



Hierro Fundido

TIM 50

Tecnólogo Industrial Mecánico



Bibliografía

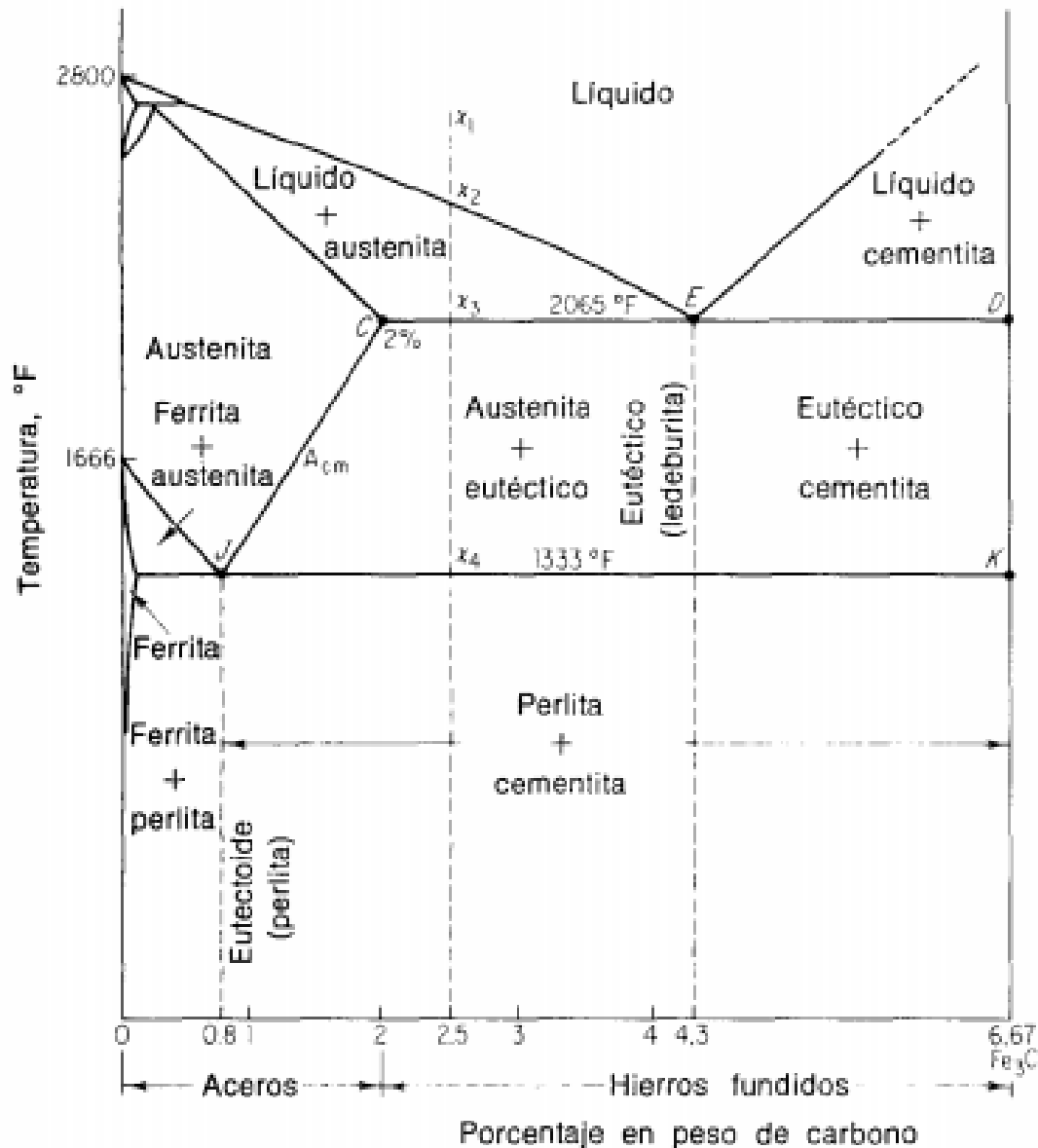
- Introducción a la metalurgia física.
 - H. Avner.
 - Capitulo 11

- Los hierros fundidos al igual que los aceros son aleaciones de hierro y carbono, contienen más cantidad de carbono que la necesaria para saturar a la austenita.
- Contienen entre 2 y 6,67 % de C, pero como el alto contenido de carbono tiende a hacer los hierros fundidos muy frágiles la mayoría se encuentra en el intervalo de 2,5 a 4 % de C.
- La mayoría de los hierros fundidos tienen muy baja ductilidad y no son maleables a temperatura ambiente, pero funden fácilmente y pueden fabricarse piezas muy complejas las cuales con un pequeño mecanizado son llevadas a las dimensiones finales.
- Como la fundición es el proceso para su manufactura es que se conocen como hierro fundido.



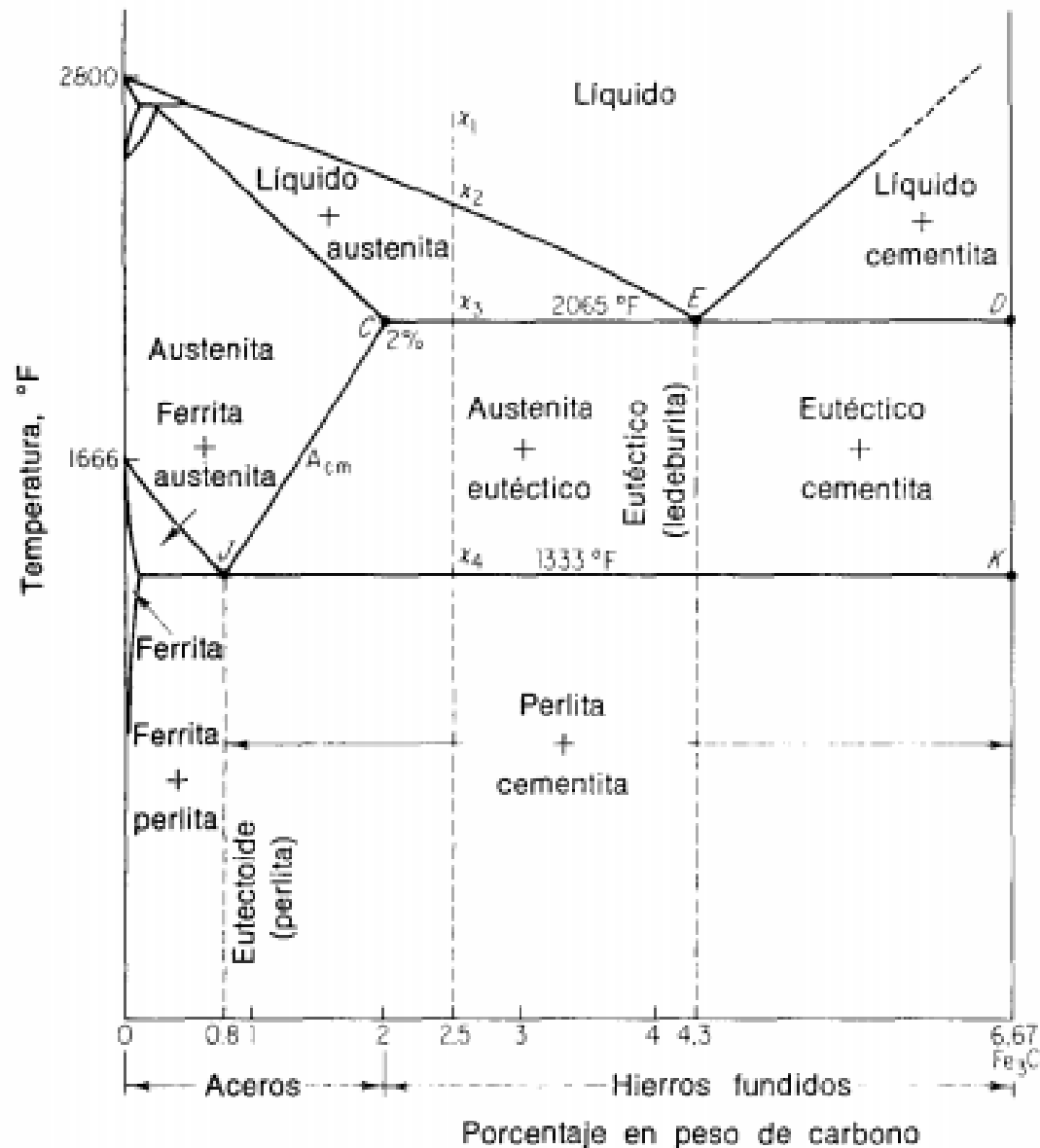
Tipos de hierro fundido

- El mejor método para clasificar el hierro fundido es según su estructura metalográfica.
- Las variables a considerar son:
 - Contenido de carbono
 - Contenido de aleación
 - Rapidez de enfriamiento
 - Tratamiento térmico
- El carbono va a poder estar combinado como carburo de hierro en la cementita o de forma libre como grafito.



Hierro fundido blanco

- Todos los hierros fundidos blancos son aleaciones hipoeutecticas.
- En el punto X1 existe una solución líquida de carbono disuelto en hierro líquido, esto se mantiene hasta cruzar la línea de liquidus en X2.
- Ahora empieza la solidificación formándose cristales de austenita.
- La solidificación continua hasta alcanzar la línea de temperatura eutética, en este punto la aleación consiste en dendritas de austenita con 2 % de C y una solución líquida con 4,3 % de C.



- Este líquido ahora sufre la reacción eutética para formar una mezcla de austenita y cementita (ledeburita).
- Con la disminución de temperatura entre X3 y X4 la solubilidad del carbono en austenita decrece como se aprecia en la línea A_{cm}, lo cual da lugar a la precipitación de cementita proeutectoide.
- A la temperatura eutectoide la austenita sufre la reacción eutectoide para formar perlita, esta estructura permanece invariable.

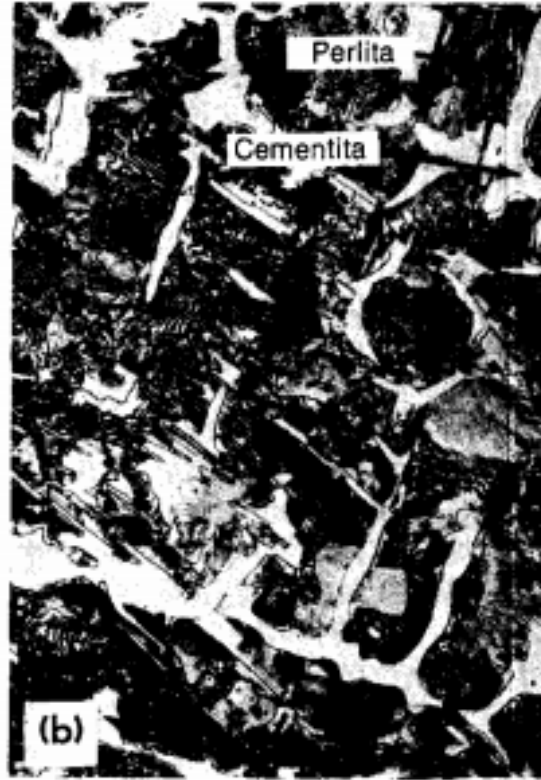
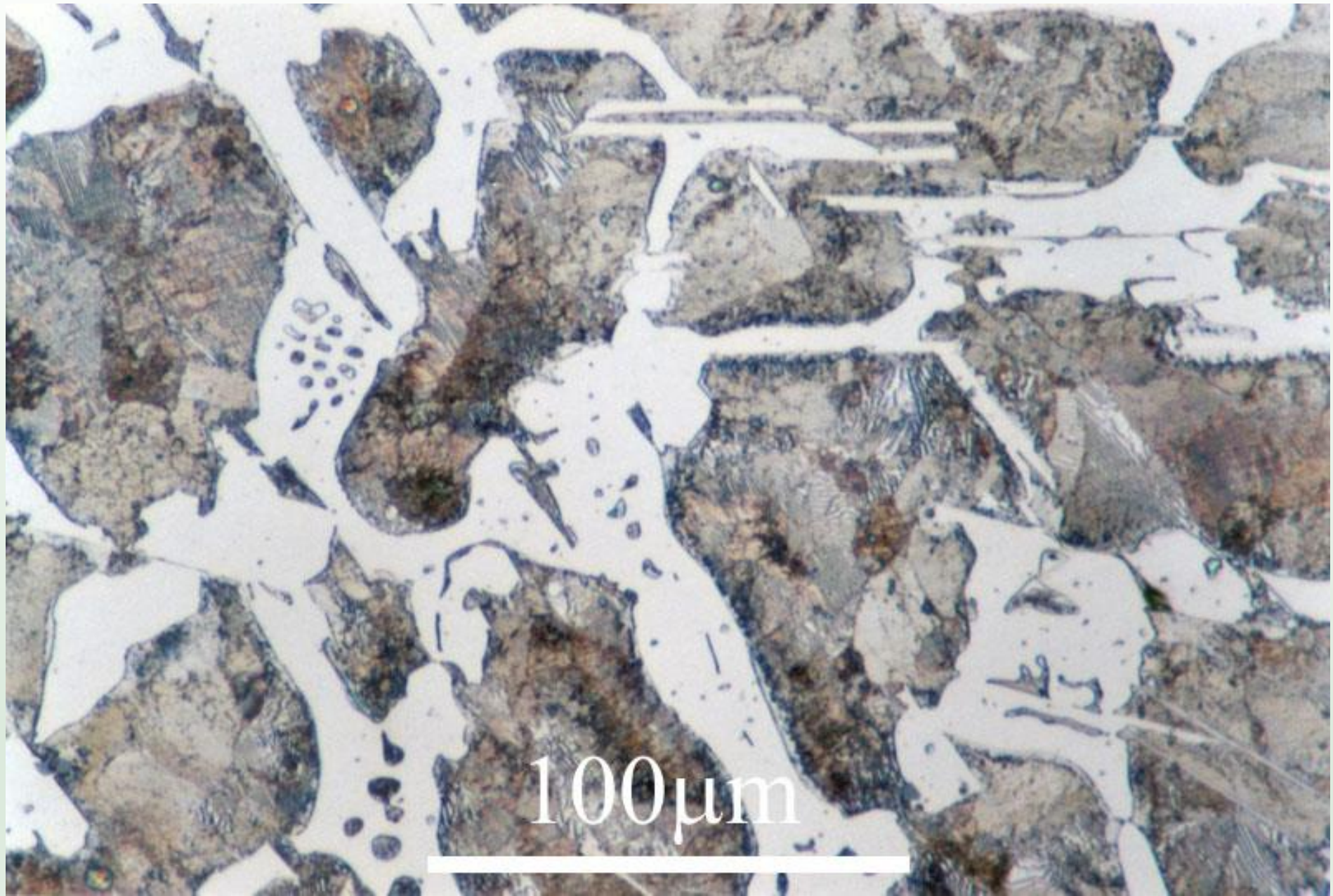


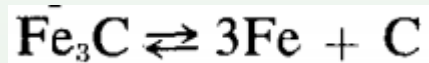
Fig. 11.2 Microestructura de un hierro blanco fundido. a) Las áreas oscuras son dendritas primarias de austenita transformada (perlita) en una red blanca interdendrítica de cementita, 20x. b) La misma muestra a 250x, que muestra perlita (oscura) y cementita (blanca). Atacada químicamente en nital al 2%.

- Se observa la estructura típica de la fundición blanca, consiste en dendritas de austenitas transformadas en perlita en una red de cementita.
- Las áreas oscuras son perlita y las blancas cementita.
- Debido a su red interdendrítica de cementita la fundición blanca es extremadamente dura y frágil.
- Utilización: Piezas donde solamente importa resistencia al desgaste. Ej: bolas o muelas de trituración y boquillas de extrucción.



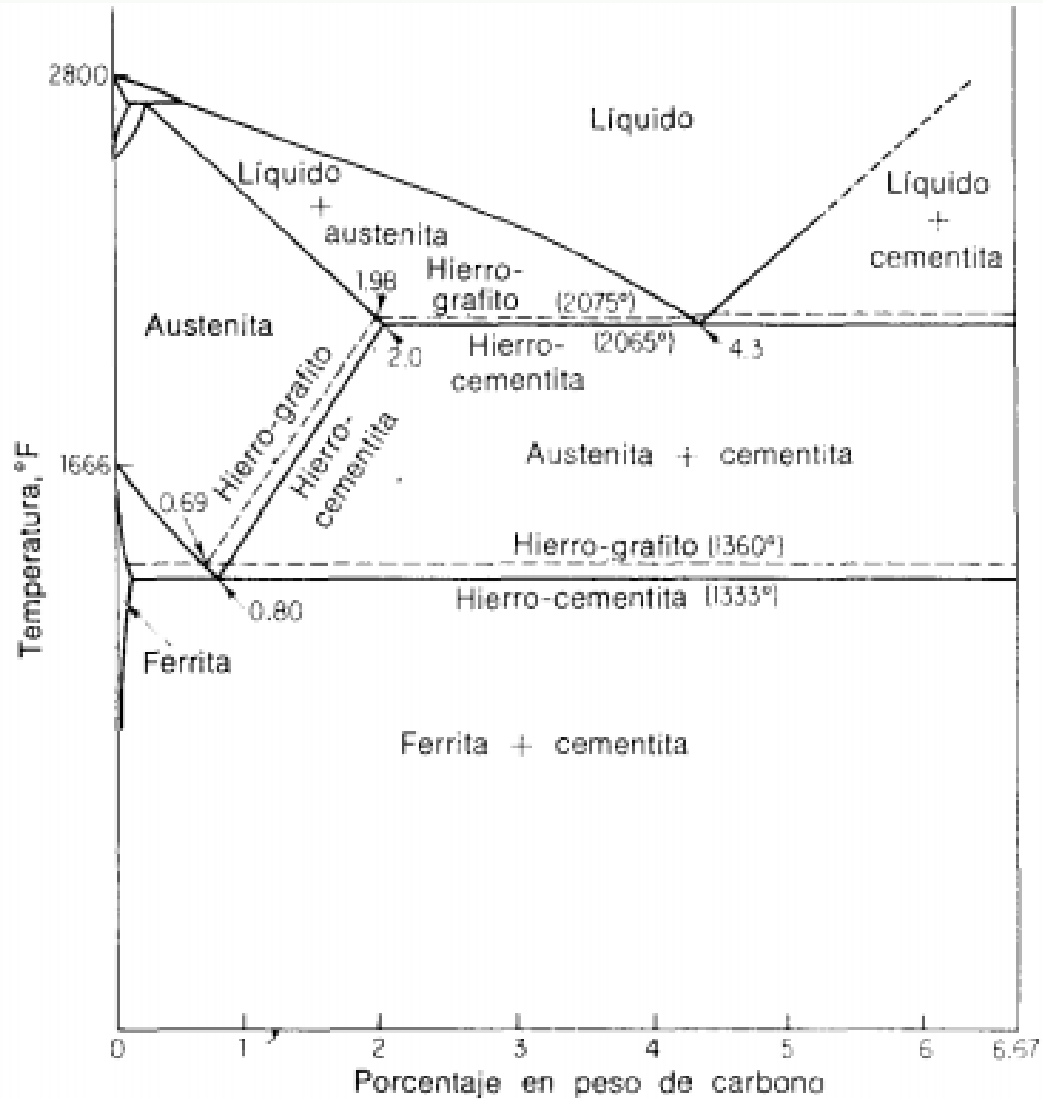
Hierro fundido maleable

- Anteriormente se destacó que la cementita (Carburo de hierro) realmente es una fase metaestable, por lo cual hay una tendencia a que se descomponga en hierro y grafito.

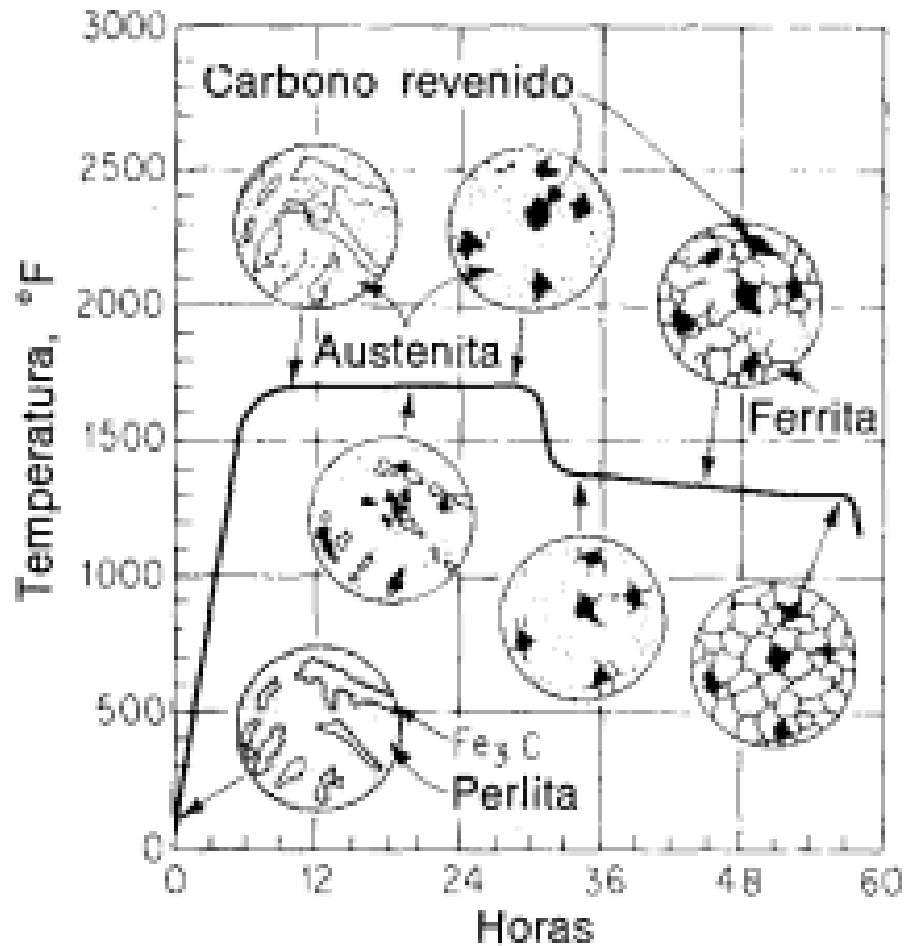


- Esta reacción se ve favorecida por altas temperaturas, impurezas solidas no metálicas, mayores contenidos de carbono y elementos de aleación que ayuden a descomponer la cementita.
- El propósito de la maleabilización es convertir todo el carbono presente en el hierro blanco en nódulos irregulares de carbono revenido (grafito) y ferrita.
- Hierros blancos adecuados para la conversión a hierro maleable.

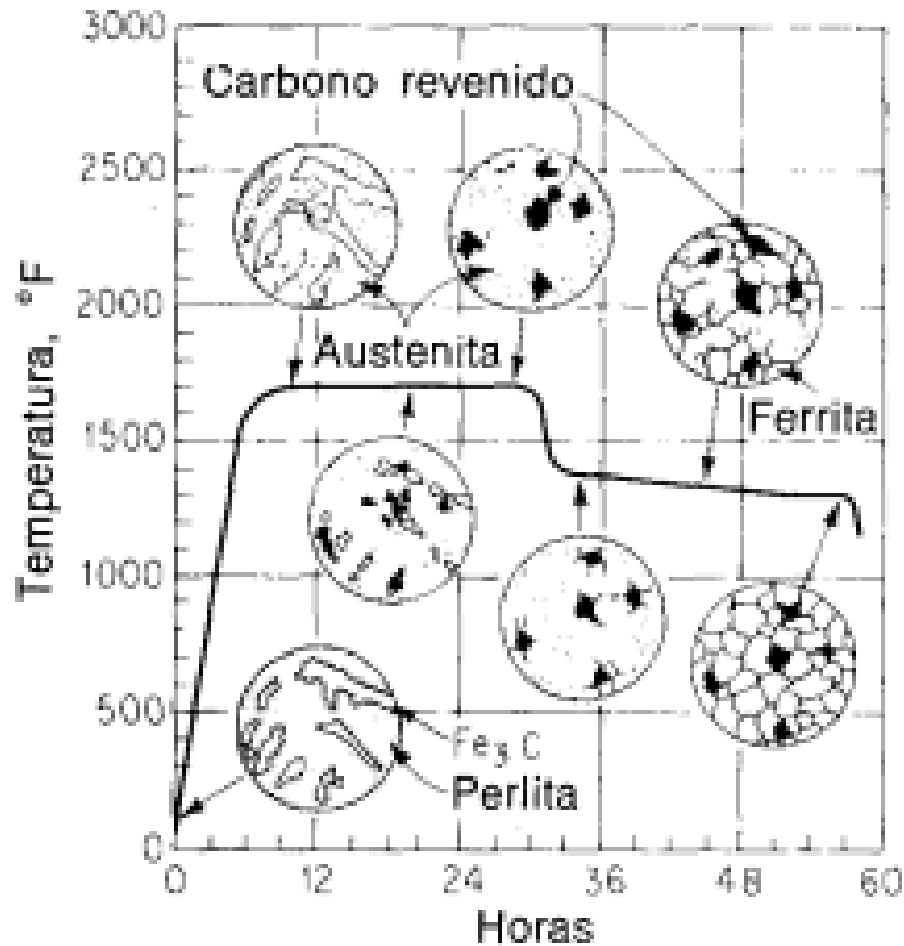
	<i>Porcentaje</i>
Carbono	2.00-2.65
Silicio	0.90-1.40
Manganeso	0.25-0.55
Fósforo	Menos de 0.18
Azufre	0.05



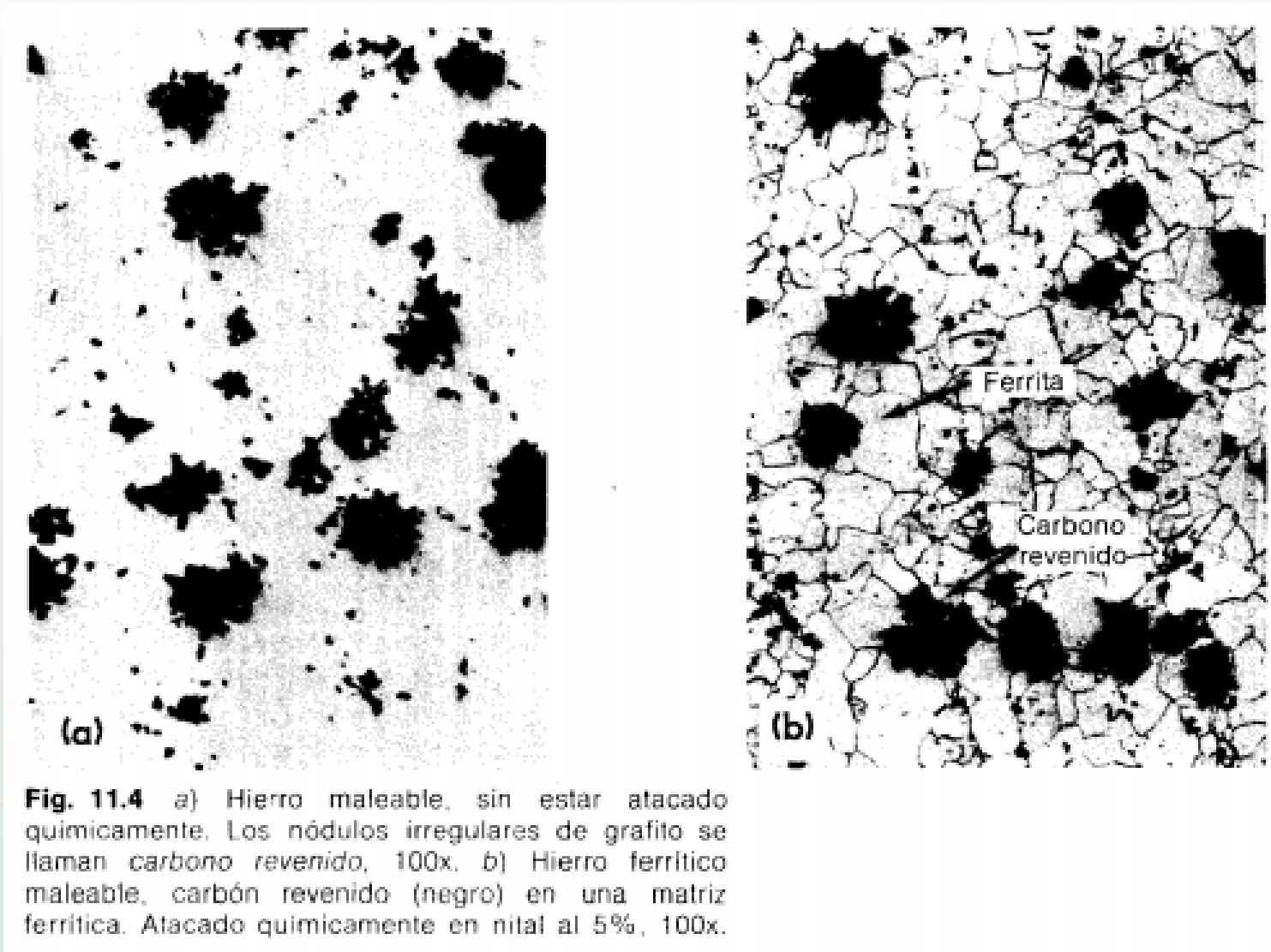
- Este proceso se efectúa en dos etapas conocidas como la primera y segunda etapas de recocido.
- La primera etapa consiste en calentar lentamente el hierro blanco a una temperatura entre 1650 a 1750 °F (899 a 955 °C).
- Durante este proceso la perlita se convertirá en austenita y el carbono precipitará como grafito libre.



- Finalmente se obtienen nódulos irregulares que generalmente son llamados carbony revenido.
- Un aumento de la temperatura aceleraría el proceso, pero genera problemas de deformaciones sobre las piezas de trabajo.
- Como la grafitización es un proceso lento las piezas deben permanecer a esta temperatura por lo menos 20 horas, piezas más grandes requerirán mayores tiempos.
- La microestructura al término de la primera etapa consta de nódulos de carbony distribuidos en una matriz de austenita saturada.



- Finalizada la primera etapa las piezas se enfrían hasta alcanzar una temperatura de 1400 °F (760 °C).
- En la segunda etapa las piezas se enfrían a una velocidad extremadamente baja atreves del intervalo critico inferior donde ocurriría la reacción eutectoide. (0,02 ° C/min)
- En este enfriamiento lento el carbono disuelto en la austenita se convierte en grafito de las partículas de grafito revenido ya existentes y la austenita restante se transforma en ferrita.
- Posteriormente ningún cambio estructural ocurre por lo cual la estructura final son nódulos de grafitos irregulares en una matriz ferrítica.



- Este carbono libre no rompe la continuidad de la matriz por lo cual hay un aumento de la resistencia y ductilidad en comparación con la fundición gris.
- Estos nódulos funcionan como lubricante lo cual explica la alta maquinabilidad del hierro maleable.

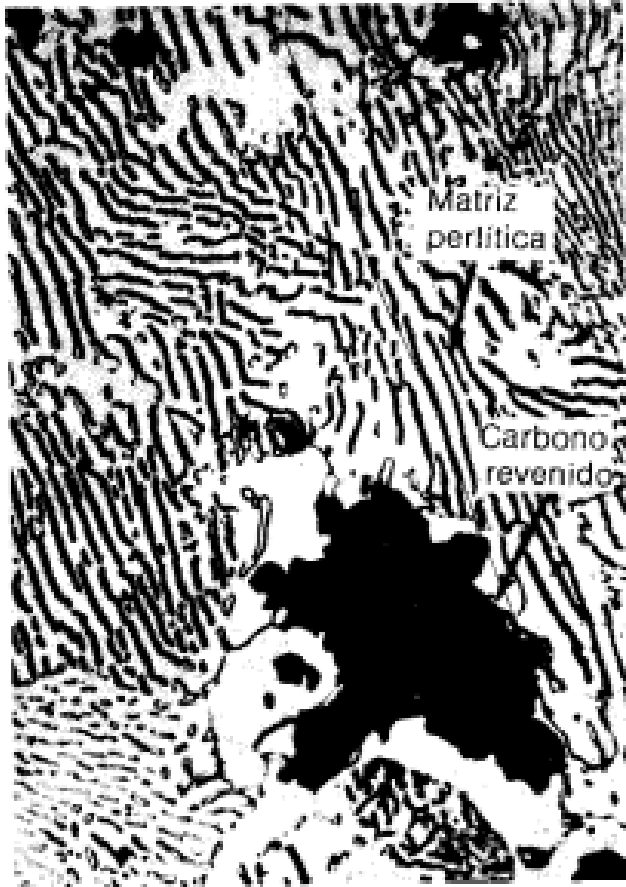


Fig. 11.7 Hierro perlítico maleable. Atacado químicamente en nital, 500x. (Malleable Founders Society.)

Hierro perlítico maleable

- Para obtenerlo, la segunda etapa del recocido puede remplazarse por un temple en aire, el cual enfría a las piezas lo suficientemente rápido en el intervalo de la reacción eutectoide.
- De esta manera se logra mantener carbono combinado por toda la matriz.

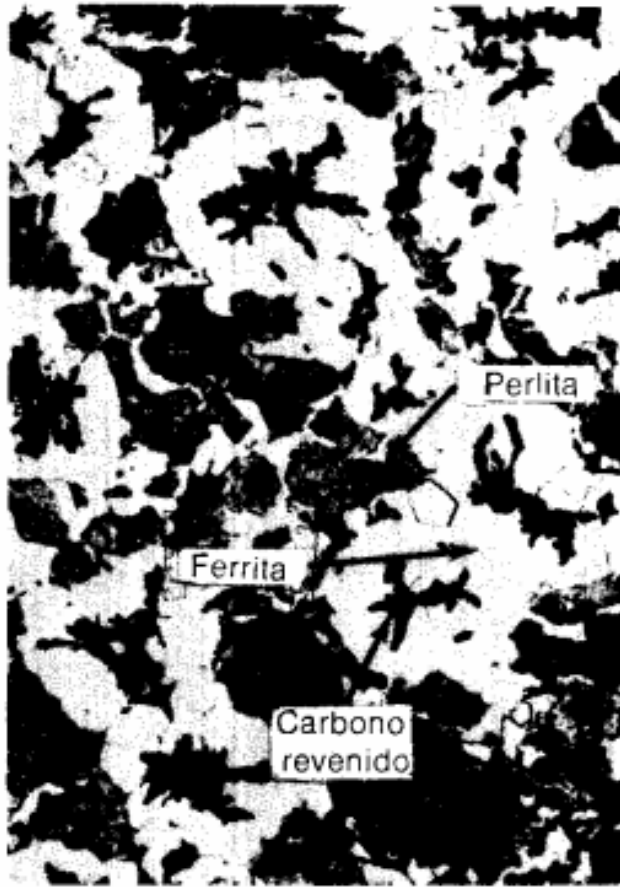


Fig. 11.8 Apariencia típica de una estructura "ojo de buey". Los nódulos de carbono revenido están rodeados por áreas ferríticas (blancas), con perlita laminar (oscura) localizada entre los ojos de buey. Atacada químicamente con nital, 100x. (Malleable Founders Society.)

- Si la rapidez de enfriamiento no es lo suficiente para retener todo el carbono combinado, las áreas que rodean los nódulos presentaran una estructura ferrítica y las más lejanas una estructura perlítica.
- Propiedades:

TABLA 11.1 Propiedades tensiles de un hierro maleable

TIPO	RESISTENCIA TENSIL, 1 000 LB/PULG ²	RESISTENCIA A LA CEDENCIA, 1 000 LB/PULG ²	ELONGACIÓN, PORCENTAJE EN 2 PULG	BHN
Ferrítico	50-60	32-39	20-10	110-145
Perlítico	65-120	45-100	16-2	163-269



Fig. 11.10 Hojuelas gráficas en un hierro gris fundido. Sin estar atacado químicamente, 100x.

Hierro fundido gris

- Este grupo constituye una de las aleaciones más utilizadas industrialmente.
- La mayoría son aleaciones hipoeutécticas que contienen entre 2,5 a 4 % de C.
- El proceso de grafitización es ayudado por el alto contenido de carbono y la adecuada cantidad de elementos de aleación, sobre todo silicio.

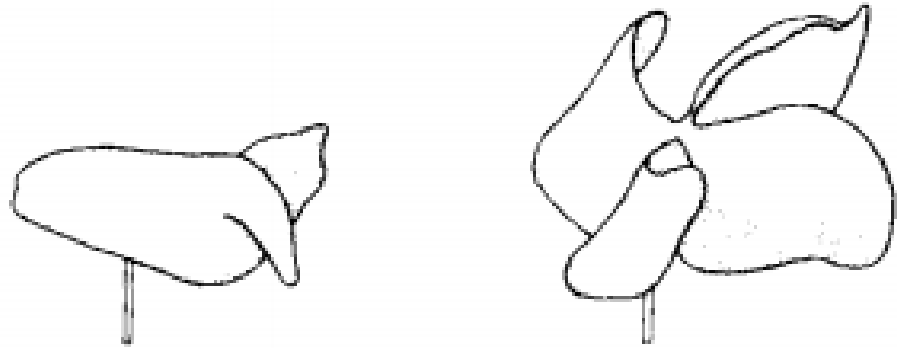


Fig. 11.11 Modelos espaciales de hojuelas de grafito. (Tomada de MacKenzie.)

- El grafito aparece como placas irregulares, generalmente alargadas y curvas.
- Las hojuelas son tridimensionales.
- Estas le dan un color gris a su fractura.

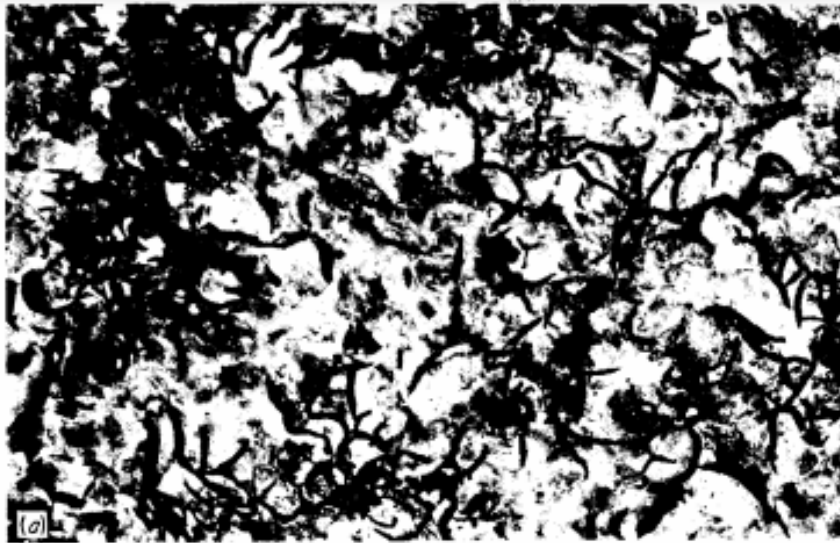


Fig. 11.12 Microestructura de un hierro gris fundido. Hojuelas grafiticas en una matriz perlítica con una pequeña cantidad de ferrita (áreas blancas). Atacada químicamente en nital al 2%. a) 100 x, b) 500x.

- Las propiedades del hierro gris dependen casi por completo de la matriz presente.
- Dependiendo de las condiciones de composición y rapidez de enfriamiento podemos pasar de una matriz totalmente perlítica, mezclas de ferrita y perlita a una totalmente ferrítica.

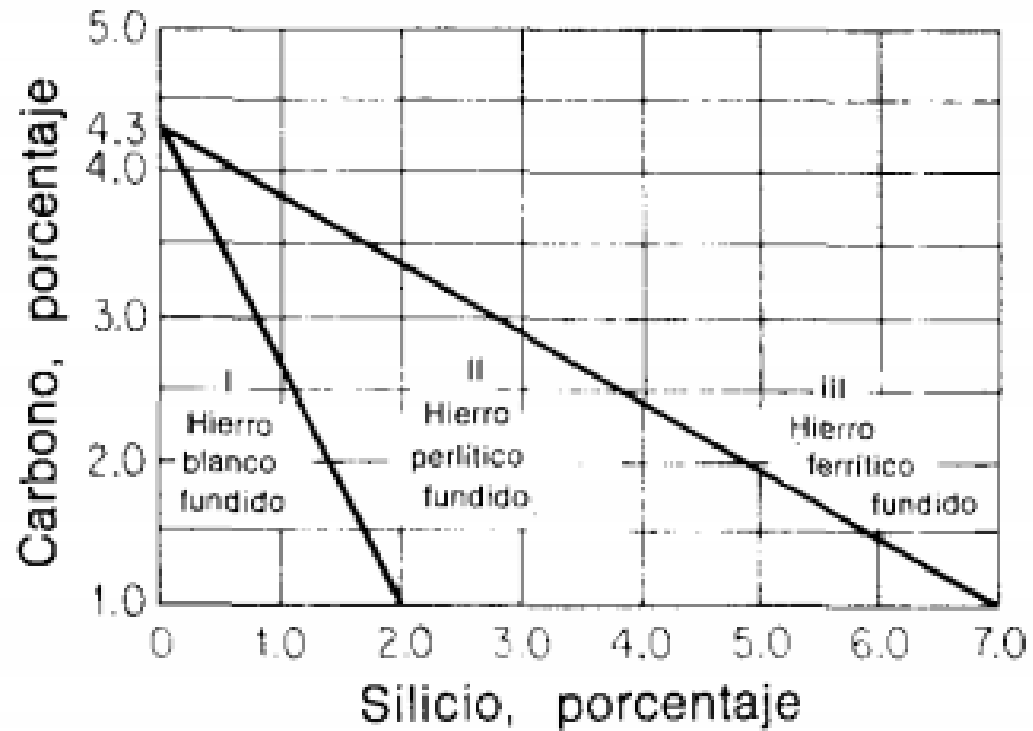


Fig. 11.13 Relación de estructura al contenido de carbono y silicio de un hierro fundido. (Tomada de Maurer.)

Silicio en el hierro fundido

- Aumenta la fluidez.
- Es un grafitizador, hace precipitar al carbono en forma de hojuelas.

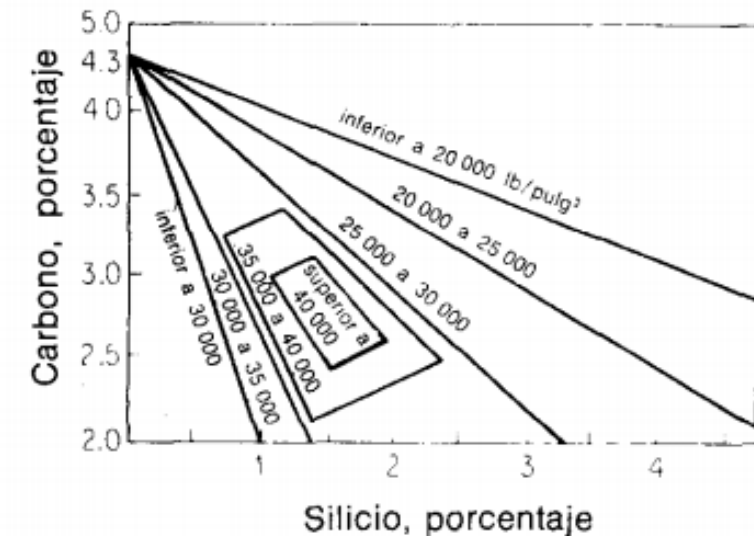


Fig. 11.14 Relación de la resistencia tensil al contenido de carbono y silicio de un hierro fundido. (Coyle, *Trans. ASM*, vol. 12, pág. 446, 1927.)

Azufre en el hierro fundido

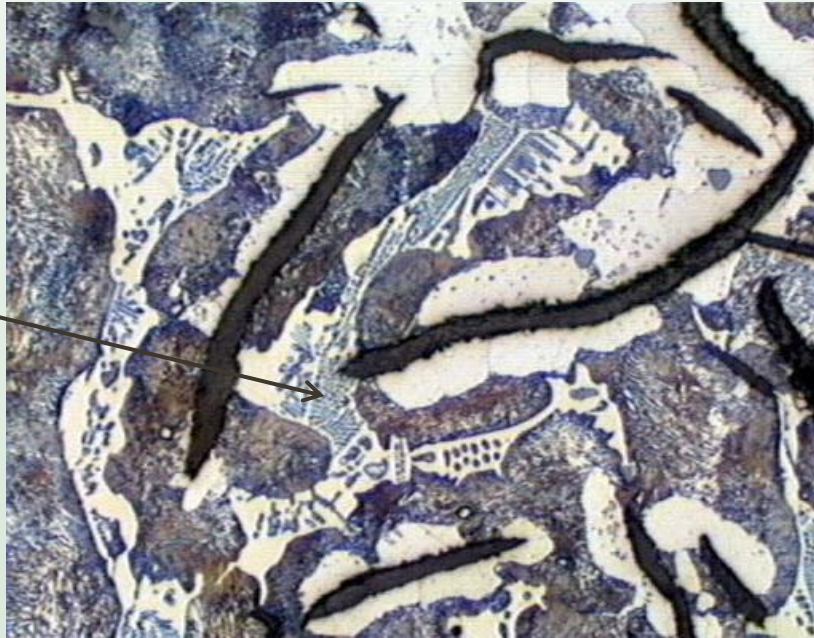
- Tiene el efecto contrario al silicio, cuanto mayor sea el contenido de azufre mayor cantidad de carbono combinado tendremos, tendiendo a formar hierros blancos.
- Se genera sulfuro de hierro el cual genera fragilidad al rojo .
- Grandes cantidades de azufre disminuyen la fluidez y causan cavidades o porosidades.

Manganeso en el hierro fundido

- Tiene gran afinidad por el azufre para formar sulfuro de manganeso.
- Es práctica común utilizar manganeso para contrarrestar efectos malos del azufre.

Fosforo en el hierro fundido

- Se combina con el hierro para formar fosfuro de hierro, conocida como esteadita.
- Grandes cantidades fragilizan la fundición.



Clasificación de las hojuelas de grafito

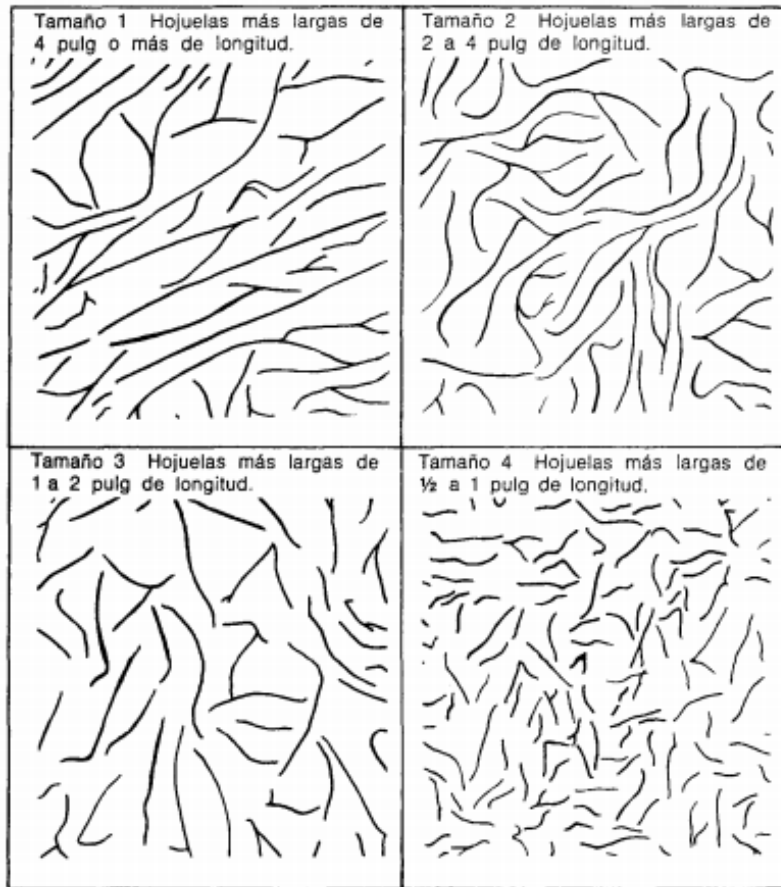
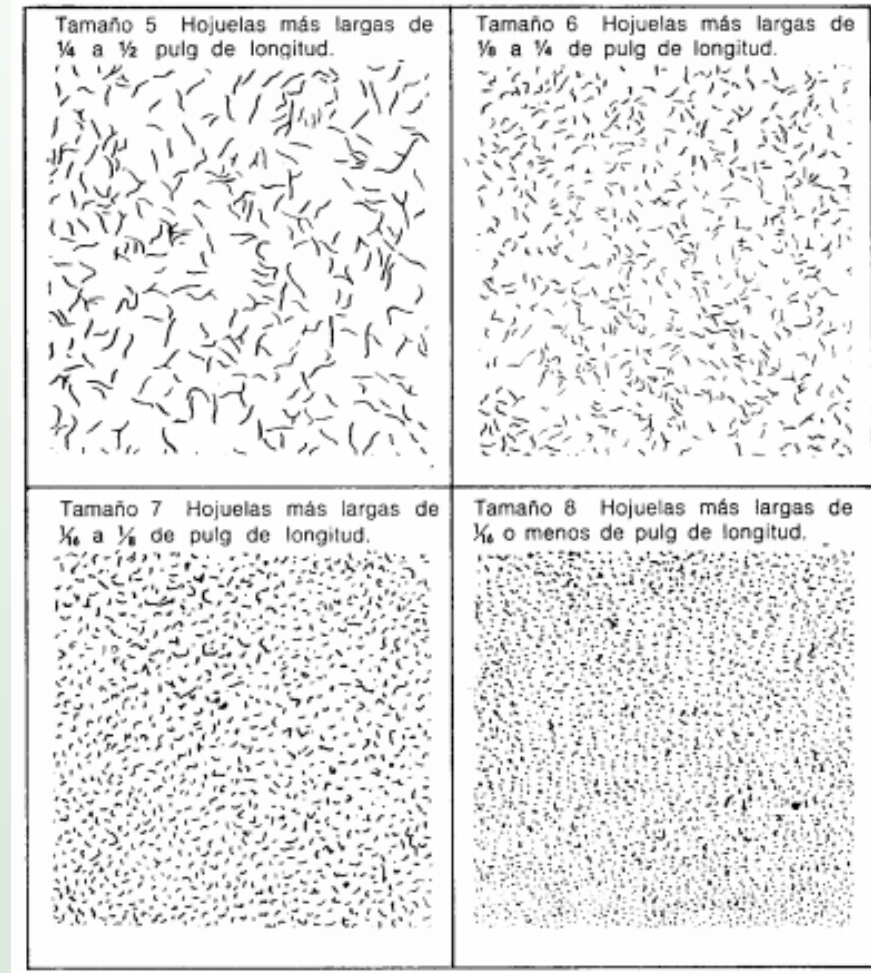


Fig. 11.17 Longitudes de las hojuelas de grafito mediante campos típicos lo más cercanamente posible a los diversos tamaños. (Preparada conjuntamente por la ASTM y la AFS.)



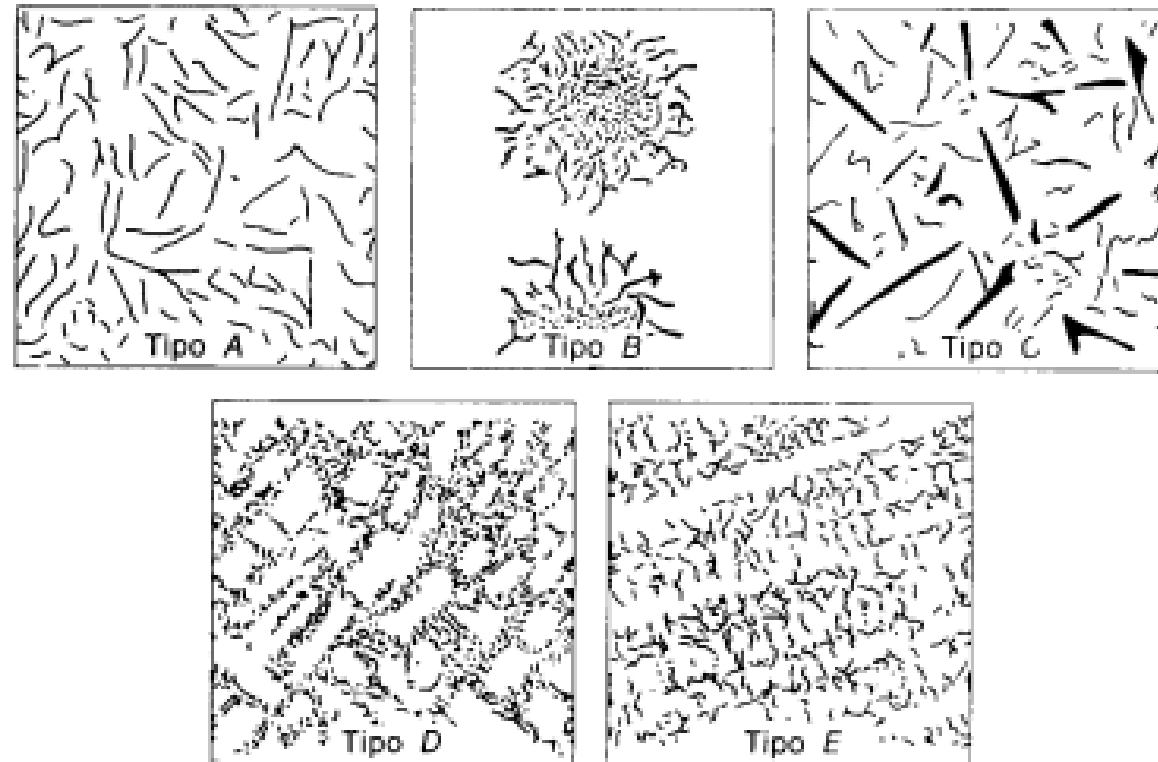


Fig. 11.18 Tipos de hojuelas de grafito. Tipo A: distribución uniforme, orientación al azar; tipo B: agrupamientos en roseta, orientación al azar; tipo C: tamaños sobrepuestos de hojuela, orientación al azar; tipo D: segregación interdendrítica, orientación al azar; tipo E: segregación interdendrítica, orientación preferida. (Preparada conjuntamente por la ASTM y la AFS.)

TABLA 12.4

Propiedades mecánicas de los hierros fundidos grises

Clase ASTM	Resistencia máxima a la tensión (MPa)	Resistencia a la compresión (MPa)	Módulo elástico (GPa)	Dureza (HB)
20	152	572	66–97	156
25	179	669	79–102	174
30	214	752	90–113	210
35	252	855	100–119	212
40	293	965	110–138	235
50	362	1130	130–157	262
60	431	1293	141–162	302

Hierro fundido nodular

- También es conocido como hierro dúctil o de grafito esferoidal.
- Es un hierro fundido donde el grafito libre está en pequeños esferoides, estas interrumpen muy poco la matriz dándole mayor resistencia y tenacidad que la fundición gris.
- Se diferencia del hierro maleable por que los esferoides son más redondos y se obtienen como resultado de la solidificación, sin tratamiento térmico.

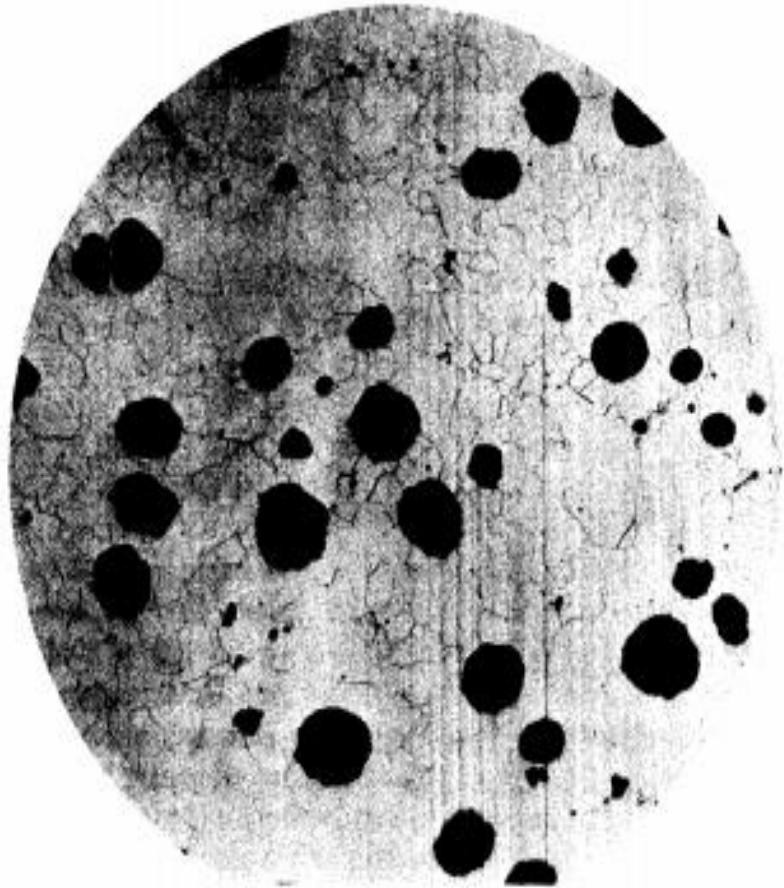
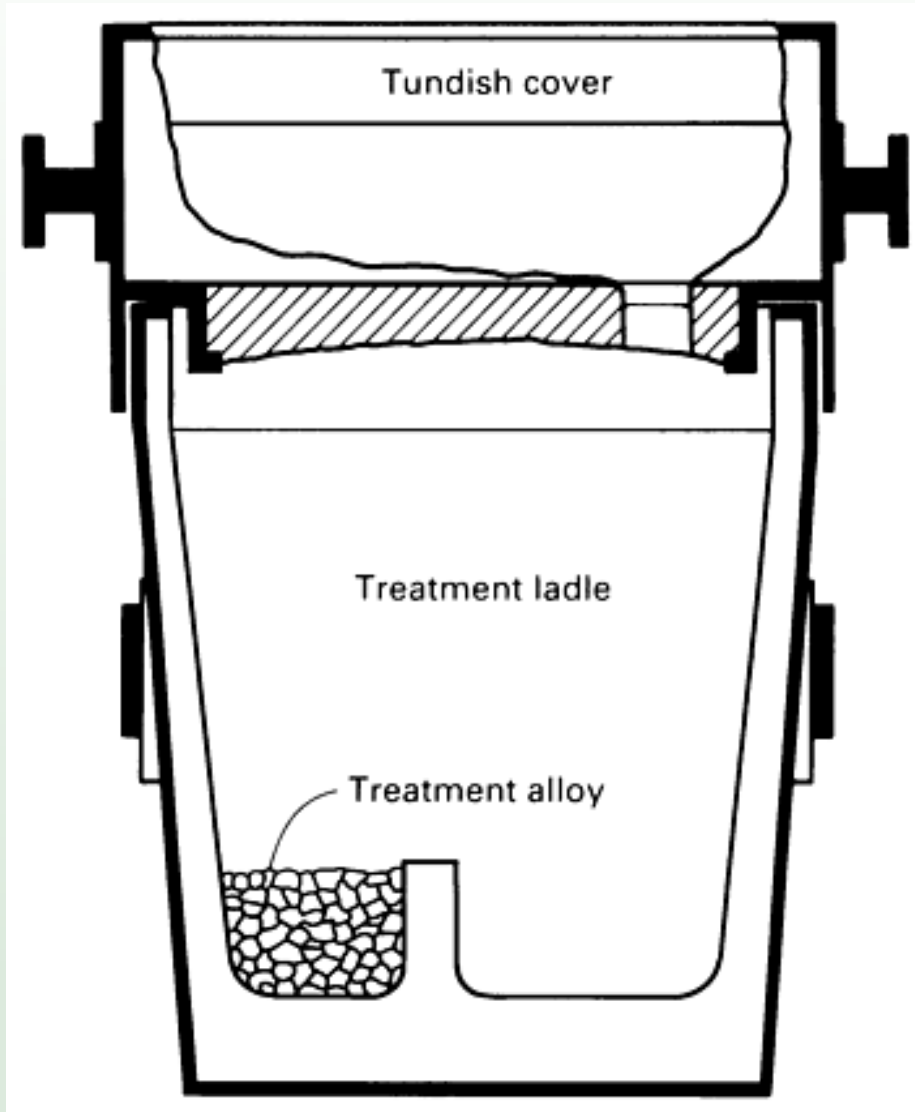


Fig. 11.22 Hierro ferrítico nodular que muestra esferoides de grafito en una matriz ferrítica. Atacado químicamente nital al 2%, 125x. (The International Nickel Company.)

- Las partículas de esferoides se forman durante la solidificación debido a la presencia de ciertos elementos de aleación como magnesio o cerio.
- La adición se efectúa en la cuchara antes del vaciado.
- Es importante que se tengan bajos contenidos de azufre, estas aleaciones se describen como desulfurizadas.
- Podemos tener matrices ferríticas con máxima ductilidad, tenacidad y maquinabilidad.



Adición de magnesio en la cuchara de vertido.

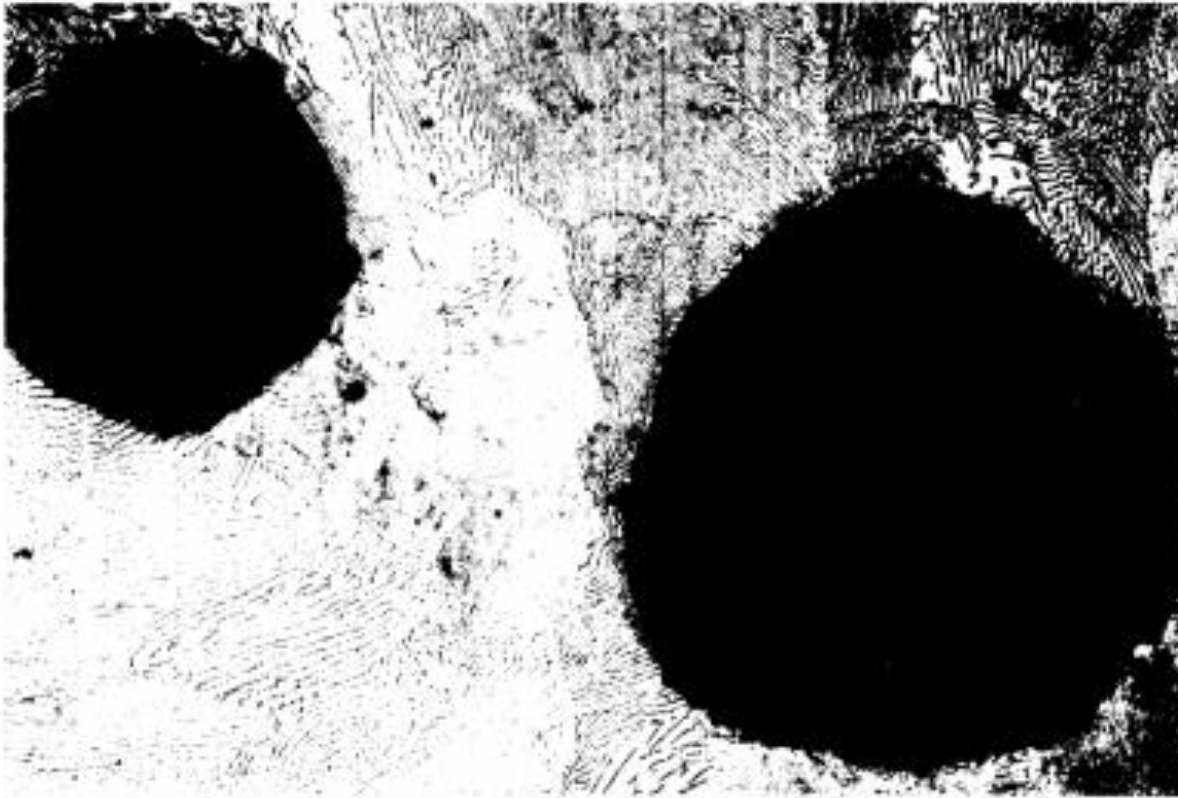


Fig. 11.23 Hierro perlítico nodular que muestra esferoides de grafito en una matriz perlítica. Atacado químicamente con nital al 2%, 500x. (The International Nickel Company.)

- Los hierros perlíticos son más fuertes, pero menos dúctiles que los ferríticos.
- Aplicaciones típicas de hierro nodular son: piezas de tractores, herramientas agrícolas, cigüeñales, pistones, motores y otros.

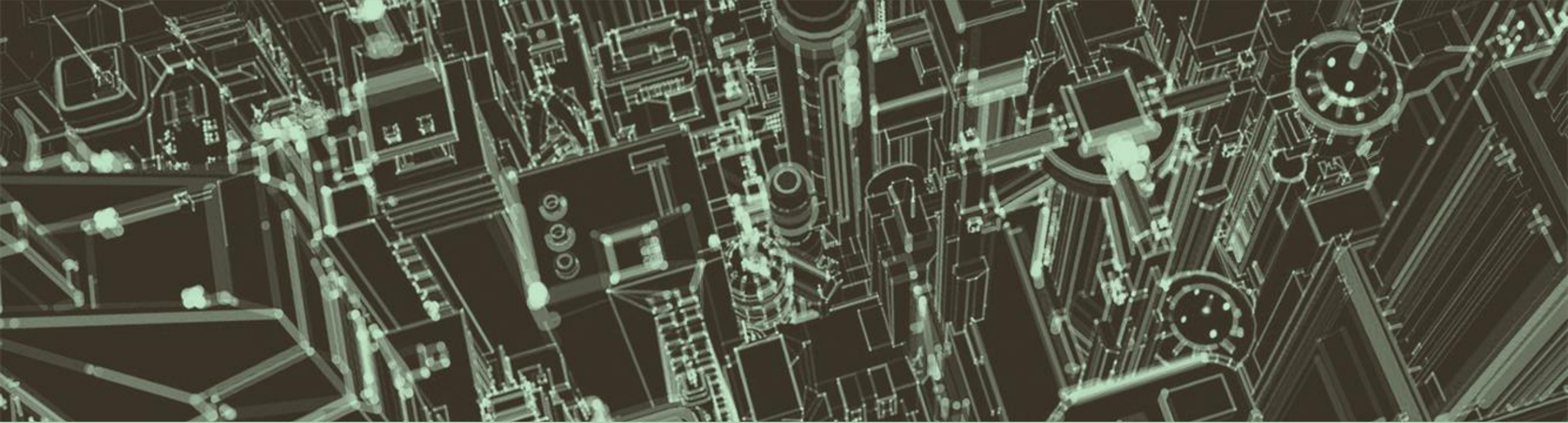
Hierros fundidos aleados

- Son aquellos que contienen uno o varios elementos añadidos en suficiente cantidad para producir modificaciones en las propiedades físicas o mecánicas.
- Los elementos normales como silicio, manganeso, azufre y fosforo no se consideran elementos de aleación.
- Los elementos de aleación más comunes son el cromo, cobre, molibdeno, níquel y vanadio.
- El cromo incrementa la resistencia, dureza y resistencia al desgaste, pero disminuye su maquinabilidad. Altas cantidades de cromo mejoran su resistencia a la corrosión.
- El molibdeno mejora las propiedades mecánicas e incrementa la templabilidad.

TABLA 12.3

Propiedades y aplicaciones comunes de los hierros fundidos

Hierro fundido	Tipo	Resistencia máxima a la tensión (MPa)	Resistencia a la fluencia (MPa)	Elongación en 50 mm (%)	Aplicaciones típicas
Gris	Ferrítico	170	140	0.4	Tubería, drenaje sanitario
	Perlítico	275	240	0.4	Monobloques para motores, máquinas herramienta
Dúctil (Nodular)	Martensítico	550	550	0	Superficies de desgaste
	Ferrítico	415	275	18	Tubería, servicio general
	Perlítico	550	380	6	Cigüeñales, partes sujetas a fuertes tensiones
	Martensita revenida	825	620	2	Partes de máquinas con alta resistencia, partes resistentes a desgaste
Maleable	Ferrítico	365	240	18	Herrajes, accesorios de tubería, servicio general de ingeniería
	Perlítico	450	310	10	Equipo ferroviario, acoplamientos
	Martensita revenida	700	550	2	Equipo ferroviario, engranes, bielas
Blanco	Perlítico	275	275	0	Partes resistentes al desgaste, rodillos para laminado



Fundición

Una visión practica del proceso.



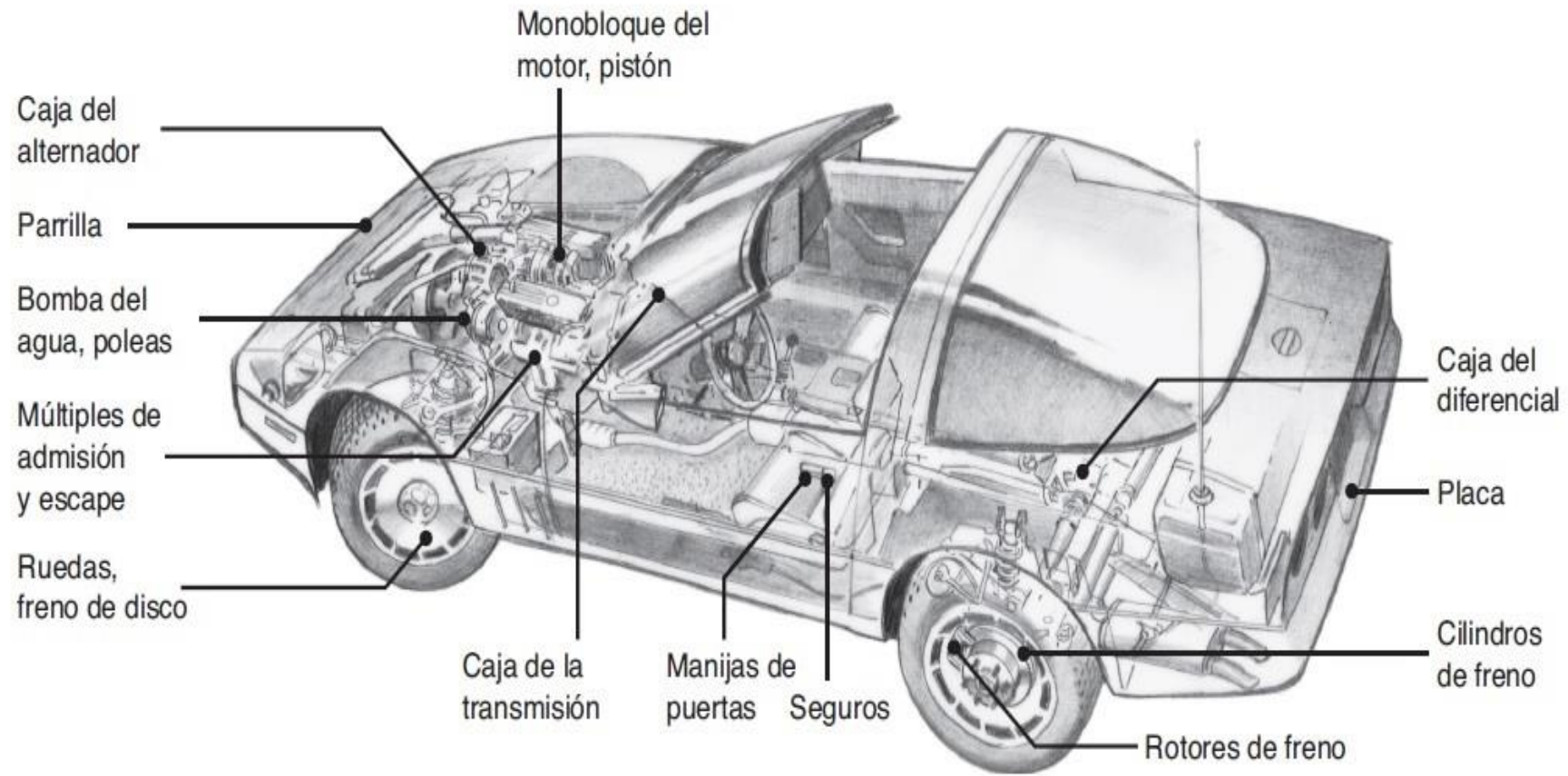


FIGURA II.1 Partes fundidas en un automóvil común.

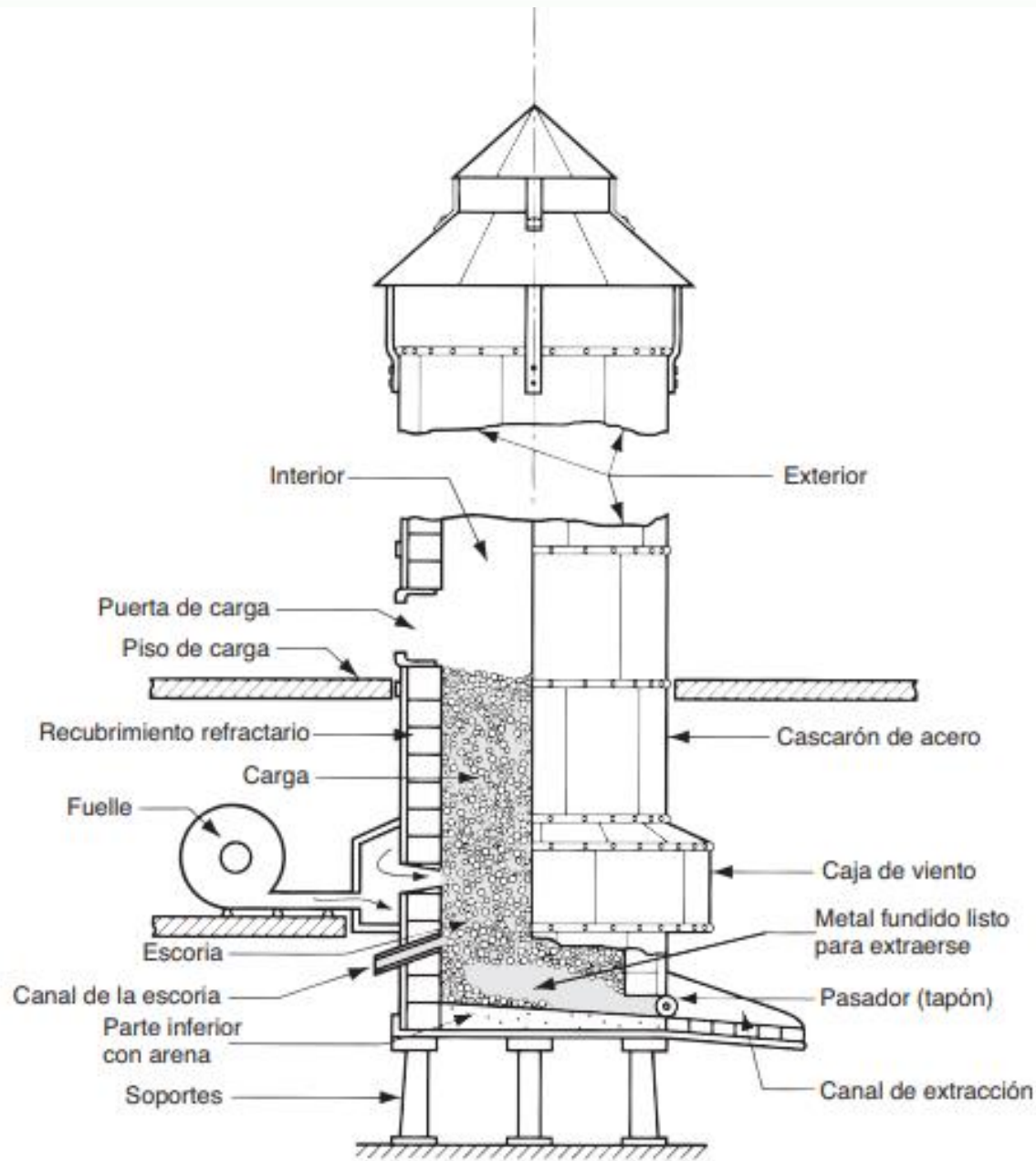


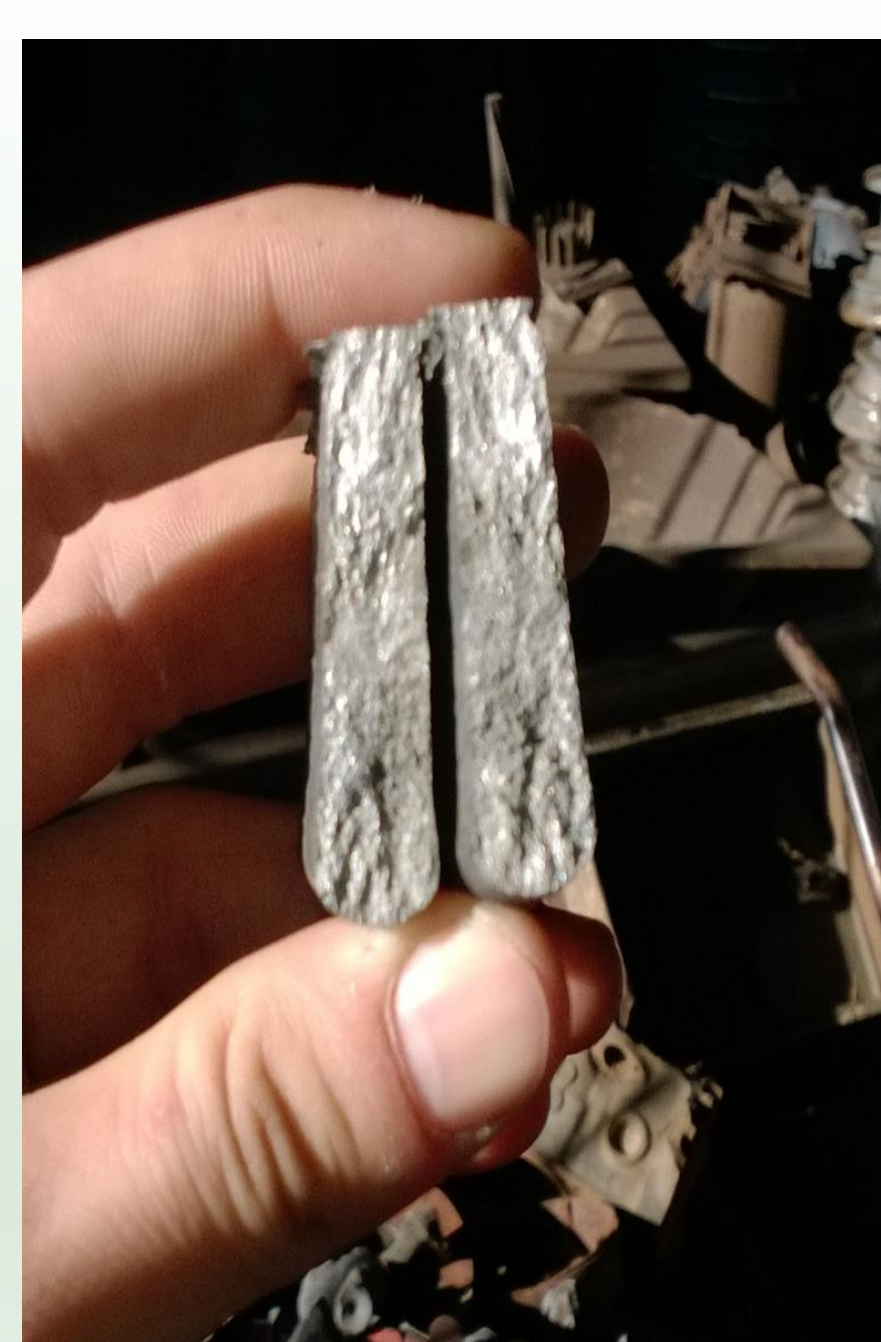
FIGURA 11.18 Cubilote que se usa para obtener hierro colado. El horno que se muestra es común para una fundidora pequeña y se omiten los detalles del sistema de control de emisiones que se requiere para un cubilote moderno.

Horno de cubilote



Gran parte de la carga metálica es chatarra.

Cuña de grafitización y Ferroaleantes



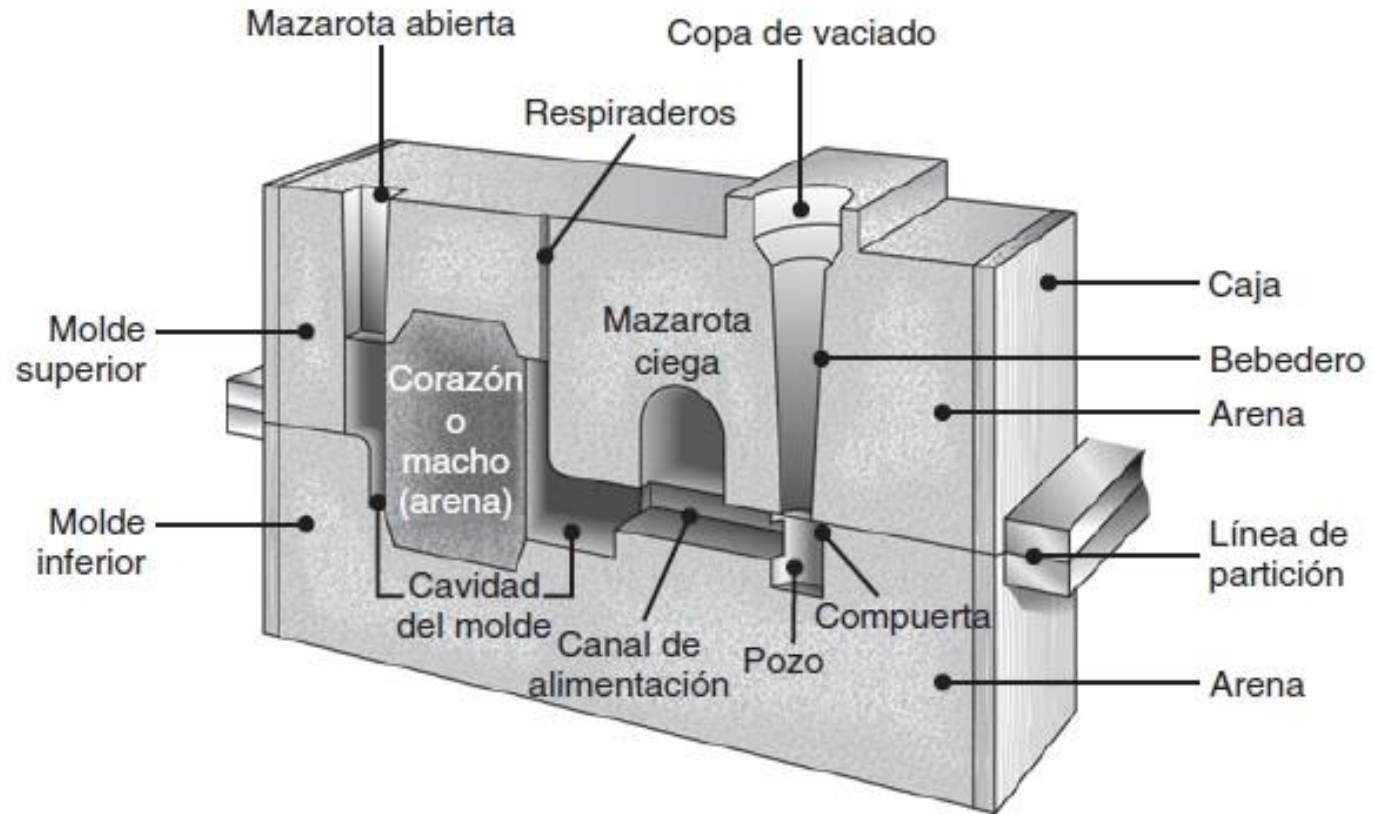


FIGURA 11.3 Esquema de un molde de arena mostrando diferentes características.

Esquema de molde y sistema de colada.



