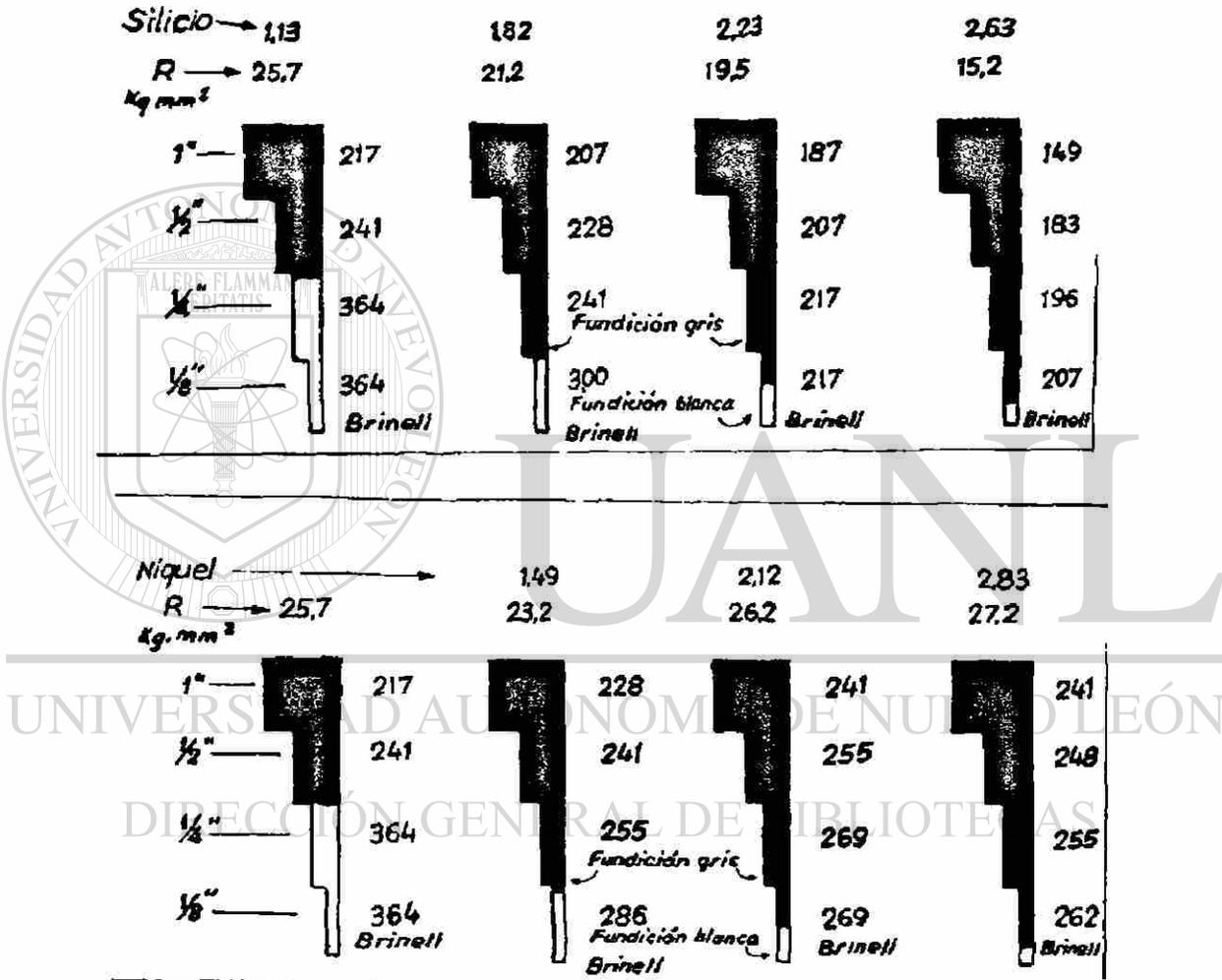
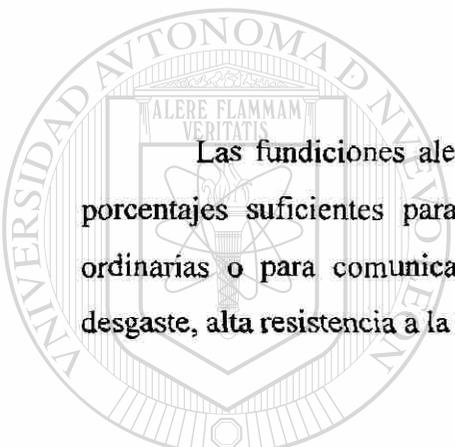


Fig. 5.3 Durezas que se obtiene en probetas de diferentes espesores con fundiciones de diferentes composiciones.

# CAPITULO VI

## FUNDICIONES ALEADAS



Las fundiciones aleadas son aquellas que contienen Ni, Cr, Mo, Cu etc., En porcentajes suficientes para mejorar las propiedades mecánicas de las fundiciones ordinarias o para comunicarles alguna propiedad especial, como alta resistencia al desgaste, alta resistencia a la corrosión, al calor, etc.

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
EFECTOS DE LOS ELEMENTOS DE ALEACION EN LAS  
FUNDICIONES  
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

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.

En la tabla VI se señala la influencia de los diversos elementos aleados ejercen sobre la formación de grafito y de los carburos y sobre las características de la matriz. En la tabla VII se señala la influencia que tiene sobre los puntos críticos

En la segunda columna de la tabla VI se dan a título de orientación unos coeficientes relativos de poder grafitizante de diversos elementos, que señalan el valor de su influencia comparada con la del silicio. Esta información conviene completarla con varias aclaraciones.

Tabla VI Influencia de los elementos de aleación en los constituyentes microscópicos de las fundiciones

Elemento	Organización y coeficientes de grafitización	los carburos a alta temperatura	Efecto en la estructura del grafito	el carbono combinado de la perlita	Efecto que produce en la matriz
Carbono	Fayorece	Decrece estabilidad	Engrosa	Decrece fuertemente	Ablanda y favorece la formación de ferrita
Silicio	Fayorece +1	Decrece estabilidad	Engrosa	Decrece fuertemente	Ablanda y favorece la formación de ferrita
Aluminio	Fayorece +0,5	Decrece estabilidad	Engrosa	Decrece fuertemente	Ablanda y favorece la formación de ferrita
Titanio	Fayorece +0,4	Decrece estabilidad	Afina fuertemente	Decrece	Ablanda y favorece la formación de ferrita
Níquel	Fayorece +0,35	Decrece ligeramente estabilidad	Afina ligeramente	Decrece y estabiliza la perlita	Afina la perlita y da dureza
Cobre	Fayorece +0,20	Indiferente	Indiferente	Decrece ligeramente	Da dureza
Manganeso	Se opone -0,25	Estabiliza	Afina ligeramente	Aumenta	Afina la perlita y da dureza
Molibdeno	Se opone -0,30	Indiferente	Afina fuertemente	Aumenta ligeramente	Afina la perlita y da resistencia
Cromo	Se opone -1	Estabiliza fuertemente	Afina ligeramente	Aumenta	Afina la perlita y da dureza
Vanadio	Se opone -2,5	Estabiliza fuertemente	Afina	Aumenta	Afina la perlita y da dureza

Aluminio.- El valor que se señala sirve hasta 2% de aluminio. Al aumentar el aluminio de 2 a 4%, la acción grafitizante decrece hasta 0.

Titanio.- con 0.1 a 0.2%, el titanio tiene una acción grafitizante mas intensa que el silicio, mientras que para mayores porcentajes su acción es inferior como se señala en el cuadro.

Cobre.- La acción grafitizante baja hasta 0.05, cuando los contenidos en carbono son mayores de 3%.

Manganeso.- El coeficiente de  $-0.25$ , corresponde a porcentajes de  $0.8$  a  $1.5\%$  de Mn. Por debajo de  $0.8\%$ , la acción del Mn es menos intensa. En cambio puede llegar a favorecer la formación de grafito por debajo de  $0.6\%$  si se combina con el azufre.

Molibdeno.- El coeficiente de  $-0.030$  corresponde a  $0.8\%$ , a  $1.5\%$  de Mo. Porcentajes de molibdeno inferiores a  $0.8\%$ , tienen una acción mas débil y contenidos mas elevados tienen una acción mas intensa.

Níquel.- como hemos dicho antes, 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 de níquel hacen el mismo efecto, aproximadamente, que una de silicio.

Tabla VII Influencia de los elementos de aleación en la situación de los puntos críticos del diagrama Hierro - carbono

Modificación que se produce	Si	Mn	Ni	Cr	Al	Mg
Desplazamiento del punto eutéctico	Hacia la izquierda	Hacia la derecha	Hacia la izquierda	Hacia la izquierda		
Desplazamiento de la temperatura eutéctica	Hacia arriba	Hacia abajo	Hacia abajo	Hacia abajo	Hacia arriba	
Templabilidad		Aumenta		Aumenta	Reduce	Aumenta
Desplazamiento del punto eutéctico	Hacia la izquierda					

Cromo.- El cromo estabiliza la cementita y evita la grafitización. Reduce ligeramente el tamaño de las laminas de grafito y también aumenta la resistencia de la matriz. con  $12$  a  $305$  de cromo para resistir a la corrosión y a altas temperaturas. Forma carburos de cromo que son muy estables a alta temperatura.

**Molibdeno.-** El molibdeno favorece muy ligeramente la estabilidad del carburo de hierro y reduce el tamaño de las laminas 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.

**Cobre.-** El cobre favorece ligeramente la grafitizacion y endurece y aumenta la resistencia de la matriz. Mejora la resistencia al desgaste y al choque de las fundiciones, proporcionándoles cualidades antifriccion muy interesantes. La resistencia a la corrosión atmosférica y a la acción de agentes corrosivos relativamente débiles. Por su bajo precio es muy empleado para sustituir al níquel. Suele utilizar para fabricar fundiciones perlíticas de alta resistencia a la tracción.

## CLASIFICACION DE LAS FUNDICIONES ALEADAS

### CUADRO GENERAL DE LAS FUNDICIONES ALEADAS FUNDICIONES DE BAJA Y MEDIA ALEACION.- (MENOS DE 5% DE ELEMENTO ALEADO

- 1.º Fundiciones de alta resistencia con Cr, Ni, Mo, etc.
- 2.º Fundiciones martensíticas al Ni y al Mn.
- 3.º Fundiciones resistentes al calor con 1% de Cr, aproximadamente.
- 4.º Fundiciones blancas de gran dureza con 1 a 3% de Cr.

### FUNDICIONES DE ALTA ALEACION ( mas de 5% de elemento aleado)

### Fundiciones de níquel

- 1.º fundiciones de 15 a 35% de níquel; austeníticas, resistentes al calor y a la corrosión, y
- 2.º Fundiciones de Ni=10%, mn=5% austeníticas.

### Fundiciones al Cr resistentes al calor y a la corrosión.

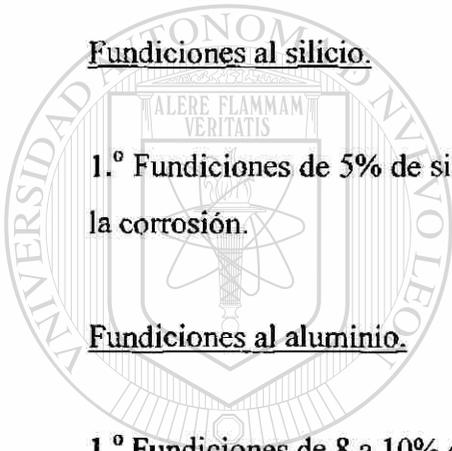
- 1.º De 6% de Cr, de gran dureza; 2.º de 16% de Cr de buena resistencia al calor y 3.º De 20 a 35% de Cr de alta resistencia al calor y a la corrosión.

### Fundiciones al silicio.

- 1.º Fundiciones de 5% de silicio resistente al calor ; 2.º Fundiciones de 15% de silicio a la corrosión.

### Fundiciones al aluminio.

- 1.º Fundiciones de 8 a 10% de aluminio resistentes al calor.



# UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



## CAPITULO VII

# TRATAMIENTOS TERMICOS DE LAS FUNDICIONES



Las propiedades y microestructura de las fundiciones pueden ser modificadas y mejoradas por medio de ciertos tratamientos térmicos. El recocido, el temple y el revenido son los tratamientos más empleados.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

RECOCIDO  
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



Tres tipos de recocidos suelen ser aplicados a las fundiciones:

- 1.- De eliminación de tensiones.
- 2.- De ablandamiento.
- 3.- De maleabilización.

1.- Los recocidos para eliminación de tensiones se realizan a temperaturas relativamente bajas, unos 550°C aproximadamente, y se dan para eliminar las tensiones

que a veces tienen las piezas como consecuencia de los rápidos enfriamientos, que experimentan cuando desciende su temperatura, desde la correspondiente a la solidificación hasta la del medio ambiente.

2.- Los recocidos de ablandamiento de las fundiciones grises se dan a unos 740°C, y sirven para mejorar la maquinabilidad y ablandar el material. Fundiciones grises muy duras y las fundiciones atruchadas que contienen cementita hipereutectoide, se reconocen a 850°C.

3.- Los recocidos de maleabilización se dan a la fundición blanca para transformarla en maleable, comunicándole gran tenacidad.

#### RECOCIDO PARA ELIMINACION DE TENSIONES.

Los recursos a bajas temperaturas se realizan, como acabamos de señalar, a unos 550°C durante un periodo de tiempo que varía de 30 minutos a varias horas, sea el espesor de las piezas. Este proceso no tiene un efecto muy apreciable en las propiedades mecánicas, pero elimina las tensiones que siempre suelen tener las piezas de fundición después de la solidificación y enfriamiento.

#### DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

### RECOCIDO DE ABLANDAMIENTO DE LAS FUNDICIONES GRISES Y ATRUCHADAS

Para ablandar las fundiciones se suelen emplear los siguientes tipos de recocidos: 1.º Recocidos a 740°C con enfriamiento al aire, para las fundiciones grises, y 2.º Recocidos a temperaturas algo más elevadas, 800-900°C con enfriamiento lento, para fundiciones de dureza muy elevada. Recocido a 740°C.- Para disminuir la dureza de

las fundiciones grises se les somete a recocidos a 740°C aproximadamente con enfriamiento al aire.

Este recocido es interesante porque en ocasiones las fundiciones grises en bruto de colada quedan relativamente duras y su mecanización es difícil.

Recocido a 800-900°C.- Al conocer una fundición a 800-900°C en lugar de 740°C como hemos dicho antes, hay que tomar ya una nueva precaución, es necesario enfriar lentamente y en general se obtienen durezas no muy bajas, que corresponden a la perlita que se forma en ese proceso. Al calentar de 800-900°C, no hay formación de grafito, o esta formación tiene poca importancia, ya que la temperatura de mantenimiento no es apropiada para el depósito de gran cantidad de grafito y luego, si el enfriamiento se hace en forma parecida a como se hacía en los aceros, con una velocidad aproximada de 25°C hará se obtiene perlita y no se obtendrán durezas tan bajas como el tratamiento anterior a 740°. Calentando a 850°C, por ejemplo, se formara a esa temperatura austenita.

## RECOCIDOS DE MALEABILIZACION.

Esta clase de recocidos se dan a ciertas fundiciones blancas para transformarlas en fundiciones maleables que tienen buena resistencia y tenacidad y también son de fácil maquinabilidad. Hay dos tipos de recocido, uno descarburante y otro de grafitización. Mas adelante se describen con detalle las particularidades de cada uno de esos procesos.

## TEMPLE Y REVENIDO.

En ocasiones se puede endurecer y aumentar la resistencia a la tracción de las fundiciones grises por tratamiento térmico. De esta forma se consigue un gran aumento

de dureza y también de aumento, aunque mucho menos sensible, de la resistencia a la tracción y de la resistencia al desgaste.

Con el temple aumenta la dureza y luego con el revenido disminuye la dureza y esta disminución es tanto mas sensible cuando mas elevada sea la temperatura.

## TEORIA DEL TEMPLE EN LAS FUNDICIONES.

La posibilidad de mejorar por temple ciertas propiedades en las fundiciones es debido como en los aceros, a que estas aleaciones, al ser calentadas a elevadas temperaturas, 750 a 900°C, se transforman. En parte, en austenita, que es un constituyente que al ser enfriado luego mas o menos rápidamente, e convierte en martensita o en otros constituyentes intermedios. La martensita, o los otros constituyentes intermedios, obtenidos después del temple y los constituyentes que se obtienen después de su revenido, tienen propiedades de gran interés y para numerosas aplicaciones, sus propiedades son mucho mejores que las que corresponden a las estructuras en bruto de colada.

En general, las leyes que rigen el temple y revenido de las fundiciones, son muy parecidas a las de los aceros.

En general es mas fácil que se produzcan grietas o roturas en el temple de las piezas de fundición que en las de acero, porque las fundiciones están constituidas por una materia mas débil que la de los aceros, debido principalmente a la existencia de laminas de grafito.

Los revenidos se suelen dar a temperaturas relativamente altas de 450 a 650°C cuando interesa obtener gran resistencia a la tracción, unos 25 a 40 Kg./mm<sup>2</sup>, con

relativa buena tenacidad. En cambio, cuando lo que interesa principalmente es mejorar la resistencia al desgaste o al rozamiento (450 a 500 Brinell) se emplean temperaturas mas bajas, de 200 a 450°C.

## NITRURACION DE LAS FUNDICIONES.

Es posible endurecer superficialmente las piezas de fundición por nitruración, calentándolas a 510°C durante periodos de 90 horas en presencia de amoniaco disociado. Para este tratamiento se emplea fundiciones aleadas con cromo y aluminio de bajo contenido en carbono. Una composición muy utilizada es la siguiente:

C = 2.63% Si = 2.5% Mn = 0.6% Cr = 1.6% Al = 1.4%

Como esta fundición es de alta templabilidad tiene tendencia a endurecer al aire y las piezas obtenidas por fundición centrifugada, que es una forma muy frecuente de fabricar piezas que deben ser nitruradas, deben ser recocidas antes de mecanizar. En ocasiones, después de recocer y mecanizar las piezas, suele ser frecuente seguir el siguiente ciclo de trabajos: templar a 825°C en aceite y luego revenir a 625°C, nitrurando a continuación a 510°C. Después de la nitruración las piezas suelen sufrir un ligerísimo rectificado. Las piezas de fundición nitruradas, suelen quedar con durezas variables de 800 a 1.100 Vickers.

## FUNDICIONES TEMPLADAS (FUNDICIONES COLADAS EN COQUILLA METALICA.

Como hemos dicho anteriormente, con bastante frecuencia, se denominan impropriamente fundiciones templadas a ciertas fundiciones fundidas en coquilla

metálica. De esta forma se obtienen piezas constituidas por una capa periférica de fundición blanca muy dura, de 400 a 500 Brinell, y un corazón blando de fundición gris, siendo necesario para obtener buenos resultados tener un control muy cuidadoso de la composición y de la velocidad de enfriamiento.

Para esas fabricaciones se emplean fundiciones con bajos contenidos en silicio, generalmente variables de 0.5 a 1% y porcentajes de carbono que oscilan entre 2.5 y 4%. El espesor de la capa exterior templada suele variar de 5 a 50 mm, según los casos.

Se fabrican piezas de esta clase, insertando en los moldes, en las partes correspondientes a las zonas que deben quedar con gran dureza, placas metálicas generalmente de fundición que aceleran el enfriamiento y favorecen la formación de fundición blanca en la zona exterior. Las demás partes de los moldes, correspondientes a zonas de las piezas en las que no interesa que la dureza sea elevada, pueden ser de arena.

## MICROESTRUCTURA DE LA FUNDICION BLANCA

Habiendo dedicado en los primeros capítulos poca atención a las microestructuras de las fundiciones blancas, aquí, ya que nos hemos referido a esta clase de fundiciones, se señalarán sus microestructuras más características.

En las figuras 7.1, 7.2 y 7.3, se ven los tres tipos clásicos de microestructura que suelen aparecer en las fundiciones blancas ordinarias.

Las más frecuentes es la microestructura de la figura 7.1, que corresponde a una fundición blanca hipoeutectica. Se observan los cristales dendríticos negros de la perlita que corresponde a la austenita que primero se solidificó y entre ellos se hallan los agrupamientos pseudoeutecticos de perlita y sementita derivados de la ledeburita, que por ser la microfotografía de pocos aumentos son difíciles de distinguir.

La figura 7.3 corresponde a una fundición blanca hipoeutectica. En la que se ven placas o agujas de cementita blanca, que corresponde a la primera parte de la aleación que se solidifico, y entre ellas se encuentran las mismas agrupaciones pseudoeutecticas de cementita y perlita que aparecen en las otras clases de fundiciones. Finalmente en la figura se ve la microestructura de una fundición blanca eutectica formada por agrupaciones de perlita y cementita.

Fig. 7.1 Fundición blanca hipoeutética. Las zonas negras son de perlita, derivada de la austenita que primero se solidificó.

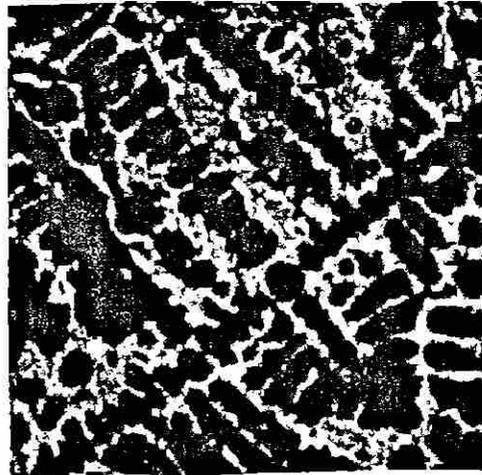


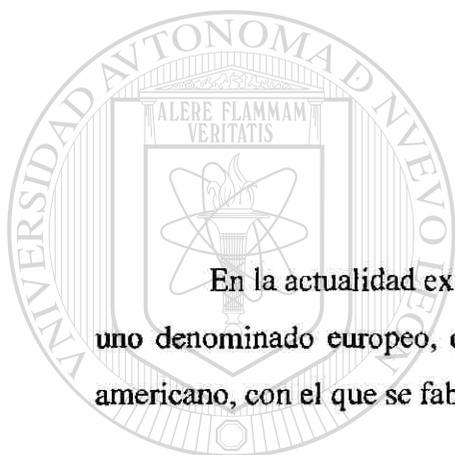
Fig. 7.2 Fundición blanca hipereutética. Se observa agujas blancas de cementita rodeadas por agrupaciones pseudoeutéticas de perlita y cementita



Fig. 7.3 Fundición blanca eutética constituida por agrupaciones pseudoeutecticas de perlita (negra) y cementita (blanca) derivadas de la ledeburita

## CAPITULO VIII

### FUNDICIONES MALEABLES



En la actualidad existen dos procedimientos para fabricar la fundición maleable: uno denominado europeo, con el que se fabrica la maleable de corazón blanco y otro americano, con el que se fabrica la maleable de corazón negro.

---

En ambos procesos hay dos fases principales:

- 1-Fabricación de las piezas de fundición blanca y
- 2-Recocido y las mismas.

#### MALEABLE EUROPEA

Se comienza fabricando primero piezas de fundición blanca. Luego son envueltas las piezas de fundición con un material oxidante como mineral de hierro,

oxidados o bataduras de forja o laminación, etc. y dentro de cajas cerradas son sometidas a un

recocido de alta temperatura (900 a 1.100) durante tres a seis días.

Es frecuente emplear, aproximadamente, un día en calentados en enfriar y tres días en mantener el material a temperatura.

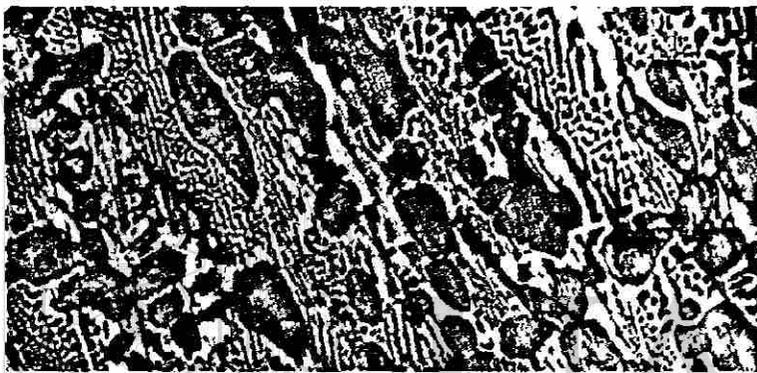


Fig. 8.1 Microestructura de fundición blanca utilizada para la fabricación de maleable

Las características mecánicas que se obtienen en piezas delgadas con esta clase de fundiciones son aproximadamente:  $R = 35 \text{Kg/mm}^2$  y  $A = 1$  a  $12\%$ . Se suelen considerar de primera calidad las fundiciones con  $A > 10\%$  y de segunda calidad las de  $A > 5\%$ . La composición de las piezas de fundición antes del recocido, suelen variar dentro de los siguientes límites:  $C = 2,5$  a  $3,3\%$ ;

$Si = 0,5$ , a  $1,25\%$ ;  $Mn = 0,50\%$ ;  $P = 0,10\%$  y  $s = 0,10\%$ ,

ó sea,  $C + Si = 4\%$ , aproximadamente, y  $C + Si/3 = 3\%$  aproximadamente.

## MALEABLE AMERICANA

Por este método se obtiene un producto de características mecánicas muy parecidas a las que se consiguen por el procedimiento europeo, diferenciándose ambos procesos en la forma de hacerse el recocido. En el procedimiento americano, las piezas se envuelven dentro de cajas cerradas rodeadas con materias neutras como la arena, en vez de ser recubiertas con materiales oxidantes, como se hace en el europeo.

En la actualidad se emplean además otros procesos de recocido mas cortos, que explicaremos mas adelante, debiendo atenderse siempre con gran cuidado el proceso de enfriamiento.

En el sistema americano la fundición blanca no se descarbura y el carbono no enmigra de la fundición, sino que durante el recocido se precipita bajo forma de nodulos de grafito, resultando entonces un material muy tenaz, tambien parecido en cierto modo al hierro dulce, pero con una serie de gránulos o nódulos de grafito que se han precipitado durante el recocido y que quedan embebidos y aislados en una matriz de cristales de ferrita (fig. 8.2). Las características mecánicas aproximadamente de esta clase de fundición son:  $R=38\text{Kg/mm}$  y  $A=10$  a  $20\%$ .

Se suelen considerar las siguientes categorías:

- 1.ª categoría  $R > 38\text{Kg/mm}$   $A$  mayor  $18\%$
- 2.ª categoría  $R > 38 \text{ Kg./mm}$   $A$  mayor  $15\%$
- 3.ª categoría  $R > 35 \text{ Kg./mm}$   $A$  mayor  $10\%$
- 4.ª categoría  $R > 32 \text{ Kg./mm}$   $A$  mayor  $10\%$

Su composición, antes del recocido suelen variar dentro de los siguientes límites:

C = 2 a 2,75%; Mn = 0,5%; P = 0,10% y S = 0,20%. Es decir, C + Si = 3,5%, aproximadamente, y  $C + S \approx 2.75\%$ .

Fig. 8 Microestructura de la zona periférica de fundición maleable europea de corazón blanco. Se observa una zona exterior completamente descarbonada de carácter ferrítico y una zona interior incompletamente descarbonada.

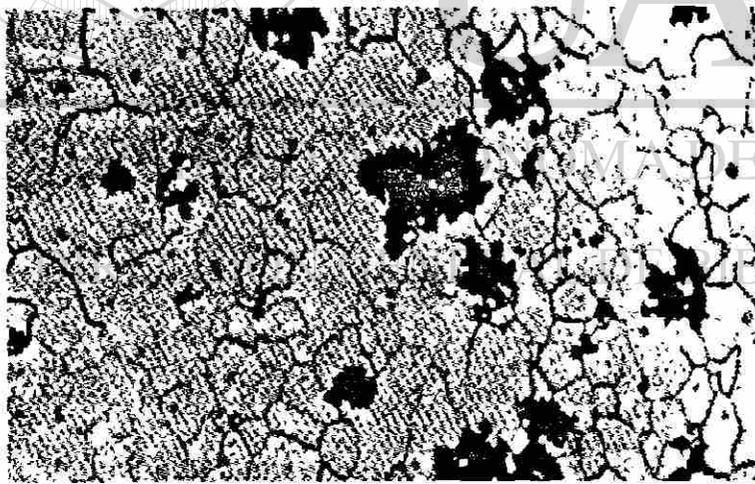
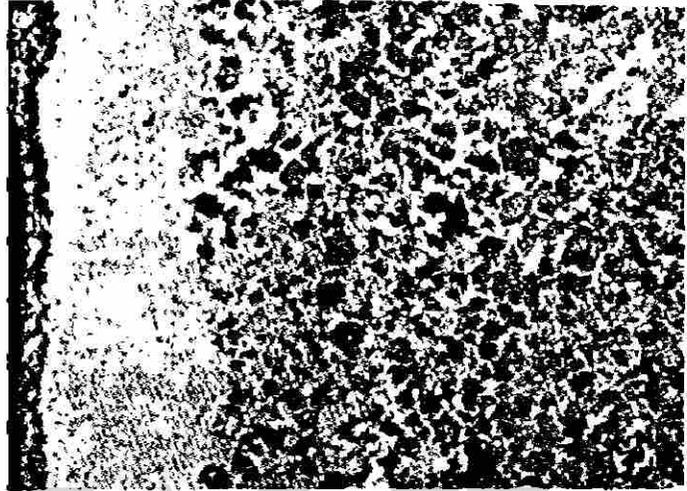


Fig. 8-3 Microestructura de una maleable americana de corazón negro. Se observan cristales blancos de ferrita y nódulos negros de grafito

## CAPITULO IX

# FUNDICIONES DE GRAFITO ESFEROIDAL

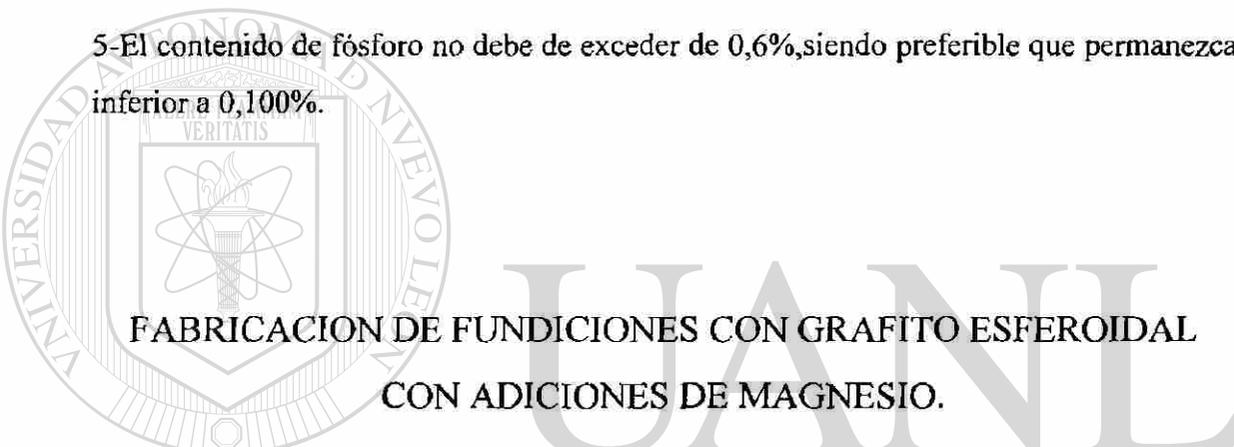
La principal característica del proceso consista en añadir ciertas cantidades del cerio a la fundición cuando se encontraba en estado líquidos. Si después del cerio se añade, además, al baño de fundición una aleación grafitizante como el ferrosilicio o el sílico-calcio, la proporción de carbono que aparece en forma esferoidal aumenta y se llega incluso a evitar totalmente la aparición de grafito laminar. (fig. 9-1)



Fig. 9-1 Microestructura de una fundición gris ordinaria en bruto de colada. La probeta está pulida y sin atacar. El grafito aparece en forma laminar

Para obtener con adición de cerio buenos resultados es necesario:

- 1-Que la fundición solidifique gris sin adicionarle cerio.
- 2-Deben emplearse fundiciones hipereutéticas.
- 3-Convienes utilizar contenidos en silicio superiores a 2.37%.
- 4-El porcentaje de azufre debe ser muy bajo y después del tratamiento debe quedar inferior a 0,020%.
- 5-El contenido de fósforo no debe de exceder de 0,6%,siendo preferible que permanezca inferior a 0,100%.



## FABRICACION DE FUNDICIONES CON GRAFITO ESFEROIDAL CON ADICIONES DE MAGNESIO.

Aunque con este método de fabricación se pueden emplear, como hemos dicho antes, fundiciones de composición bastante diversa, los mejores resultados se obtienen con porcentajes de carbono y de silicio algo superiores a los que generalmente se suelen emplear para las fundiciones ordinarias dedicadas a la fabricación de piezas para usos diversos.

La adición a la fundición líquida del magnesio o de otros elementos alcalinos o alcalinotérreos, que por sus propiedades actúa como enérgicos desoxidantes, desulfurantes y estabilizadores de carburos, alteran el normal mecanismo de solidificación de la fundición, provocando la separación del grafito en forma nodular.

Las microestructuras de estas fundiciones en bruto suelen estar constituidas por esferoides, del grafito rodeados por aureolas de ferrita sobre un fondo o matriz de perlita. (fig. 9-2)

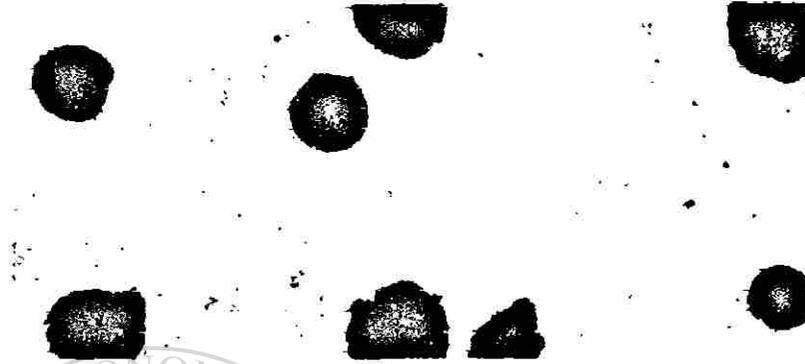


Fig. 9.2 Fundición blanca en bruto de colada, después de haberse añadido 0.023% de magnesio. La probeta esta pulida sin atacar. Se observa que aqui el grafito está en forma esferoidal

Al estudiar con detalle el proceso se vio que el magnesio, al ser adicionado al baño metálico, se convierta rápidamente con el azufre si esta se halla en cantidades importantes en la fundición en el momento de adicionar el magnesio sea inferior a 0,02%, para que la acción del magnesio sea verdaderamente eficaz y no se emplee en cambio una gran parte del magnesio para desulfurar la fundición.

En la practica normal para obtener el grafito esferoidal, es necesario, además, añadir magnesio en la forma y cantidad conveniente, adicionar también un elemento inoculante a la fundición.

No conviene añadir el magnesio con forma metálica, al baño de fundición, porque da lugar a una reacción violenta con desprendimiento de humos, proyecciones de metal y pérdida importante de magnesio. Normalmente el magnesio se añade en forma de aleaciones níquel - magnesio con 15% de magnesio aproximadamente, y a veces cobre magnesio con 15% a 25% de magnesio.

Una practica muy utilizada para la fabricación de fundiciones con grafito esferoidal, consiste en emplear dos cucharas para la adición de la aleación del magnesio y del ferrosilicio inoculante. Así por ejemplo es frecuente añadir en la primera cuchara la aleación de magnesio, luego se pasa la fundición en estado líquido a la segunda cuchara donde se adiciona el inoculante y finalmente se pasa el metal a los moldes.

## PROPIEDADES DE LAS FUNDICIONES DÚCTILES

En la figura 9.3 se señalan las características mas importantes de la fundición con grafito esférico en los cuatro estados de utilización más frecuente.

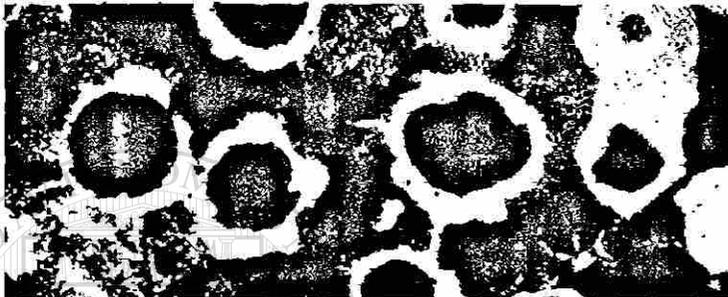


Fig. 9-3. Microestructura de una fundición con grafito esférico en bruto de colada. Se observan nódulos de grafito esférico rodeados de aureolas de ferrita sobre un fondo de perlita

Se observa que estas fundiciones tienen resistencias comprendidas entre 45 y 90 Kg./mm<sup>2</sup>, por lo que es posible compararlas en cierto modo con un acero semiduro. Los valores de límite de elasticidad en bruto o en estado recocido son, aproximadamente de un 65% de la carga de rotura y después del temple y revenido el límite de elasticidad es un 85% aproximadamente de la carga de rotura. El modulo de elasticidad es 17,500 Kg./mm<sup>2</sup> un poco inferior a los aceros. Los valores de la resiliencia y alargamiento son superiores a los de las fundiciones ordinarias, pero inferiores a los de los aceros.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

### TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Con las fundiciones de grafito esférico, debido a su alta ductilidad, se puede obtener una variedad muy grande de propiedades y características debido a su excelente aptitud a los tratamientos térmicos. Puede decirse que estas aleaciones responden al temple y al revenido en forma en cierto modo parecida a como lo hacen los aceros. El porcentaje de carbono que se encuentra en la matriz en forma combinada, que podríamos

llamar carbono activo para el tratamiento, puede variar desde 0 a 1 %, según sea la composición, el proceso de fusión o tratamiento o el espesor de las piezas. Además es muy interesante saber que el carbono que se encuentra en la fundición en forma de grafito disperso puede actuar como carbono suplementario o de reserva, para la carburación o descarburación de la matriz. Por eso la microestructura de estas fundiciones puede estar constituida según sean los tratamientos, por ferrita, por ferrita y perlita, por perlita, por martensita y por martensite revenida o bainita.

A continuación se señalan las principales particularidades de todos estos tratamientos.

**Recocido para eliminación de tensiones.** Como en ocasiones las piezas en bruto de fusión suelen quedar con tensiones residuales suelen ser conveniente darles un recocido subcrítico de eliminación de tensiones. Estos recocidos se suelen hacer a temperaturas variables de 525 a 675°C empleándose las bajas temperaturas cuando debe evitarse el ablandamiento de las piezas y en cambio las temperaturas más altas cuando no importa que disminuya la dureza o la resistencia y, en cambio, interesa mucho la eliminación de las tensiones residuales.

**Normalizado y Revenido.** El normalizado consiste en calentar las piezas hasta austenizar y enfriarlas luego al aire. De esa forma se consiguen muy buenas características mecánicas. Las temperaturas del normalizado suelen variar de 875 a 925°C.

**Temple y Revenido.** EL temple de la fundición dúctil es en cierto modo parecido al temple de los aceros, teniendo gran influencia la temperatura de austenización y el contenido en silicio. Generalmente se emplean temperaturas variables de 850 a 925°C. El enfriamiento se hace generalmente en aceite para reducir al mínimo las tensiones que pueden aparecer. Sin embargo en ocasiones también es utilizado el temple en agua.

La templabilidad de la fundición dúctil depende mucho de su análisis dentro de las composiciones normales el carbono y el silicio tienen poca influencia en la templabilidad. El molibdeno, el cromo y el manganeso, tienen en cambio una influencia muy sensible. Después del temple se obtiene una estructura de grafito esférico y martensita. Con el revenido, se disminuye la dureza y la resistencia como se ve en la figura pero se aumenta el alargamiento.

## FUNDICIONES DE GRAFITO NODULAR CON AZUFRE Y SELENIO

Un procedimiento relativamente simple para obtener fundiciones de grafito nodular con alta resistencia, que no exige ningún elemento de aleación ni materias primas diferentes a las que normalmente se emplean en las fundiciones, se cita a continuación y se refiere a fundiciones con grafito nodular de alto contenido en azufre.

Para estas fundiciones suele convenir el siguiente análisis final:

Carbono	2,5 a 3%
---------	----------

Silicio	1,2 a 3%
---------	----------

Manganeso	0,25 a 0,50%
-----------	--------------

Azufre	0,10 a 0,20%
--------	--------------

Fósforo inferior a	.0,15%
--------------------	--------

C+Si=5%

Con ellas se obtienen las siguientes características:

Resistencia a la tracción	35 a 45 Kg./mm <sup>2</sup>
---------------------------	-----------------------------

Dureza Brinell	220 a 280.
----------------	------------

## Conclusiones

El hierro colado es la aleación mas difusamente empleada en la fabricación de piezas fundidas. Es una aleación de hierro y carbono y difiere del acero por el contenido del carbono, que es superior a 1.75% y por la constante presencia de otros elementos, tales como el silicio, manganeso, fosforo, azufre cuyo contenido varia según los casos.

Análogamente a cuanto ocurre en el acero, además de los elementos arriba citados, y cuando se quieren obtener propiedades particulares, se añaden muchas veces a la aleación base otros metales, cual el níquel, el molibdeno, el cromo, cobre, el vanadio, el titanio, el magnesio, etc.

---

Nos encontramos pues ante una aleación bastante compleja, que no puede ser representada por los métodos gráficos normales.

El control de la producción y investigación científica están basados en dos métodos elementales: el análisis químico y el análisis metalográfico. El primero nos dice cuales elementos y en que proporción están contenidos en la aleación; el segundo como están contenido tales elementos, esto es, como están distribuido y combinados entre si, cuales son sus formas, sus dimensiones y su disposición; el examen metalográfico nos revela, pues, la estructura del material.

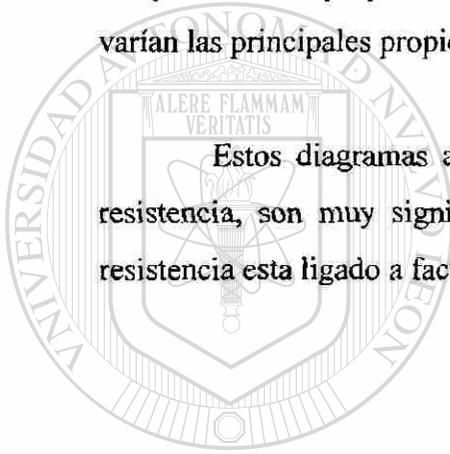
Por fundición de gran resistencia se entiende normalmente una fundición con gran resistencia a la tracción. Las propiedades de las fundiciones, como todos los materiales son empero muchisimas, como se ha visto, de naturaleza física (propiedades

mecánicas, eléctricas, térmicas), de naturaleza química (resistencia a la corrosión, inoxidable) etc.

Seria por este motivo mas justo concluir que las fundiciones de calidad precisando en cada caso la particularidad que la caracteriza, al saber, si tiene una elevada resistencia a la atracción, a la compresión, a la flexión, al desgaste, a la corrosión, o bien una elevada dureza, conductividad térmica o eléctrica, amagneticidad, fragilidad, etc.

Una fundición mecánica elevada a la atracción presenta siempre, en todo campo, elevadas propiedades. Los diagramas indicados en este tratado nos dice como varían las principales propiedades de la resistencia a la atracción.

Estos diagramas aparte de justificar, el apelativo de las fundiciones de gran resistencia, son muy significativos, porque revelan que la consecución de una gran resistencia esta ligado a factores que, evidentemente, influyen en otras propiedades.



UANL

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

# GLOSARIO

- **Acero.** Aleación de base hierro maleable en algún intervalo de la temperatura a que fue inicialmente fundida ; contiene manganeso, generalmente carbono y a menudo otros elementos de aleación. En acero al carbono y acero de baja aleación, el máximo contenido de carbono es del 2.0% aproximadamente ; en acero de alta aleación, del 2.5% aproximadamente. La Línea de separación entre aceros de baja aleación y aceros de alta aleación, se considera generalmente como del 5% de elementos metálicos de aleación. El acero se debe diferenciar de dos tipos generales de hierros : los fundidos, en el lado del alto carbono, y los relativamente puros, como el hierro de lingote o dulce, el hierro carbonil y el hierro electrolítico, del lado de bajo carbono. En algunos aceros que contienen carbono extremadamente bajo el contenido de manganeso es el principal factor de diferenciación, el acero con por lo menos 0.25% ; el hierro dulce contiene considerablemente menos.
- **aleado.** Acero con grandes cantidades de elementos de aleación (distintos del carbono y de las cantidades comúnmente aceptadas de manganeso, silicio, azufre y fósforo) agregado para efectuar cambios en las propiedades mecánicas o físicas.
- **austenítico.** Acero aleado cuya estructura es normalmente austenítica a temperatura ambiente.
- **Al carbono.** Acero que contiene hasta aproximadamente 2% de carbono y sólo cantidades residuales de otros elementos, excepto aquellos agregados para desoxidación, con silicio generalmente limitado a 0.60% y manganeso a aproximadamente 1.655% También llamado acero ordinario.
- grafítico.** Acero hecho de manera que parte del carbono está presente como grafito.
- Aleación.** Sustancia con propiedades metálicas y compuesta por dos o más elementos químicos, de los cuales por lo menos uno es un metal elemental.
- binaria.** Aleación que contiene dos elementos componentes.

Elementos de. Elemento agregado a un metal para efectuar cambios en las propiedades y que permanece dentro del metal. Elemental.

Hipereutectica. Cualquier aleación binaria cuya composición está a la derecha del eutectico en un diagrama de equilibrio y que contiene alguna estructura eutéctica.

Hipoeutectica. Cualquier aleación binaria cuya composición está a la izquierda del eutéctico en un diagrama de equilibrio y que contiene alguna estructura eutectica.

- alotropía. Fenómeno reversible mediante el cual ciertos metales pueden existir en más de una estructura cristalina. Si no es reversible, el fenómeno se llama polimorfismo
  - amorfo. Que no tiene estructura cristalina ; no cristalino.
  - análisis térmico Método para determinar transformaciones en un metal, señalando las temperaturas en que ocurren los arrestos térmicos. Estos arrestos se manifiestan mediante cambios de pendiente de las curvas de calentamiento y enfriamiento graficadas o mecánicamente trazadas. Cuando tales datos se obtienen bajo condiciones de calentamiento y enfriamiento próximas al equilibrio, el método se emplea para determinar ciertas temperaturas críticas requeridas para construir diagramas de equilibrio.
- 
- austenita. Solución sólida de uno o más elementos en hierro cúbico centrado en la cara. En general se supone que el carbono es el soluble.
  - austenizado. Templado de una aleación ferrosa desde una temperatura superior al intervalo de transformación en un medio que tiene una rapidez de abstracción de calor suficientemente alta para evitar la formación de productos de transformación a alta temperatura, y luego mantener la aleación hasta que se completa la transformación, a una temperatura inferior a la de la formación perlítica y superior a la formación martensítica.

- **bainita.** Producto de descomposición de la austenita que consiste en un agregado de ferrita y carburo . En general, se forma a temperaturas inferiores a aquellas en que se forma perlita muy fina y superiores a aquellas en que la martensita se empieza a formar al enfriar. Su apariencia es plumosa si se forma en la parte superior del intervalo de temperatura y acicular, pareciendo martensita revenida si se forma en la parte inferior.
- **carbono combinado** Parte de la totalidad de carbono que está presente en el acero o hierro fundido que no existe como carbono libre.
- **carbono grafitico.** Carbono sin combinar en acero o hierro fundido.
- **carbono libre.** Parte del carbono total en acero o hierro fundido en que está presente en la forma elemental como grafito o carbono revenido.
- **carbono total.** Suma del carbono sin combinar y combinado (incluyendo el carbono en solución) en una aleación ferrosa.
- **carburo.** Compuesto de carbono con uno o más elementos metálicos.
- **carburo cementado.** Masa sólida y coherente hechas presionar y sinterizar una mezcla de polvos de uno o más carburos metálicos y una cantidad mucho menor de un metal, como cobalto, para utilizarla como cementador.
- **cementador a)** En fundición, un material distinto del agua, agregado a la arena que se utiliza en las fundiciones para hacer moldes a fin de cementar las partículas de arena conjuntamente, algunas veces mediante calor. B) (met. En polvos) Medio cementador, ya sea un material agregado al polvo para incrementar la resistencia verde (antes de sinterizar) del aglomerado y que se expulsa durante la operación de sinterizado, o un material (en general de punto de fusión relativamente bajo) agregado a una mezcla de polvo con el fin de cementar conjuntamente las partículas de polvo, las cuales no se sinterizarían solas formando un cuerpo fuerte.
- **cementita.** Compuesto de hierro y carbono conocido químicamente como carburo de hierro, o con la fórmula química aproximada  $Fe_3C$ . Se caracteriza por una estructura cristalina ortorrómbica.

- **cianuración.** Introducir carbono y nitrógeno dentro de una aleación sólida ferrosa manteniéndola por encima de Acl, en contacto con cianuro fundido de una composición adecuada. La aleación cianurada generalmente se endurece por temple.
- **corrosión** Deterioración de un metal mediante reacción química o electroquímica con su ambiente.

**Anódica.** Desintegración de un metal que actúa como ánodo.

**Electroquímica.** Corrosión que ocurre cuando la corriente fluye entre áreas catódicas y anódicas en superficies metálicas.

**Esfuerzo de.** Presencia de fisuras que resultan de los efectos combinados de la corrosión y del esfuerzo interno. Término generalmente aplicado a la presencia de fisuras por esfuerzo de corrosión de latón.

**por fatiga.** Efecto de la aplicación de esfuerzos repetidos o fluctuantes en un ambiente corrosivo, caracterizado por una vida menor que la que se obtendría como resultado de esfuerzos repetidos o fluctuantes solos o del ambiente corrosivo solo.

**Por fragilización.** Pérdida severa de ductilidad de un metal resultante del ataque corrosivo, generalmente intergranular y a menudo no apreciable a simple vista.

**Galvánica.** Corrosión asociada con la corriente de una celda galvánica que consta de dos conductores no semejantes. Donde los dos metales no semejantes están en contacto, la reacción semejante es referida como acción par.

**Interdentrítica.** Ataque corrosivo que progresa de preferencia a lo largo de trayectorias interdentríticas. Este tipo de ataque resulta de diferencias locales en composición, tales como segregación dendrítica; comúnmente encontrada en las piezas fundidas de composición aleada.

**Intergranular.** Corrosión que ocurre de preferencia en las fronteras de grano.

**Por grieta.** Tipo de corrosión por concentración de celda, corrosión de un metal que es causada por la concentración de sales disueltas, iones de metal, oxígeno y otros gases y similares, en grietas o cavidades lejanas de flujo principal de fluido, con la resultante de una formación de celdas diferenciales que causan finalmente la aparición de pequeños agujeros superficiales profundos.

**Por rozamiento.** Acción que causa daño de la superficie, especialmente en un medio corrosivo, cuando hay movimiento relativo entre superficies sólida en contacto bajo presión.

**Subsuperficial.** Formación de partículas aisladas de productos de corrosión debajo de la superficie del metal. Esta resulta de la reacción preferencial de ciertos constituyentes de aleación mediante difusión hacia adentro de oxígeno, nitrógeno y corte a) tipo de fuerza que causa o tiende a causar que dos piezas contiguas del mismo cuerpo se deslicen una relación con la otra en una dirección paralela a su plano de contacto. B) Tipo de herramienta de corte con la que un material en forma de alambre, lámina, placa o varilla es cortado entre dos hojas opuestas.

**Ángulo de.** Ángulo que hace el plano de corte, en el corte de metales, con la superficie de la pieza.

**Fractura de.** Fractura en la que un cristal (o masa policristalina) se ha separado por deslizamiento o rasgamiento bajo la acción de esfuerzos de corte.

**Resistencia de.** Esfuerzo requerido para producir fractura en el plano sección transversal, cuyas condiciones de carga son tales que las dirección de fuerza y de resistencia resultan paralelas y opuestas, aunque sus trayectorias son no paralelas una cantidad mínima específica.

- **dendrita.** Cristal que tiene una configuración de tipo arborescente, más evidente en metales fundidos lentamente enfriados a través del intervalo de solidificación.
- **descarburación.** Pérdida de carbono de la superficie de una aleación ferrosa como resultado de calentar en un medio que reacciona con el carbono presente en la superficie.
- **diagrama de constitución.** Representación gráfica de los límites de temperatura y composición de campos de fase en un sistema de aleación como realmente existen bajo las condiciones específicas de calentamiento o enfriamiento (sinónimo de diagrama de fase).
- **diagrama de fase.** Lo mismo que el diagrama de constitución o el diagrama de equilibrio.

- ductilidad. Capacidad de un material para deformarse plásticamente sin fracturarse, medida por la elongación o reducción de área en una prueba tensil.

Falta de. Forma de fragilidad en el meta; se designa como fría, caliente y roja para indicar el intervalo de temperatura en que ocurre la fragilidad.

En frío, falta de. Condición de fragilidad existente en algunos metales a temperaturas inferiores a la de recristalización.

- elongación. En una prueba tensil, incremento en la longitud calibrada de la muestra, medida después. De la fractura de la muestra en algún punto dentro de la longitud calibrada de la muestra, generalmente expresada como porcentaje de la longitud original de la muestra.

- endurecimiento. Incrementar la dureza mediante un tratamiento adecuado, generalmente incluyendo calentamiento y enfriamiento. Cuando es aplicable, deben utilizarse los de superficie, endurecimiento por flama, endurecimiento por inducción, endurecimiento por precipitación y endurecimiento por precipitación y endurecimiento por temple.

Capacidad de. En una aleación ferrosa, propiedad que determina la profundidad o distribución de la dureza inducida al templear.

Por inducción. Endurecimiento por temple en que el calor se genera por inducción eléctrica.

Por llama. Endurecimiento por temple en que el calor es aplicado directamente por una llama.

Por precipitación. Endurecimiento producido por la precipitación de un constituyente desde una solución sólida sobresaturada.

Secundario. Revenido de ciertos aceros aleados a determinadas temperaturas, de manera que la dureza resultante es mayor que la obtenida al revenir el mismo acero a alguna temperatura inferior durante el mismo tiempo.

- envejecido. En un metal o aleación, un cambio en propiedades que generalmente ocurre con lentitud a temperatura ambiente y con más rapidez a temperaturas superiores.

Artificial. Envejecido superior a la temperatura ambiente

endurecimiento por. Endurecer por envejecido, generalmente después de un enfriamiento rápido o de trabajo en frío.

Progresivo. Envejecer incrementando la temperatura en pasos o continuamente durante el ciclo de envejecido.

- envejecimiento natural. Envejecimiento espontáneo de una solución sobrestarudada sólida a temperatura ambiente.
- esferoidita. Agregado de carburos de hierro o aleados de forma esencialmente esférica dispersados por completo en una matriz de ferrita.
- esferoidización Calentar y enfriar para producir una forma esferoidal o globular de carburo en acero Los métodos de esferoidización que más utilizan son :
  - a) preservar en forma prolongada a una temperatura apenas inferior a  $Ae_1$ .
  - b) Calentar y enfriar alternativamente entre temperaturas apenas superior y apenas inferior a  $Ae_1$
  - c) Calentar a una temperatura superior a  $Ae_1$  o  $Ae_3$  y luego enfriar muy lentamente en el horno o preservar a una temperatura apenas inferior a  $Ae_1$
  - d) Enfriar a una rapidez adecuada desde la temperatura mínima a la cual todo el carburo está disuelto a fin de evitar la reformación de una red de carburo, y luego recalentar de acuerdo con los métodos a y b mencionados.

- 
- esteadita. Constituyente estructural dura de hierro fundido que consta de un eutectico binario de ferrita (con algo de fósforo en solución) y fósforo de hierro ( $Fe_3P$ ). La composición del eutectico es 10.2% de P y 98.8 de Fe y la temperatura de fusión es de 1,920 F

- eutectico
  - a) Reacción isotérmica reversible en que una solución líquida se convierte en dos o más sólidos íntimamente mezclados al enfriar, cuyo número de sólidos formados es el mismo que el de componentes que integran el sistema.
  - b) Aleación que contiene la composición indicada por el punto eutéctico en un diagrama de equilibrio.

c) Estructura aleada a base de constituyentes intermezclados sólidos formados por una reacción eutéctica.

- fase. Porción físicamente homogénea y distinta de un sistema de un material.

Continua. En una aleación o porción de aleación que contiene más de una fase, la fase que forma la base o matriz en que la otra fase o fases están presentes como unidades aisladas.

Intermedia. En una aleación o un sistema químico, fase distinguible homogénea cuyo rango de composición no se extiende a ninguna de las componentes puras del sistema.

Terminal. Solución sólida, representada por una área, en cualquiera de los lados extremos de un diagrama binario.

- ferrita. Solución sólida de uno o más elementos en hierro cúbico centrado en el cuerpo, a menos que se designe lo contrario, en general se supone que el soluble es el carbono. En algunos diagramas de equilibrio hay dos regiones ferríticas, separadas por una área austenica. El área es ferrita alfa, en tanto que la superior es ferrita delta. Si no hay designación, se supone que es ferrita alfa. - Pura ferrita que está estructuralmente separada y distinguible, como la que se puede tener lugar sin la formación simultánea

- ferríticas, bandas. Bandas paralelas de ferrita libre alineadas en la dirección de trabajado. Algunas veces se citan como fajas ferríticas.

- fluencia. Deformación dependiente del tiempo que ocurre bajo la aplicación de esfuerzo. La deformación por fluencia que ocurre a una rapidez disminuyente se llama fluencia primaria; la que sucede a una rapidez mínima y casi constante, fluencia secundaria; la que ocurre a una rapidez acelerante, fluencia terciaria.

Resistencia a la. A) Esfuerzo constante nominal que causará ciertas cantidad de fluencia en un tiempo dado a temperatura constante. B) Esfuerzo constante nominal que causará una rapidez específica de fluencia a temperatura constante.

- forjado. Deformación plástica de un metal, por lo general caliente, en las formas deseadas, con fuerza compresiva, con o sin troqueles.

- fragilidad. Calidad de un material que da lugar a la propagación de fisuras sin deformación plástica apreciable.

En azul. Fragilidad exhibida por algunos aceros después de calentarse a alguna temperatura dentro del intervalo de 300 a 650 ;F (intervalo azul de color) especialmente si el acero se trabaja a temperatura elevada.

En caliente. Fragilidad del metal en el intervalo de formado en caliente.

- grafitización. Formación de grafito en hierro o acero. Donde se forma grafito durante la solidificación, el fenómeno se llama grafitización primaria ; donde se forma más tarde por tratamiento térmico, grafitización secundaria

- grafitizar. Recocer una aleación ferrosa en tal forma que alguna parte o todo el carbono se precipite como grafito.

- grano Cristal individual en un metal o aleación policristalina.

Crecimiento de. Incremento en el tamaño de granos en un metal policristalino, generalmente efectuado durante el calentamiento a elevadas temperaturas. EL incremento de que el crecimiento ha cesado. Una mezcla de granos no uniformes alguna veces se llama duplicada. El crecimiento anormal de grano (crecimiento exagero de grano) implica la formación de granos excesivamente grandes, uniformes o no uniformes.

Refinador de. Material agregado a un metal fundido para conseguir granos más finos en la estructura final.

Tamaño de . Para metales, medida de las áreas o volúmenes de granos en un metal policristalino, generalmente expresada como promedio cuando los tamaños individuales son bastante uniformes. Los tamaños de grano se reportan en términos del número de granos por unidad de área o de volumen, en términos del diámetro promedio, o como un número de tamaño de grano derivado de las mediciones de área.

- hierro alfa. Hierro puro en forma cúbica centrada en el cuerpo, estable a temperaturas inferiores a 1,670 ;F
- hierro blanco fundido. Hierro fundido que da una fractura blanca porque el carbono está en forma combinada.

- **hierro fundido.** Hierro que contiene carbono en exceso de la solubilidad en la austenita que existe en la aleación a la temperatura eutéctica. Para las diversas formas, como hierro gris fundido, hierro blanco fundido, hierro maleable fundido y hierro nodular fundido, la palabra fundido a menudo se omite.
- **hierro fundido de grafito esferoidal.** Lo mismo que el hierro nodular-fundido.
- **hierro gamma.** Forma cúbica centrada en la cara de hierro puro, estable desde 1,670 hasta 2,550 F.
- **hierro gris fundido.** Hierro fundido que da una fractura gris, debido a la presencia de grafito en hojuelas. A menudo se llama hierro gris.
- **hierro maleable fundido.** Hierro fundido hecho mediante un recocido prolongado de hierro fundido blanco en el que tiene lugar la descarburización o la grafitización, o ambas, para eliminar alguna parte o toda la cementita. El grafito está en forma de carbono revenido. Si la descarburización es la reacción predominante, el producto tendrá una fractura clara, de ahí el nombre maleable de corazón blanco; de otra manera, la fractura será oscura, de ahí el nombre maleable de corazón. El maleable perlítico es una variedad de corazón negro, con una matriz perlítica junto con algo de ferrita libre.
- **hierro nodular fundido.** Hierro fundido que se ha tratado mientras está fundido con una aleación maestra que contiene un elemento como magnesio o cerio para dar grafito primario en la forma esferulítica.
- **homogeneización, tratamiento de.** Tratamiento térmico de una aleación encaminada a hacerla uniforme en composición, eliminando la segregación dendrítica y los gradientes de concentración.
- **homogeneizar.** Conservar a alta temperatura para eliminar o disminuir la segregación química por difusión.
- **inoculación.** Adición de un material al metal fundido para formar núcleos por cristalización.
- **isotropía.** Calidad de tener propiedades idénticas en todas direcciones.

- **ledeburita** Eutectico del sistema hierro-carbono, cuyos constituyentes son austenita y cementita. La austenita se descompone en ferrita y cementita al enfriar por debajo de  $A_{r1}$ .
- **macroestructura.** Estructura de metales revelada por examen de la superficie atacada químicamente de una muestra pulida a una amplificación que no exceda diez diámetros.
- **macrográfica.** Reproducción gráfica de la superficie de una muestra preparada a una amplificación que no exceda diez diámetros. Cuando se fotografía , la reproducción se conoce como fotomacrografía.
- **macroscópico.** Visible a amplificaciones de uno a diez diámetros.
- **maleabilidad.** Característica de los metales que permite una deformación plástica en compresión sin ruptura.
- **martensita.** A) en una aleación, estructura metaestable transicional intermedia entre dos modificaciones alotrópicas cuyas capacidades para disolver un soluble dado difieren considerablemente; su fase de alta temperatura es la mayor solubilidad. La cantidad de la fase de alta temperatura transformada a martensita depende en un mucho de la temperatura lograda en el enfriamiento, habiendo más bien una temperatura de principio distinta. B) Fase metaestable del acero, formada por una transformación de austenita inferior a la temperatura de  $M_{5}$  ( $A_r$ ). Es una solución sólida intersticial sobresaturada de carbono en hierro, con una red tetragonal centrada en el cuerpo. Su microestructura se caracteriza por una forma acicular o tipo aguja.
- **matriz.** Fase o agregado principal en que se introduce otro constituyente.
- **metaestable.** Estado pseudoequilibrio que tiene una energía libre mayoría que la del estado verdadero de equilibrio, pero que no cambia espontáneamente.
- **metal** a) Sustancia química elemental opaca, y lustrosa que es buen conductor del calor y de la electricidad y cuando se ha pulido, es buen reflector de la luz. La mayoría de los metales elementales son maleables, dúctiles y , en general, más pesados que las otras sustancias elementales. B) Respecto a la estructura, los metales pueden distinguirse de los no metales por sus enlaces atómicos y disponibilidad de electrones. Los átomos metálicos tienden a perder electrones de las capas exteriores,

cuyos iones positivos así formados se mantiene unidos por la nube de electrones producida por la separación. La capacidad de estos electrones libres para aportar una corriente eléctrica y el hecho de que la potencia conductora disminuya conforme la temperatura aumenta, establece una de las principales distinciones de un sólido metálico.

Base a) Metal presente en la mayor proporción en una aleación ; por ejemplo, el latón es una aleación de bases cobre ; B) metal que se cortará o soldará y C) después de soldar, aquella parte del metal que no se fundió.

Blanco. Término general que abarca un grupo de metales de color blanco, de puntos de fusión relativamente bajos (plomo, antimonio, bismuto, estaño, cadmio y zinc) y de las aleaciones basadas en estos metales.

Noble. A) Metal cuyo potencial es altamente positivo en relación con el electrodo de hidrógeno. B) Metal con marcada resistencia a la reacción química, sobre todo a la oxidación y a la solución por ácidos inorgánicos. El término se utiliza a menudo como sinónimo de metal precioso.

Refractario. Metal con un punto de fusión extremadamente alto. En el sentido amplio, se refiere a metales con puntos de fusión por encima del intervalo del hierro, el cobalto y el níquel.

- **Metalurgia.** Ciencia y tecnología de los metales. La metalurgia de proceso (química) tiene por objeto la extracción de metales de sus minerales y la refinación de metales ; la Metalurgia física se ocupa de las propiedades físicas y mecánicas de metales como son afectados por la composición, el trabajo mecánico y el tratamiento térmico.

**Mecánica.** Tecnología que se ocupa de la manera en que los metales reaccionan a sus ambientes mecánicos.

**De polvos.** Arte de producir polvos de metal y de utilizar los polvos de metal para producir materiales masivos y objetos moldeados.

- **microestructura** Estructura de metales pulidos y atacados químicamente, revelada por un microscopio

- **nitruración** Introducción de nitrógeno en una aleación sólida ferrosa, manteniéndola a una temperatura adecuada (por abajo de Ac para aceros ferríticos) en contacto con un material nitrogenoso, generalmente amoníaco o cianuro fundido de composición apropiada. No se requiere templado para producir una porción externa dura.
  - **normalización** Calentar una aleación ferrosa a una temperatura apropiada por arriba del intervalo de transformación y luego enfriar en aire a una temperatura substancialmente inferior al intervalo de transformación.
  - **oxidación.** Reacción en la que existe un incremento en valencia resultante de una pérdida de electrones.
  - **peritectico** Reacción isotérmica reversible en la que una fase líquida reacciona con una fase sólida para producir otra fase sólida al enfriar.
  - **peritectoide.** Reacción isotérmica reversible en la que una fase sólida reacciona con una segunda fase sólida para producir aún una tercera fase sólida al enfriar.
  - **perlita.** Agregado laminar de ferrita y cementita que a menudo se presenta en acero y hierro fundido
  - **pieza fundida.** Objeto en forma o casi terminada, obtenido por solidificación de una sustancia en un molde.
- 
- **pieza fundida precisión.** Pieza de fundición de metal de dimensiones reproducibles con exactitud, sin considerar cómo está hecha.
  - **porosidad.** Finos orificios o poros dentro de un metal.
  - **propiedad mecánicas.** Propiedades de un material que revelan su comportamiento elástico e inelástico cuando se aplica una fuerza, indicando de este modo su adaptabilidad para las aplicaciones mecánicas; por ejemplo, módulo de elasticidad, resistencia tensil, elongación, dureza y límite de fatiga.
  - **radiografía.** Imagen fotográfica de la sombra que resulta de la desigual absorción de la radiación en el objeto que se somete a los rayos X o gamma
  - **recarburizar.** A) Incrementar el contenido de carbono del hierro o acero líquido al añadir material carbonoso, arrabio al alto carbono o una aleación al alto carbono. B)

Carburizar una pieza de metal para devolver el carbono de la superficie perdido durante el procesamiento.

- **recocido** Calentar y mantener a una temperatura adecuada y luego enfriar a una rapidez apropiada para reducir la dureza, mejorar la maquinabilidad, facilitar el trabajado en frío, producir una microestructura deseada u obtener las propiedades deseadas mecánicas, física u otras. Cuando se aplica a aleaciones ferrosas, el término recocido, a secas, implica recocido total. Cuando se aplica a aleaciones no ferrosas, el término implica un tratamiento térmico preparado para suavizar una estructura trabajada en frío por recristalización o crecimiento de grano subsecuente o para suavizar una aleación endurecida por envejecido, dando lugar a una precipitación casi completa de la segunda fase en forma relativamente gruesa. Cualquier

proceso de recocido generalmente reducirá los esfuerzos, pero si el tratamiento se aplica sólo para tal liberación, debe designarse como reductor de esfuerzo residual.

**Antes de estirar.** Al hacer alambres, tratamiento térmico aplicado al acero al medio carbono o al alto carbono antes de estirar el alambre o entre las etapas del proceso de estiramiento. Este proceso consiste en calentar a una temperatura superior al intervalo de transformación y luego enfriar a una temperatura inferior a  $A_{e1}$  en aire o en un baño de plomo o sal fundida.

**Intermedio.** Aquél al que se someten los metales forjados en una o más etapas durante la manufactura y antes del último tratamiento.

**Isotérmico.** Austenización de una aleación ferrosa, y luego enfriarla y mantenerla a una temperatura en que la austenita se transforma en un agregado de carburo de ferrita relativamente suave.

**Proceso de** En la industria de láminas y alambres, calentar una aleación ferrosa a una temperatura muy próxima pero inferior, al límite inferior del intervalo de transformación y luego enfriar, a fin de suavizar la aleación para anteriormente trabajado en frío.

**De recristalización.** Recocido del metal trabajado en frío para producir una nueva estructura de grano sin cambio de fase.

**Recocido total.** Recocer una aleación ferrosa por Austenización y luego enfriarla lentamente a través de todo el intervalo de transformación. La temperatura de Austenización para acero hipereutectoide suele ser superior a  $Ac_3$ ; y para hacer hipereutectoide, generalmente entre  $Ac_{1,3}$  y  $Accm$ .

**Recristalización** a) Cambio de una estructura cristalina a otra, como ocurre al calentado al enfriar a través de una temperatura crítica b) Formación de una estructura nueva, de grano libre de deformaciones.

- **revenido.** En tratamiento térmico, recalentar acero endurecido o hierro fundido endurecido a alguna temperatura inferior al eutectoide, a fin de disminuir la fuerza y aumentar la tenacidad. El proceso también se aplica algunas veces al acero normalizado.
- **- Fragilidad de.** Fragilidad que resulta cuando ciertos aceros se conservan dentro de cierto intervalo de temperatura inferior al intervalo de transformación, o se enfrían lentamente a través de él. La fragilidad es revelada por ensayos de cargas aplicadas con impacto sobre una barra muescada en la temperatura ambiente o por debajo de ella.
- **segregación dendrítica.** Composición variable entre el centro y la superficie de una unidad de estructura (como dendrita, grano, partícula de carburo) resultante del crecimiento fuera de equilibrio que ocurre sobre un intervalo de temperatura.
- **sinterización** a) Enlace de superficies adyacentes de partículas en una masa de polvos de metal o un aglomerado, calentado B) Cuerpo con forma determinada constituido por polvos de metal y producido al sinterizar con o sin compactado previo.
- **sobreenvejecimiento.** Envejecimiento bajo condiciones de tipo y de temperatura mayores que las requeridas para obtener cambio máximo en cierta propiedad, de manera que la propiedad se altera en la dirección del valor inicial.
- **solvente.** Componente de una solución líquida o de una solución sólida que está presente en una extensión mayor o más grande; componente que disuelve al soluble.
- **solvus.** En un diagrama de fase o de equilibrio, lugar geométrico de todos los puntos que representan las temperaturas a las que las diversas composiciones de las fases sólidas coexisten con otras fases sólidas, es decir, los límites de solubilidad sólida.

- **sorbita.** Nombre en desuso de una fina mezcla de ferrita y cementita producía por regularización de la rapidez de enfriamiento del acero o reviniendo el acero después del endurecimiento. EL primero tipo es una perlita muy fina, difícil de resolver bajo el microscopio ; el segundo tipo de martensita revenida.
- **tamaño de la partícula.** Control de la dimensión lineal de una partícula individual, conforme a lo determinado por el análisis con cribas u otros instrumentos apropiados.
- **temperatura de recristalización.** Temperatura mínima aproximada en la que ocurre recristalización completa de un metal altamente trabajado en frío dentro de un tiempo especificado, generalmente una hora.
- **temperatura de transformación.** Temperatura a que ocurre un cambio de fase. El término algunas veces se utiliza para denotar la temperatura límite de un intervalo de transformación. Los siguientes símbolos se emplean para hierro y aceros :
  - Accm. En acero hipereutectoide, temperatura a la que la solución de cementita en austenita se completa durante el calentamiento.
  - Ac1 Temperatura a la que se empieza a formar austenita durante el calentamiento
  - Ac3 Temperatura a la que la transformación de ferrita en austenita se completa durante el calentamiento.
  - Ac4 Temperatura a la que la austenita se transforma en ferrita delta durante el calentamiento.

---

Acm, Ae1, Ae3 y Ae4 Temperaturas de los cambios de fase en equilibrio.

Arem. En acero hipereutectoide, temperatura a la que empieza la precipitación de la cementita durante el enfriamiento.

Ar1 Temperatura a la que la austenita se empieza a transformar en ferrita durante el enfriamiento.

Ar3 Temperatura a la que la austenita se empieza a transformar en ferrita durante el enfriamiento.

Ar4 Temperatura a la que la ferrita delta se transforma en austenita durante el enfriamiento.

M8 Temperatura a la que empieza la transformación de austenita en martensita durante el enfriamiento.

Mf Temperatura a la que termina la formación de martensita durante el enfriamiento.

- temperatura de transición. A) Temperatura arbitrariamente definida dentro del intervalo de temperatura en el que las características de fractura del metal, determinadas generalmente por ensayos muescados, cambian con rapidez; por ejemplo desde fractura fibrosa principalmente (crote) hasta cristalina (clivaje). Las definiciones, que más se utilizan son temperatura de transición para fractura al 50% de clivaje, temperatura de transición a 10 lb-pie y temperatura de transición para energía media máxima B) Algunas veces también se emplea para denotar la temperatura arbitrariamente definida en un intervalo en el que la ductilidad cambia en forma rápida con la temperatura.
  - templado: Enfriamiento rápido. Cuando se aplicable, deben utilizarse los términos siguientes: templado directo, templado interrumpido, templado selectivo, templado por rociado y templado por tiempo.
- Débil. Proceso de endurecimiento del acero por templado desde la temperatura de Austenización a una rapidez menor que la rapidez crítica de enfriamiento para el acero determinado dando como resultado un endurecimiento incompleto y la formación de uno o más productos de transformación, además de la martensita o en vez de ella.

Directo. Templado de piezas carburizadas directamente desde la operación de carburización.

- templado, endurecimiento por. Endurecer una aleación ferrosa austenizado y luego enfriando rápidamente en forma suficiente, de modo que alguna parte o casi toda la austenita se transforma en martensita. La temperatura de Austenización para aceros hipoeutectoides suele estar por arriba de  $Ac_3$  y para aceros hipereutectoides está generalmente entre  $Ac_{1.3}$  y  $Accm$ .

Por estiramiento en frío. Templado de tubos de cobre o de aleación al cobre estirados en exceso de 25% de reducción en área.

**Interrumpido.** Templado en que el objeto de metal que se temple es removido del medio de temple, cuando esta el objeto a una temperatura substancialmente mayor que la del medio de temple

por rocío. Templar en un rocío de líquido

selectivo. Templar sólo ciertas porciones de un objeto.

Por tiempo Templado interrumpido en el que se controla el tiempo en el medio de temple

- **tenacidad** Capacidad de un metal para absorber energía y deformarse plásticamente antes de fracturarse. Generalmente es medida por la energía absorbida en un ensayo de cargas aplicadas con impacto sobre una barra muescada, pero el área bajo la curva esfuerzo-deformación en el ensayo tensil también es una medida de tenacidad
- **Trabajo en frío** Deformación plástica de un metal a una temperatura inferior a la de recristalización.
- **transformación isotérmica.** Cambio de fase a cualquier temperatura constante.
- **transformación martensica.** Reacción que tiene lugar en algunos metales al enfriar, con la formación de una estructura acicular llamada martensita
- **tratamiento de estabilización.** Cualquier tratamiento encaminado a estabilizar la estructura de una aleación o las dimensiones de una pieza A) Calentar aceros austeníticos inoxidables que contiene titanio, columbio o tantalio a una temperatura adecuada inferior a la una recocido total, a fin de inactivar la máxima cantidad de carbón mediante la precipitación como carburo de titanio, columbio o tantalio B) Transformar austenita retenida en piezas hechas de acero para herramientas c) Precipitar un constituyente desde una solución no ferrosa sólida a fin de mejorar la capacidad de trabajado, para disminuir la tendencia de ciertas aleaciones a endurecer por envejecido a temperatura ambiente, o para obtener estabilidad dimensional.
- **tratamiento en frío.** Enfriar a una temperatura baja a menudo cercana a  $-100\text{ }^{\circ}\text{F}$  con el fin de obtener condiciones o propiedades deseadas (tales como estabilidad dimensional o estructural).

# Bibliografía

Autor	Texto	Editorial	Año
E. R. Abril	Introducción a la metalurgia.	Marymar	2 ed 1974
J. Apraiz B.	Fundiciones	Dossat	1981
J. Apraiz B.	Tratamientos térmicos de los aceros	Dossat	8 ed.
D.R. Askeland	Ciencia e ingeniería de los materiales	Iberoamericana	1987
ASM	Metal handbook volumen 2	ASM	8 ed. 1972
ASM	Metal handbook volumen 7	ASM	8 ed. 1972
ASM	Metal handbook volumen 8	ASM	8 ed. 1973
Avner	Introducción a la metalurgia física	Mc-Graw-Hill	1990
Capello Edoardo	Tecnología de la fundición	G. Gili.	3er. Ed. ®
Flinn, Trojan	Materiales de ingeniería y sus aplicaciones	Mc-Graw-Hill	1992
A.G. Guy	Metalurgia física para ingenieros	Fondo Educ. Int	1970
R. H. Higgins	Ingeniería metalurgia tomo I	C.E.C.S.A.	1974
R. Pollack	Materials Sciencie and metalurgy	Reston	1977

