Hierros Colados

o

Fundiciones Ferrosas

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 de colada.

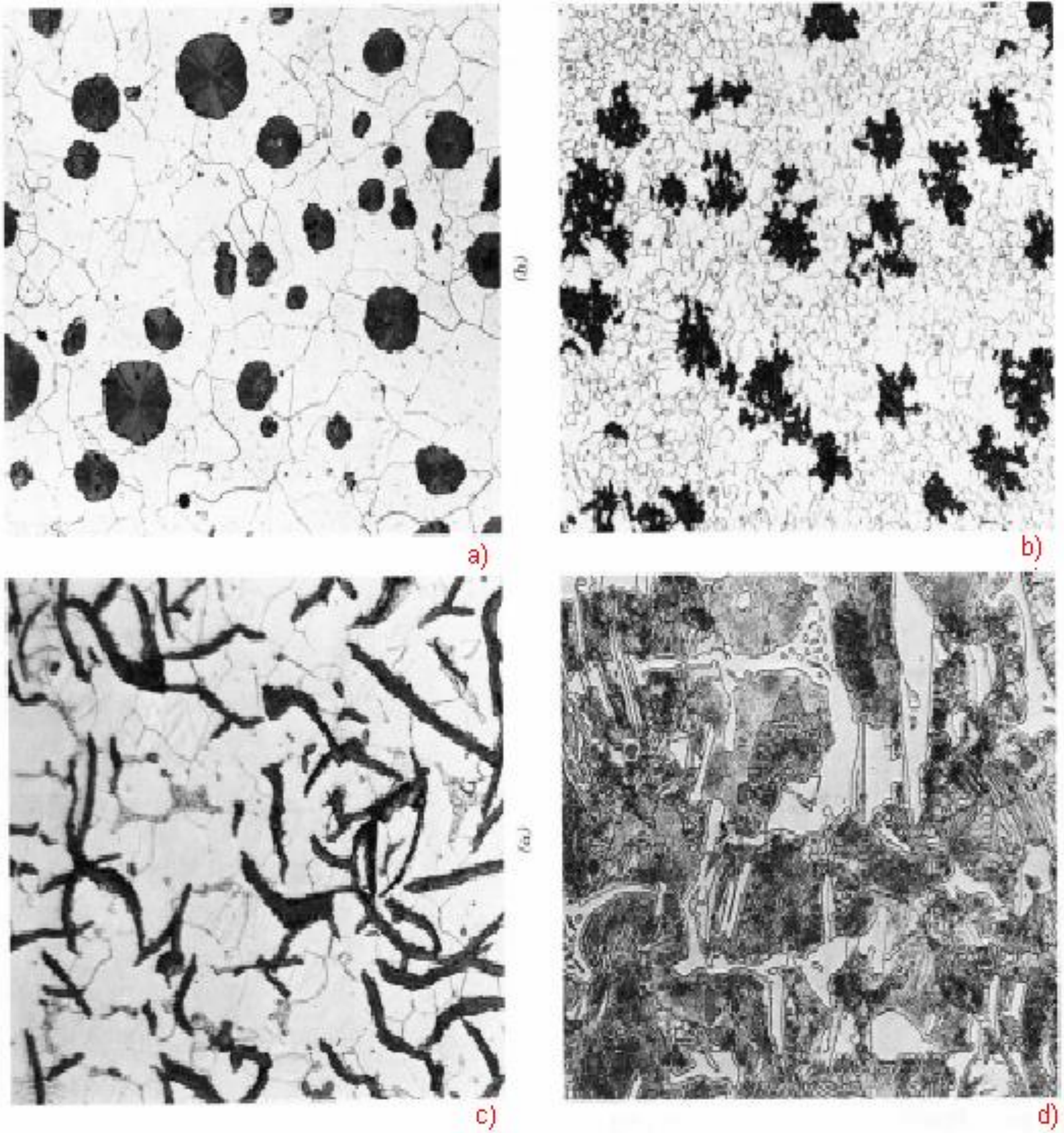
No pueden forjarse ni laminarse.

Range of Compositions for Typical Unalloyed Cast Irons

Percent (%)					
Type of Iron	**Carbon**	**Silicon**	**Manganese**	**Sulfur**	**Phosphorus**
Gray	2.5-4.0	1.0-3.0	0.2-1.0	0.02-0.25	0.02-1.0
Ductile*	3.0-4.0	1.8-2.8	0.1-1.0	0.01-0.03	0.01-0.1
Compacted Graphite**	2.5-4.0	1.0-3.0	0.2-1.0	0.01-0.03	0.01-0.1
Malleable (Cast White)	2. -2.9	0.9-1.9	0.15-1.2	0.02-0.2	0.02-0.2
White	1.8-3.6	0.5-1.9	0.25-0.8	0.06-0.2	0.06-0.2

*Magnesio residual Mg = 0.02-0.07%

**Magnesio residual Mg = 0.008%



a) Hierro dúctil o
fundición nodular
b) Hierro maleable
c) Hierro grís o
fundición grís
d) Fundición blanca

DIAGRAMAS DE FASES
$Fe - Fe_3C$
y
$Fe - Cg$

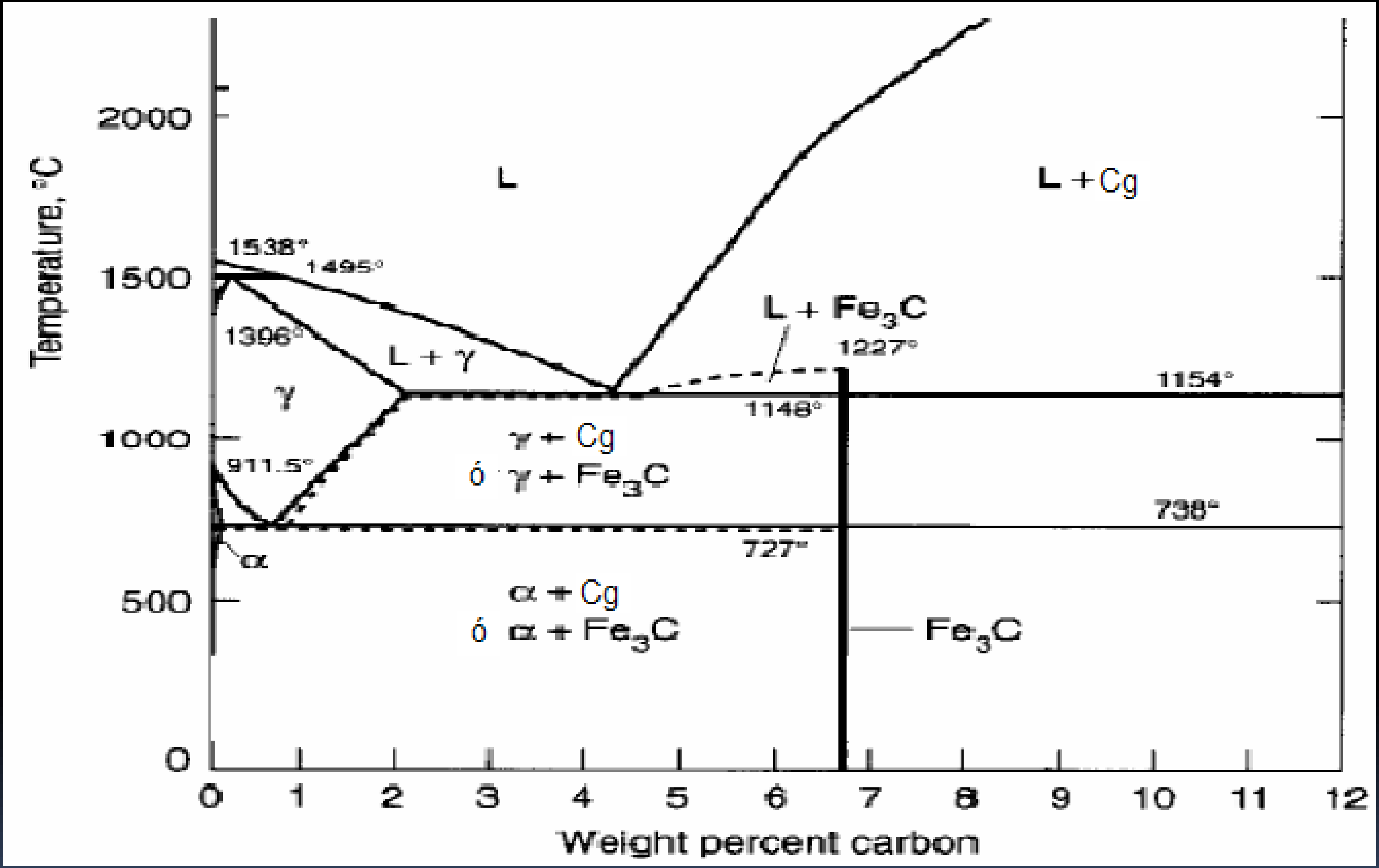


Diagrama de fases Fe - Fe_3C (metaestable)
Diagrama de fases Fe – Cg (al equilibrio)
Sobreposición

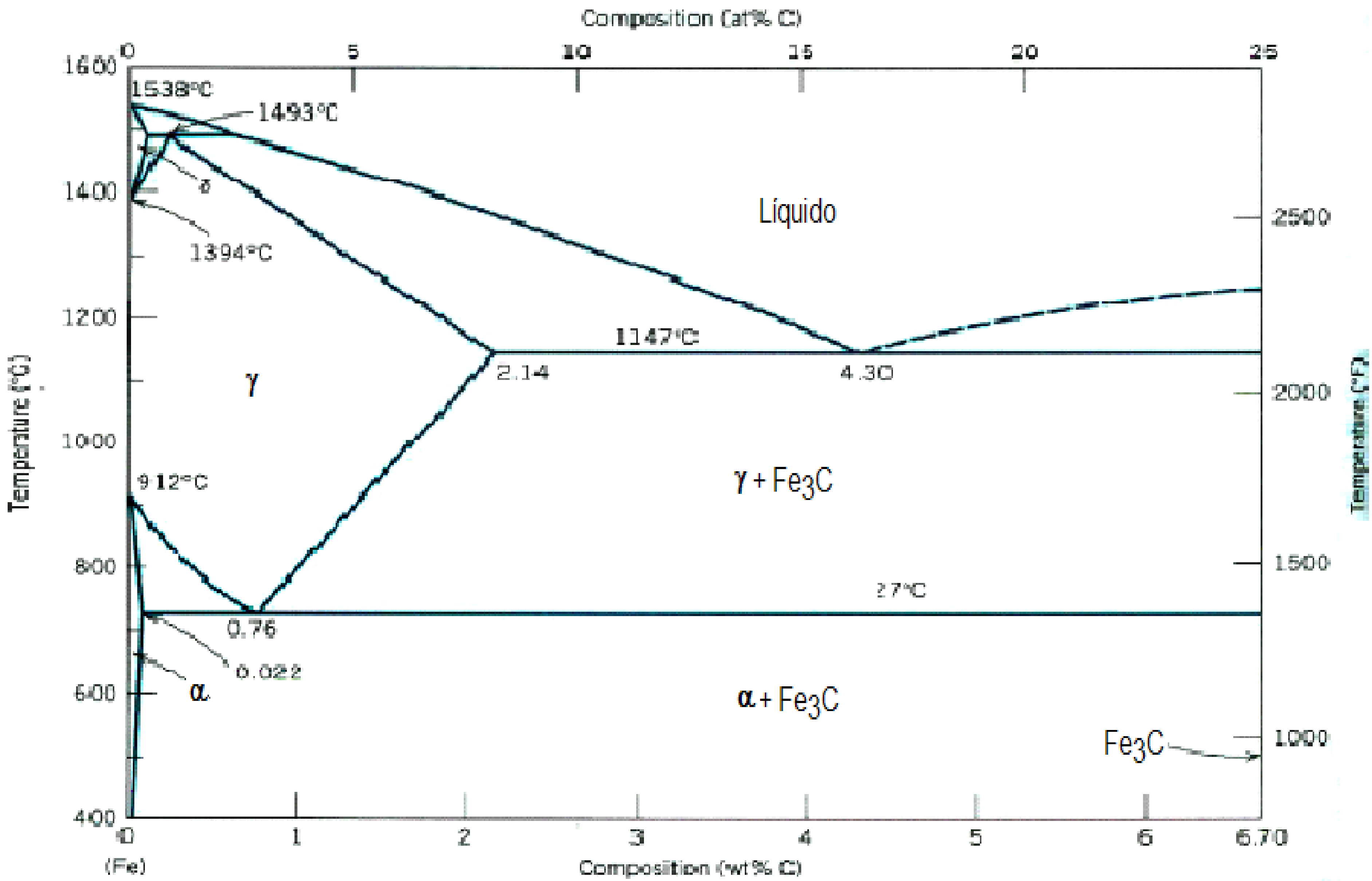


Diagrama de fases Fe – Fe_3C ⟶ Fundiciones Blancas

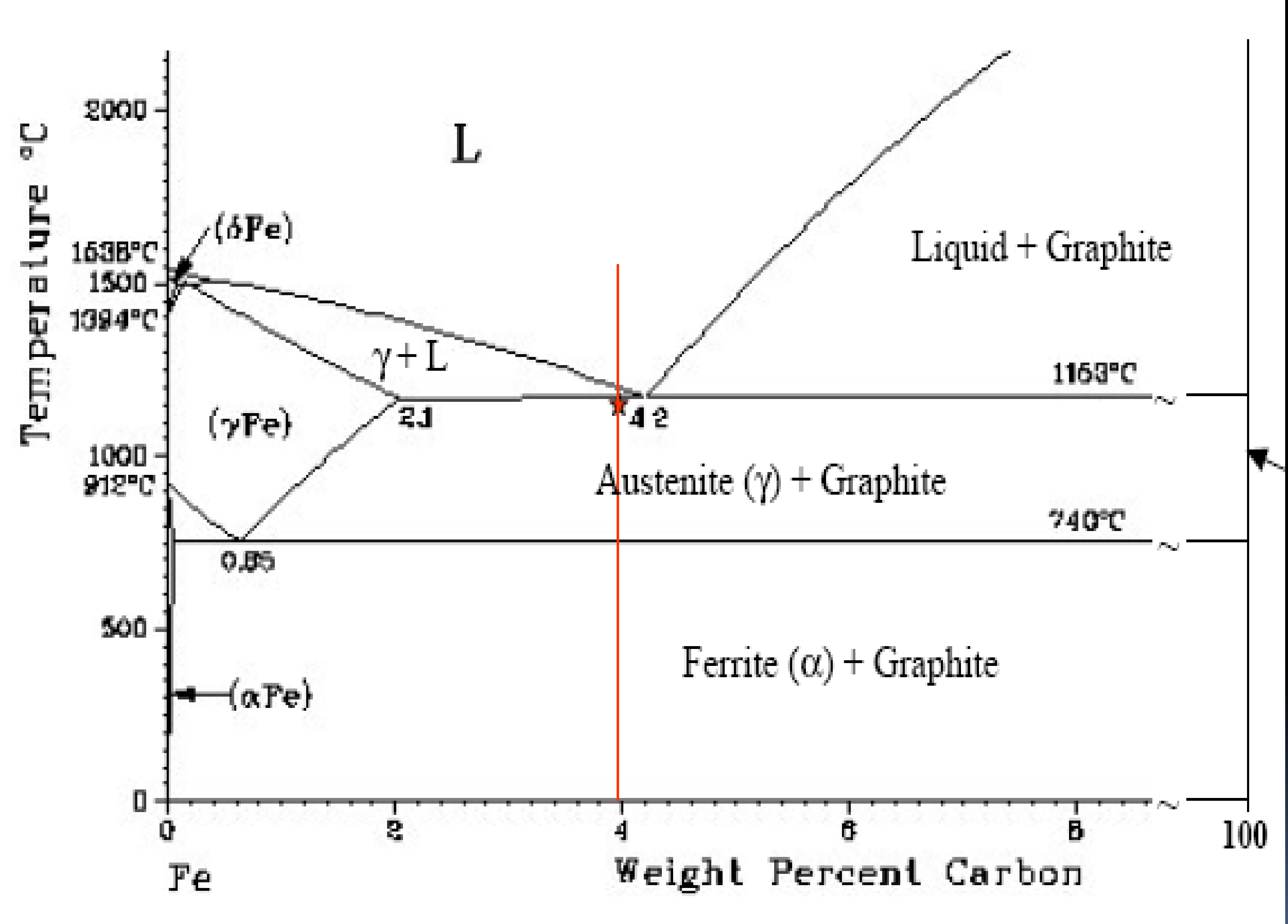


Diagrama de fases Fe – Cg ⟶ Fundiciones grises

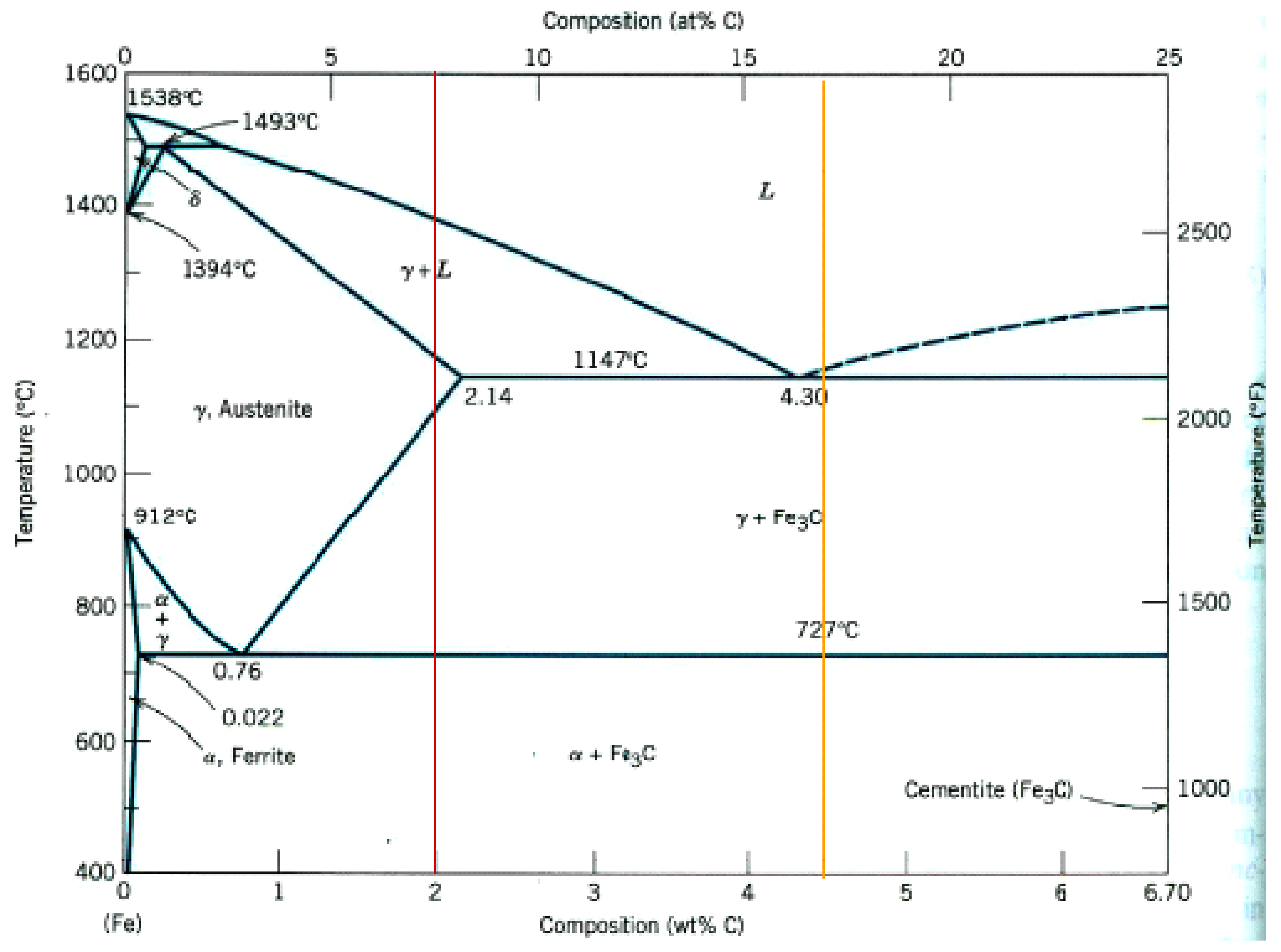


Diagrama de fases Fe – Fe$_3$C

Aceros (0.05 – 2%C peso)
Hierros colados comerciales (2.0 – 4.5%C peso)

Cast iron (Hierros Colados)

White iron

Eutectic carbide plus pearlite

large amount of Fe3C are formed during casting

Gray iron

2-3 % Si to promote graphite (C) precipitation rather than cementite (Fe_3C)

Graphite flakes plus pearlite

Brittleness due to the flake-like graphite

Ductile iron

A small amount (0.05 wt%) of Mg

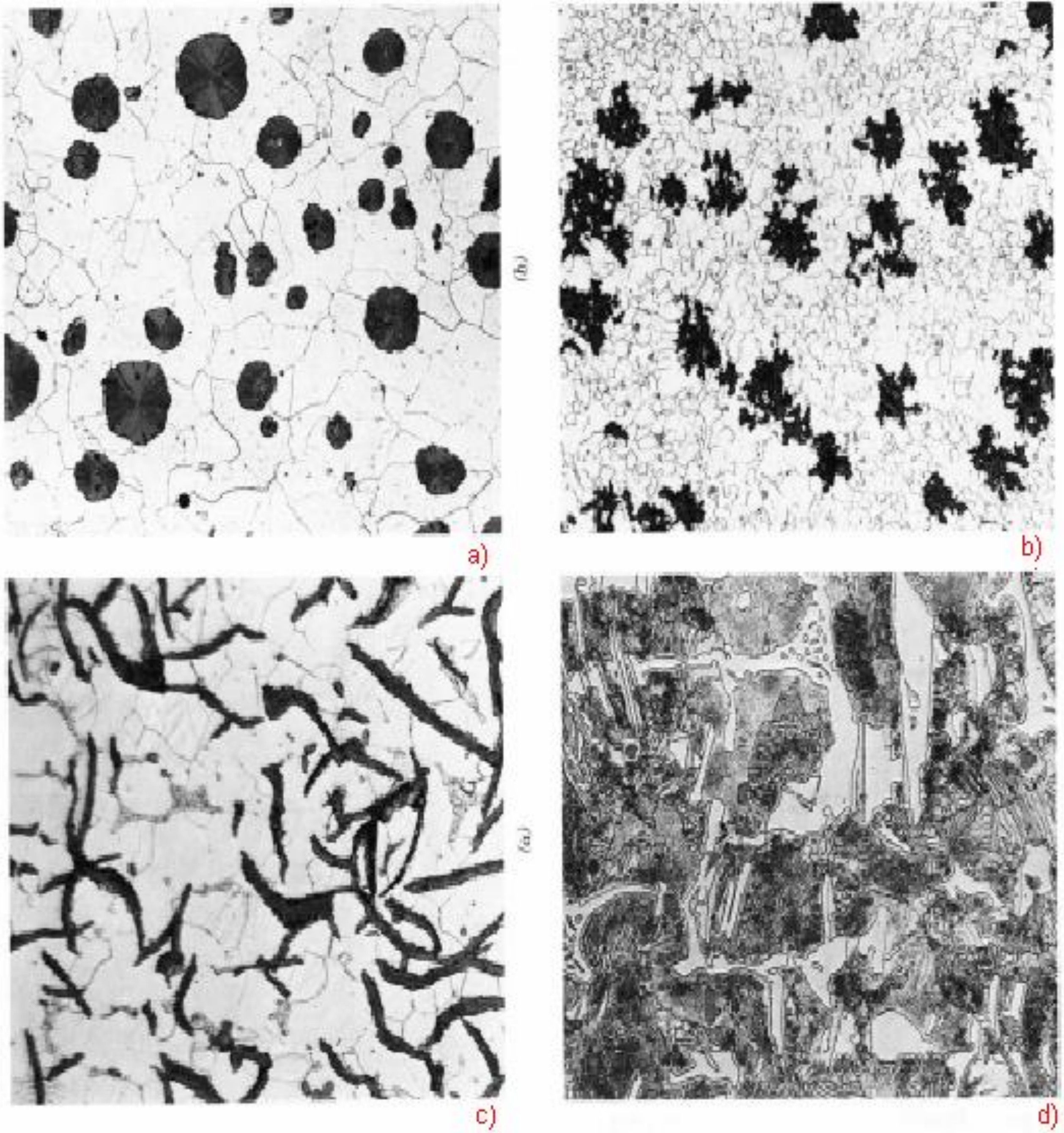
Spheroidal graphite precipites rather than flakes

Ductility increased by a factor of 20, strength is doubled

Malleable iron

The result of annealing white iron castings

cementite→ nodular graphite precipitates



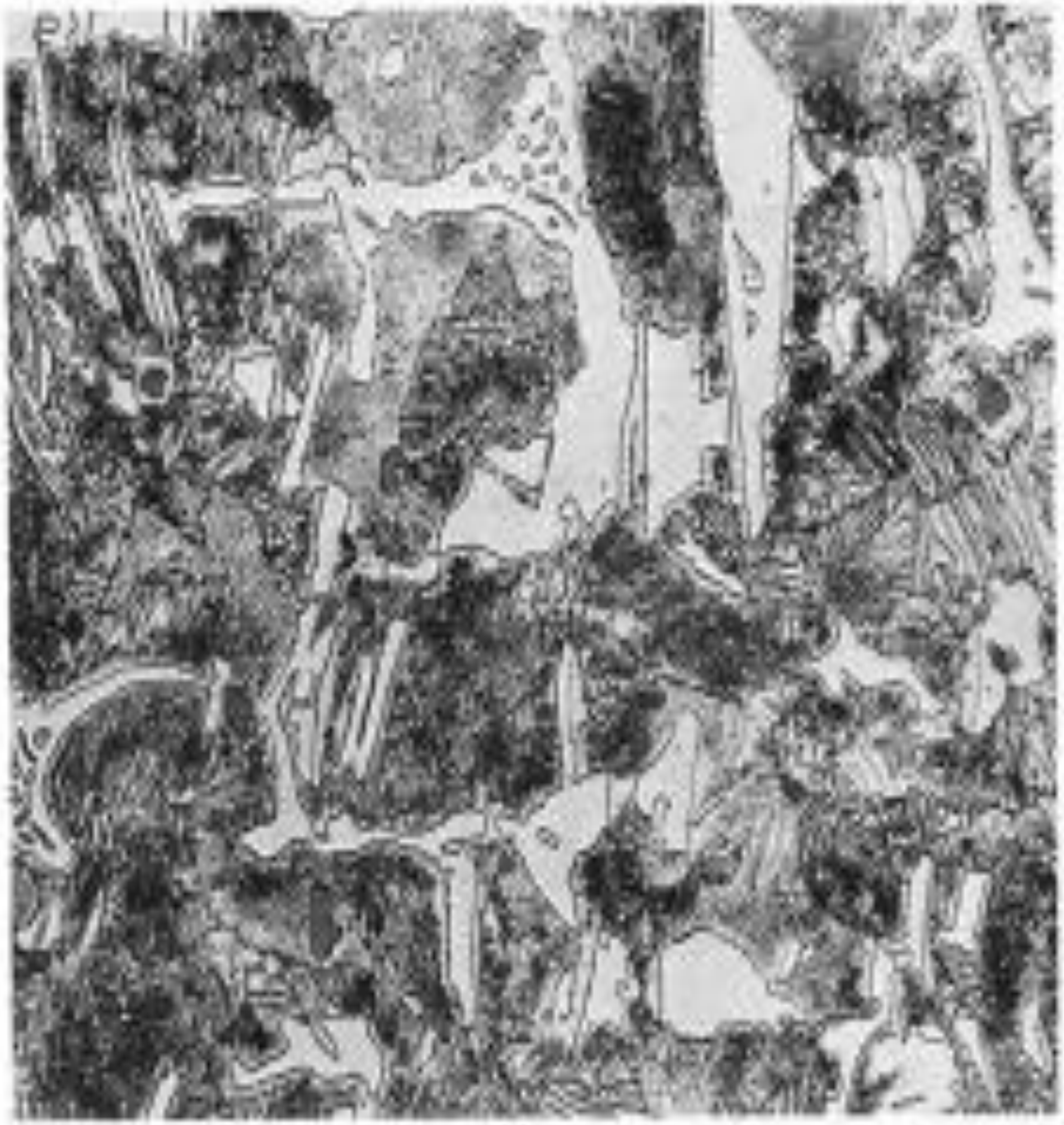
a) b) c) d)

a) Hierro dúctil o
fundición nodular

b) Hierro maleable

c) Hierro grís o
fundición grís

d) Fundición blanca



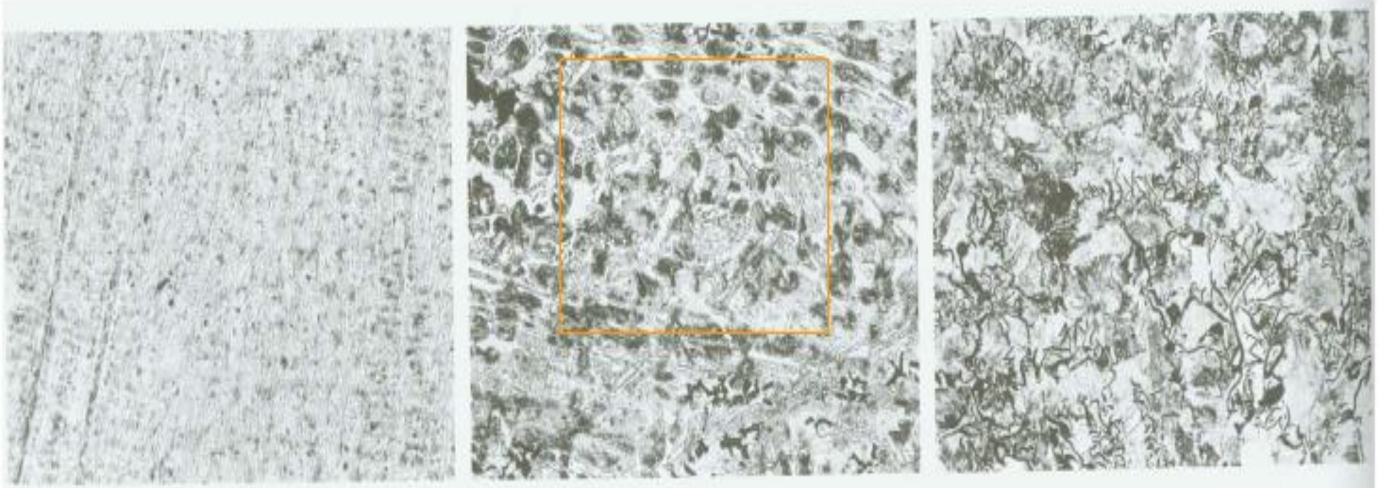
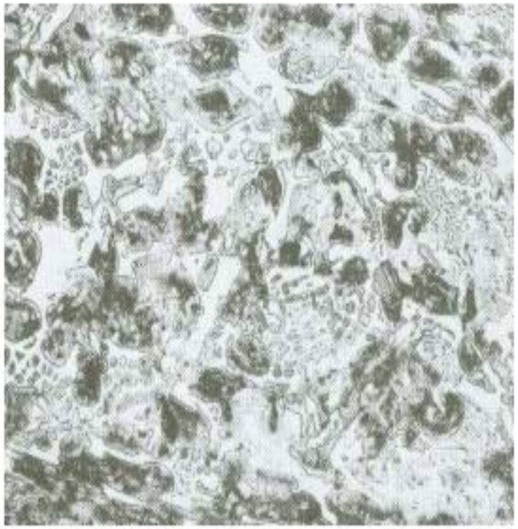


Fig. 87, 88, 89 Fe-3.25C-0.5Si-2.5Ni-1.5Cr abrasion-resistant cast iron, as-cast against a chill. Fig. 87: white iron near the chill, with a fine dendritic pattern of pearlite (gray) and interdendritic carbide (white). Fig. 88: white iron 51 mm (2 in.) from chill, showing a coarse dendritic pattern of pearlite (gray) and interdendritic carbide (white). Fig. 89: gray iron 102 mm (4 in.) from chill, showing type B graphite flakes in a matrix of fine pearlite with some free ferrite. All etched in 2% nital + 5% picral. 100×



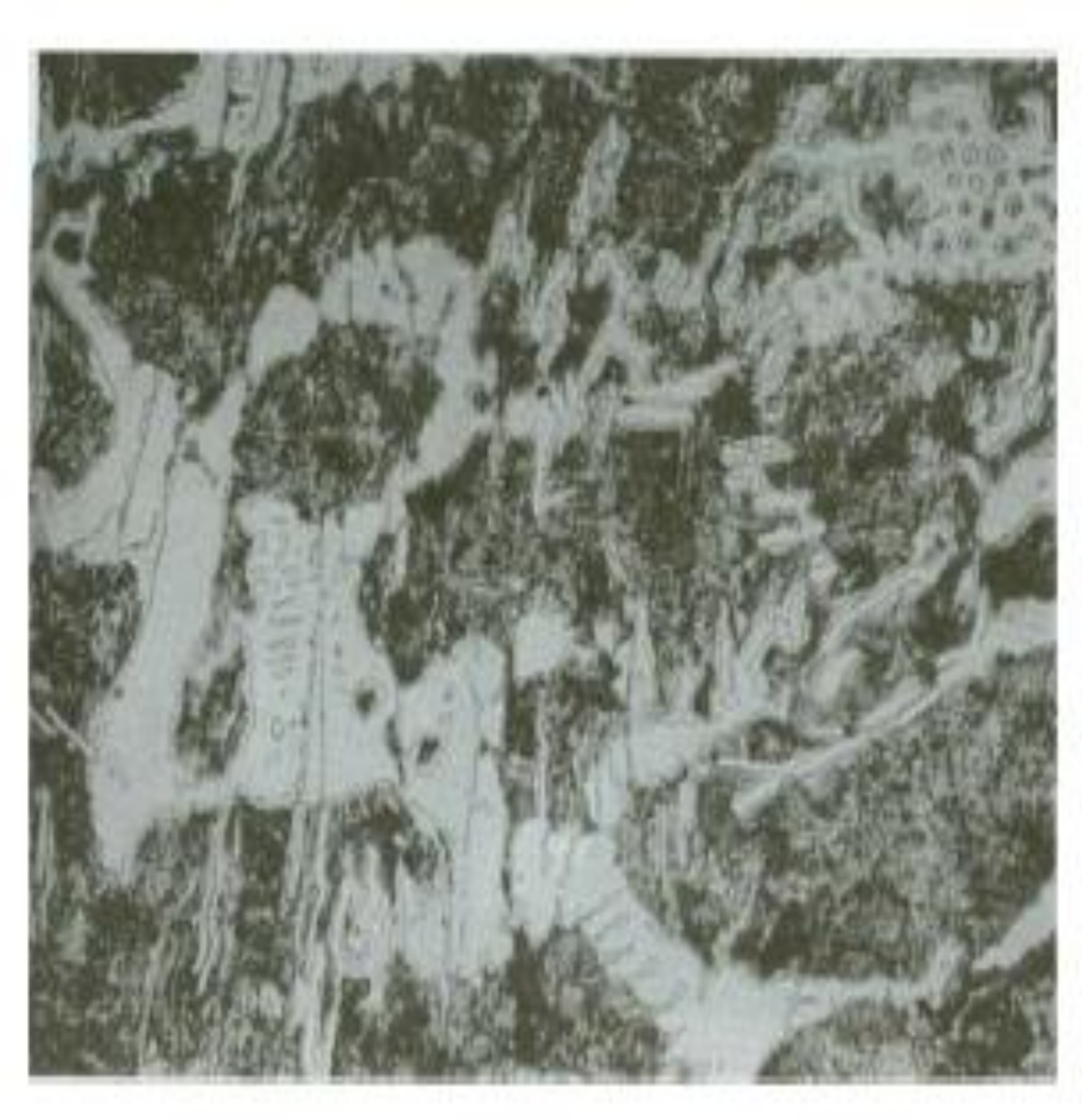


Figure 11.1 *Typical microstructures of (a) white iron (400×), eutectic carbide (light constituent) plus pearlite (dark constituent); (b) gray iron (100×), graphite flakes in a matrix of 20% free ferrite (light constituent) and 80% pearlite (dark constituent).*

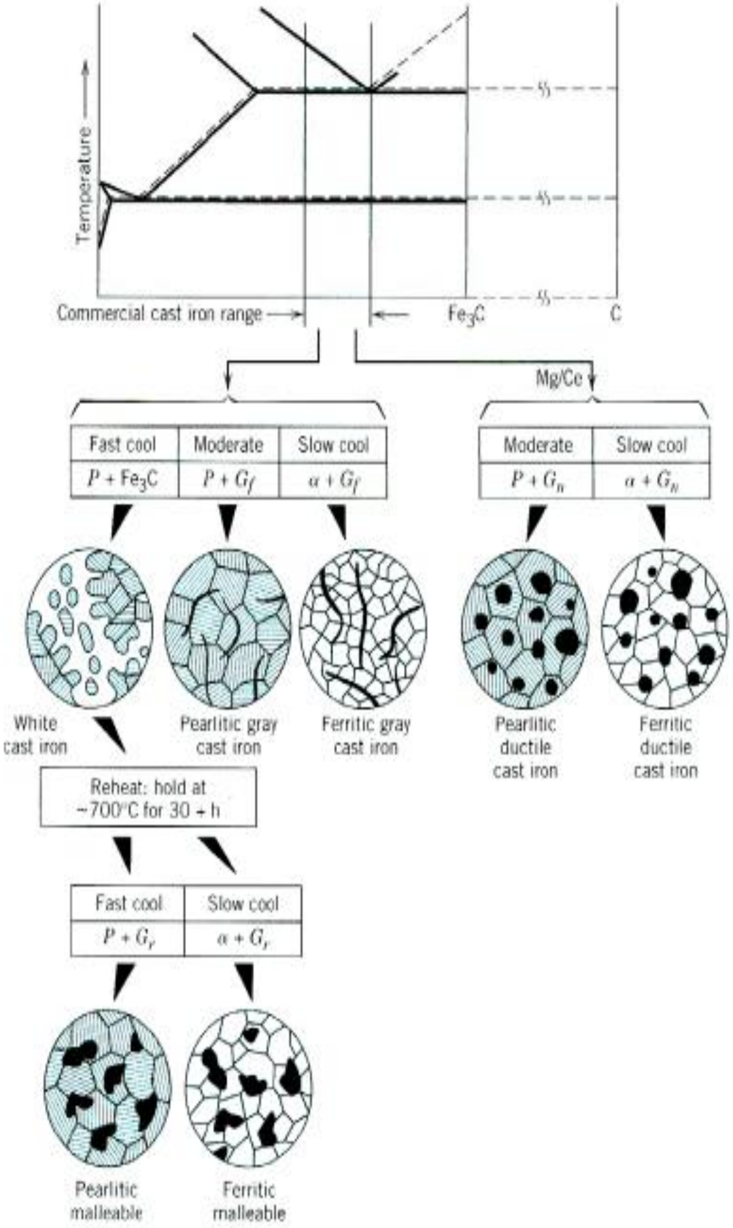

Temperature
Commercial cast iron range
Fe$_3$C
C
Mg/Ce
Fast cool
Moderate
Slow cool
P + Fe$_3$C
$P + G_f$
$\alpha + G_f$
Moderate
Slow cool
$P + G_n$
$\alpha + G_n$
White cast iron
Pearlitic gray cast iron
Ferritic gray cast iron
Pearlitic ductile cast iron
Ferritic ductile cast iron
Reheat: hold at ~700°C for 30 + h
Fast cool
Slow cool
$P + G_r$
$\alpha + G_r$
Pearlitic malleable
Ferritic malleable

FIGURE 11.5 From the iron–carbon phase diagram, composition ranges for commercial cast irons. Also shown are microstructures that result from a variety of heat treatments. G_f, flake graphite; G_r, graphite rosettes; G_n, graphite nodules; P, pearlite; α, ferrite. (Adapted from W. G. Moffatt, G. W. Pearsall, and J. Wulff, *The Structure and Properties of Materials*, Vol. 1, *Structure*, p. 195. Copyright © 1964 by John Wiley & Sons, New York. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc.)

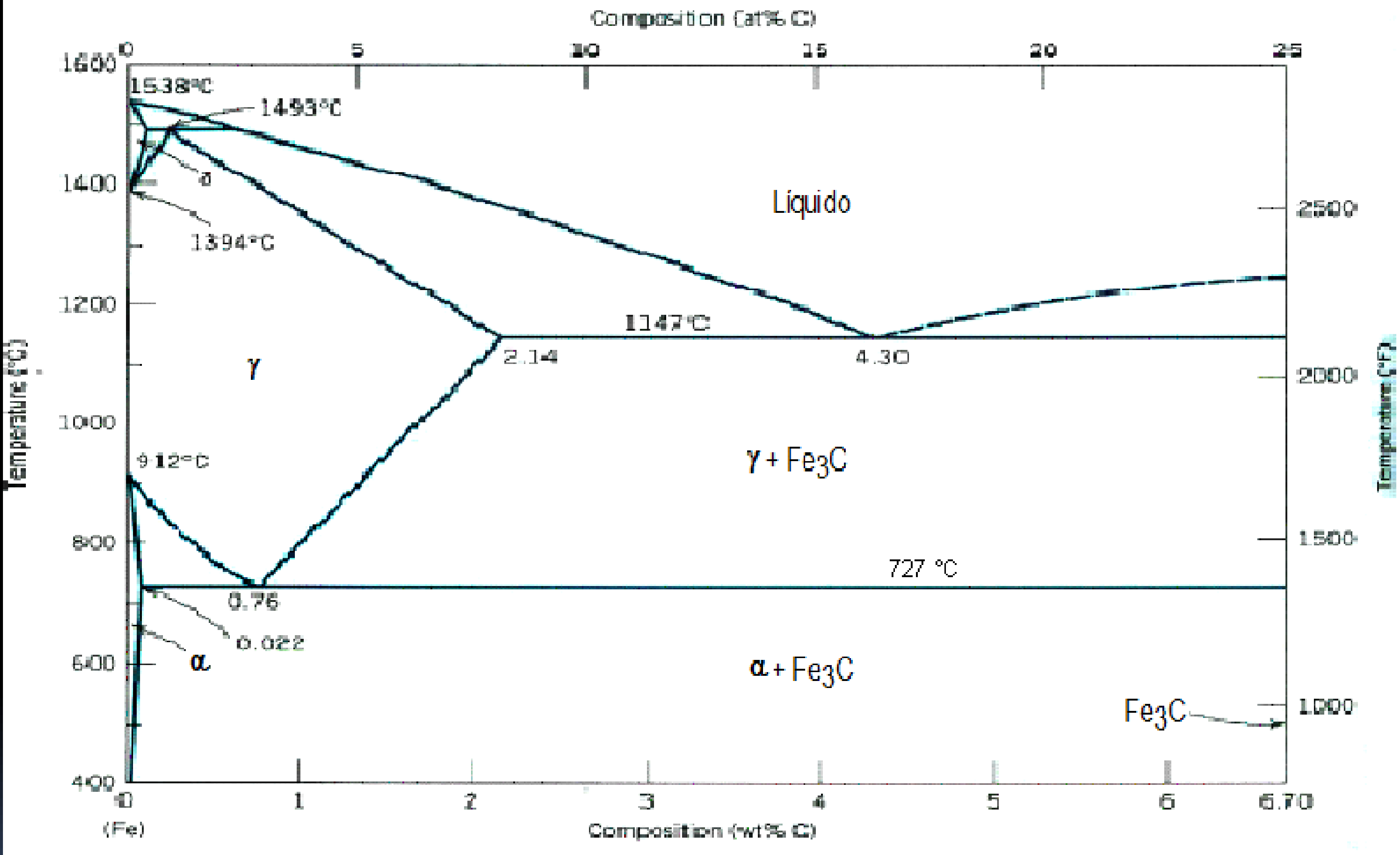
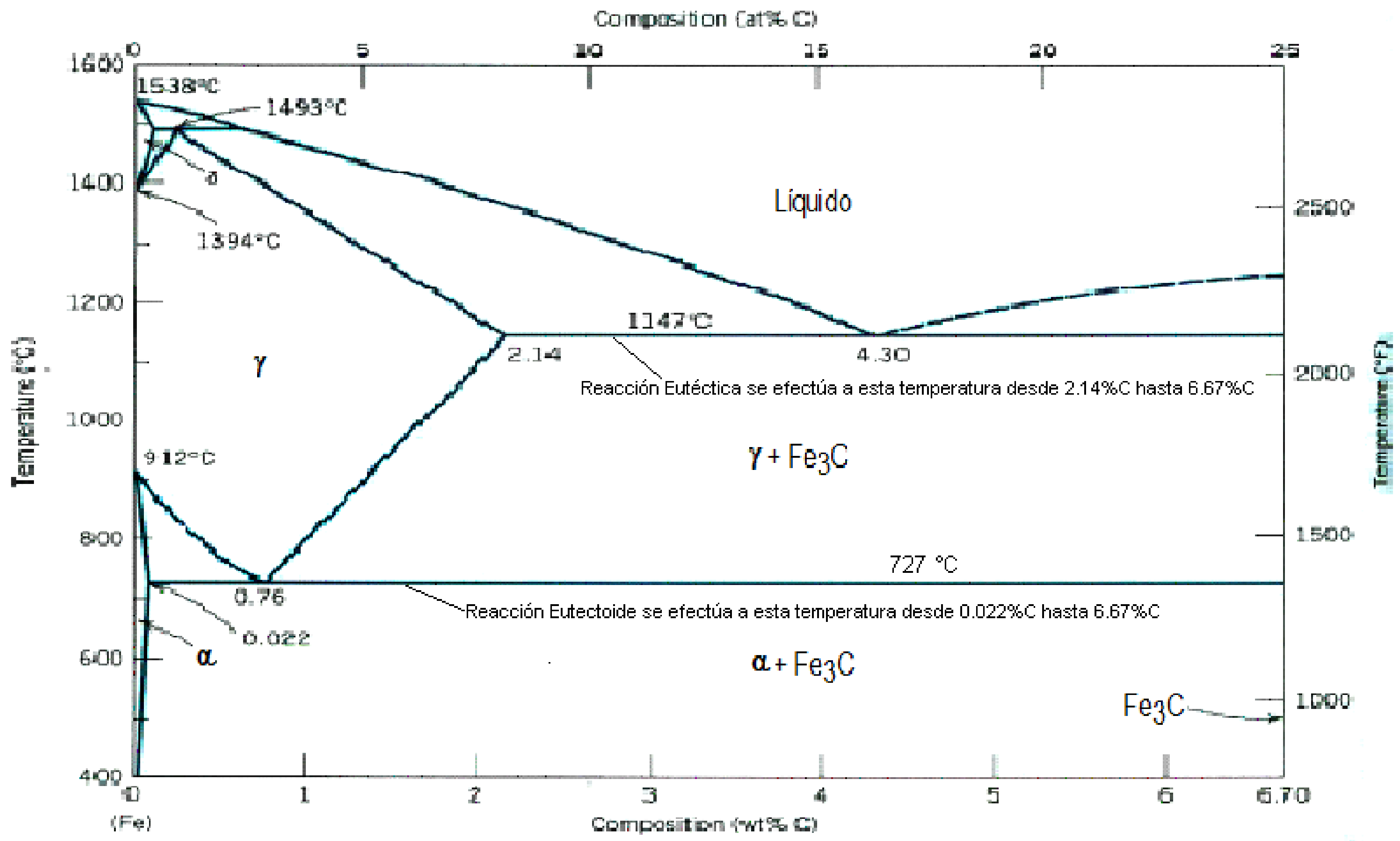


Diagrama de fases Fe – Fe_3C



Reacción Eutéctica se efectúa a esta temperatura desde 2.14%C hasta 6.67%C

Reacción Eutectoide se efectúa a esta temperatura desde 0.022%C hasta 6.67%C

Diagrama de fases Fe – Fe3C

Reacciones eutéctica y Eutectoide

REACCIONES

1. Reacción Eutéctica.

Líquido $\longrightarrow$ Solido 1 + Sólido 2

Líquido $\longrightarrow$ (γ + Fe_3C) Ledeburita [Microconstituyente]

2. Reacción Eutectoide

Solido 1 $\longrightarrow$ Solido 2 + Solido 3

γ $\longrightarrow$ (α + Fe_3C) Perlita [Microconstituyente]

A temperatura Eutectoide

Ledeburita $\longrightarrow$ Pseudoledeburita o Ledeburita Transformada

(γ + Fe_3C) $\longrightarrow$ (P + Fe_3C) [Microconstituyente]

perlita + cementita)

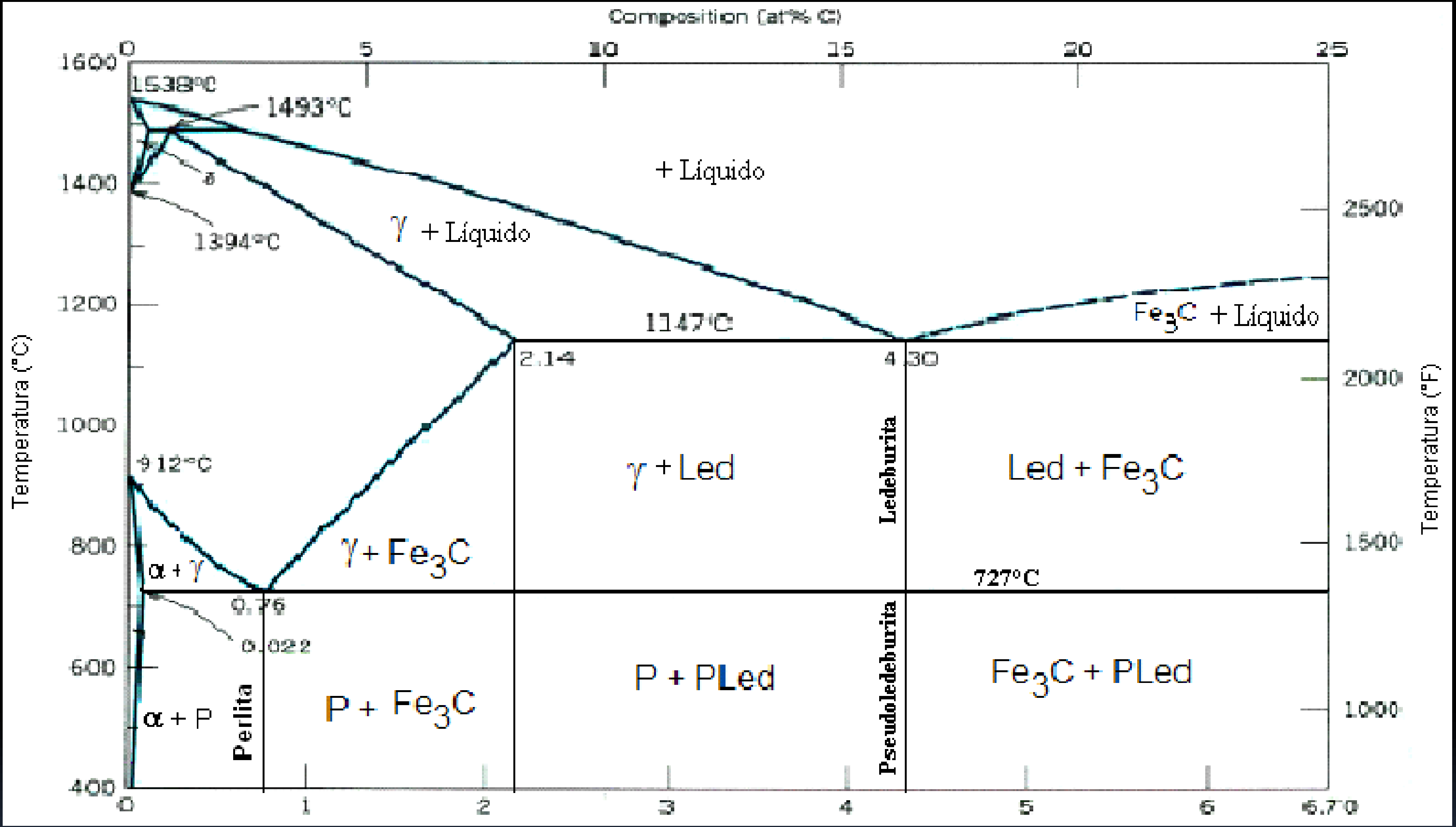

Composition (at% C)
0
5
10
15
20
25
1600
1400
1200
1000
800
600
400
Temperatura (°C)
Temperatura (°F)
2500
2000
1500
1000
1538°C
1493°C
δ
1394°C
+ Líquido
γ + Líquido
1147°C
2.14
4.30
Fe3C + Líquido
912°C
γ + Led
Ledeburita
Led + Fe3C
α + γ
γ + Fe3C
727°C
0.76
0.022
α + P
Perlita
P + Fe3C
P + PLed
Pseudoledeburita
Fe3C + PLed
0
1
2
3
4
5
6
6.70

Diagrama de fases Fe – Fe_3C con microconstituyentes

P	Perlita
Led	Ledeburita
PLed	Pseudo Ledeburita o Ledeburita Transformada

Descripción de la solidificación y enfriamiento del sólido hasta temperatura ambiente.

Fundición Blanca Hipoeutéctica

Diagrama Fe – Fe_3C Diagrama Fe – Fe_3C

liquidus   Perlita libre

Líquido ------→ γ + liquido -----→ $\gamma + (\gamma + Fe_3C)$ -------→ P + (P + Fe_3C)

Temperatura Eutéctica   Temperatura Eutectoide

Ledeburita   PseudoLedeburita

Fundición Blanca Hipereutéctica

Diagrama Fe – Fe_3C Diagrama Fe – Fe_3C Fe_3C libre

liquidus

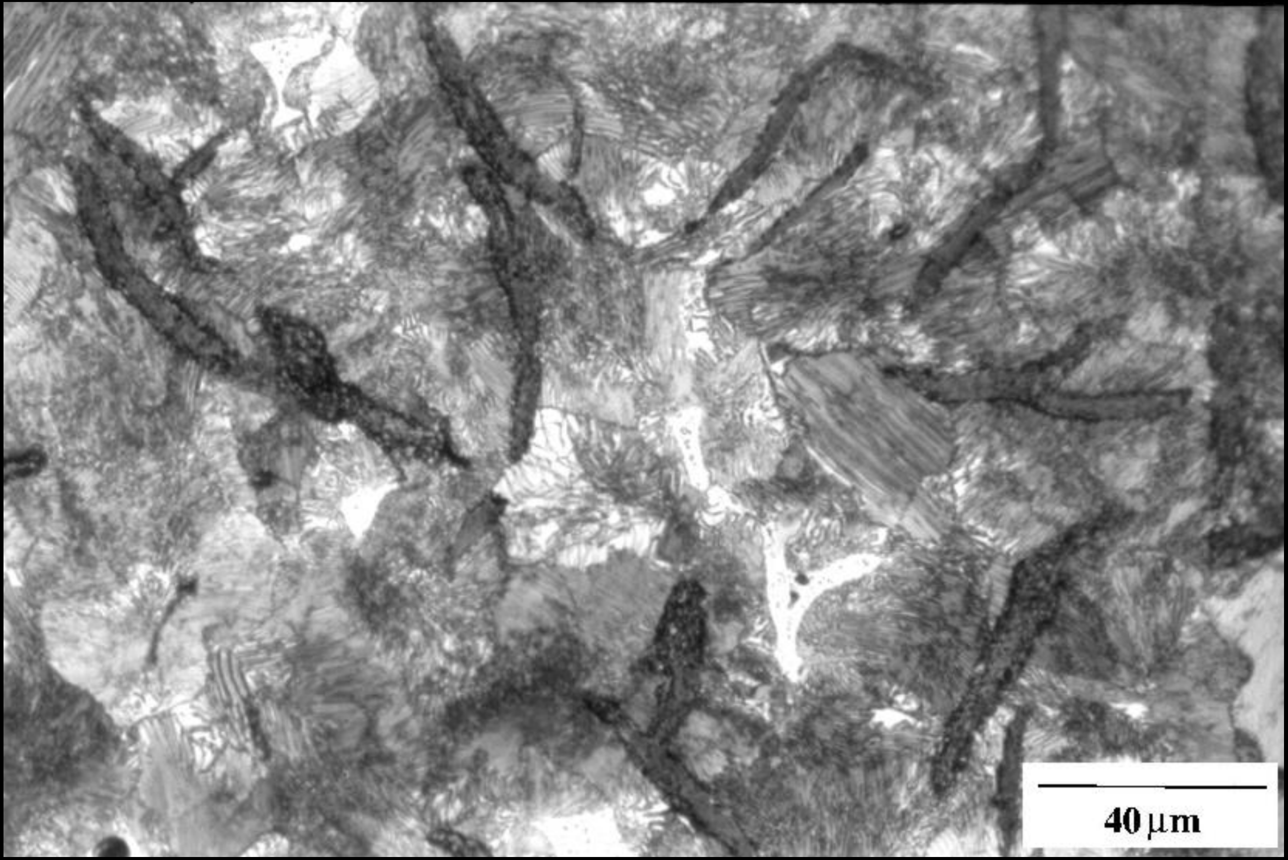
Líquido ------→ Fe_3C + liquido -----→ $Fe_3C + (\gamma + Fe_3C)$ -------→ Fe_3C + (P + Fe_3C)

Temperatura Eutéctica   Temperatura Eutectoide

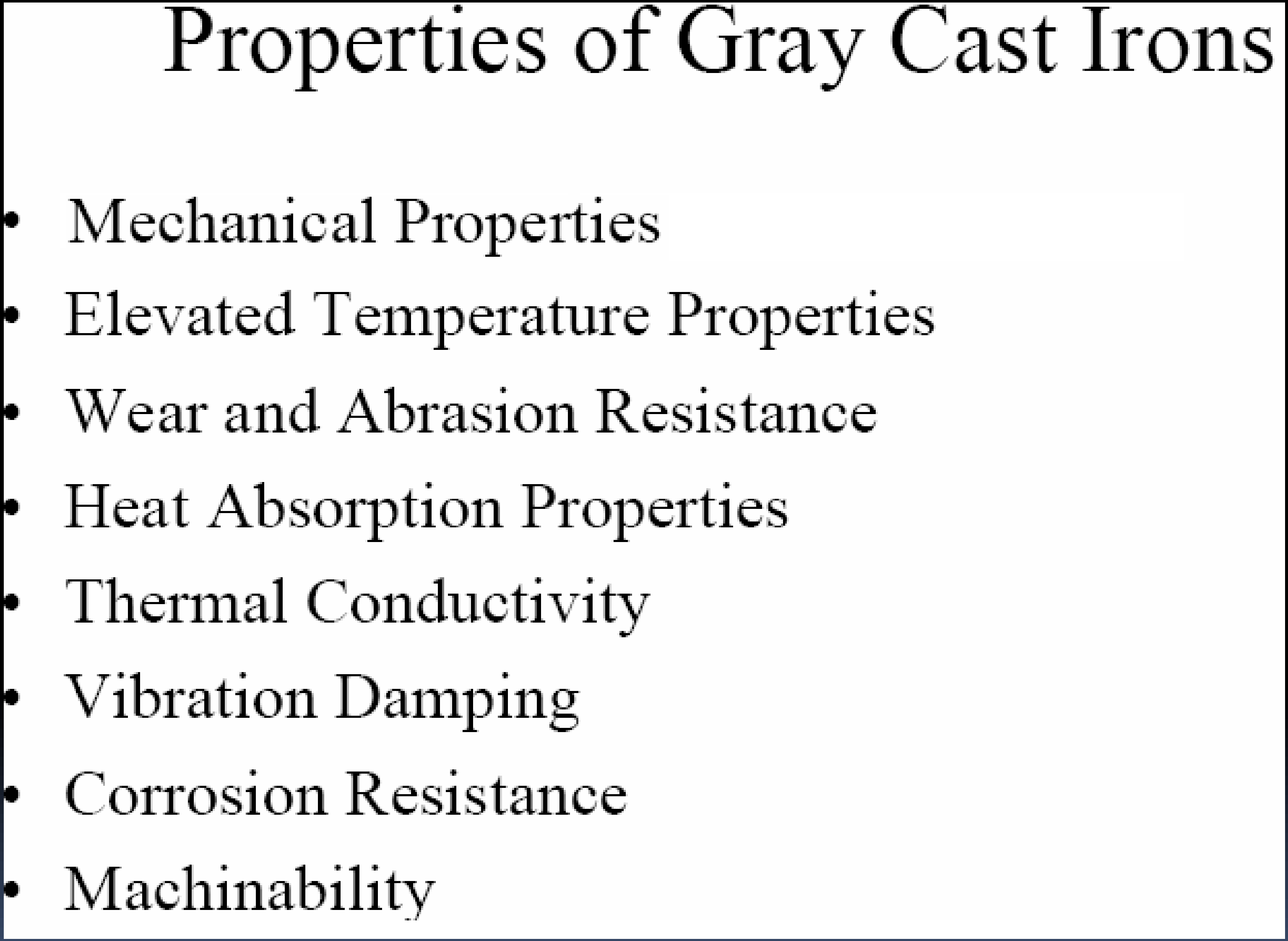
Ledeburita   PseudoLedeburita

Tipos de Cementita

	Origen
1. Cementita Primaria Fe_3C_P	Líquido
2. Cementita Secundaria Fe_3C_S	Austenita
3. Cementia Terciaria Fe_3C_T	Ferrita



Grey cast iron showing the graphite flakes in a pearlite matrix



Properties of Gray Cast Irons

- Mechanical Properties
- Elevated Temperature Properties
- Wear and Abrasion Resistance
- Heat Absorption Properties
- Thermal Conductivity
- Vibration Damping
- Corrosion Resistance
- Machinability

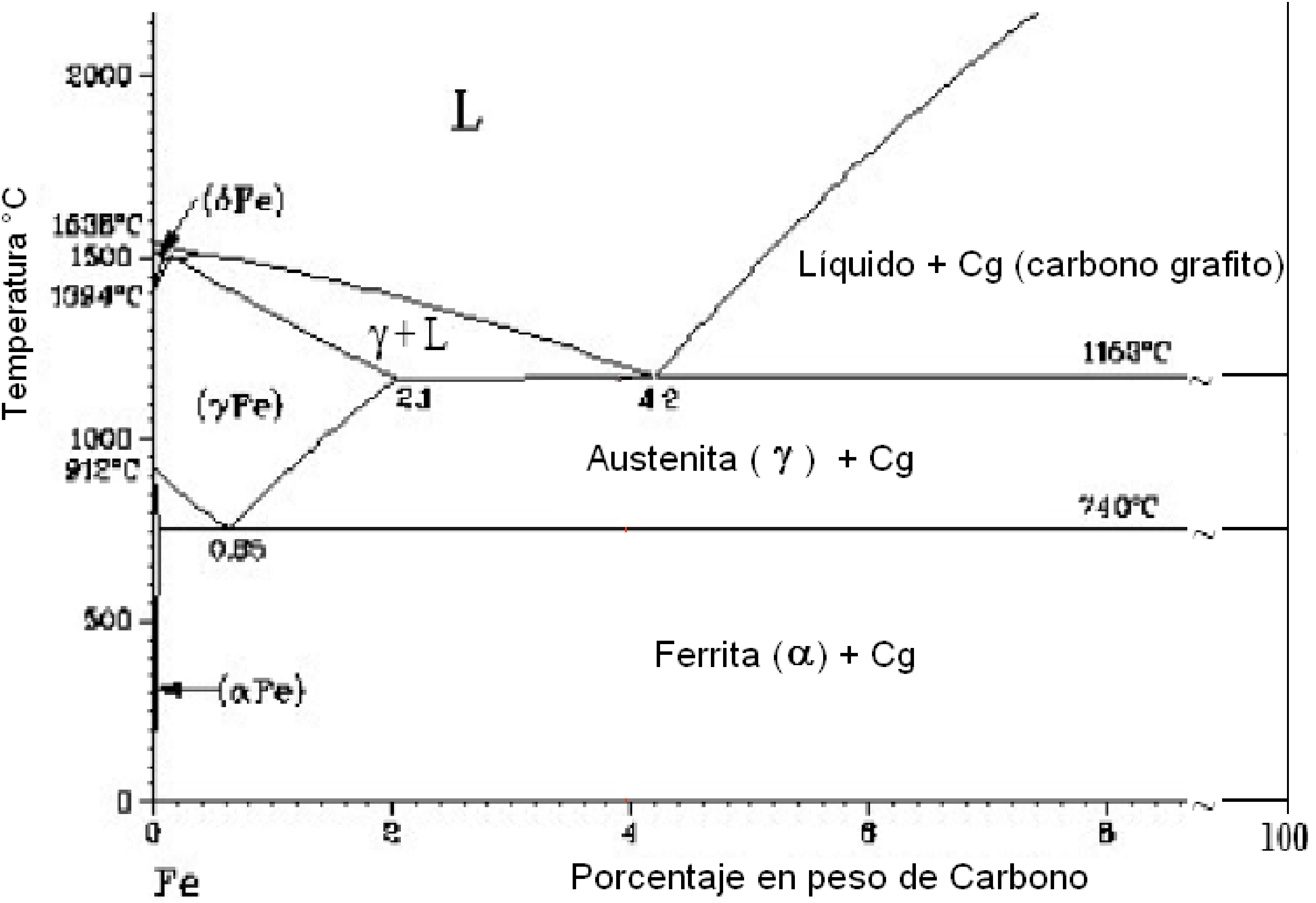
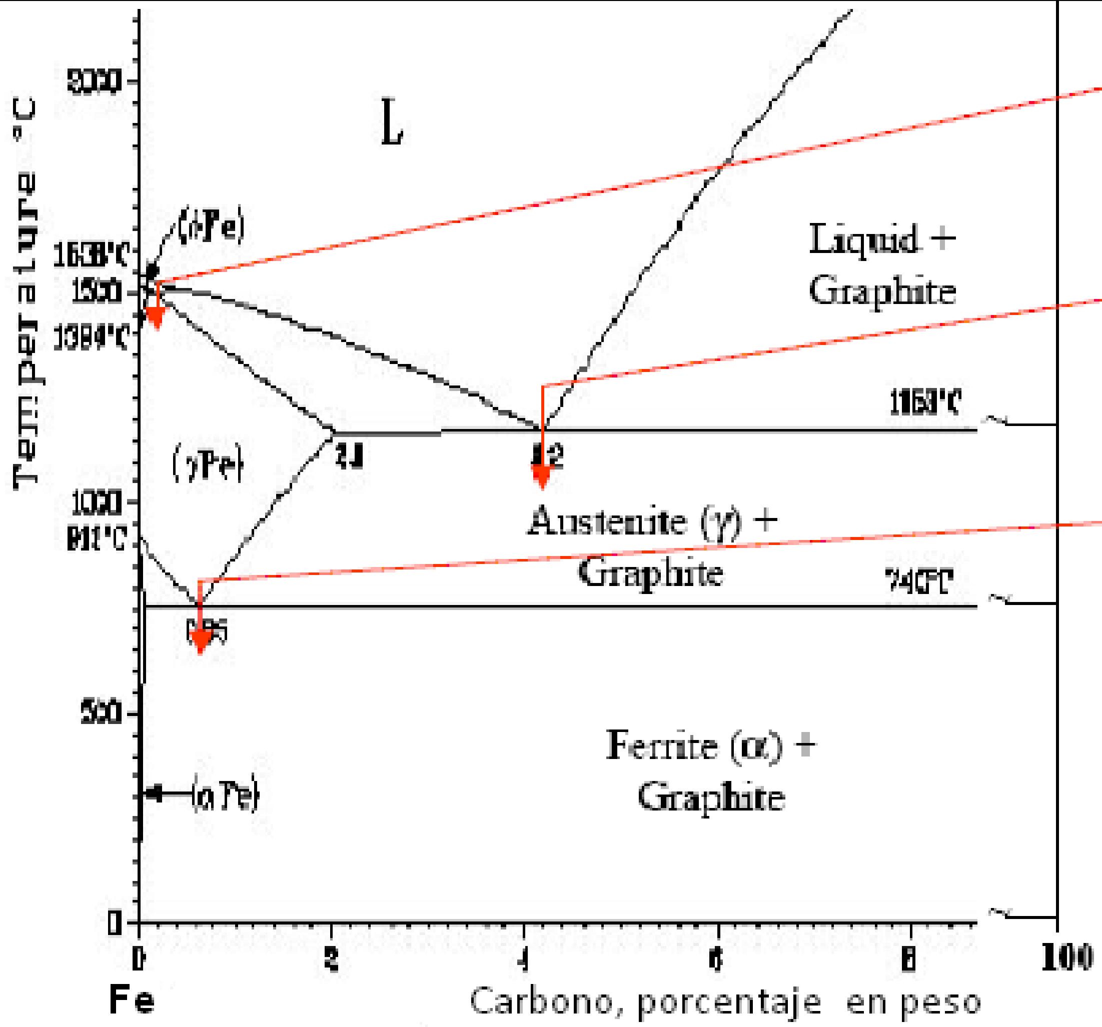


Diagrama de fases Fe – Cg

Fundiciones grises


Temperature °C
2000
1538°C
1500
1394°C
1000
912°C
500
0
L
(δFe)
Liquid +
Graphite
1153°C
(γFe)
2.1
4.2
Austenite (γ) +
Graphite
740°C
0.65
Ferrite (α) +
Graphite
(αFe)
0
2
4
6
8
100
Fe
Carbono, porcentaje en peso

Peritectic Transformation

(Liquid + Solid A $\rightleftharpoons$ Solid B)

Eutectic Transformation

(Liquid $\rightleftharpoons$ Solid A + Solid B)

Eutectoid Transformation

(Solid A $\rightleftharpoons$ Solid B + Solid C)

REACCIONES

1. Reacción Eutéctica.

Líquido → Solido 1 + Sólido 2

Líquido → γ + Cg [Microconstituyentes]

2. Reacción Eutectoide

Solido 1 → Solido 2 + Solido 3

γ → α + Cg [Microconstituyentes]

Descripción de la solidificación y enfriamiento del sólido hasta temperatura ambiente.

Fundición Gris Hipoeutéctica

Diagrama Diagrama

liquidus Fe – Cg Fe – Cg

Líquido ------→ γ + liquido -------→ γ + γ + Cg -----------→ α + α + Cg

Temperatura Temperatura
Eutéctica Eutectoide

Fundición gris con matriz ferrítica

Fundición Gris Hipereutéctica

Diagrama Diagrama
liquidus Fe – Cg Fe – Cg
Líquido ------→ Cg + liquido -----→ Cg + γ + Cg --------→ Cg + α + Cg
Temperatura Temperatura
Eutéctica Eutectoide

Fundición gris con matriz ferrítica

Durante el enfriamiento del sólido , la austenita sigue el diagrama de fases Fe-Cg. La austenita a temperatura eutéctica tiene un %C = 2.14 aproximadamente (esto depende la la referencia bibliográfica) conforme desciende la temperatura, la solubilidad de carbono en austenita también desciende hasta %C = 0.8
Después de cruzar la temperatura eutectoide, se forma la ferrita con un %C = 0.022 el cual llega casi a cero a temperatura ambiente.

El carbono rechazado forma los siguientes :

Tipos de Grafito

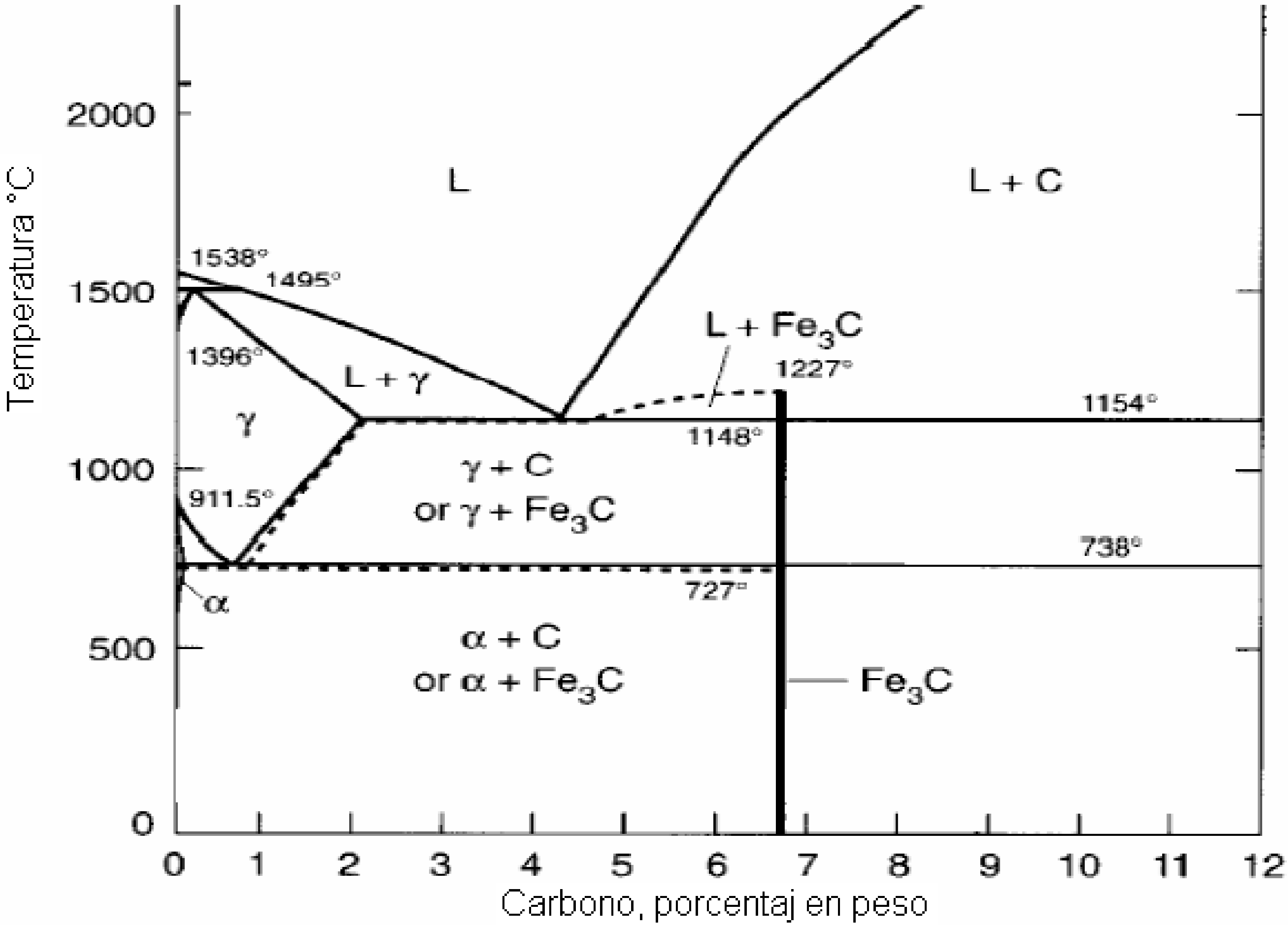
	Origen
1. Grafito Primario Cg_P	Líquido
2. Grafito Secundario Cg_S	Austenita
3. Grafito Terciario Cg_T	Ferrita

Obtención de Hierros grises con:

Matriz perlítica ó
Matriz ferrítico-perlítica (F-P) ó
Matriz perlítico-ferrítica (P-F).

Manejando Diagramas de fases
Fe – Cg   y Fe - Fe3C

Combinación de Diagramas de fases Estable y Metaestable



Descripción de la solidificación y enfriamiento del sólido hasta temperatura ambiente.

Fundición Gris Perlítica

Diagrama Fe – Cg | Diagrama Fe – Fe_3C

liquidus

Líquido ------→ γ + Líquido ------→ γ + γ + Cg -----→ P + Cg

Temperatura Eutéctica | Temperatura Eutectoide

Fundición Gris P - F ó F - P

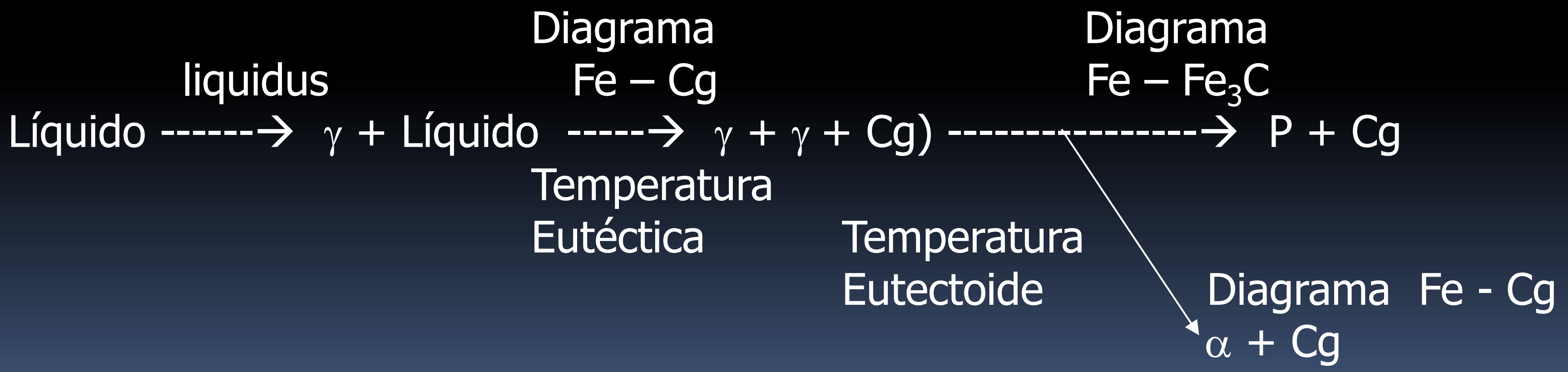


Diagrama Fe – Cg | Diagrama Fe – Fe_3C

liquidus

Líquido ------→ γ + Líquido -----→ γ + γ + Cg) ----------------→ P + Cg

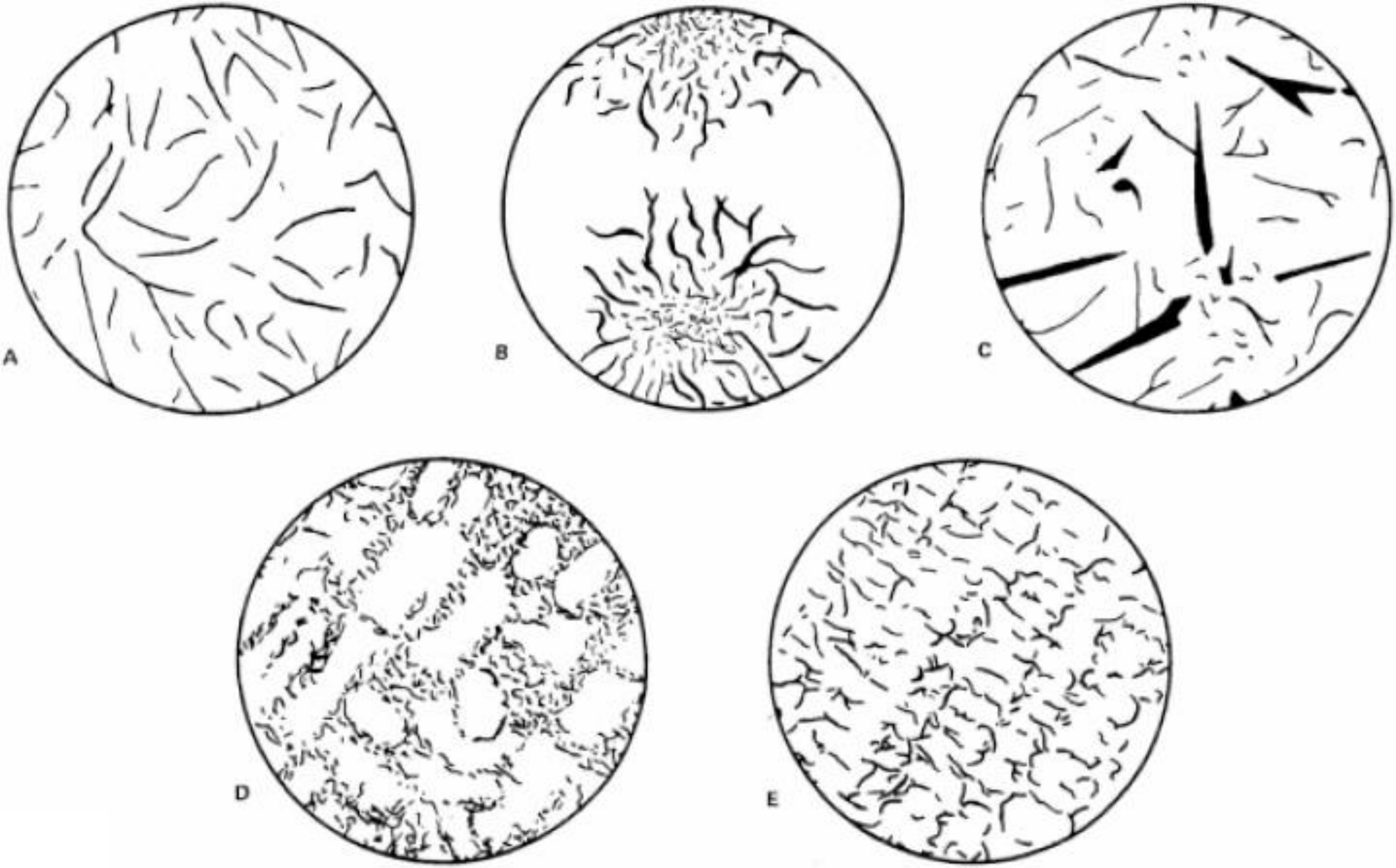
Temperatura Eutéctica

Temperatura Eutectoide

Diagrama Fe - Cg

α + Cg

Tipos de Hojuelas de Grafito (ISO 945)



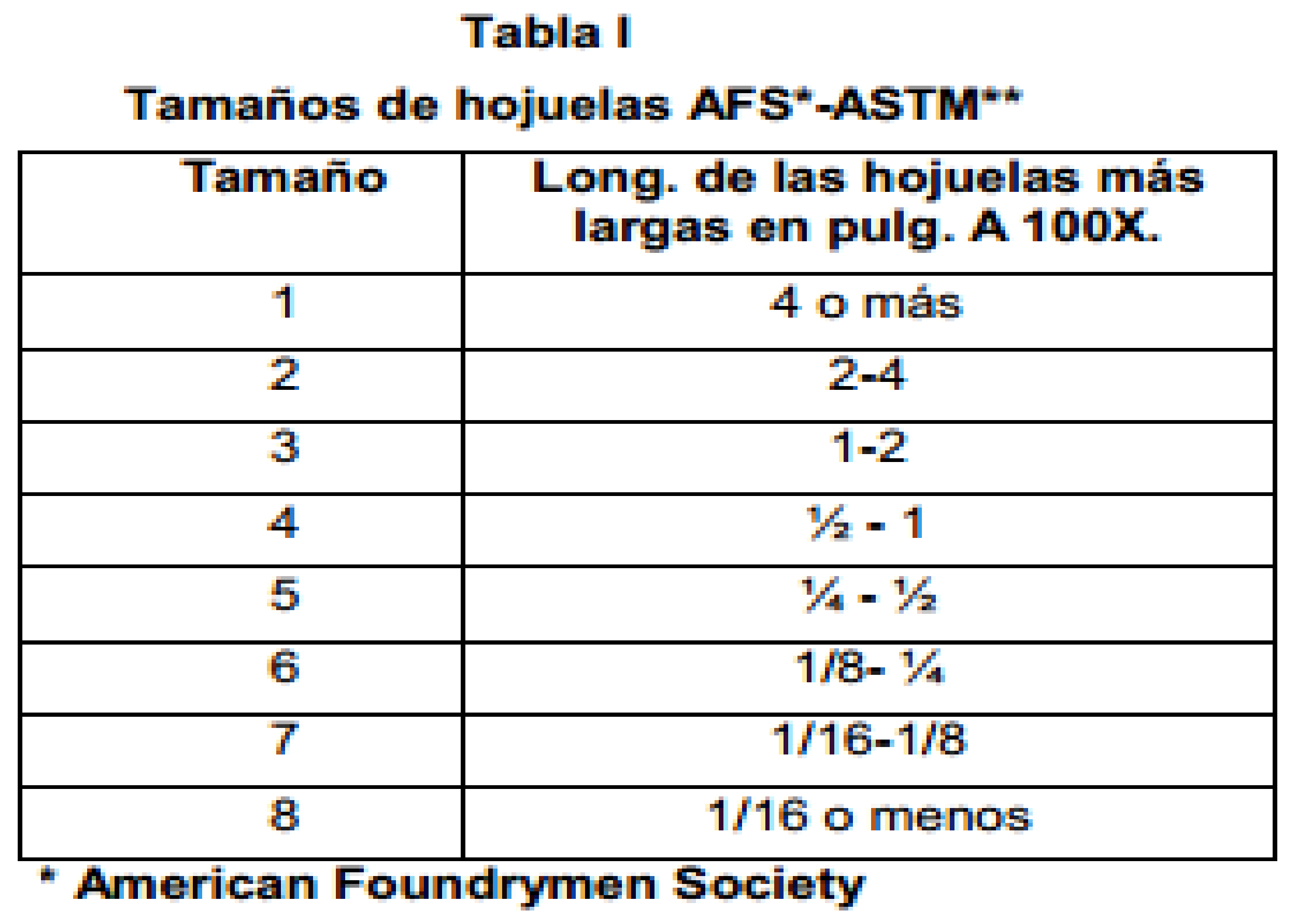
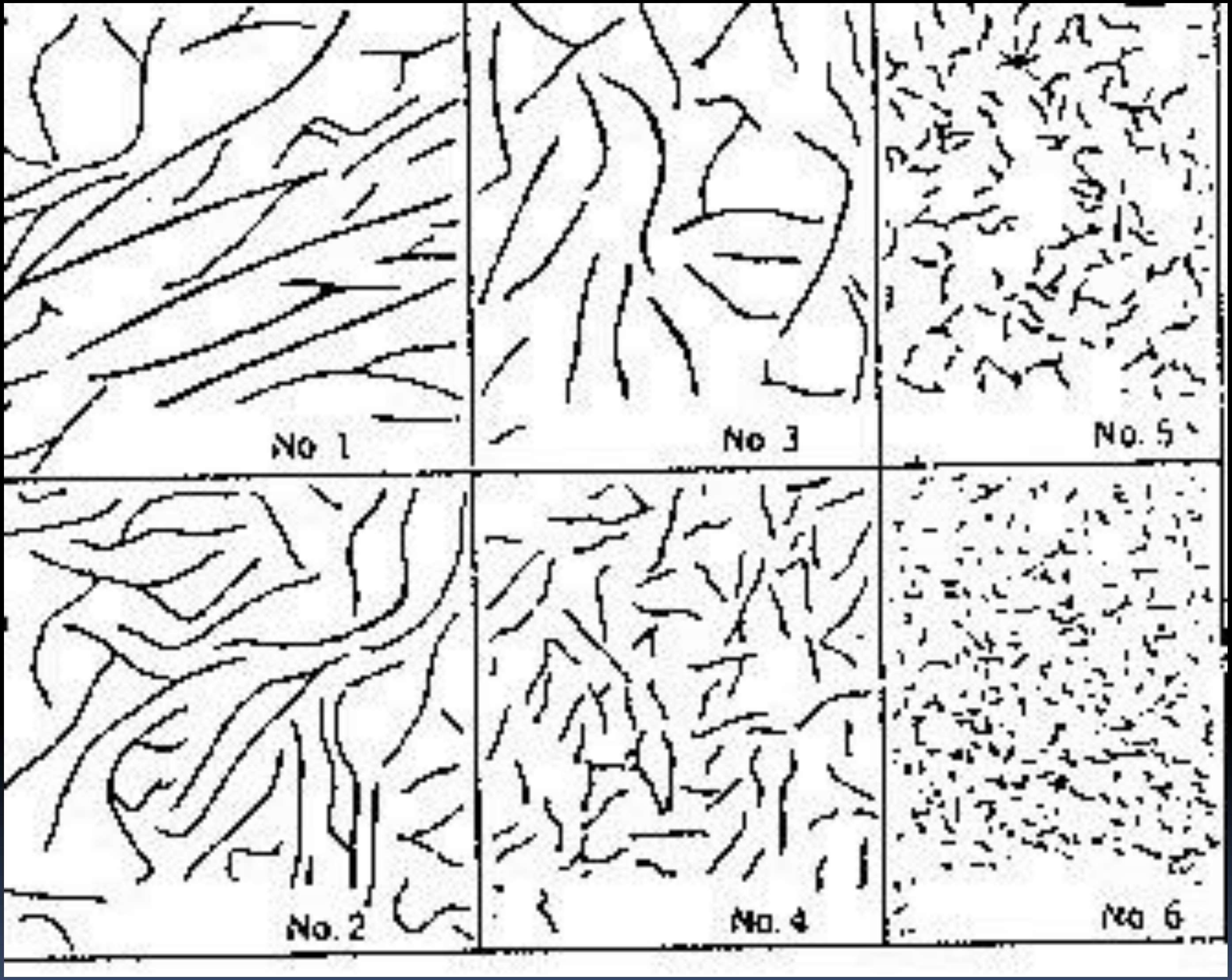


Tabla I

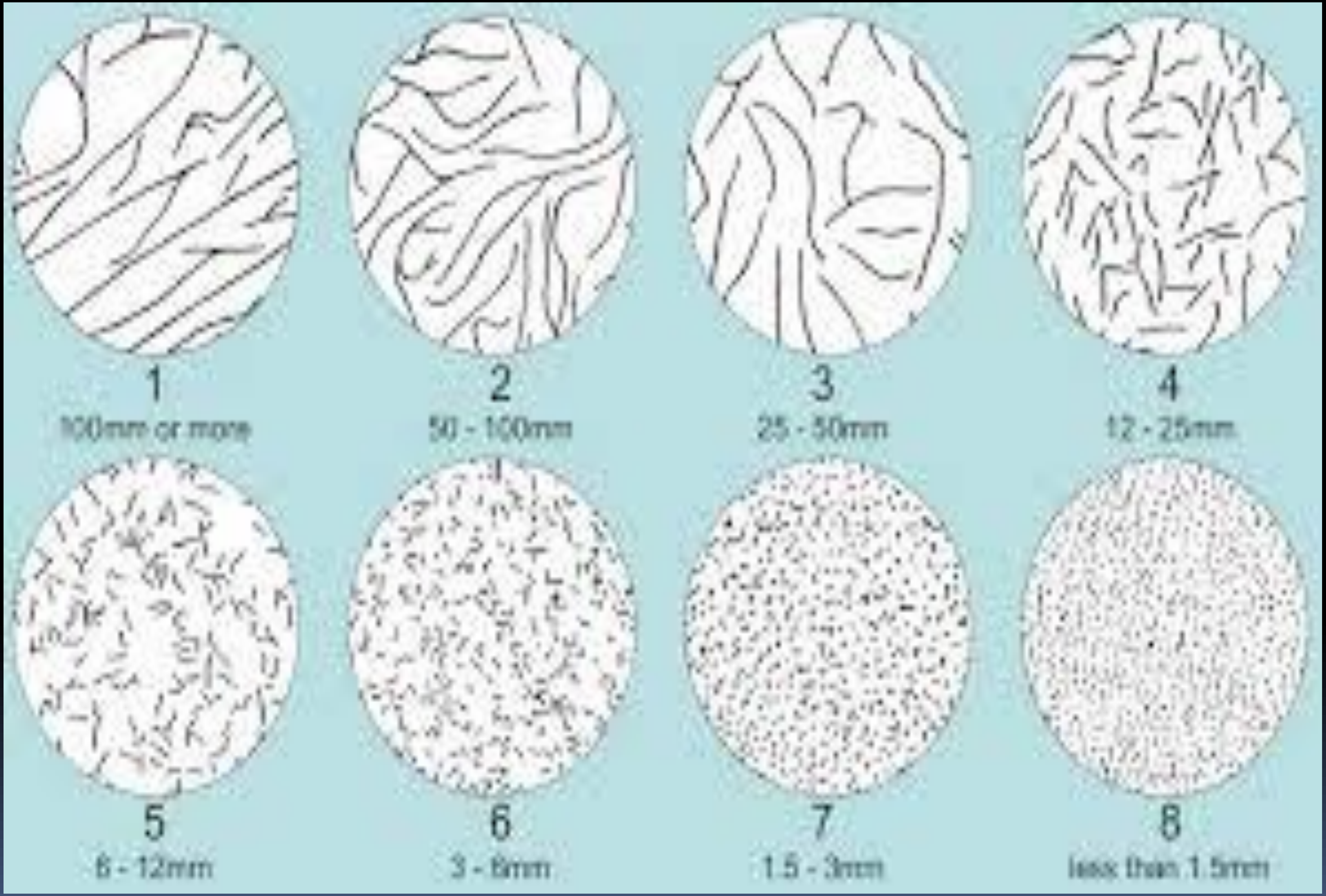
Tamaños de hojuelas AFS*-ASTM**

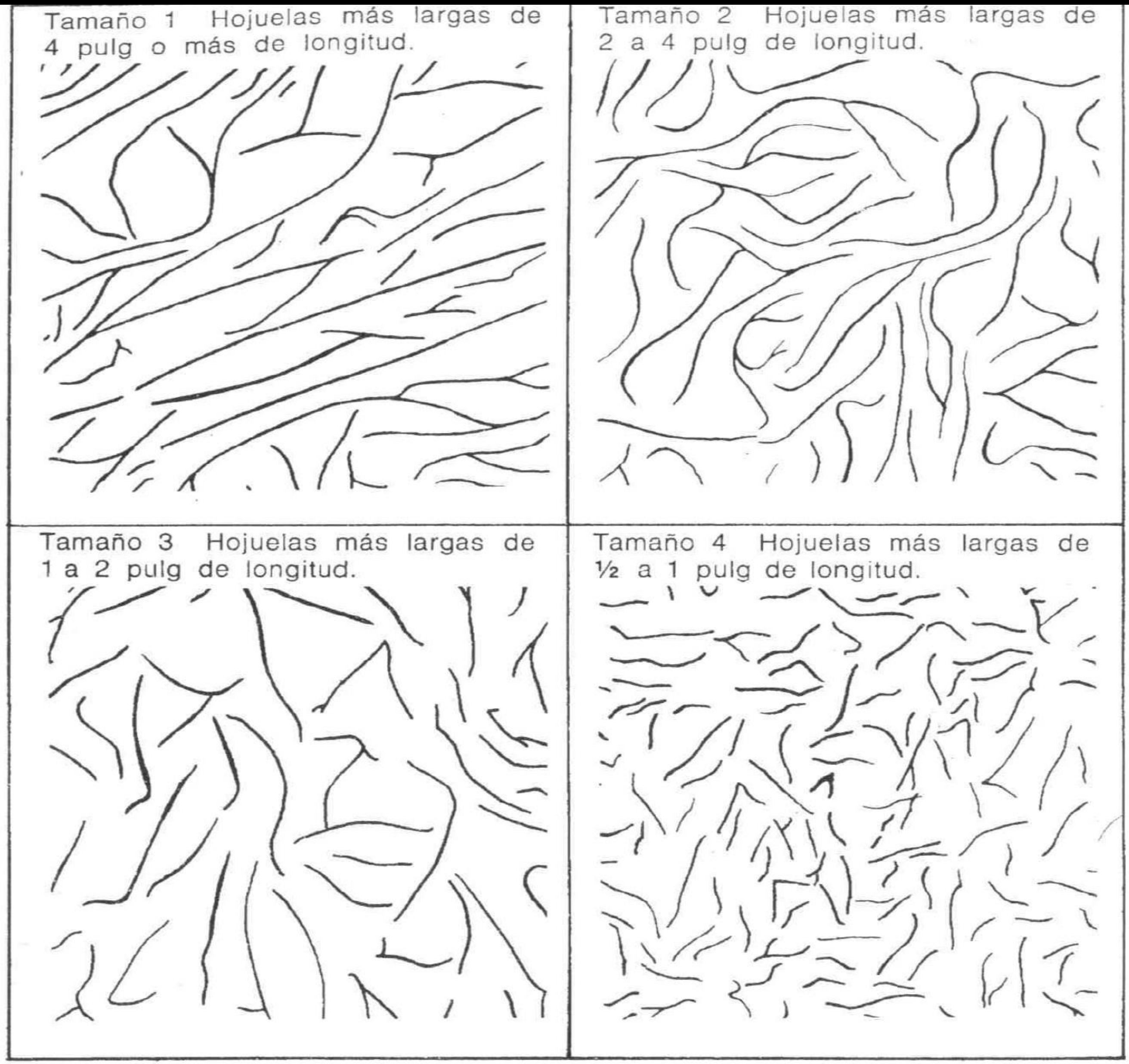
Tamaño	Long. de las hojuelas más largas en pulg. A 100X.
1	4 o más
2	2-4
3	1-2
4	½ - 1
5	¼ - ½
6	1/8- ¼
7	1/16-1/8
8	1/16 o menos

* American Foundrymen Society


No 1
No 3
No. 5
No. 2
No. 4
No 6

Clasificación de las láminas de grafito según el tamaño


1
100mm or more
2
50 - 100mm
3
25 - 50mm
4
12 - 25mm
5
6 - 12mm
6
3 - 6mm
7
1.5 - 3mm
8
less than 1.5mm


Tamaño 1 Hojuelas más largas de 4 pulg o más de longitud.
Tamaño 2 Hojuelas más largas de 2 a 4 pulg de longitud.
Tamaño 3 Hojuelas más largas de 1 a 2 pulg de longitud.
Tamaño 4 Hojuelas más largas de ½ a 1 pulg de longitud.

Longitudes de las hojuelas de grafito mediante campos tipicos lo más cerca posible a los deversos tamaños (Preparada conjuntamente por la ASTM y AFS.)

Morfología del grafito en la fundición gris

- Tipo A es una estructura de grafito en forma de hojuelas distribuidas aleatoriamente, son las estructuras generalmente preferidas.
- Tipo B es una estructura de grafito laminar en forma de roseta puede resultar cuando hay una mala inoculación y/o nucleación.
- Tipo C es una estructura de grafito laminar, se encuentran típicamente en una fundición gris hipereutécticas donde las laminas de grafito son las primeras en precipitarse del metal líquido.
- Tipo D y E estructura de grafito laminar, se encuentran normalmente cuando se tienen subenfriamientos grandes en el metal liquido (bordes, líneas de partición, secciones delgadas, etc .)

Variación de la morfología del grafito en la fundición de hierros grises.

- La variación de la morfología del grafito se ve afectada por la fundición y / o el diseño del molde.

- La variación de la morfología del grafito se incrementa con una práctica pobre de inoculación.

- Las primeras zonas en solidificar pueden tener morfologías de grafito tipos D y E si la inoculación es insuficiente.

- Morfologías de grafito Tipo D y E a menudo tienen ferrita libre, cosa que puede afectar a la mecanización y otras propiedades en la zona afectada.

La inoculación de hierro gris.

- El inoculante se añade al metal líquido para ayudar a prevenir la formación de carburos eutécticos y permite la nucleación de grafito.

- Los inoculantes son principalmente ferro-silicio a menudo con pequeñas cantidades de diferentes elementos para ayudar en la nucleación.

- Los inoculantes se añaden principalmente en las cucharas de vaciado / transferencia y en la corriente durante el vaciado del metal liquido.

- La inoculación también ayuda a prevenir el grafito dendrítico (tipos D y E según ISO 945).

- Los efectos de la inoculación se reducen con el tiempo después de que se introducen en el metal líquido. Esto comúnmente se llama desvanecimiento del inoculante.

La adición de silicio para el sistema hierro-carbono

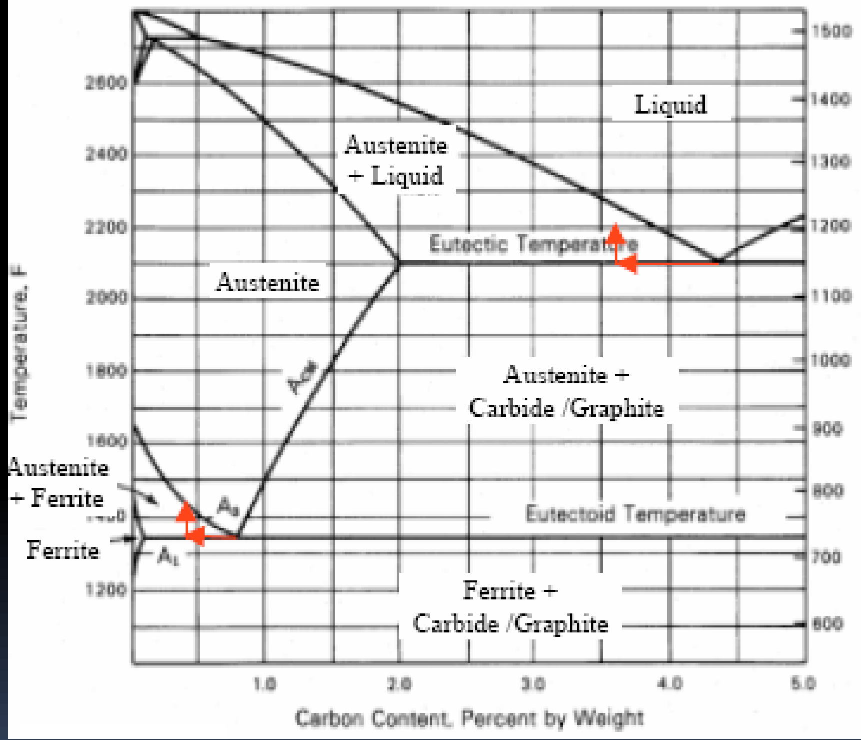
- Se añade silicio en el intervalo de 1% a 4% con el fin de aumentar la cantidad de sub-enfriamiento requerido para la formación de cementita y promover la formación de grafito durante la solidificación.

- La gama de silicio añadido es suficiente para predecir las fases y microestructuras que se forman.

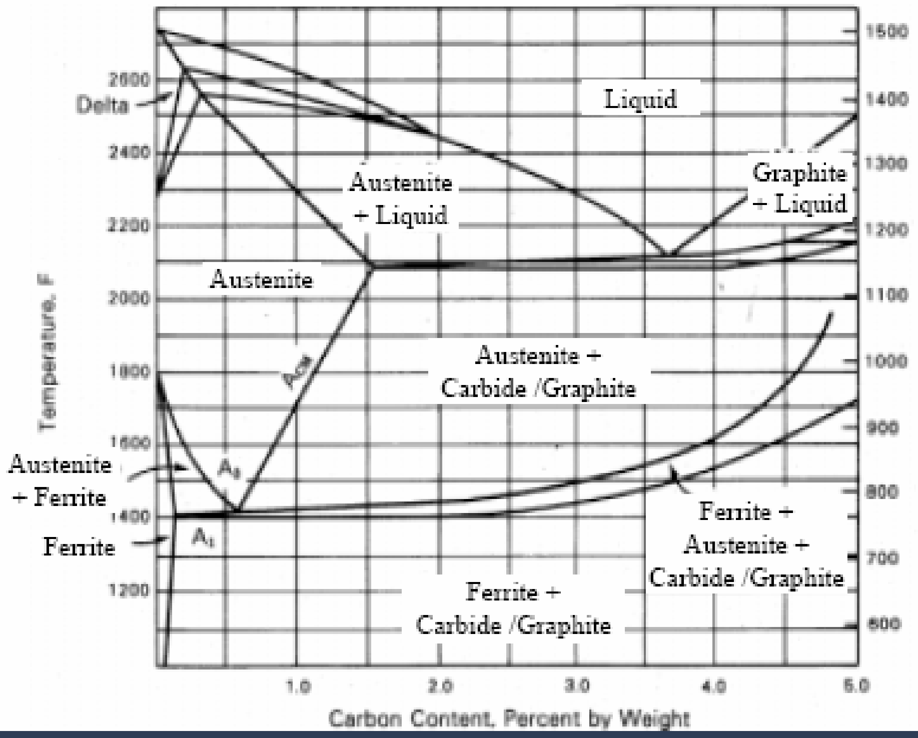
- El diagrama y/o secciones de este diagrama de fases ternario hierro-carbono-silicio se necesitan para predecir correctamente las fases y microestructuras que se forman.

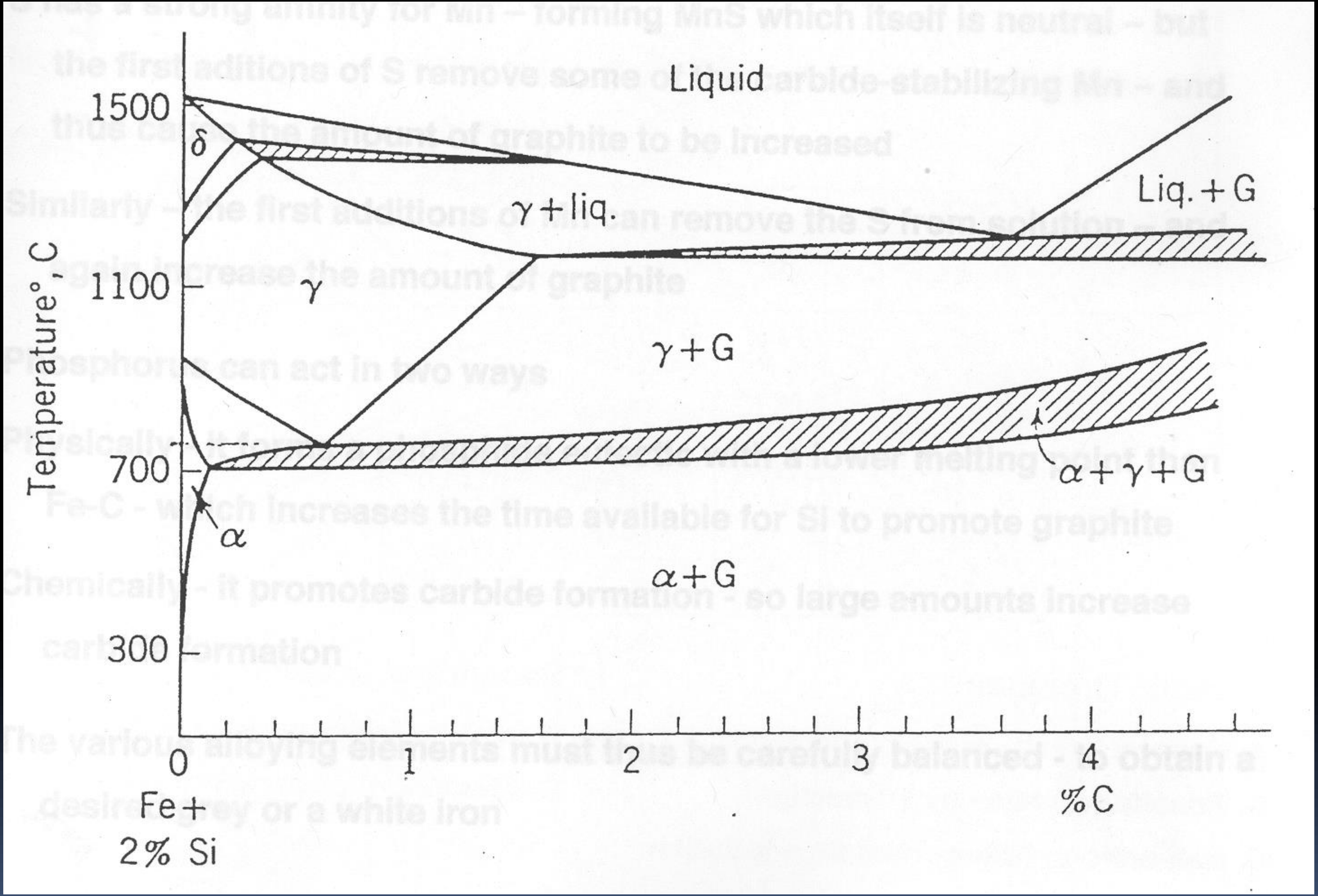
Efectos del silicio sobre las transformaciones eutéctica y eutectoide

Iron-Carbon
Phase Diagram



Iron-Carbon-Silicon(2%)
Phase Diagram




Liquid
1500
δ
γ + liq.
Liq. + G
1100
γ
γ + G
Temperature °, C
700
α + γ + G
α
α + G
300
0
1
2
3
4
Fe +
2% Si
%C

Debido a las modificaciones realizadas en el diagrama de fases Fe-Cg por el Si, es necesario definir un nuevo concepto: Carbono Equivalente (CE)

En hierros colados el concepto de carbono equivalente (CE) se utiliza para comprender el efecto de los elementos de aleación que afectará un tratamiento térmico y comportamiento de colada. Las siguientes fórmulas se utilizan para determinar el CE:

$$CE = \%C + 1.3\,(\%Si)$$

$$CE = \%C + 0.3\,(\%Si + \%P)$$

$$CE = \%C + 0.3\,(\%Si) + 0.33\,(\%P) - 0.027\,(\%Mn) + 0.4\,(\%S)$$

Este CE se utiliza para determinar si la aleación es hipoeutéctica, eutéctica, e hipereutéctica; de hierro colado, la composición eutéctica es de 4,3% de carbono. En los hierro colados esto es útil para la determinación de la estructura de grafito final; por ejemplo, un hierro colado hipereutéctico, generalmente tiene una estructura de grafito grueso y laminas grandes de grafito (Kish). [7] Además, hay menos contracción a medida que aumenta CE. [6] Cuando los hierros colados se obtienen con diversos CE se prueban empíricamente para determinar la correlación entre el CE y la dureza.

A final de cuentas el carbono equivalente hace ver a un diagrama de fases ternario (Fe-Fe_3C) como si fuera un diagrama de fases binario (Fe – Cg)

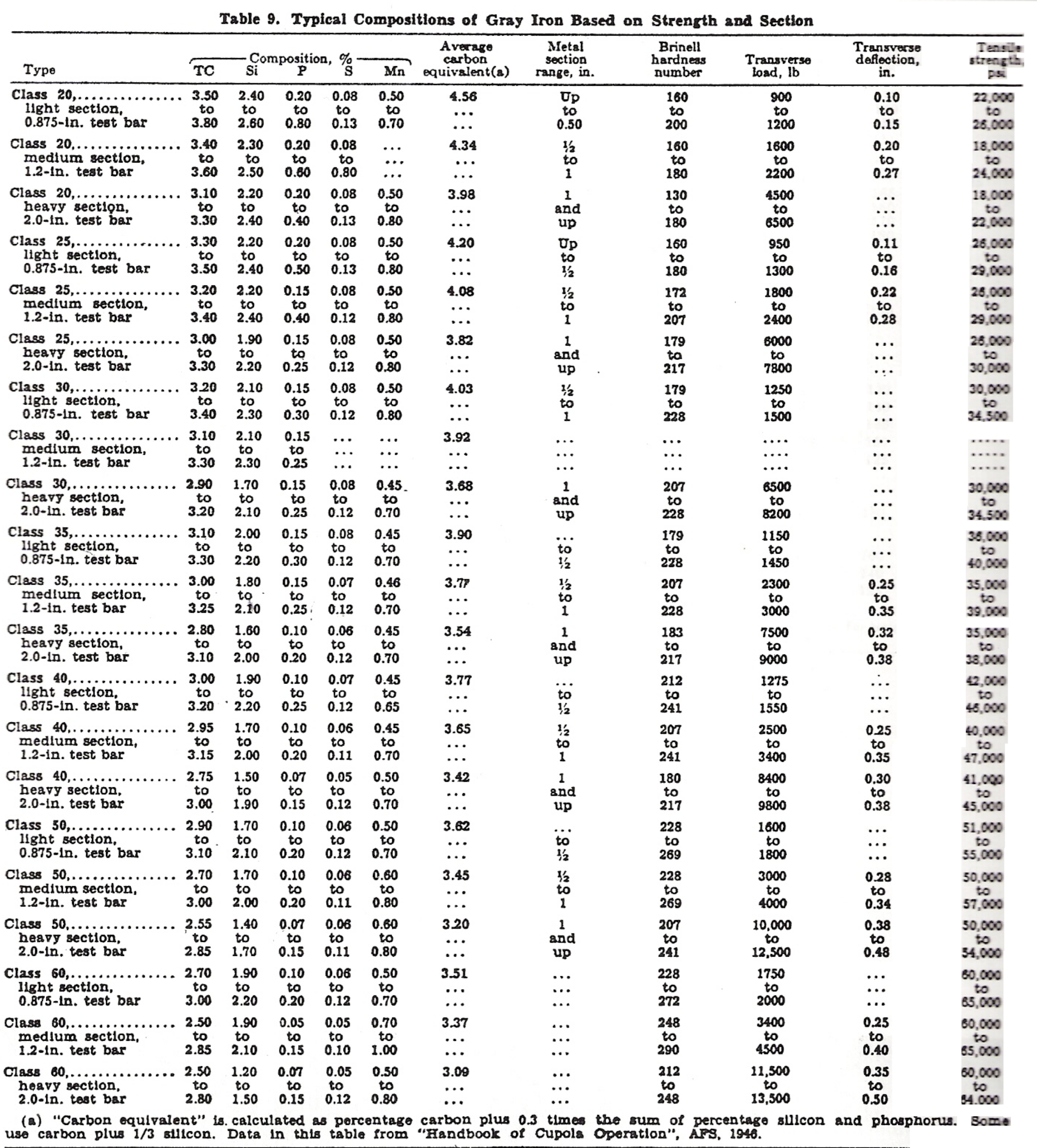
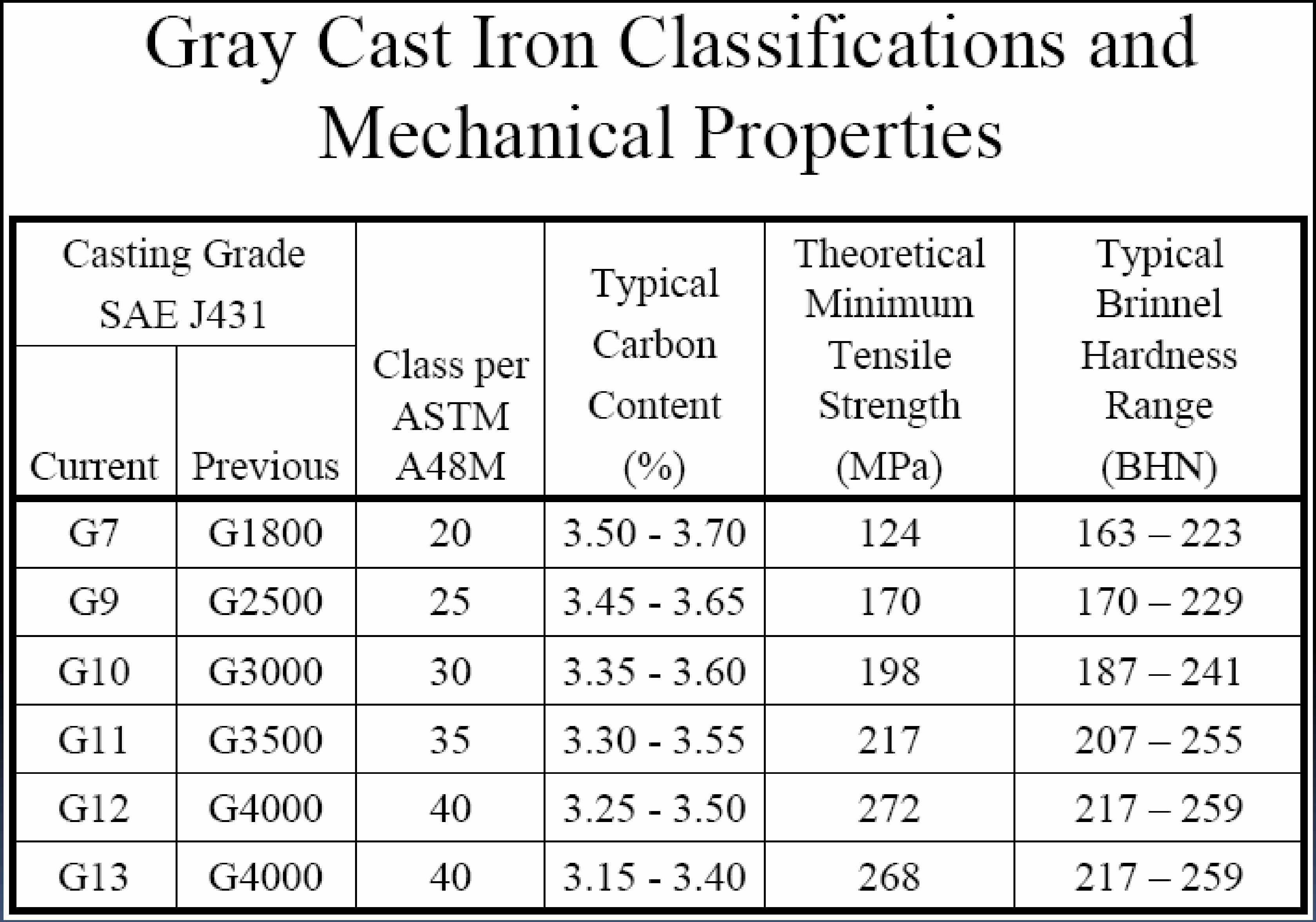


Table 9. Typical Compositions of Gray Iron Based on Strength and Section

Type	Composition, %					Average carbon equivalent(a)	Metal section range, in.	Brinell hardness number	Transverse load, lb	Transverse deflection, in.	Tensile strength, psi
	TC	Si	P	S	Mn						
Class 20, light section, 0.875-in. test bar	3.50 to 3.80	2.40 to 2.60	0.20 to 0.80	0.08 to 0.13	0.50 to 0.70	4.56	Up to 0.50	160 to 200	900 to 1200	0.10 to 0.15	22,000 to 26,000
Class 20, medium section, 1.2-in. test bar	3.40 to 3.60	2.30 to 2.50	0.20 to 0.60	0.08 to 0.80	... ...	4.34	½ to 1	160 to 180	1600 to 2200	0.20 to 0.27	18,000 to 24,000
Class 20, heavy section, 2.0-in. test bar	3.10 to 3.30	2.20 to 2.40	0.20 to 0.40	0.08 to 0.13	0.50 to 0.80	3.98	1 and up	130 to 180	4500 to 6500	... ...	18,000 to 22,000
Class 25, light section, 0.875-in. test bar	3.30 to 3.50	2.20 to 2.40	0.20 to 0.50	0.08 to 0.13	0.50 to 0.80	4.20	Up to ½	160 to 180	950 to 1300	0.11 to 0.16	26,000 to 29,000
Class 25, medium section, 1.2-in. test bar	3.20 to 3.40	2.20 to 2.40	0.15 to 0.40	0.08 to 0.12	0.50 to 0.80	4.08	½ to 1	172 to 207	1800 to 2400	0.22 to 0.28	26,000 to 29,000
Class 25, heavy section, 2.0-in. test bar	3.00 to 3.30	1.90 to 2.20	0.15 to 0.25	0.08 to 0.12	0.50 to 0.80	3.82	1 and up	179 to 217	6000 to 7800	... ...	26,000 to 30,000
Class 30, light section, 0.875-in. test bar	3.20 to 3.40	2.10 to 2.30	0.15 to 0.30	0.08 to 0.12	0.50 to 0.80	4.03	½ to 1	179 to 228	1250 to 1500	... ...	30,000 to 34,500
Class 30, medium section, 1.2-in. test bar	3.10 to 3.30	2.10 to 2.30	0.15 to 0.25	... ...	... ...	3.92	... ...	... ...	....	... ...	....
Class 30, heavy section, 2.0-in. test bar	2.90 to 3.20	1.70 to 2.10	0.15 to 0.25	0.08 to 0.12	0.45 to 0.70	3.68	1 and up	207 to 228	6500 to 8200	... ...	30,000 to 34,500
Class 35, light section, 0.875-in. test bar	3.10 to 3.30	2.00 to 2.20	0.15 to 0.30	0.08 to 0.12	0.45 to 0.70	3.90	... to ½	179 to 228	1150 to 1450	... ...	36,000 to 40,000
Class 35, medium section, 1.2-in. test bar	3.00 to 3.25	1.80 to 2.10	0.15 to 0.25	0.07 to 0.12	0.46 to 0.70	3.77	½ to 1	207 to 228	2300 to 3000	0.25 to 0.35	35,000 to 39,000
Class 35, heavy section, 2.0-in. test bar	2.80 to 3.10	1.60 to 2.00	0.10 to 0.20	0.06 to 0.12	0.45 to 0.70	3.54	1 and up	183 to 217	7500 to 9000	0.32 to 0.38	35,000 to 38,000
Class 40, light section, 0.875-in. test bar	3.00 to 3.20	1.90 to 2.20	0.10 to 0.25	0.07 to 0.12	0.45 to 0.65	3.77	... to ½	212 to 241	1275 to 1550	... ...	42,000 to 46,000
Class 40, medium section, 1.2-in. test bar	2.95 to 3.15	1.70 to 2.00	0.10 to 0.20	0.06 to 0.11	0.45 to 0.70	3.65	½ to 1	207 to 241	2500 to 3400	0.25 to 0.35	40,000 to 47,000
Class 40, heavy section, 2.0-in. test bar	2.75 to 3.00	1.50 to 1.90	0.07 to 0.15	0.05 to 0.12	0.50 to 0.70	3.42	1 and up	180 to 217	8400 to 9800	0.30 to 0.38	41,000 to 45,000
Class 50, light section, 0.875-in. test bar	2.90 to 3.10	1.70 to 2.10	0.10 to 0.20	0.06 to 0.12	0.50 to 0.70	3.62	... to ½	228 to 269	1600 to 1800	... ...	51,000 to 55,000
Class 50, medium section, 1.2-in. test bar	2.70 to 3.00	1.70 to 2.00	0.10 to 0.20	0.06 to 0.11	0.60 to 0.80	3.45	½ to 1	228 to 269	3000 to 4000	0.28 to 0.34	50,000 to 57,000
Class 50, heavy section, 2.0-in. test bar	2.55 to 2.85	1.40 to 1.70	0.07 to 0.15	0.06 to 0.11	0.60 to 0.80	3.20	1 and up	207 to 241	10,000 to 12,500	0.38 to 0.48	50,000 to 54,000
Class 60, light section, 0.875-in. test bar	2.70 to 3.00	1.90 to 2.20	0.10 to 0.20	0.06 to 0.12	0.50 to 0.70	3.51	... ...	228 to 272	1750 to 2000	... ...	60,000 to 65,000
Class 60, medium section, 1.2-in. test bar	2.50 to 2.85	1.90 to 2.10	0.05 to 0.15	0.05 to 0.10	0.70 to 1.00	3.37	... ...	248 to 290	3400 to 4500	0.25 to 0.40	60,000 to 65,000
Class 60, heavy section, 2.0-in. test bar	2.50 to 2.80	1.20 to 1.50	0.07 to 0.15	0.05 to 0.12	0.50 to 0.80	3.09	... ...	212 to 248	11,500 to 13,500	0.35 to 0.50	60,000 to 64.000

(a) "Carbon equivalent" is calculated as percentage carbon plus 0.3 times the sum of percentage silicon and phosphorus. Some use carbon plus 1/3 silicon. Data in this table from "Handbook of Cupola Operation", AFS, 1946.



Gray Cast Iron Classifications and Mechanical Properties

Casting Grade SAE J431		Class per ASTM A48M	Typical Carbon Content (%)	Theoretical Minimum Tensile Strength (MPa)	Typical Brinnel Hardness Range (BHN)
Current	Previous				
G7	G1800	20	3.50 - 3.70	124	163 – 223
G9	G2500	25	3.45 - 3.65	170	170 – 229
G10	G3000	30	3.35 - 3.60	198	187 – 241
G11	G3500	35	3.30 - 3.55	217	207 – 255
G12	G4000	40	3.25 - 3.50	272	217 – 259
G13	G4000	40	3.15 - 3.40	268	217 – 259

Clase	Resistencia a la tracción-psi	Dureza brinell	Estructura
20	24000	130-180	F,P
30	34000	170-210	F,P,G
40	44000	210-260	P,G
50	54000	240-280	P,G
60	64000	260-300	B,G

Clasificación de las fundiciones grises según la norma ASTM A48-41.

Relation between CE structure and mechanical properties

La figura 1 muestra una relación útil entre el valor CE, estructura, resistencia a la tracción en barras de diámetro de 30 mm y el tamaño de la sección. Una barra de ensayo cilíndrica de diámetro dado se enfría más rápidamente que una placa plana de espesor equivalente, por lo tanto, la sección se expresa como diámetro de la barra o el espesor de la sección. Línea H es el límite de hierros no maquinable mientras que la línea P es el límite entre los hierros blandos y perlıticos. Por lo tanto una plancha de carbono equivalente 4.35 no debe hacerse más gruesa de 20 mm como una barra o 10 mm como una placa para alcanzar un hierro perlítico. Para evitar la zona de no maquinabilidad, la barra no debe ser inferior a 8 mm de diámetro o la placa de menos de 4 mm de espesor.

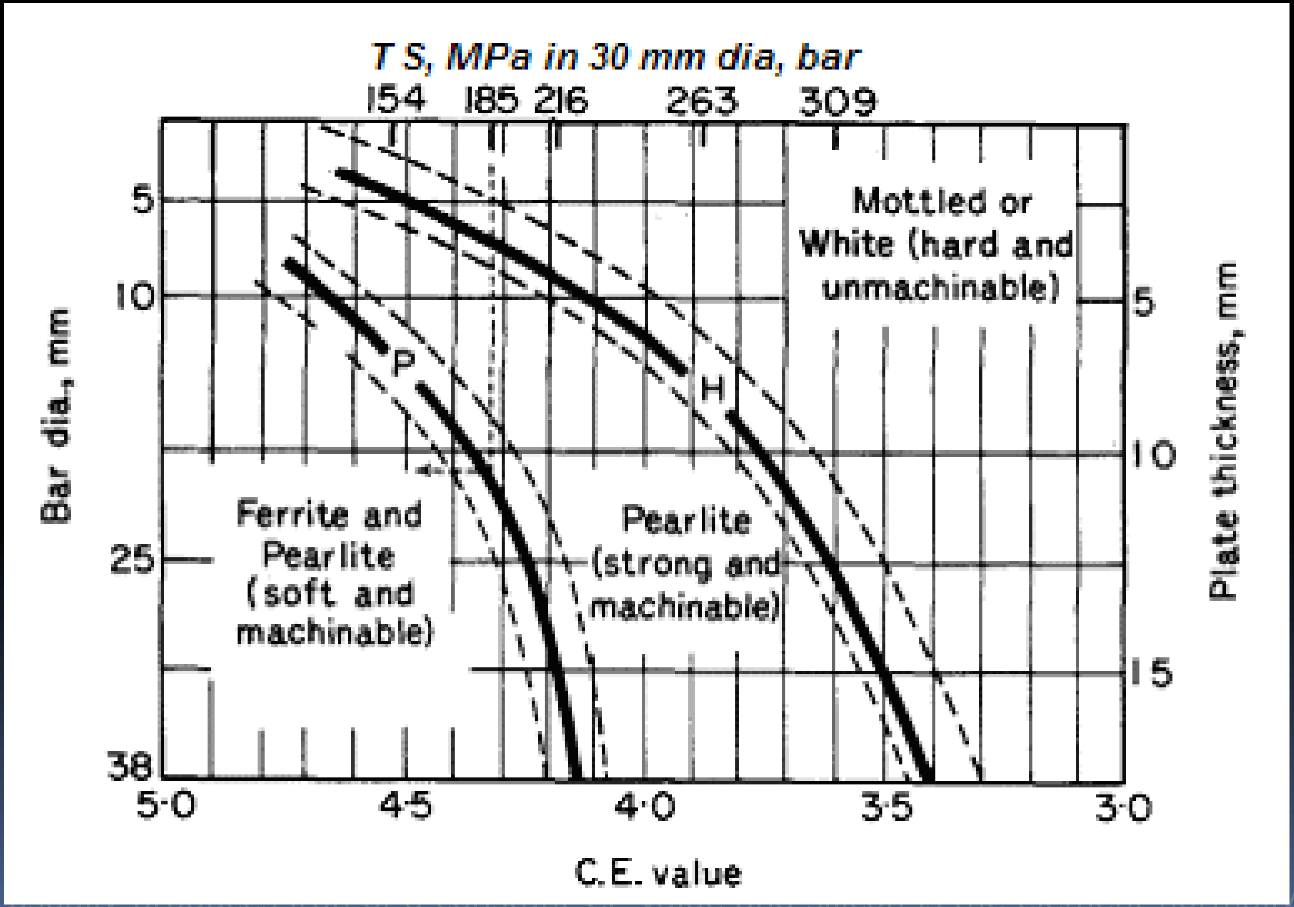
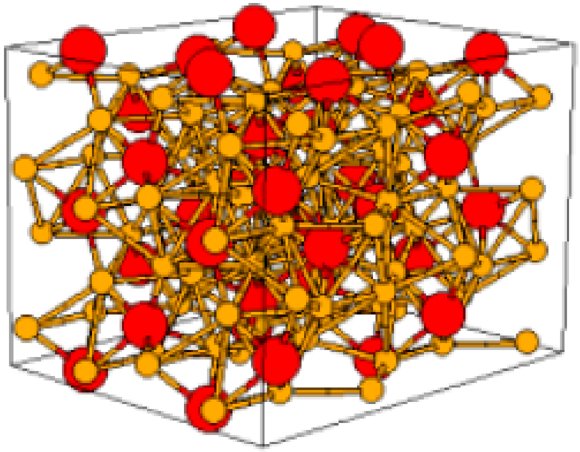


Figure 1. Diagram

A melting furnace usually produces iron of a constant CE value and silicon is the element normally used to control chill. Alloying elements are added to cast iron to confer special properties and also to control the chill.

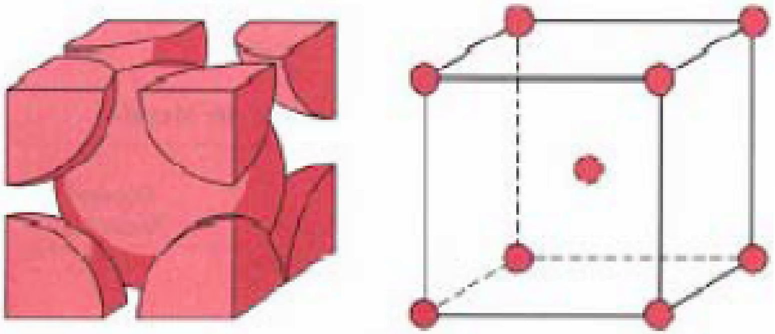
Iron Carbide Phase

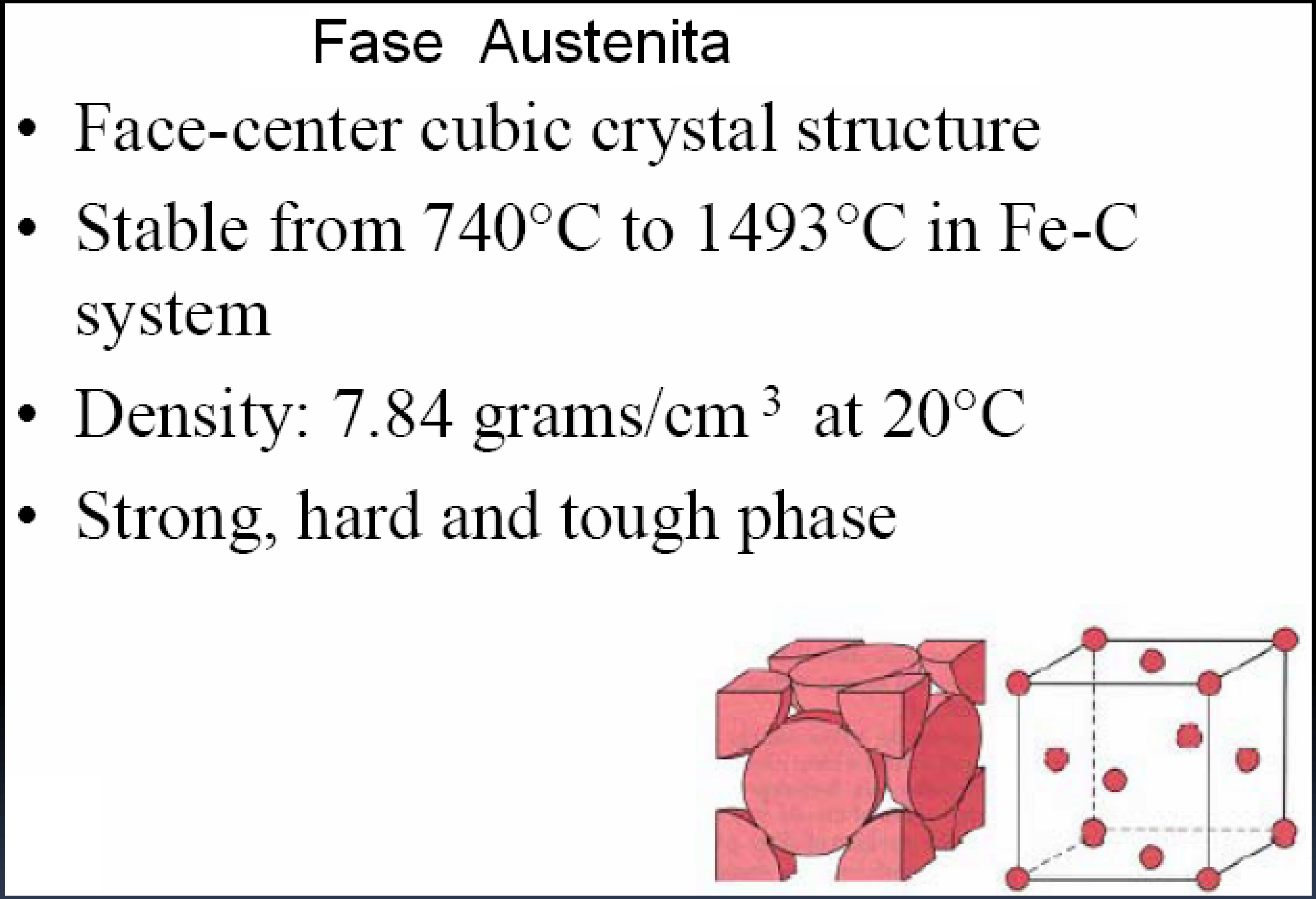
- Fe_3C is the chemical composition, and it has orthorhombic crystal structure.
- Iron carbide breaks down to iron and graphite with sufficient time and temperature.
- For practical purposes it is considered stable below 450°C.
- Density: 7.66 grams/cm^3 at 20°C
- Very hard and brittle phase
- Commonly called "cementite"



Fase Ferrita

- Body-center cubic crystal structure
- Stable up to 912°C in Fe-C system
- Density: 7.86 grams/cm^3 at 20°C
- Soft and very ductile phase



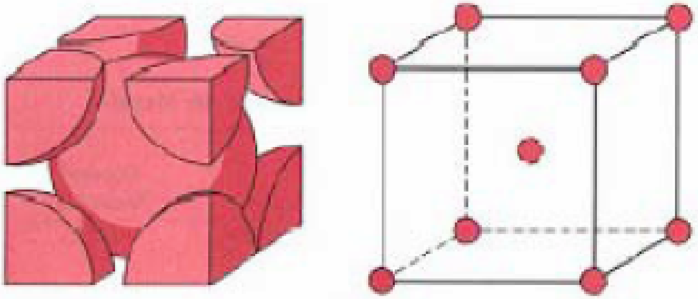


Fase Austenita

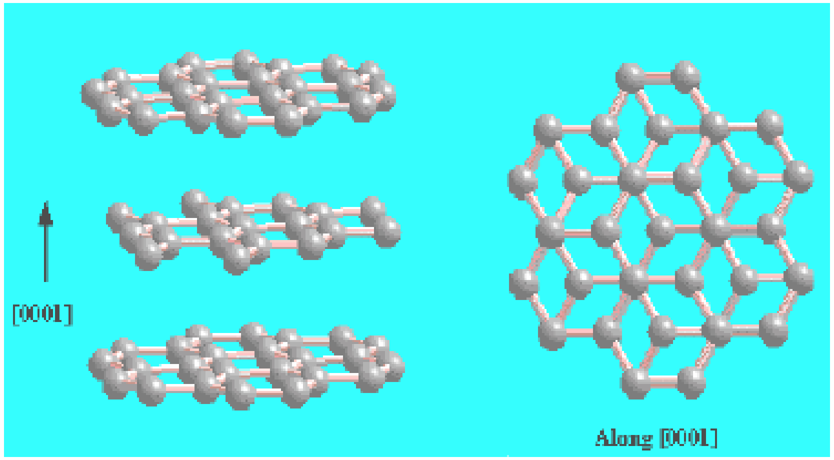
- Face-center cubic crystal structure
- Stable from 740°C to 1493°C in Fe-C system
- Density: 7.84 grams/cm^3 at 20°C
- Strong, hard and tough phase

Fase Delta

- Body-center cubic crystal structure
- Stable from 1394 °C to 1538°C
- Since temperature range is limited to very high temperatures, very little is published about mechanical and physical properties.



Fase Carbono Grafito (Cg)

- Layered hexagonal structure with covalent bonding of atoms in each layer
- Density: 2.25 grams/cm^3 at 20°C
- Layers easily slide against each other and make graphite a solid lubricant
- Soft and low strength