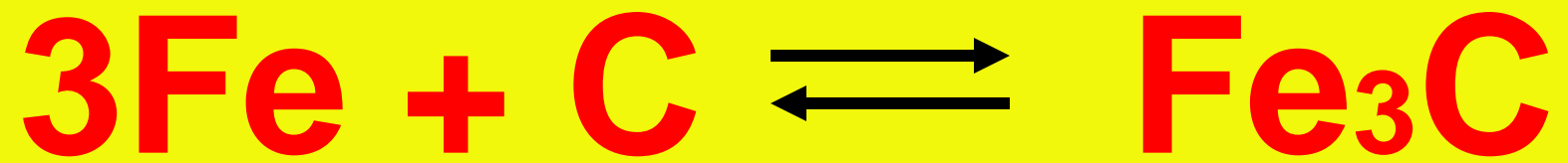


# **Hierro fundido (hierro colado)**

Julio Alberto Aguilar Schafer



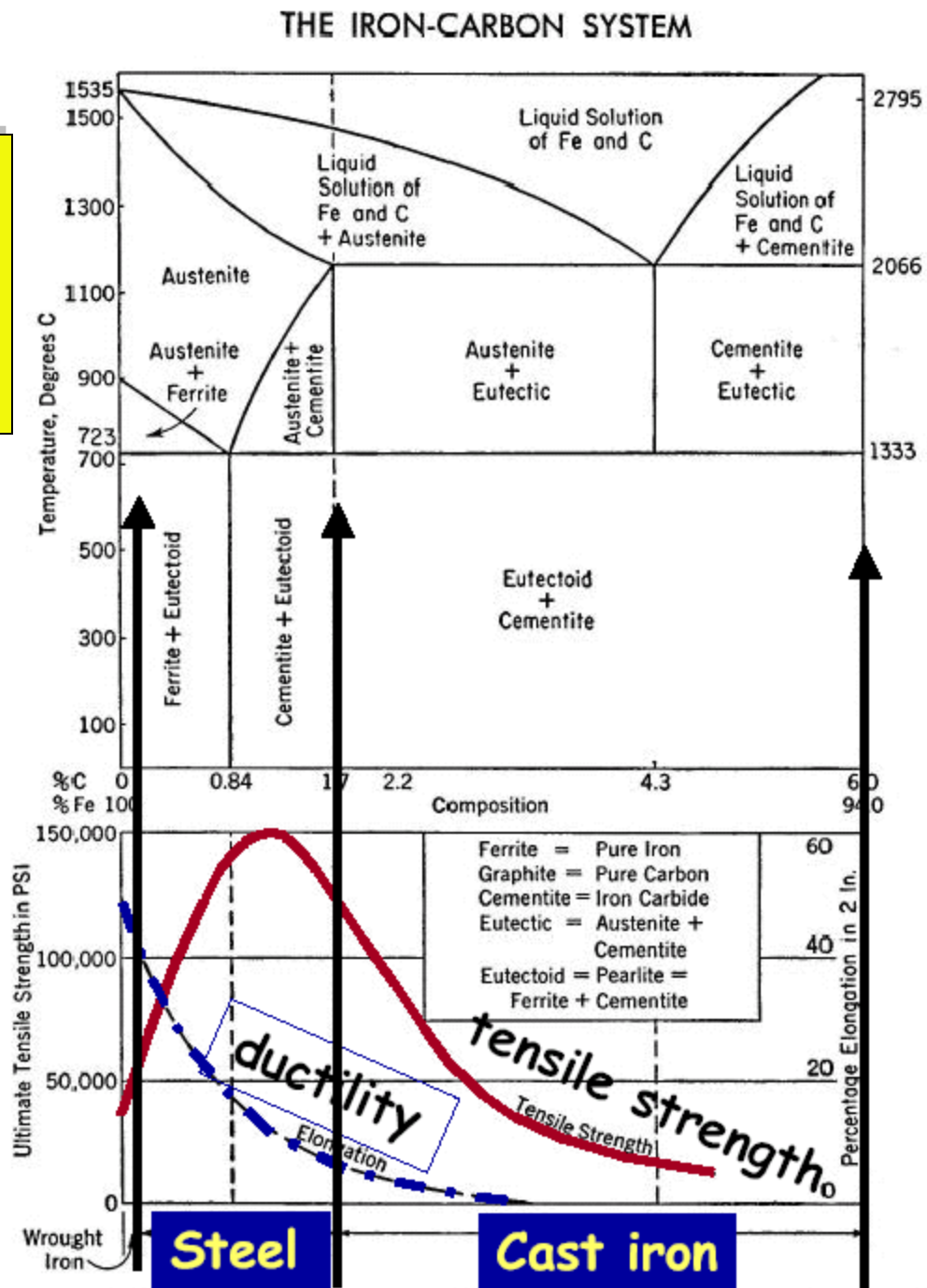
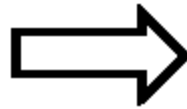
# Recall carbon content:

**Fundición maleable: 2.00-2.65% C**

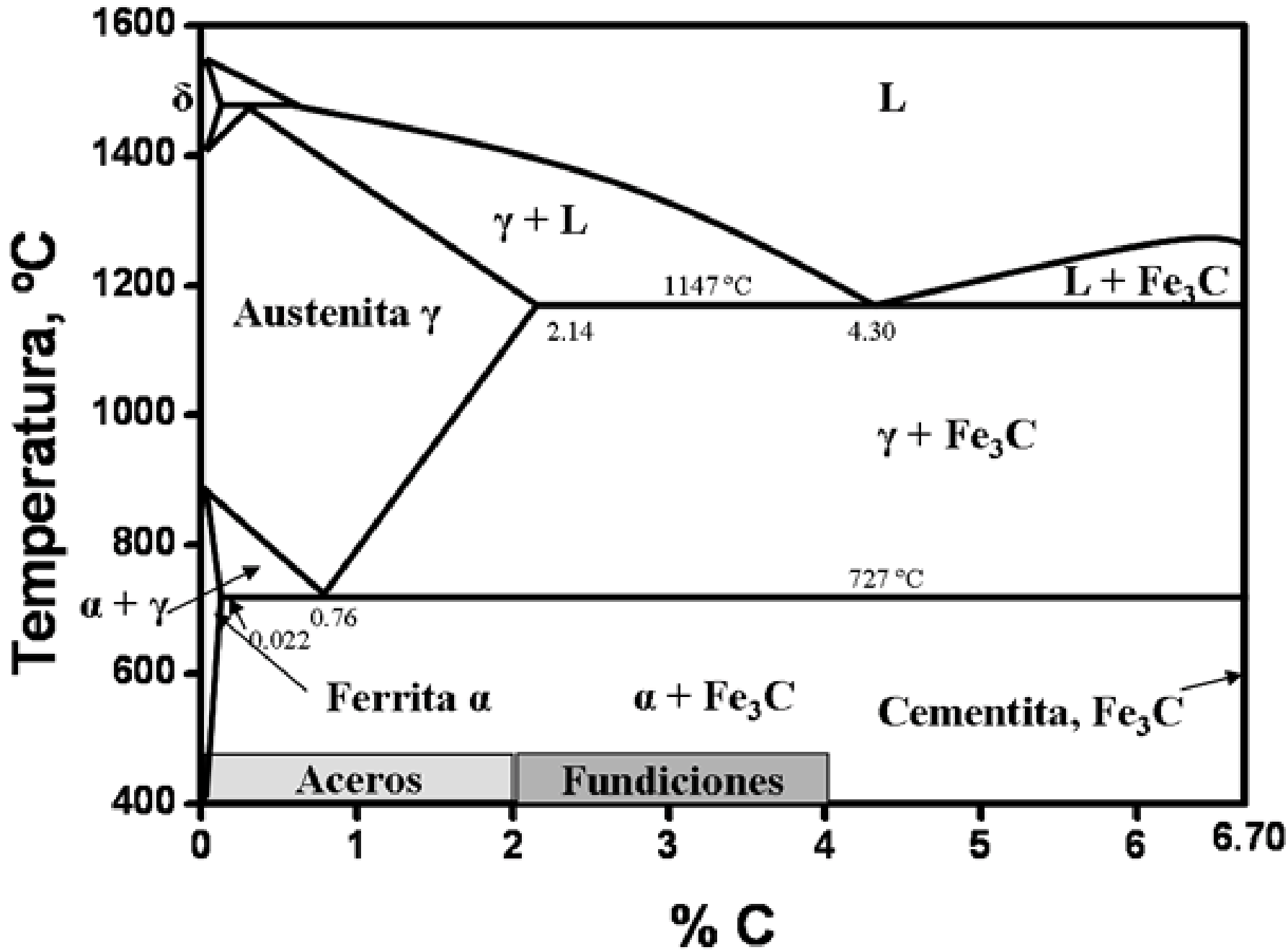
**Fundición gris: 2.50-4.00% C**

**Fundición dúctil: 2.00-2.50% C**

Observe what happens as carbon content increases:



2 Equilibrium diagram and properties of the iron-carbon system

















# Clasificación de las fundiciones de hierro

1. Fundición blanca
2. Fundición maleable
3. Fundición gris
4. Fundición dúctil o nodular
5. Fundición vernicular
6. Fundición aleada

**La clasificación establecida por el Instituto del Hierro y el Acero de las fundiciones utilizadas en la construcción mecánica es la siguiente:**

Serie F-800 Fundiciones.

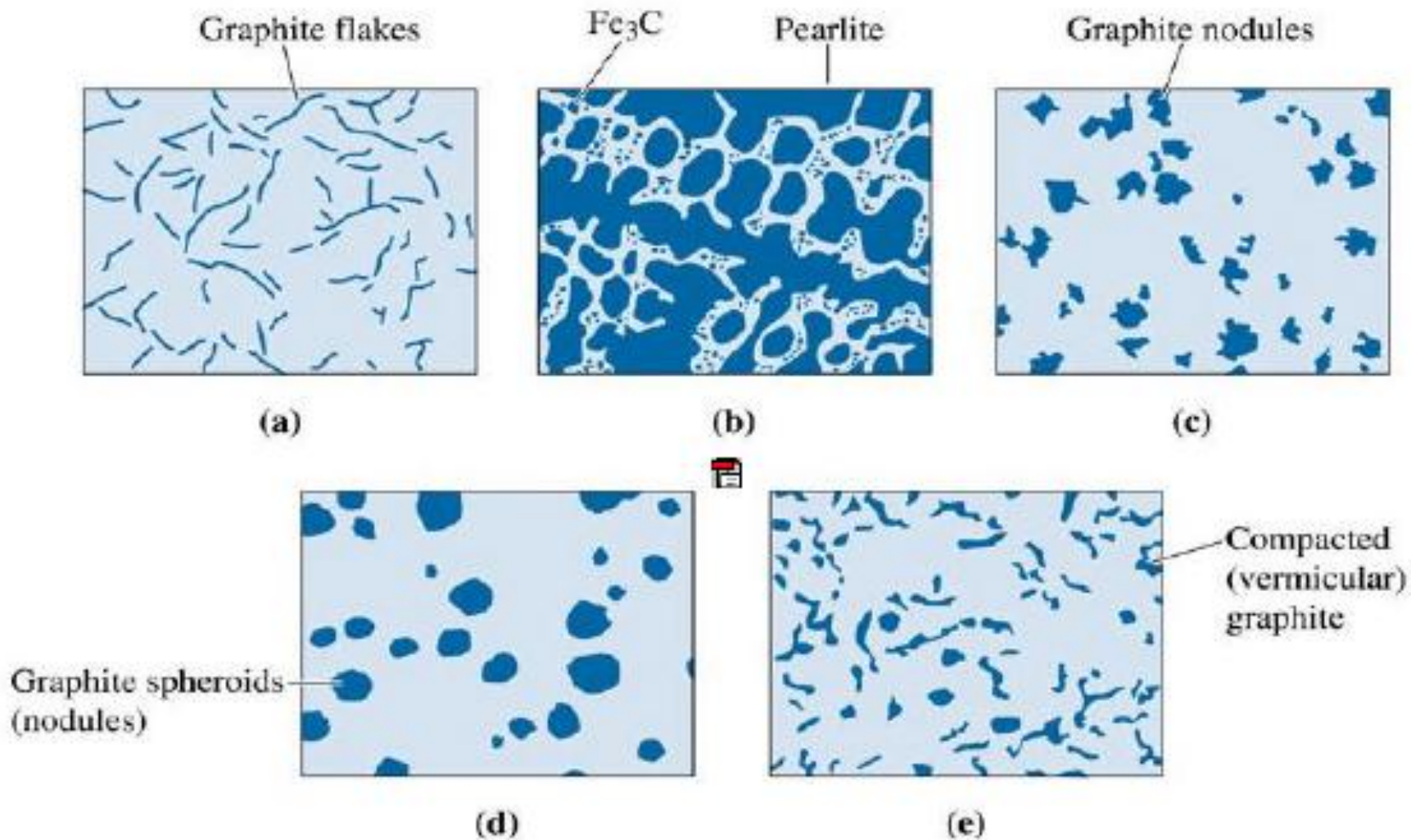
Grupo F-810 Fundiciones grises.

Grupo F-830 Fundiciones maleables.

Grupo F-840 Fundiciones maleables perlíticas.

Grupo F-860 Fundiciones nodulares.

Grupo F-870 Fundiciones especiales



**Los 5 tipos de hierros de fundición: (a) Hierro gris, (b) Hierro blanco, (c) Hierro maleable, (d) Hierro dúctil, y (e) Fundición de grafito**



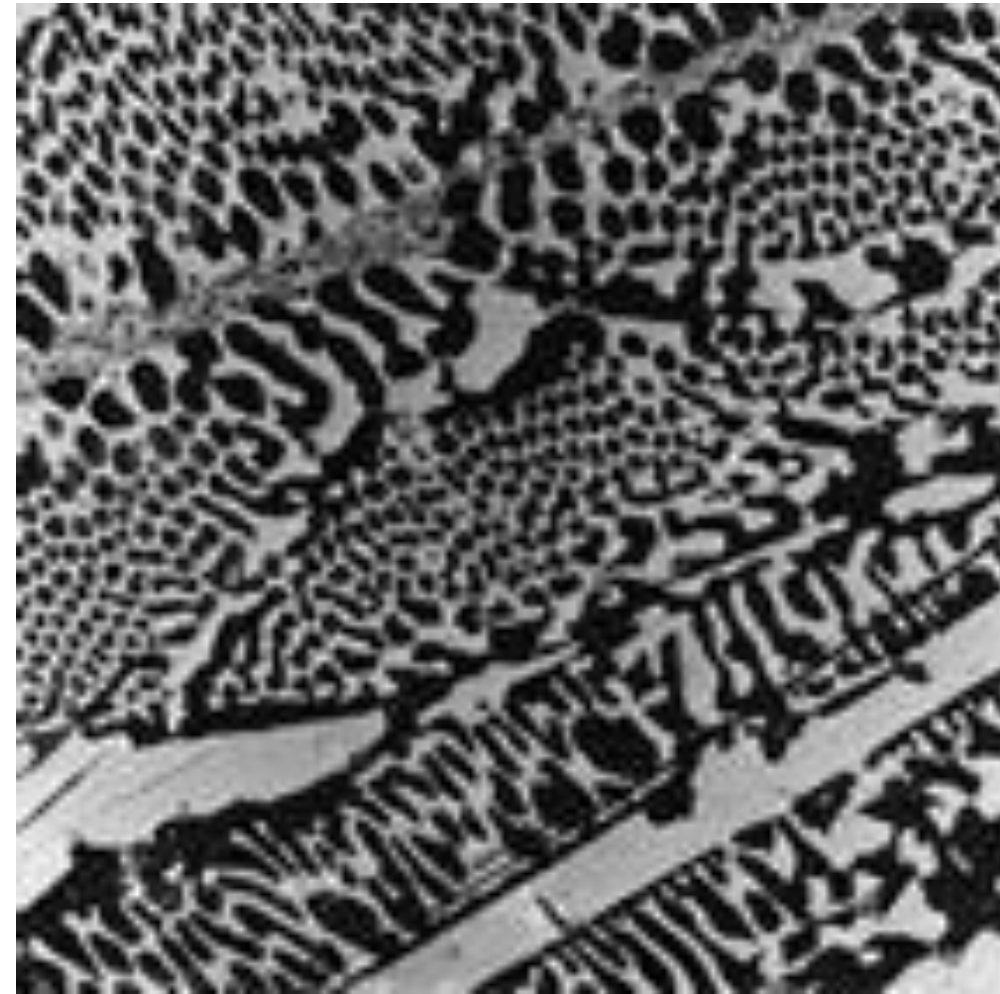
# Fundición Blanca y Maleable

- Componentes químicos:

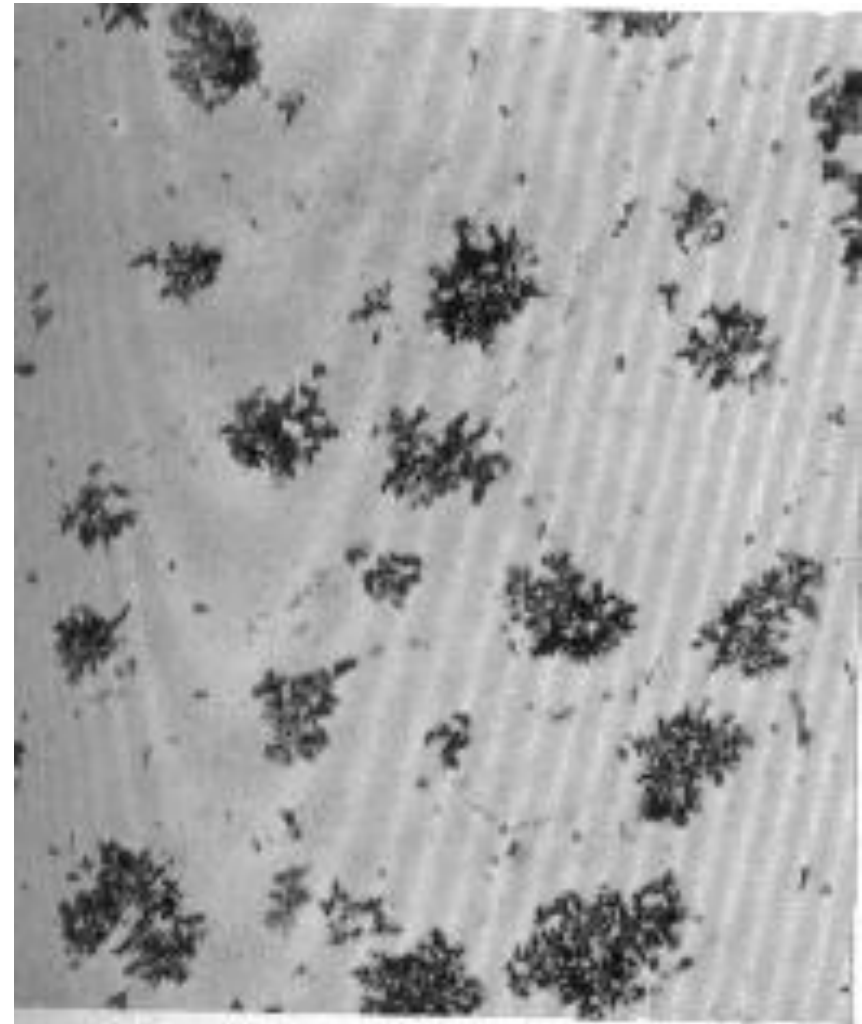
-C	2.00-2.65%
-Si	0.90-1.40%
-Mn	0.25-0.55%
-P	<0.18%
-S	0.05-0.18%

- Transformación de fundición blanca en maleable.

- Temperatura de descomposición de  $\text{Fe}_3\text{C} \longrightarrow 3\text{Fe} + \text{C}$
- 648-715<sup>0</sup>C
- Nodos irregulares de grafito en una matriz perlítica.



**Microestructura  
de la fundición blanca**



**Microestructura  
de la fundición  
maleable ferrítica**

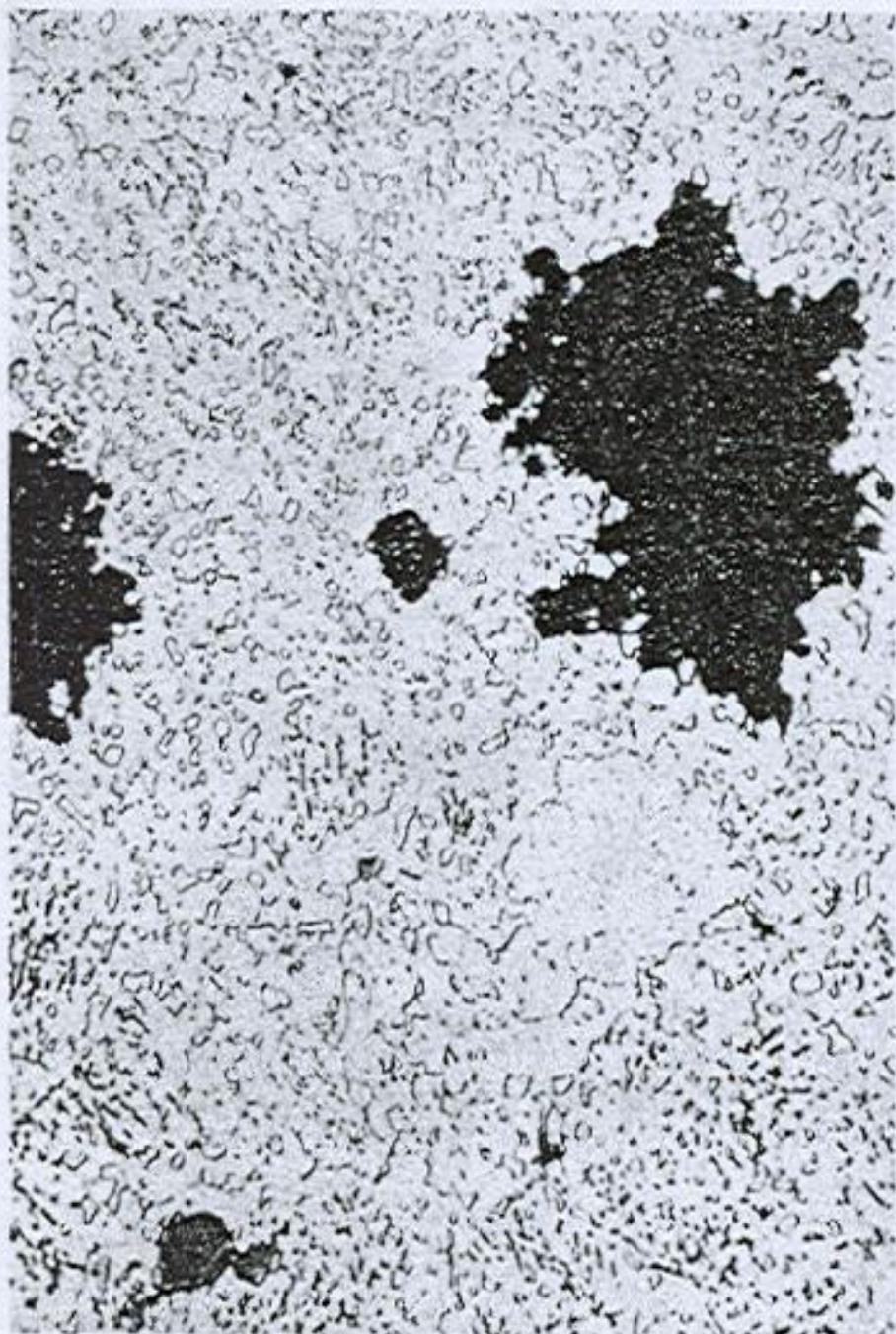
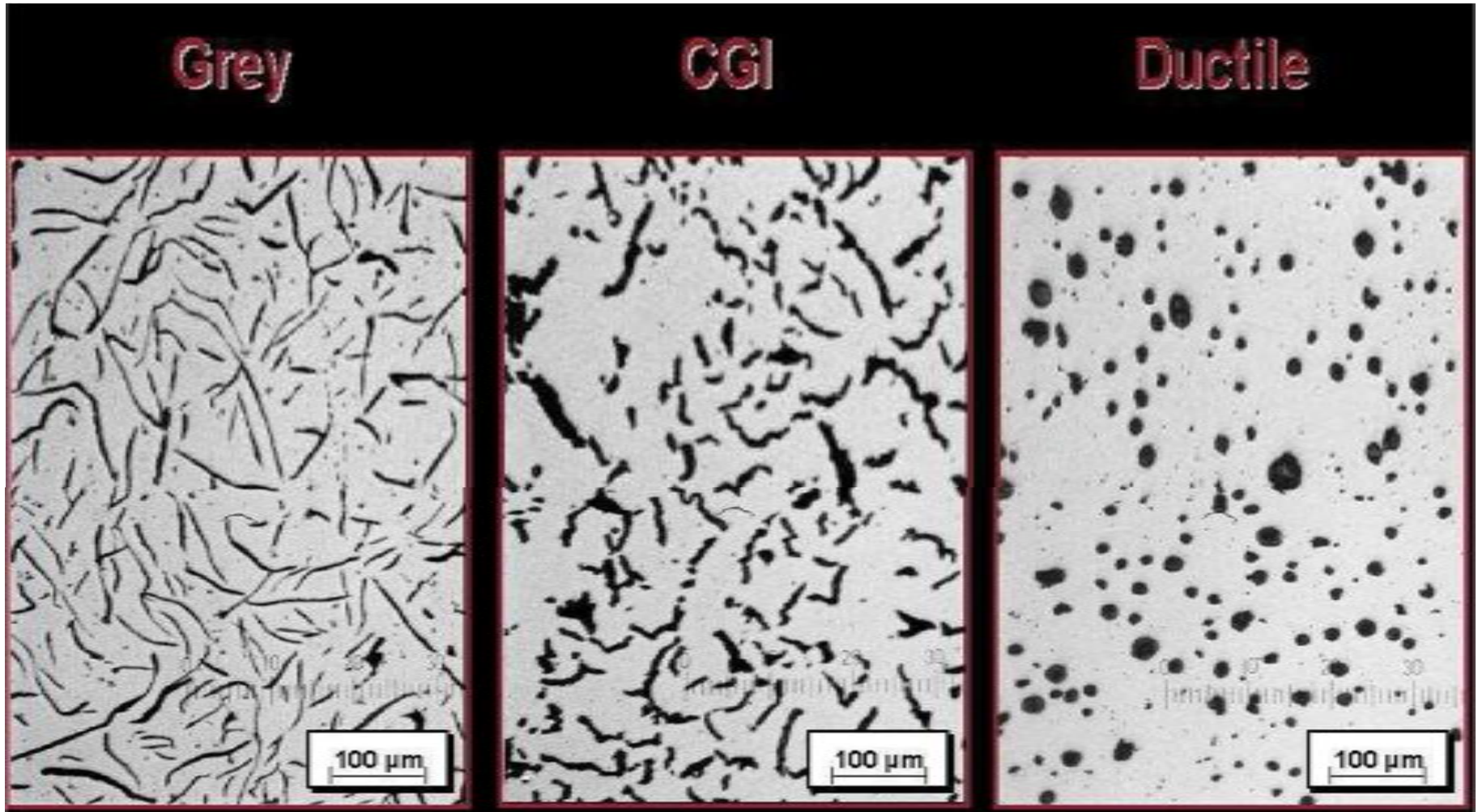


Fig. 11.11 Microestructura de una fundición maleable perlítica, que se sometió a un revenido con objeto de lograr una matriz globular. Ataque nital,  $\times 500$ . (*Malleable Founders Society.*)

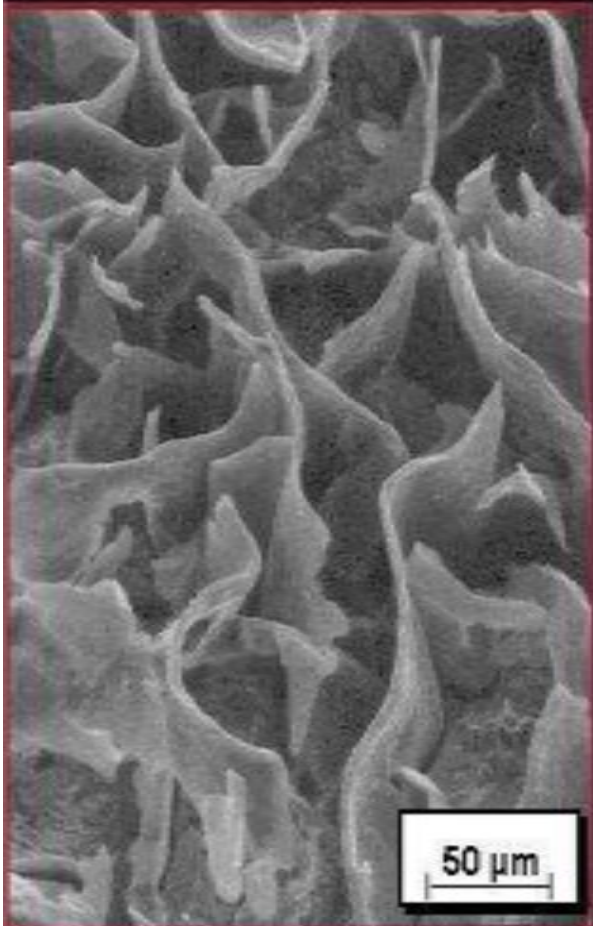


# Principales Hierros Comerciales

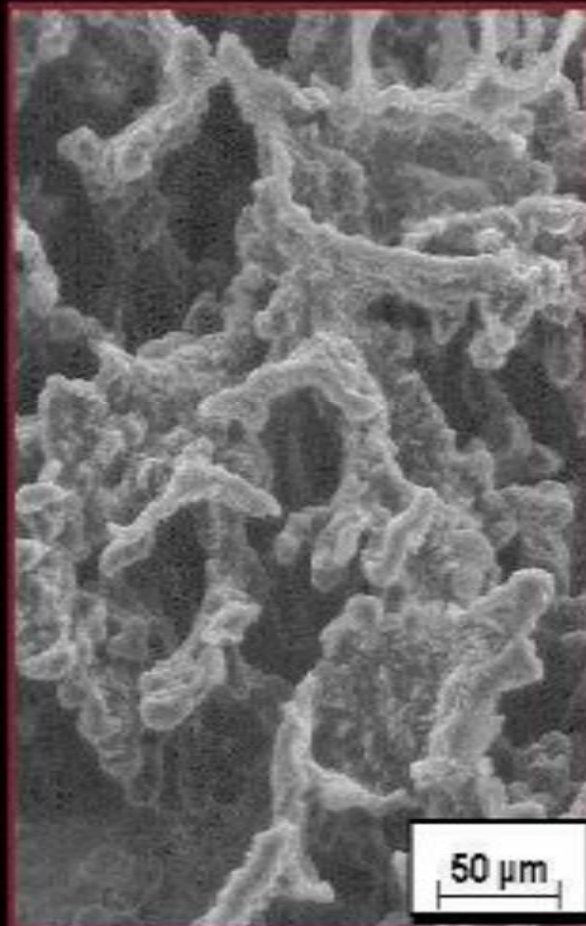


Hierros Gris, Vermicular y Nodular

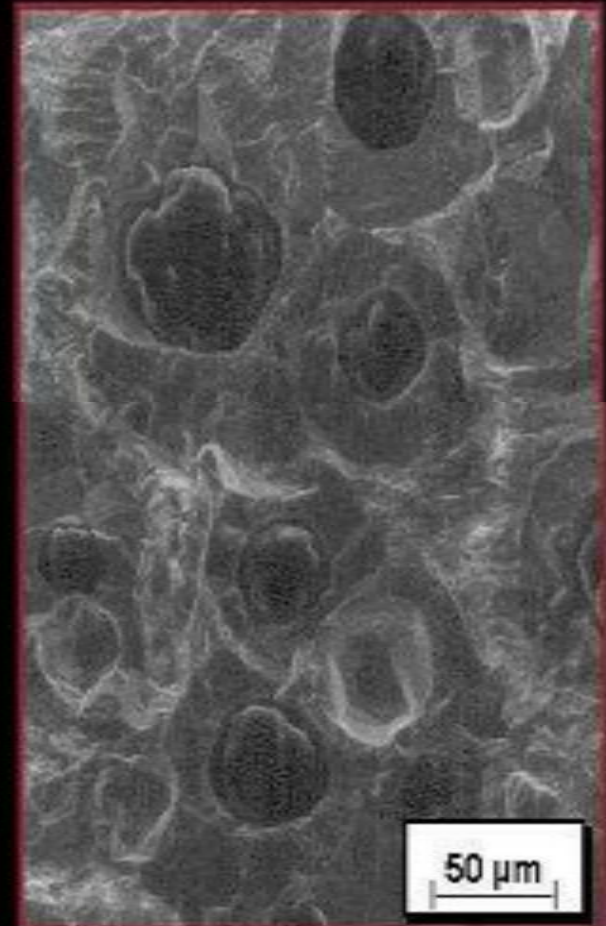
Grey



CGI



Ductile



**Hierros Gris, Vermicular y Nodular**

# Fundición gris

- Componentes químicos:

-C	2.50-4.00%
-Si	0.90-1.40%
-Mn	0.25-0.55%
-P	<0.18%
-S	0.06-0.12%

- El Si es un elemento grafitizante:



el Si desplaza hacia la derecha 0.30% de C por cada 1% de Si.

- El azufre forma FeS, que se reduce por la presencia de Mn





# Forma laminar del grafito en la fundición gris



(Según «Metals Handbook», vol. 7, 8.ª ed., American Society for Metals, 1972, p. 83.)

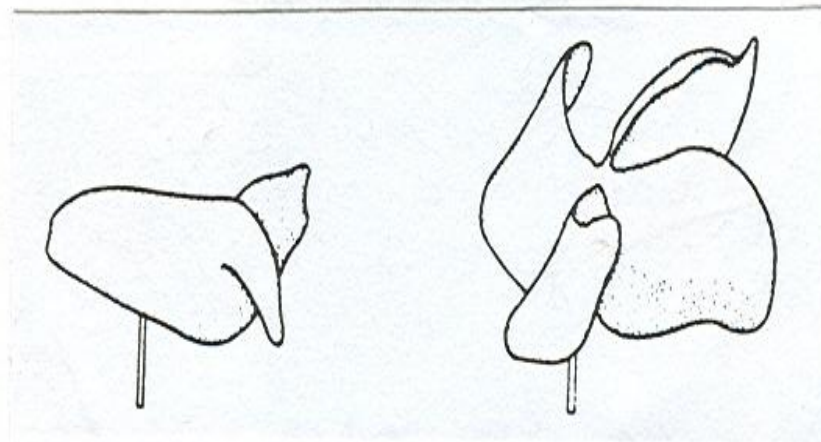
**FIGURA 12.10.** Fundición gris de la clase 30. La estructura consta de hojuelas de grafito en una matriz de perlita (alternando láminas de ferrita, claras después del ataque químico, y cementita, más oscura).

- El tamaño de las láminas de grafito se regulan al agregar *inoculantes*, **estos son:** calcio, aluminio, titanio y el circonio, el carburo de silicio y el siliciuro cálsico.

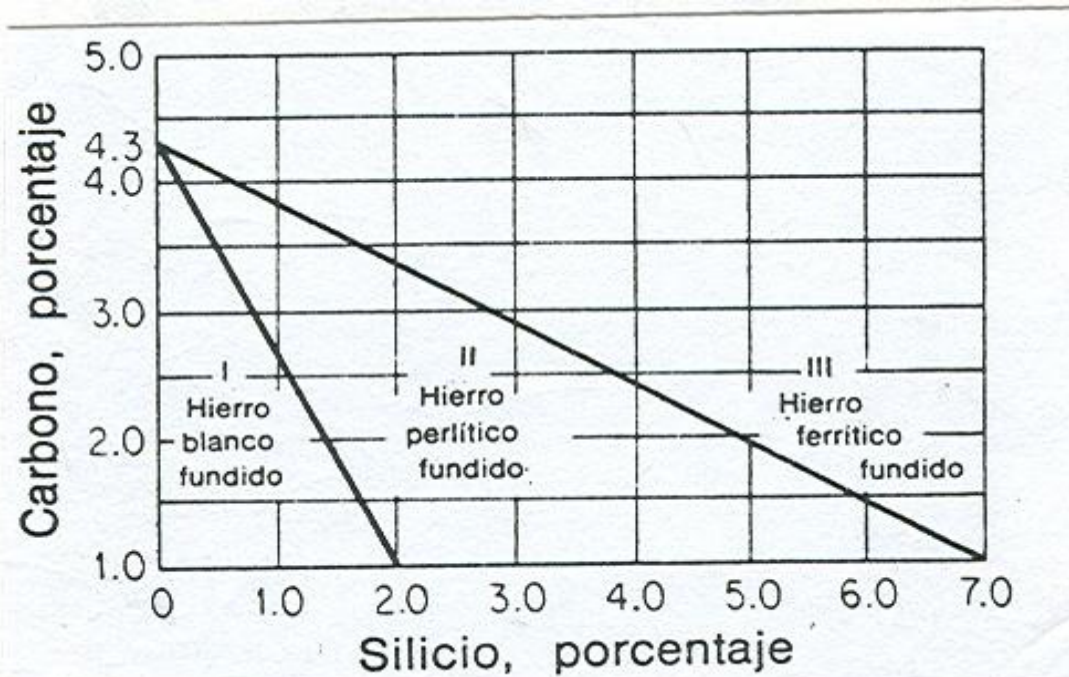


**Fig. 11.12 Láminas de grafito en una fundición gris. Sin atacar,  $\times 100$ .**



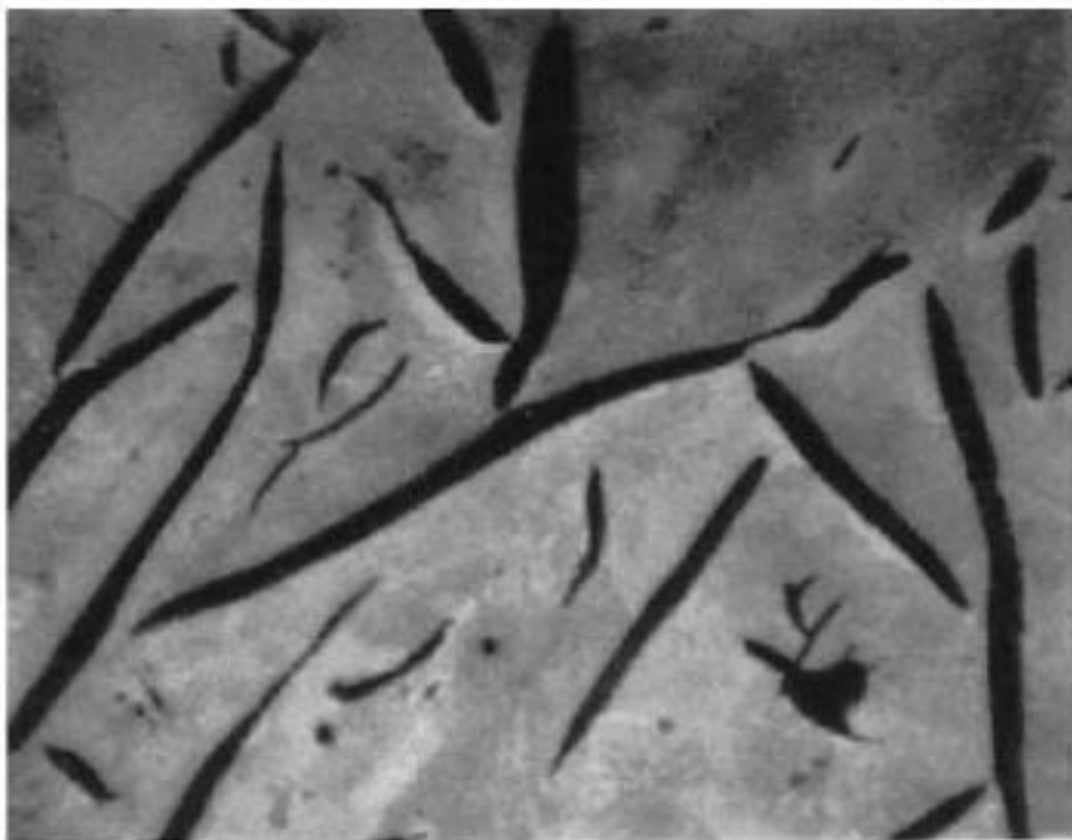
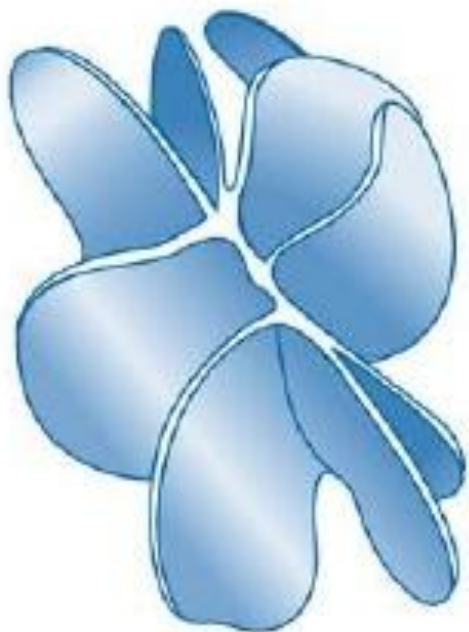


5 Modelos especiales de hojuelas de grafito. (tomada de MacKenzie.)



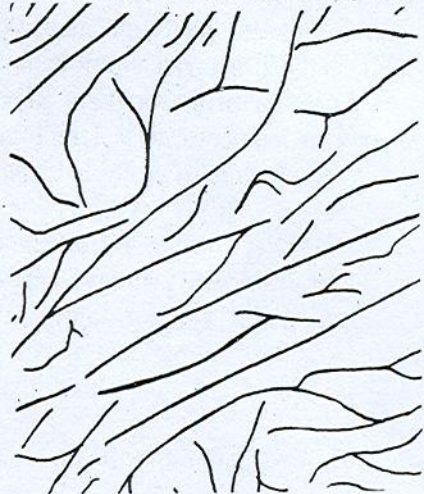


## Hojuelas de grafito en fundición de hierro gris

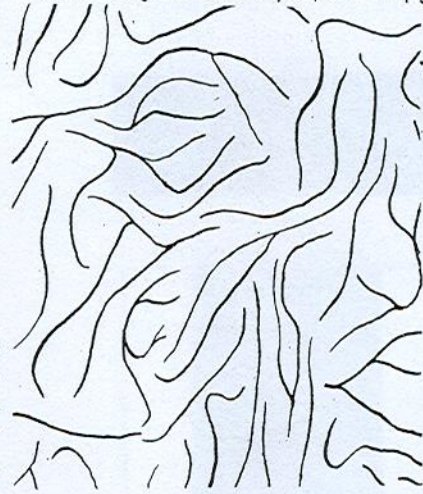




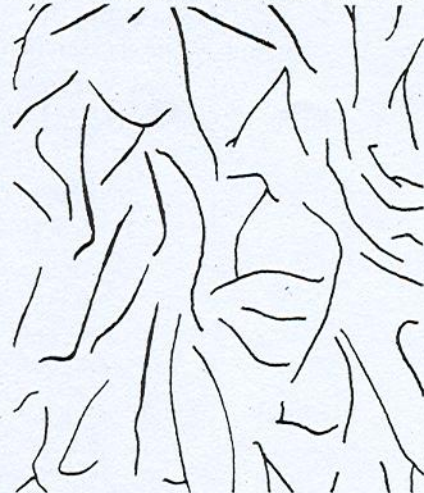
Tamaño 1 Long. de láminas mayores, de 4 plg o mas



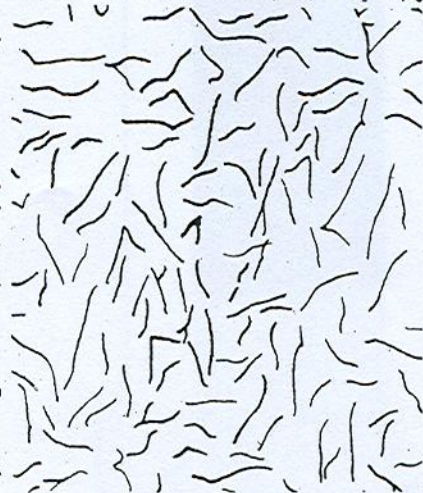
Tamaño 2 Long. de laminas mayores, de 2 a 4 plg



Tamaño 3 Long. de láminas mayores, de 1 a 2 plg



Tamaño 4 Long. de láminas mayores, de 1/2 a 1 plg



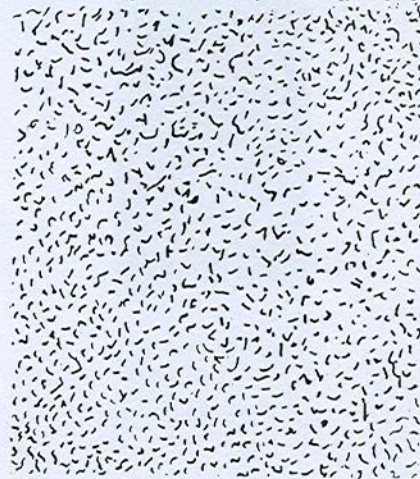
Tamaño 5 Long. de láminas mayores, de 1/4 a 1/2 plg



Tamaño 6 Long. de láminas mayores, de 1/8 a 1/4 plg



Tamaño 7 Long. de láminas mayores, de 1/16 a 1/8 plg



Tamaño 8 Long. de láminas mayores, de 1/16 o menos

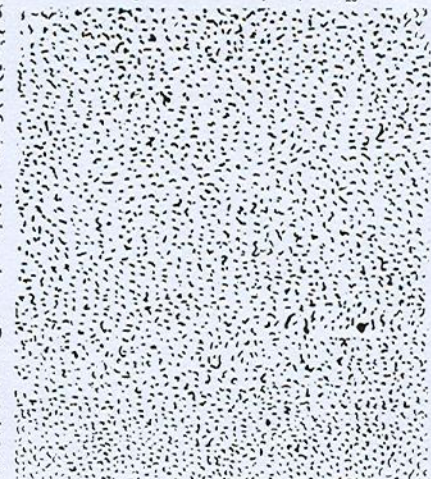


Fig. 11.15 Tamaño de las láminas de grafito normalizado por la ASTM y la AFS conjuntamente.

Fig. 11.15 (Continuación.)

# Fundición Dúctil (nodular)

- Componentes químicos:

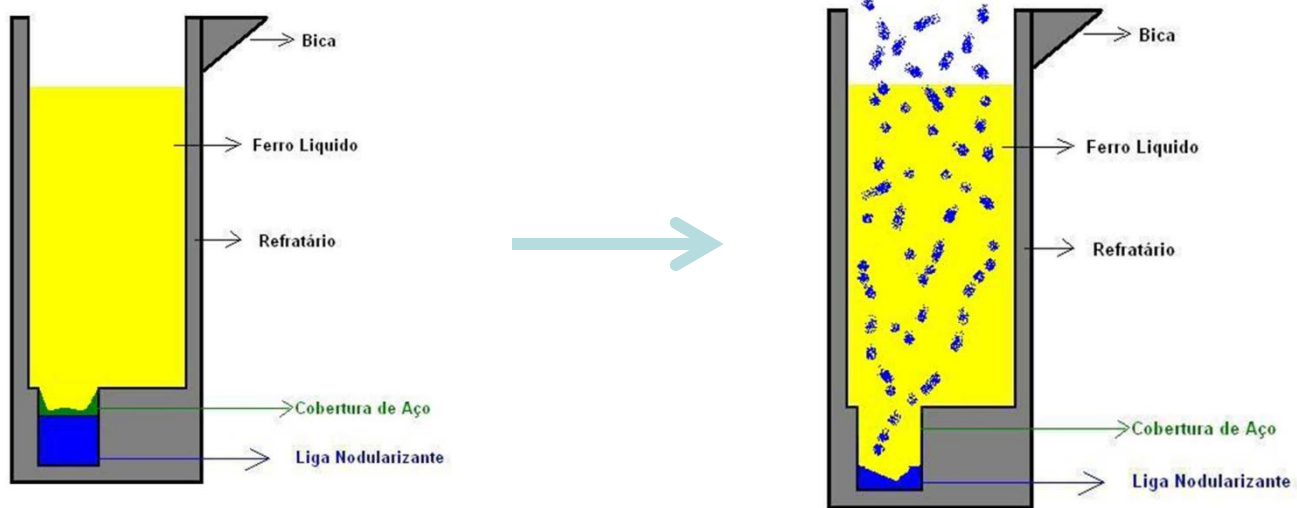
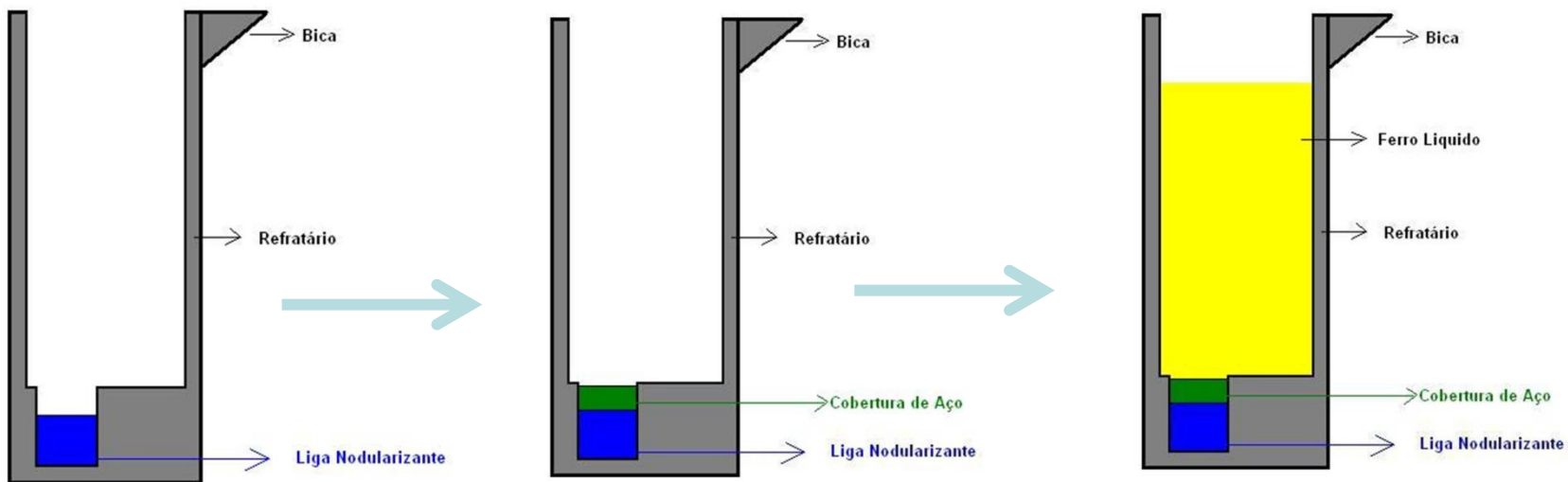
-C	2.50-4.00%
-Si	0.90-1.40%
-Mn	0.25-0.55%
-P	<0.18%
-S	<0.015%

- Para obtener la fundición nodular es necesario mantener el S <0.015, esto se logra al agregar CaO  
$$\text{FeS} + \text{CaO} \longrightarrow \text{Fe} + \text{CaS} + \text{SO}_2$$
  
Los nodulos de grafito se obtiene al agregar Mg y Ce al metal en estado líquido



# Como Obtener Hierro Dúctil

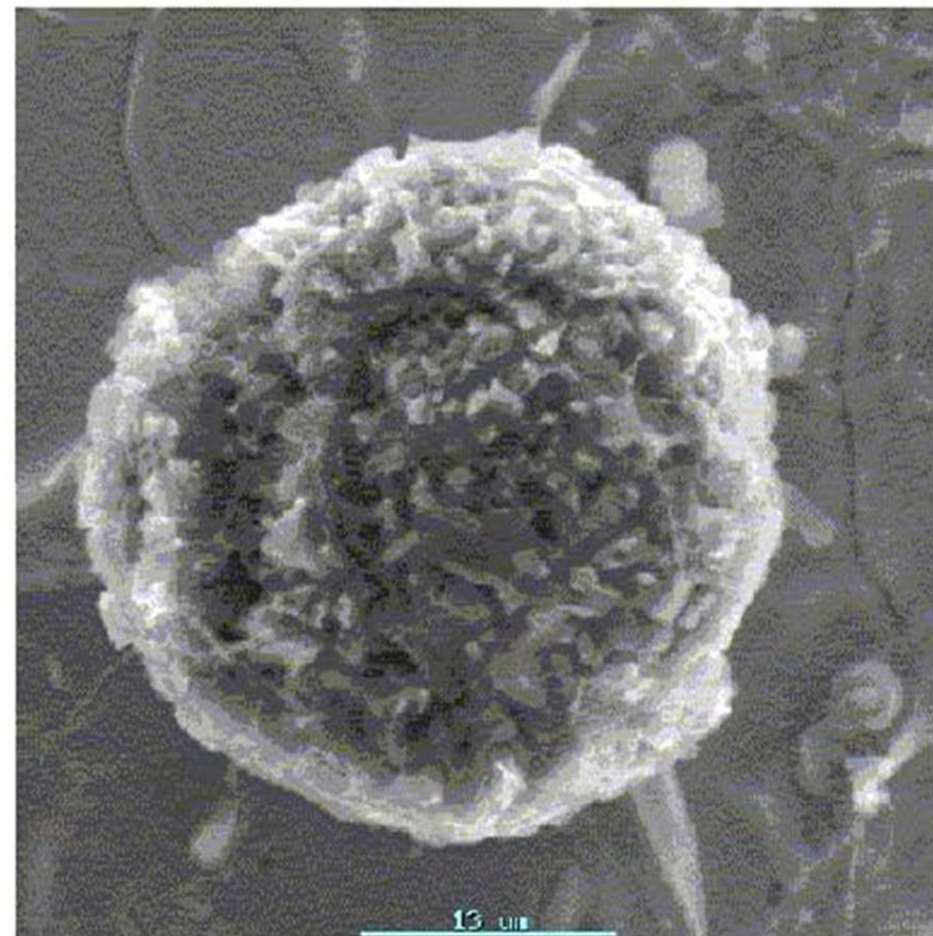
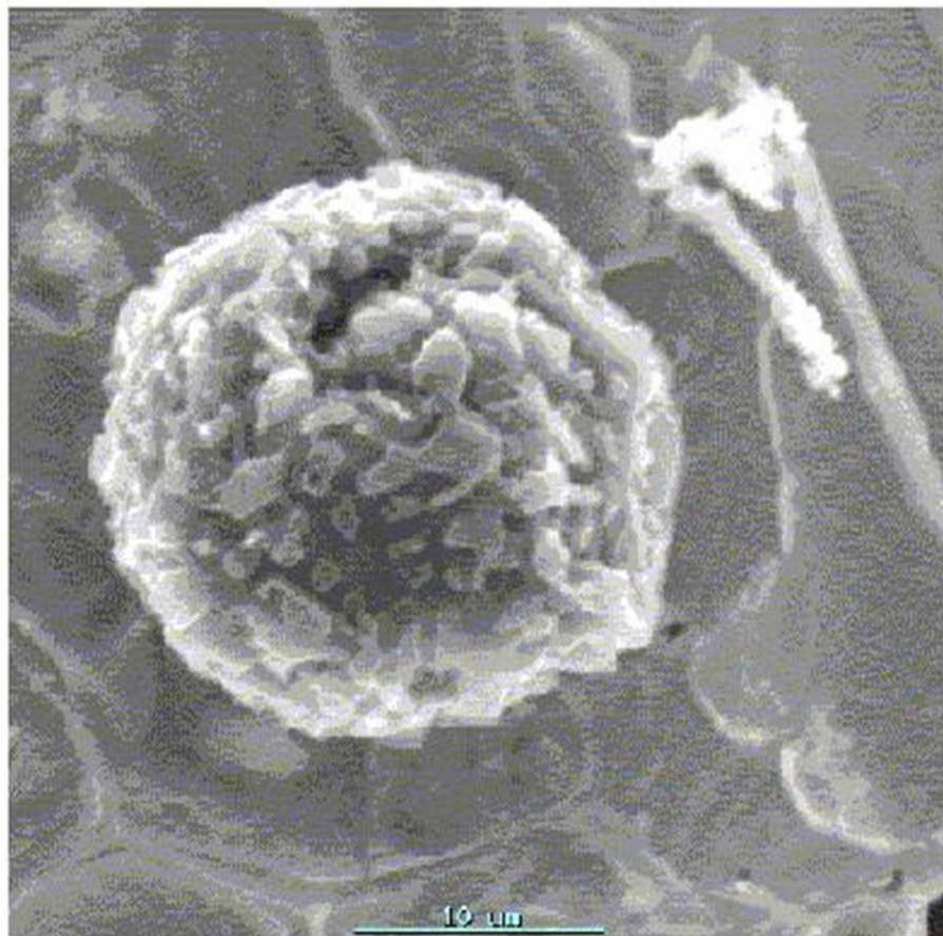
- El grafito esferoidal es obtenida mediante la adición de elementos nodulizantes, que evitan que el S y el O cambien la forma de crecimiento del grafito.
- Los nodulizantes más comunes son, Mg, Ce, Ca y tierras raras. Lo más utilizado es lo Mg, a través de una aleación del **FeSiMg**





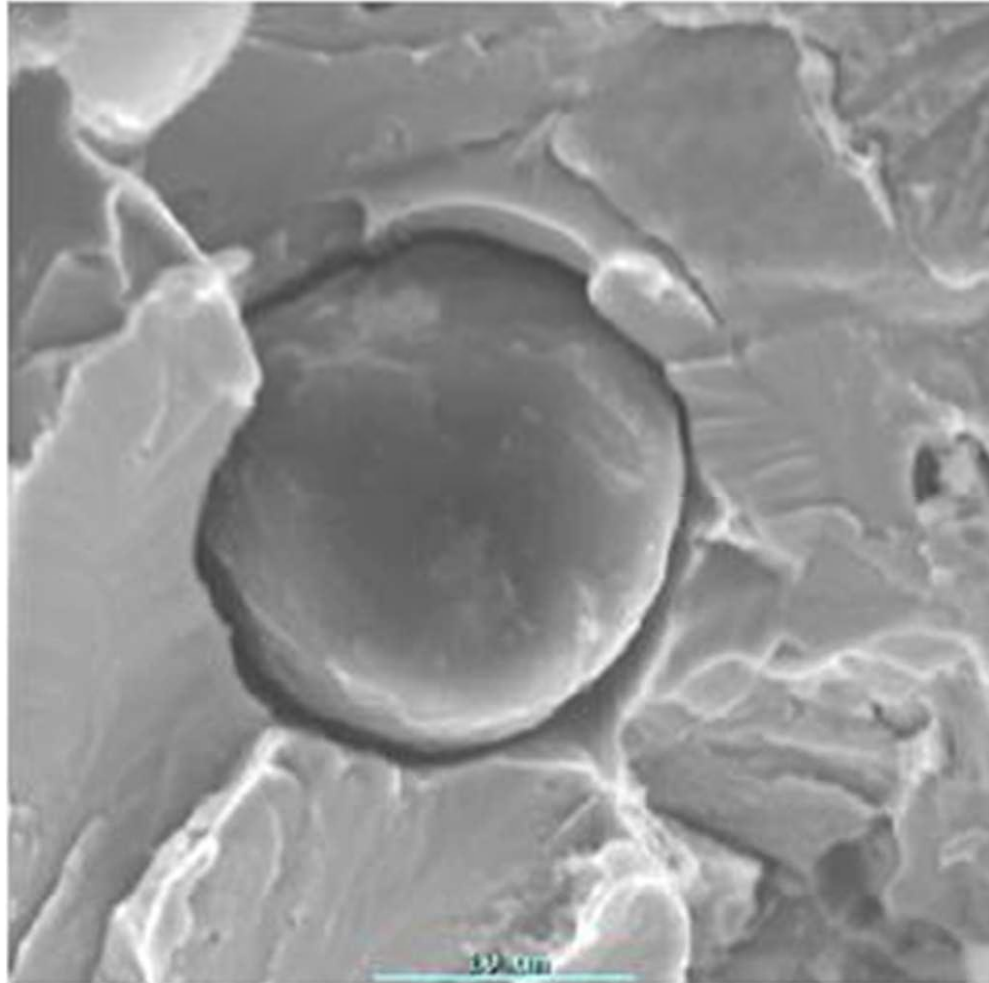
# Hierro Nodular

- Son hierros en que la mayor parte del carbono de su microestructura esta en forma de grafito esferoidal, obteniéndose en estado natural de fundición.



# Hierros Nodulares

**Grafita Nodular sem depósitos de Carbono sobre a grafito (Grafito Lisa)**

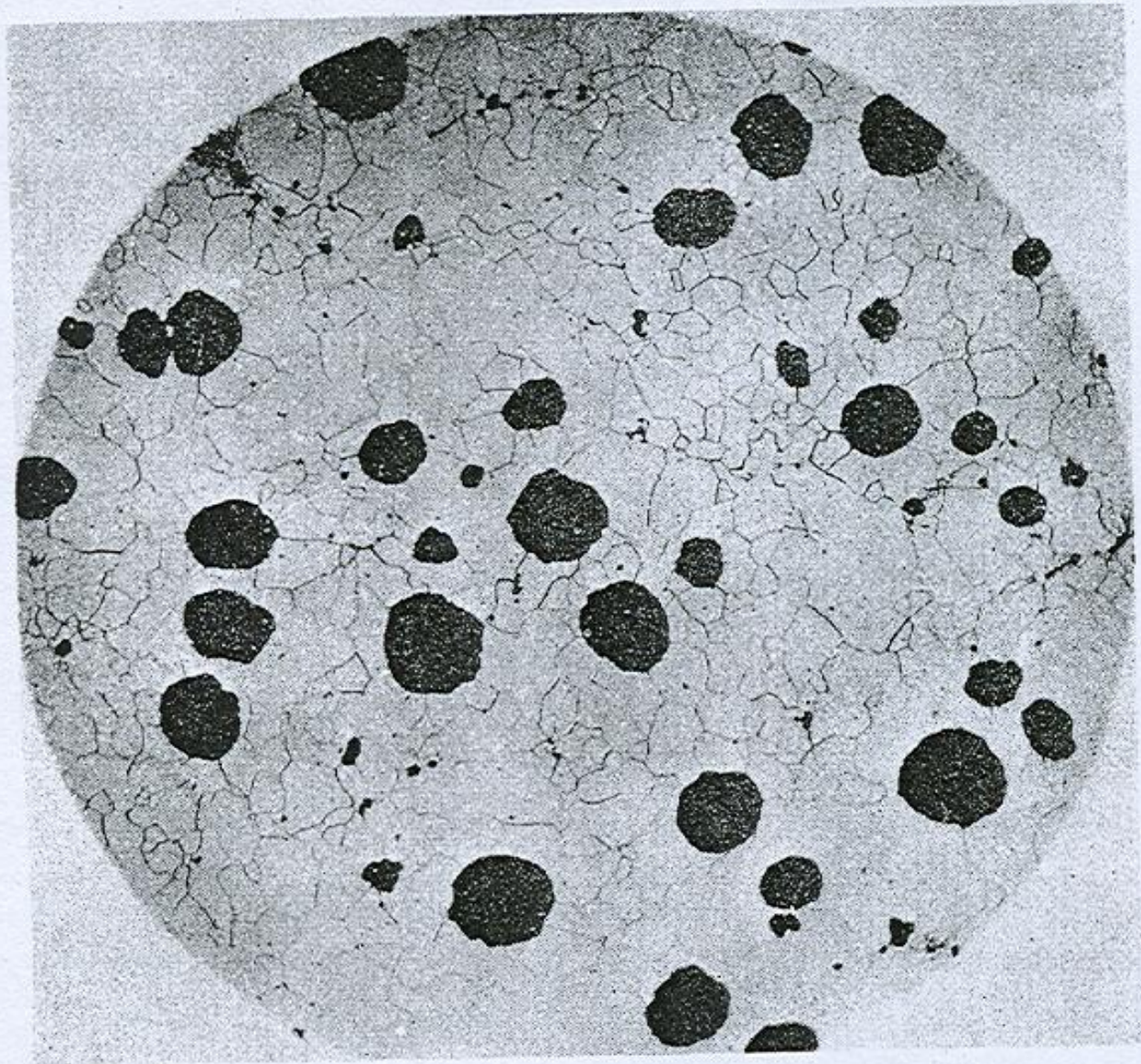






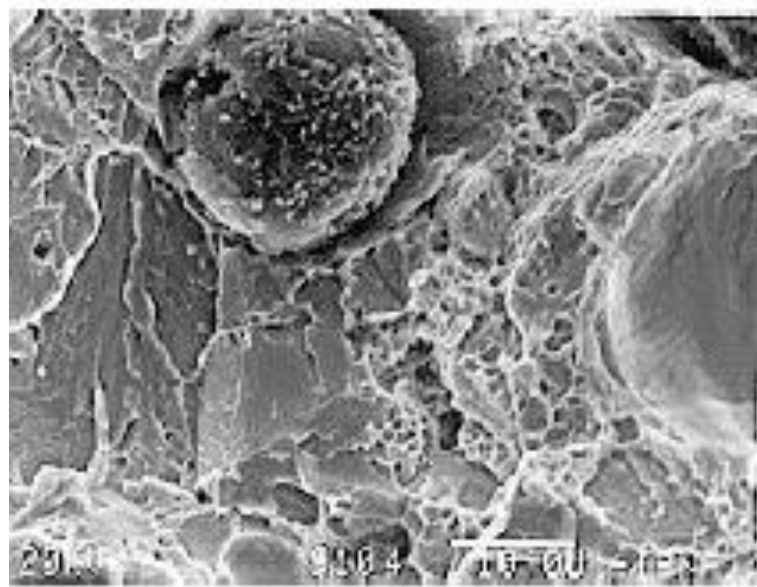
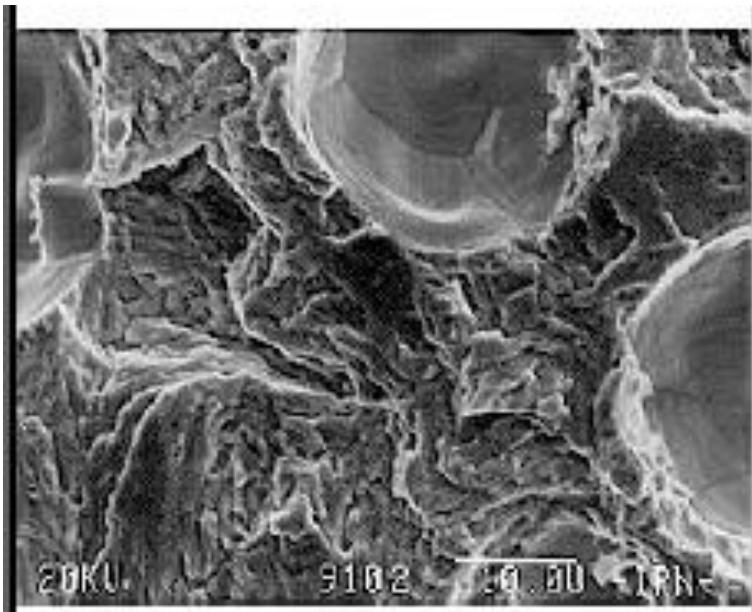
**Fig. 11.20** Fundición nodular perlítica. Atacada con nital al 2 %  $\times 500$ .  
(*The International Nickel Company.*)





**Fig. 11.19** Fundición nodular ferrítica. Atacada con nital al 2 %  $\times$  125.  
(*The International Nickel Company.*)

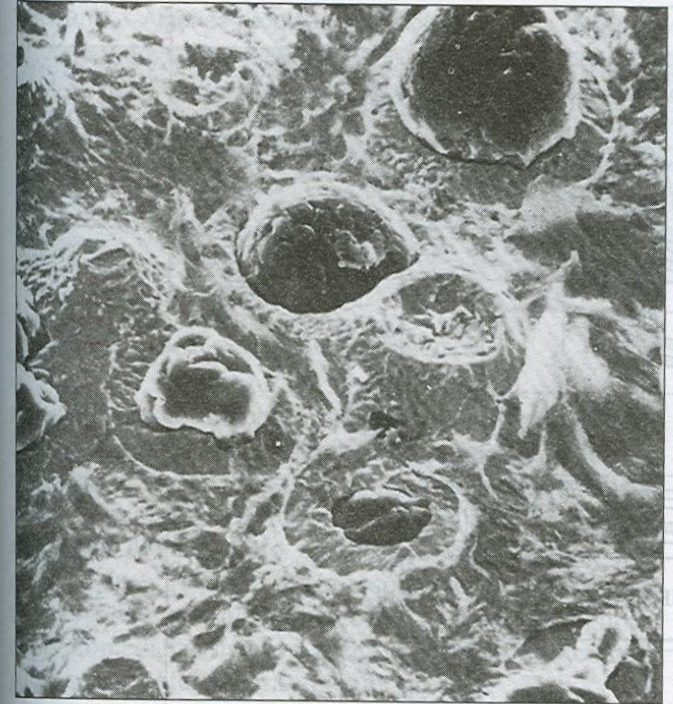






(Según «Metals Handbook», vol. 7, 8.ª ed., American Society for Metals, 1972, p. 88.)

**Nodulos de grafito  
Fundición maleable**



(Según «Metals Handbook», vol. 7, 8.ª ed., American Society for Metals, 1972, p. 88.)

**Nodulos de grafito  
Fundición dúctil**



(Según «Metals Handbook», vol. 7, 8.ª ed., American Society for Metals, 1972, p. 82.)

**Hojuelas de grafito  
Fundición gris**

# **Fundición Vermicular**

(Fundición de Grafito Compacto - CGI)



# Orígenes

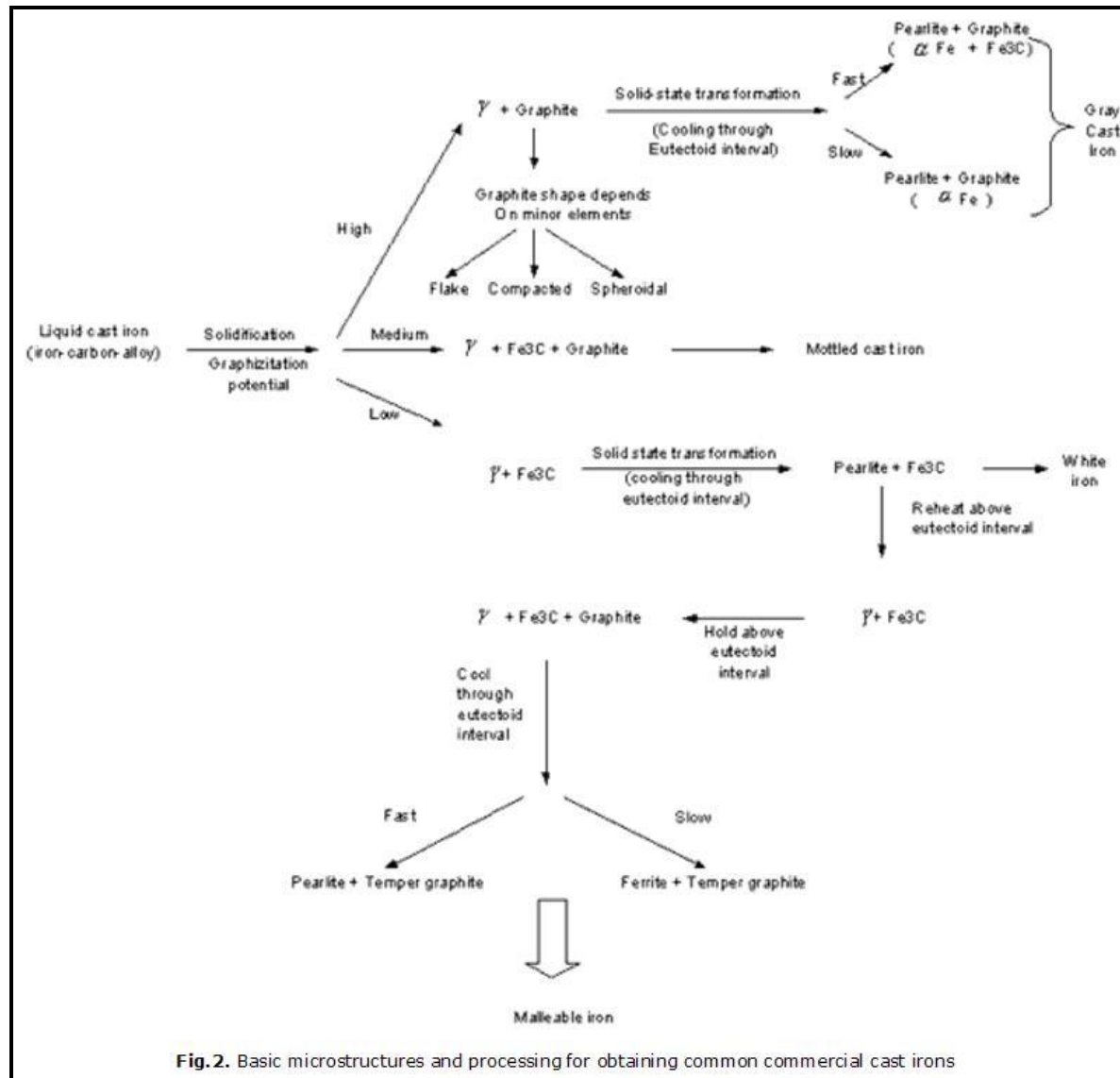
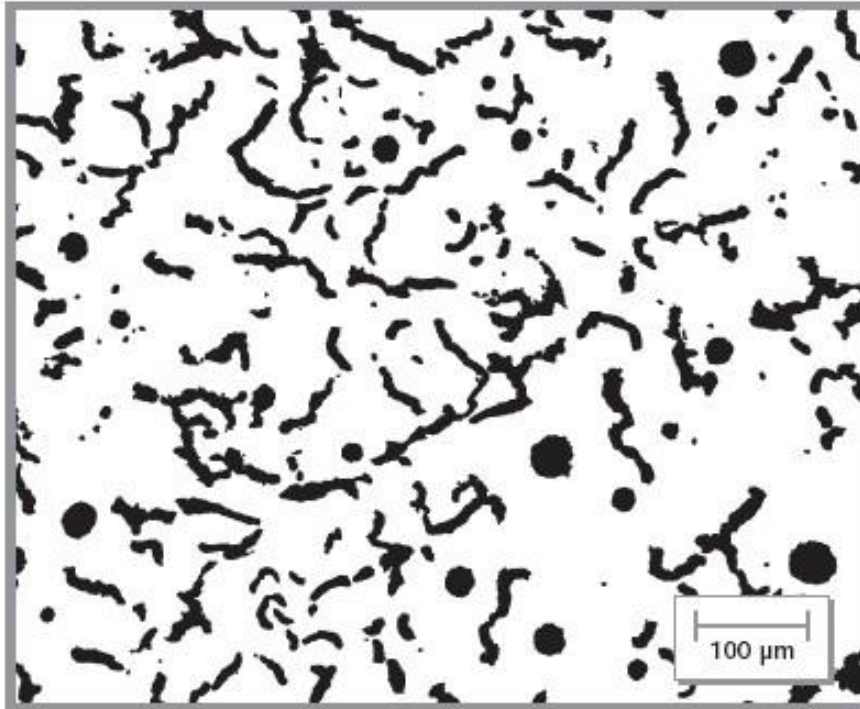


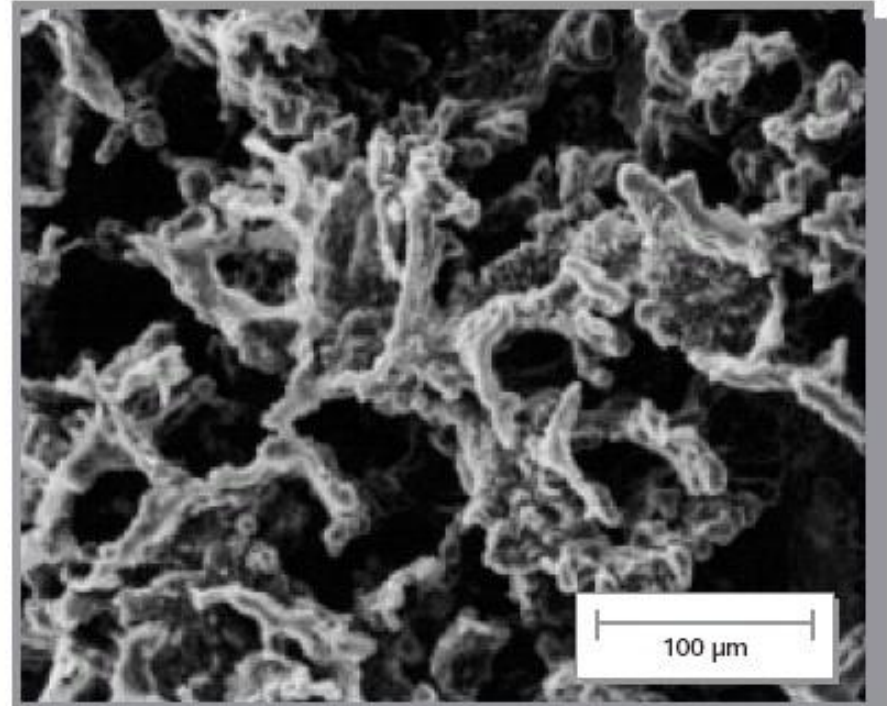
Fig.2. Basic microstructures and processing for obtaining common commercial cast irons



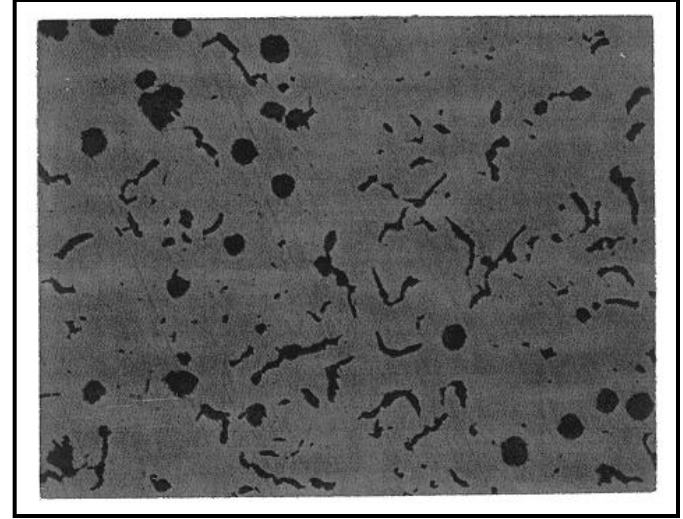
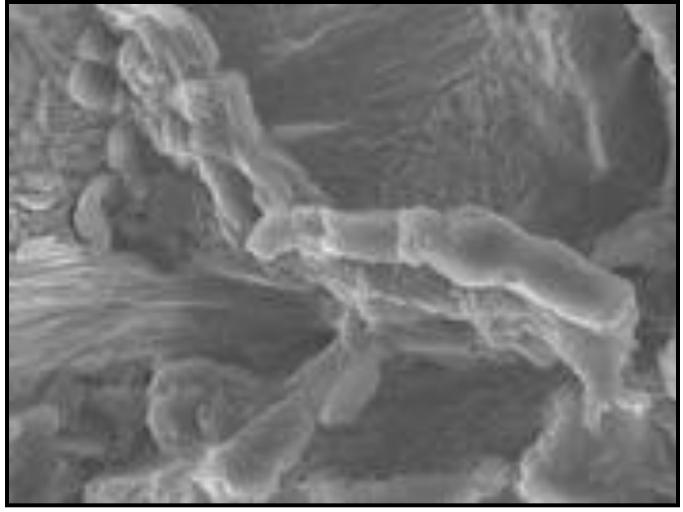
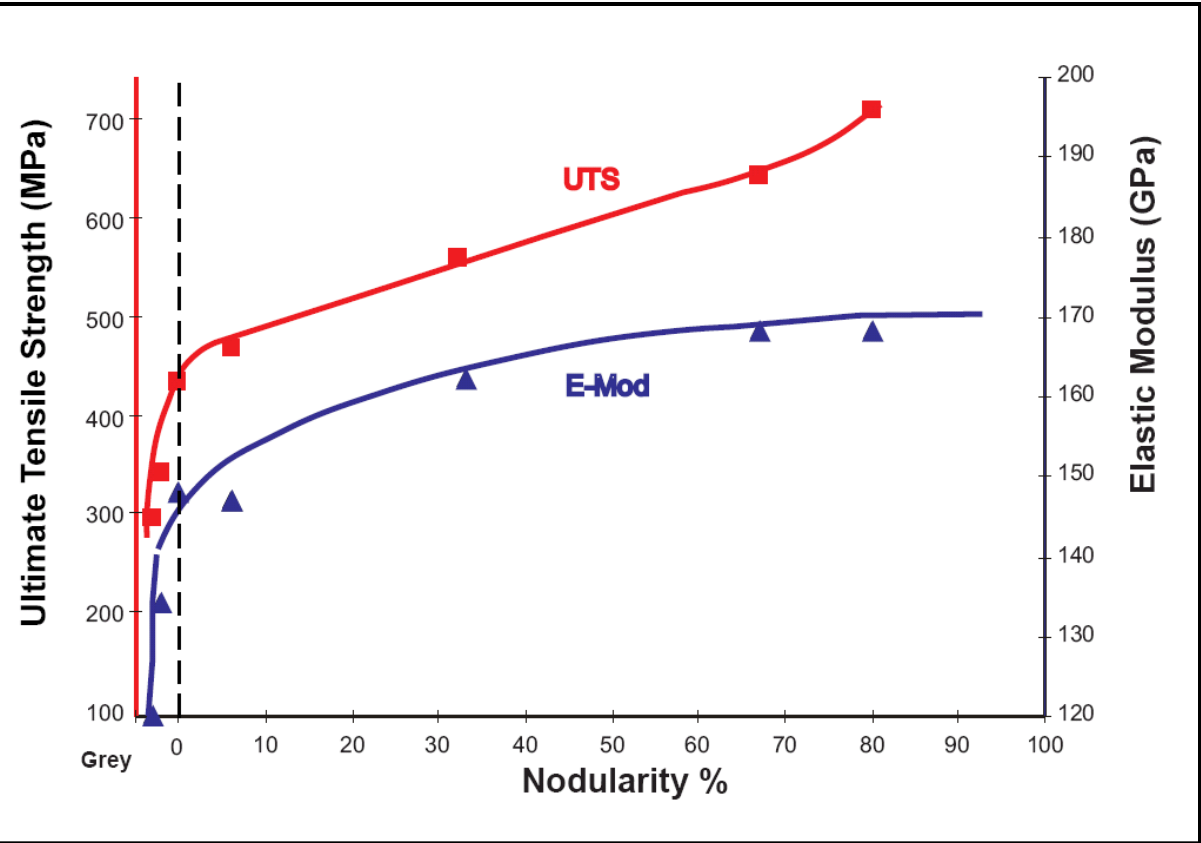
# Características Principales



*CGI microstructure containing 10% nodularity*



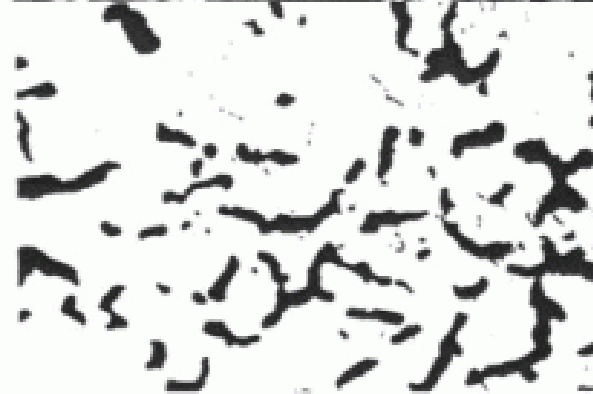
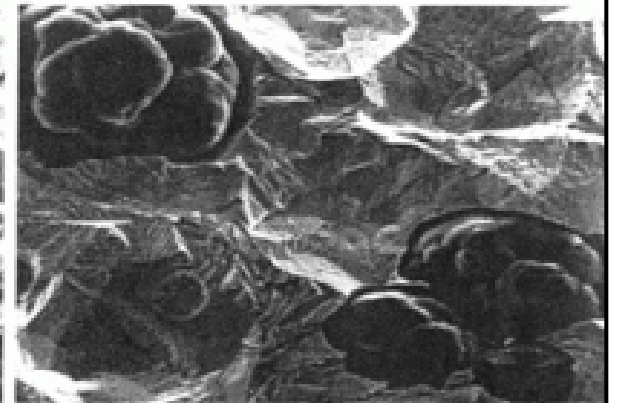
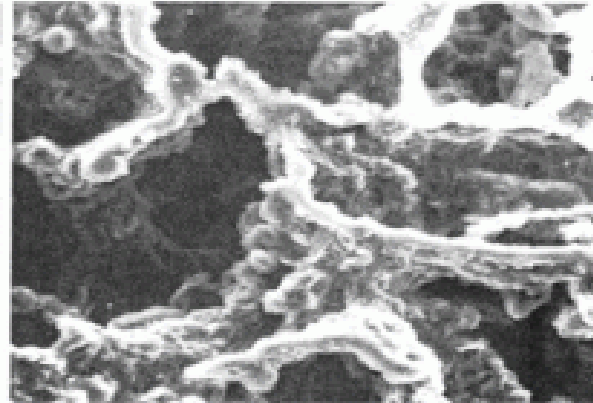
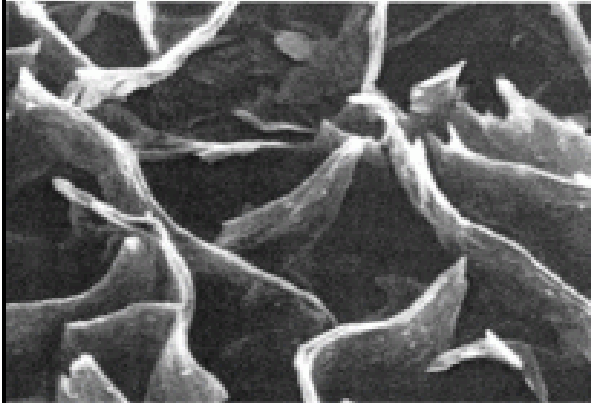
*Deep-etched SEM micrographs show the complex coral-like graphite in three-dimensions*



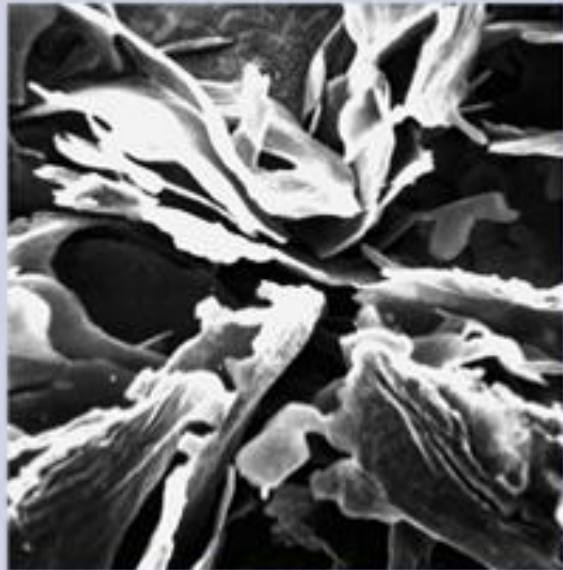
Grey Iron

Compacted Graphite Iron

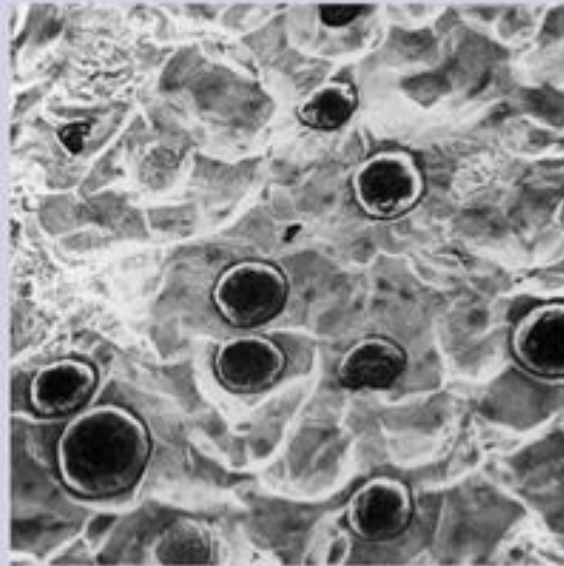
Ductile iron



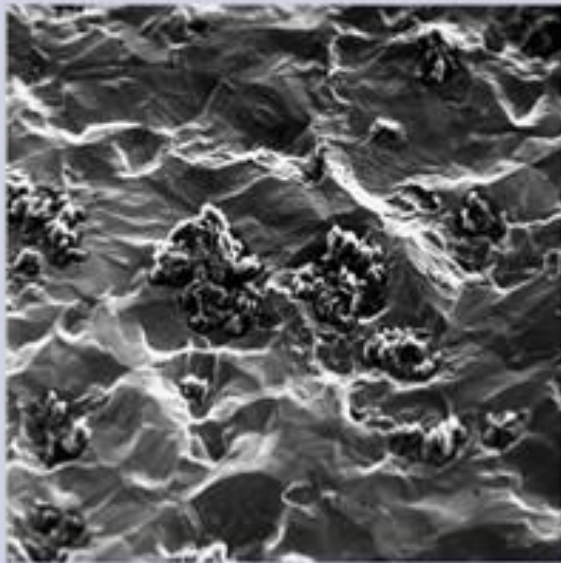




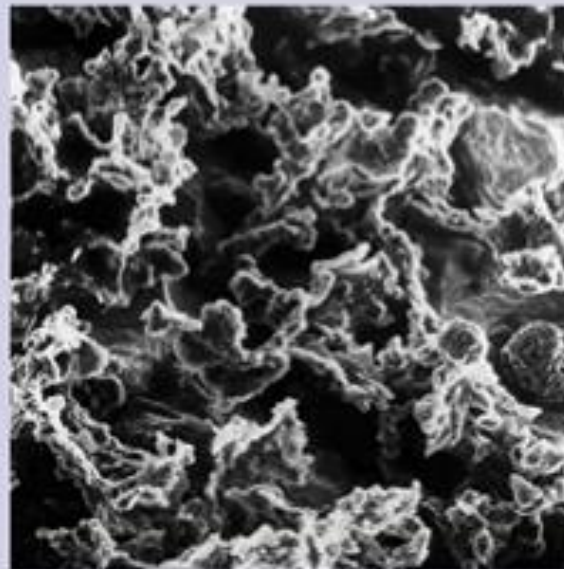
**GRAY IRON**



**DUCTILE IRON**



**MALLEABLE IRON**



**COMPACTED GRAPHITE IRON**

## 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

### Typical Chemistry Ranges for 0-20% Nodularity CGI

Matrix Structure	Chemical Analysis (%)								
	C	Si	CE	Mn	S	Mg	CeMM	Cu	Sn
70% Pearlite	3.6-3.8	2.1-2.5	4.4-4.7	0.2-0.4	0.005-0.022	0.006-0.014	0.01-0.03	0.3-0.6	0.03-0.05
100% Pearlite	3.6-3.8	2.1-2.5	4.4-4.7	0.2-0.4	0.005-0.022	0.006-0.014	0.01-0.03	0.6-0.9	0.08-0.10

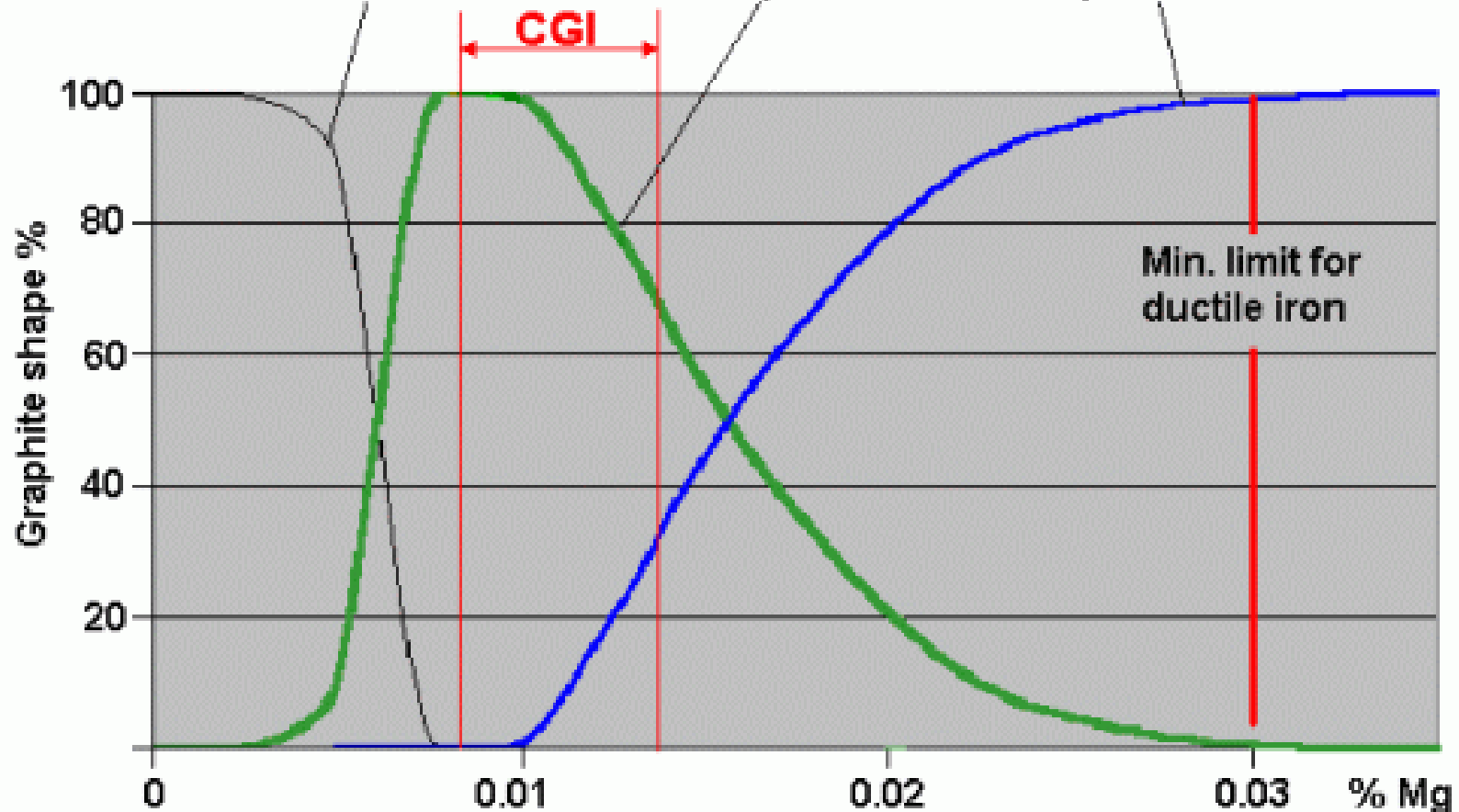
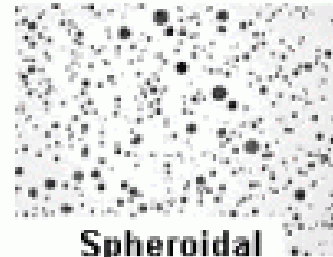
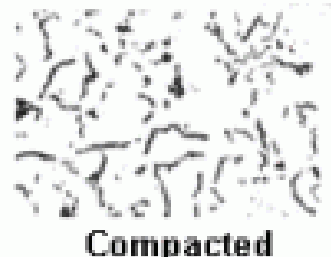
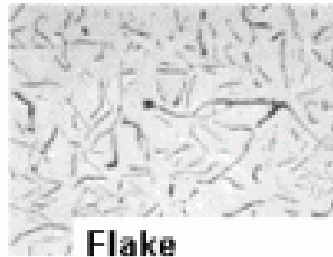
# Propiedades Físicas/Mecánicas

Propiedad	Gris	CGI	Nodular
Límite a Rotura (MPa)	250	450	750
Módulo Elástico (MPa)	105	145	160
Elongación (%)	0	1.5	5
Conductividad Térmica (W/mK)	48	37	28
Capacidad de Amortiguamiento Relativo	1	0.35	0.22
Dureza (HB 10/300)	179-202	217-241	217-255
Límite a fatiga rotatoria (MPa)	110	200	250



# Límites de nodularidad

Graphite shape as a function of Mg for a modulus of 1 cm



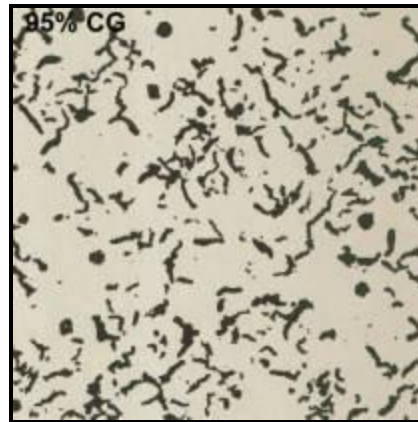
## Properties of Pearlitic CGI as a Function of Nodularity

Property (25°C)	% Nodularity				
	10	30	50	70	90
Tensile Strength (MPa)	450	520	590	640	700
O.2% Yield Strength (MPa)	370	390	410	440	490
Fatigue Limit (MPa)	210	220	230	240	255
Elastic Modulus (GPa)	145	150	155	155	160
Elongation (%)	1-2	1-3	2-4	2-5	3-6
Thermal Expansion ( $\mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$ )	11.0	11.0	11.0	11.5	12.0
Thermal Conductivity ( $\text{W}/\text{m}^\circ\text{C}$ )	36	33	31	30	28

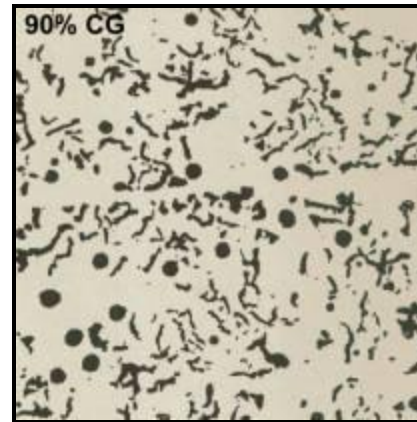
# CG=grafito compacto



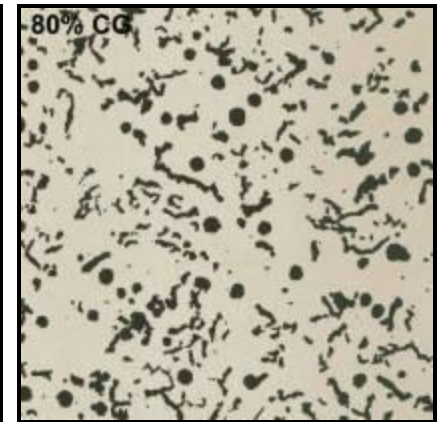
100% CG



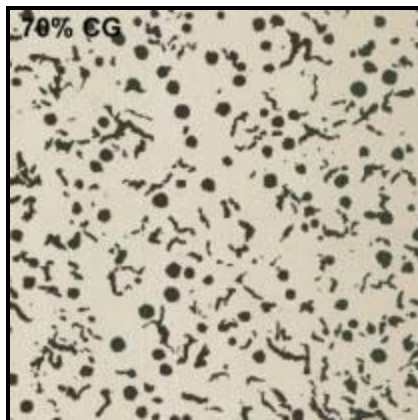
95% CG



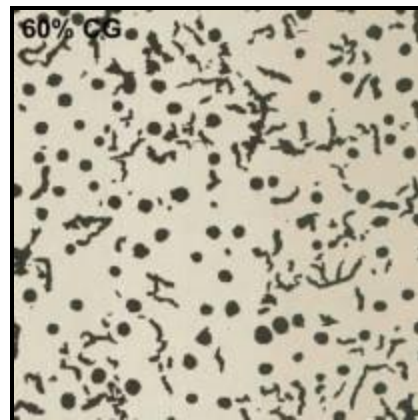
90% CG



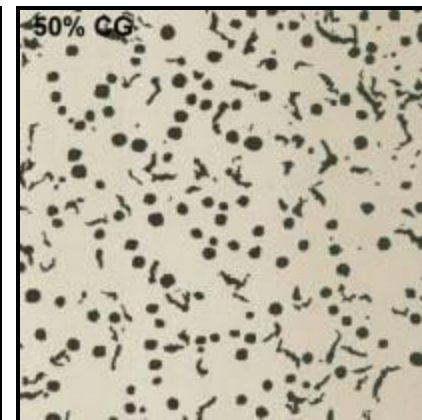
80% CG



70% CG



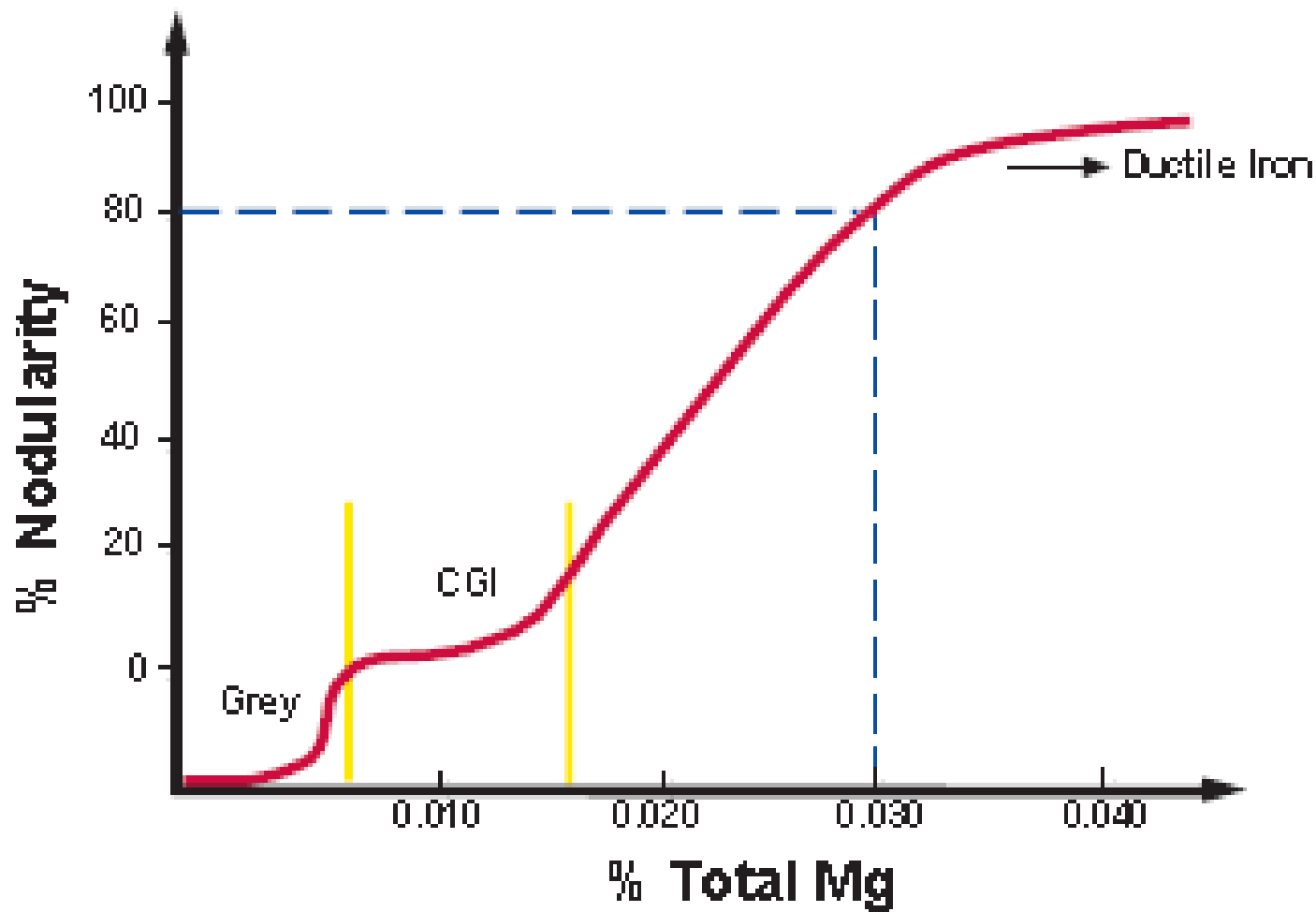
60% CG



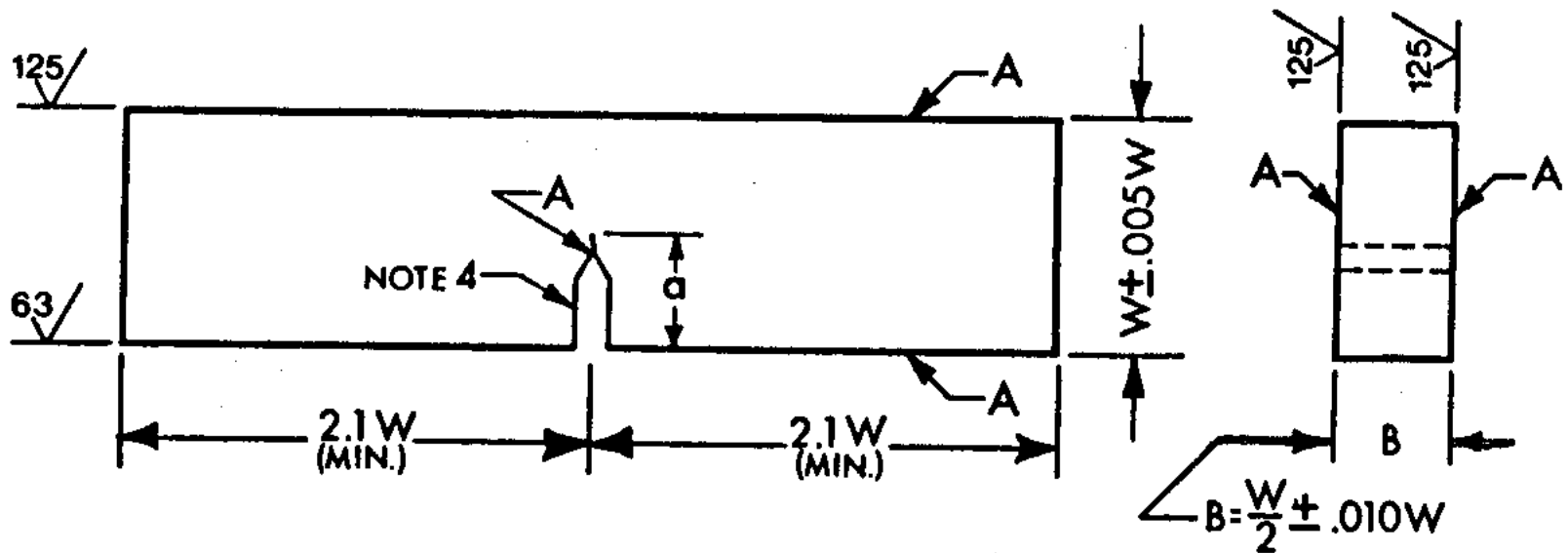
50% CG



# Estabilidad de la fundición



# Resistencia a la fractura

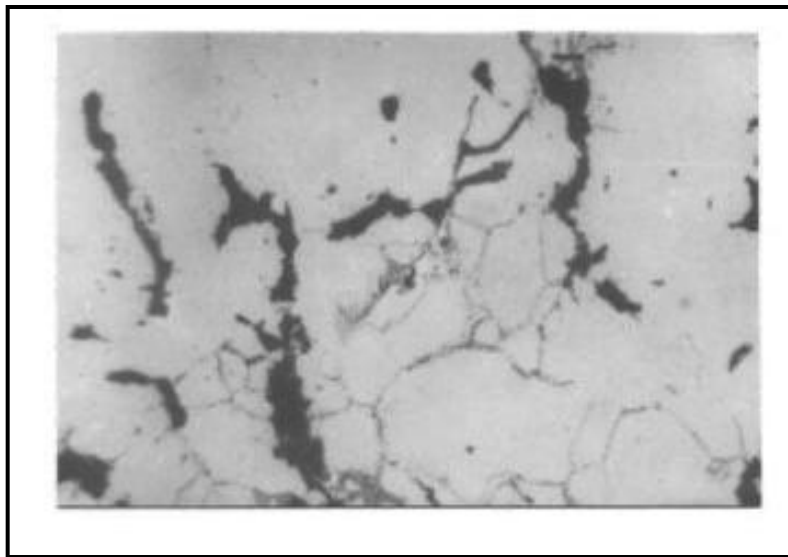


# Tratamientos térmicos

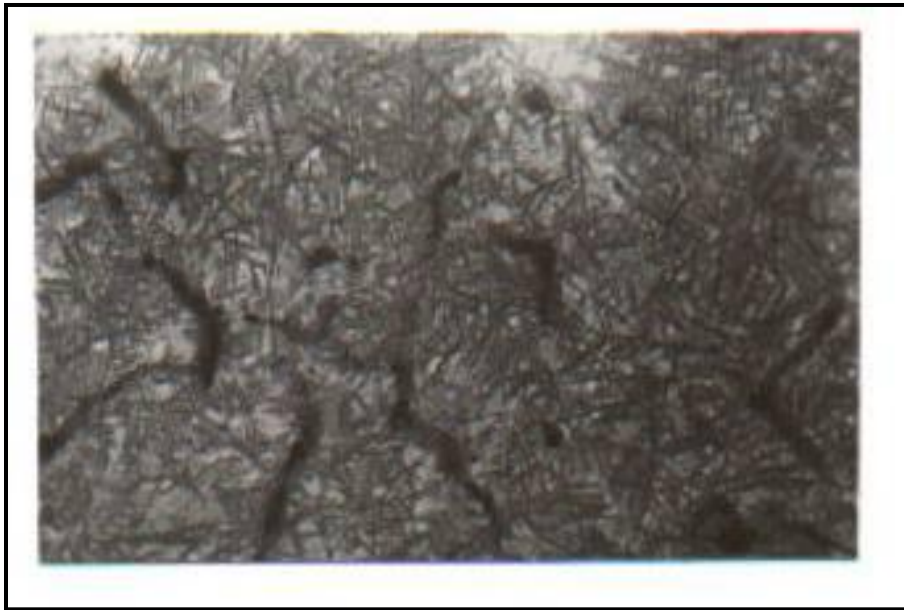
Tabla de Valores de  $\sigma_{max}$ ,  $\sigma_{0.2\%}$  y  $\delta$  (%) en función de los tratamientos térmicos

Tratamiento térmico	$\sigma_{max}$ (MPa)	$\sigma_{0.2\%}$ (MPa)	$\delta$ (%)
Feritizado	396	288	11.8
Austemperizado 310°C	856	635	0.8
Austemperizado 365°C	715	576	2.9

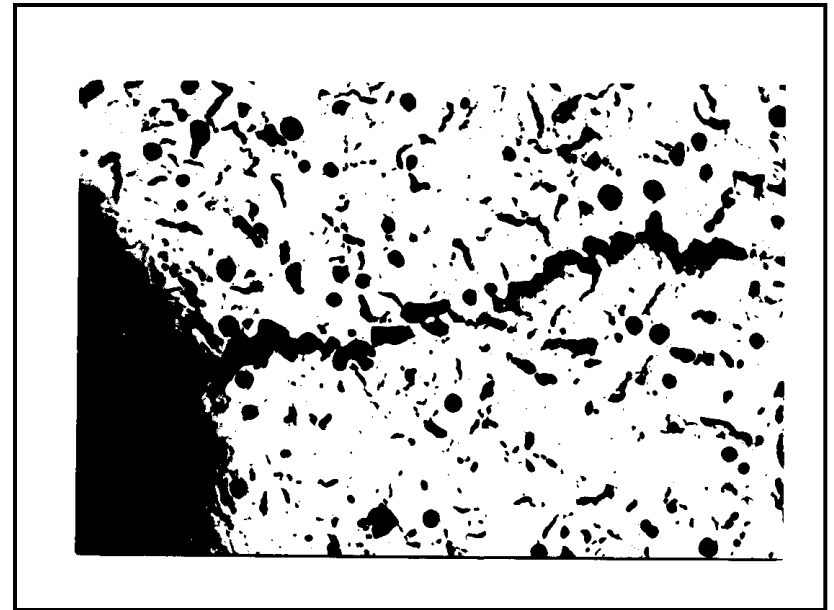




**Formación  
de  
microgrietas  
en los  
extremos de  
las  
partículas de  
grafito**



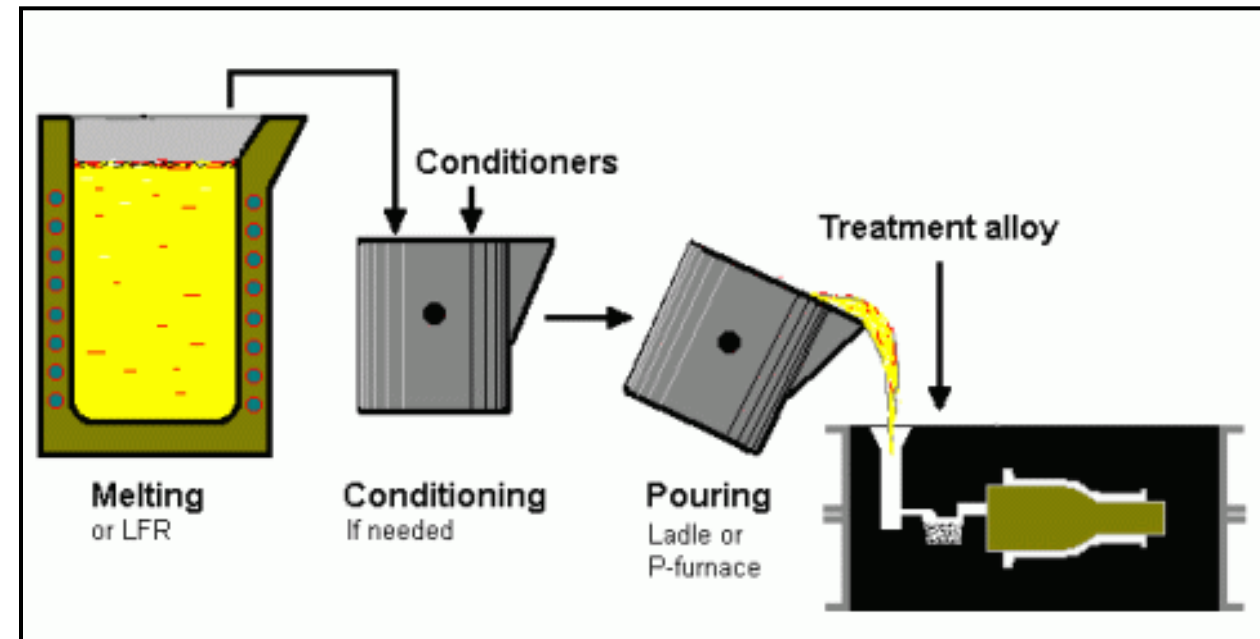
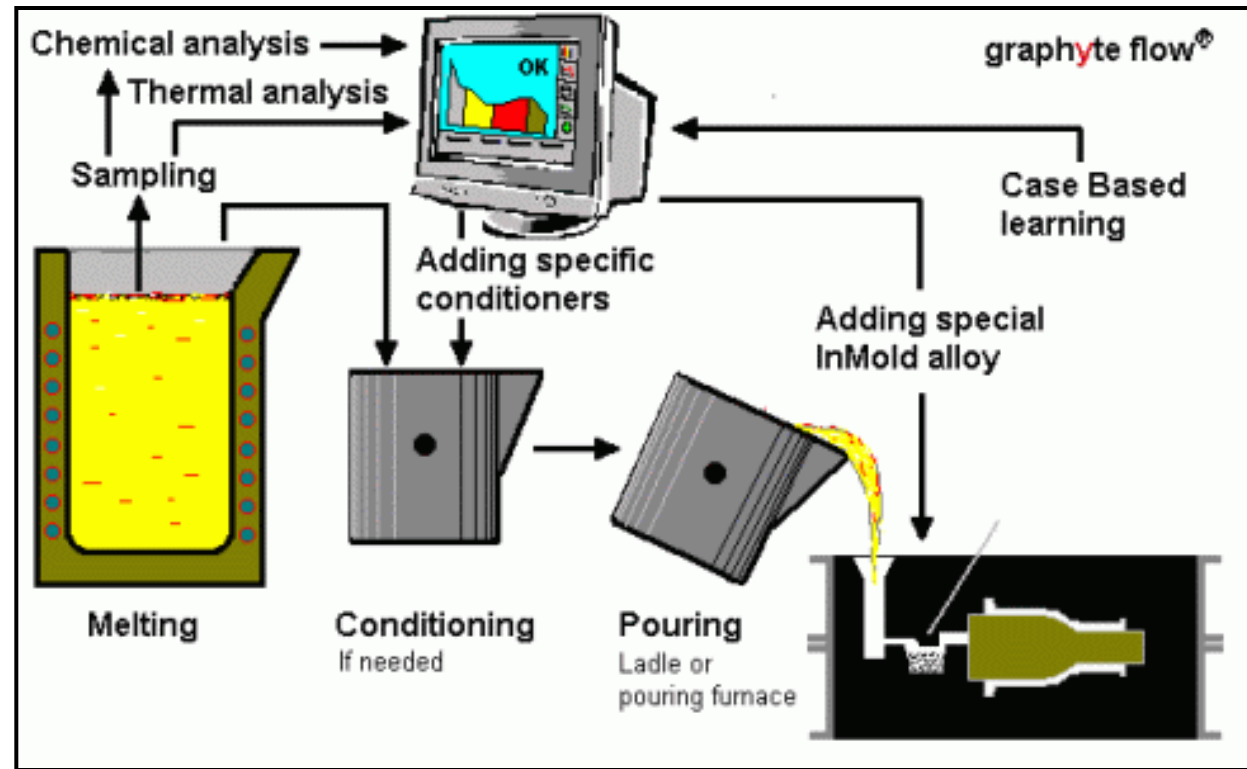
**Estructura de austemperizado  
conformada por ferrita  
acicular y austenita retenida.**



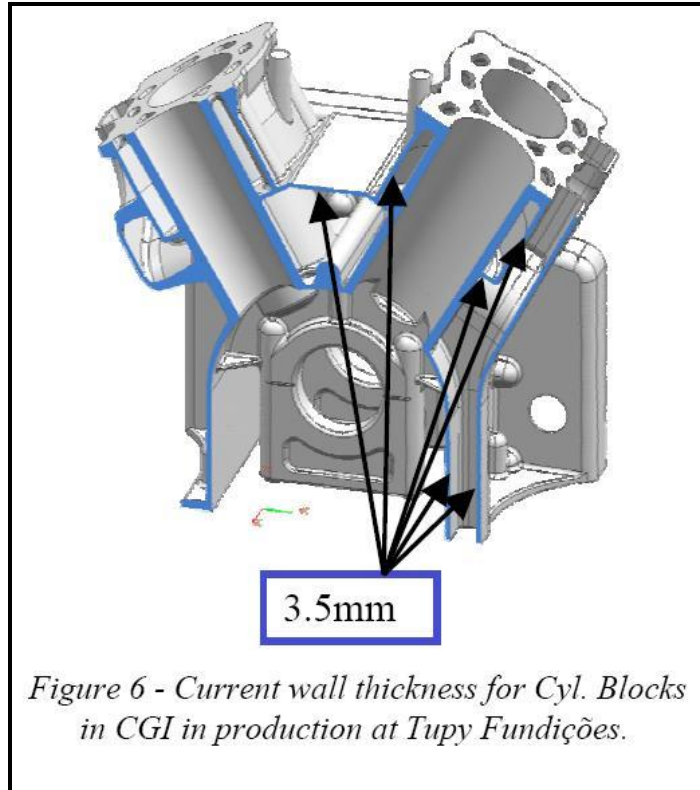
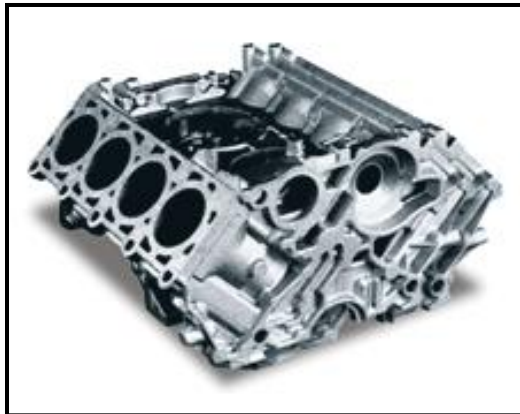
**Progreso de la fisura  
en la interfaz grafito-matriz**

# Control de Producción

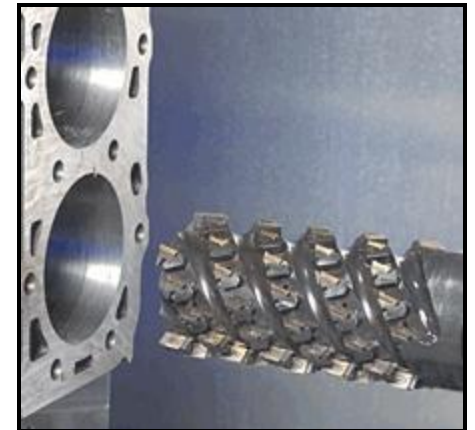
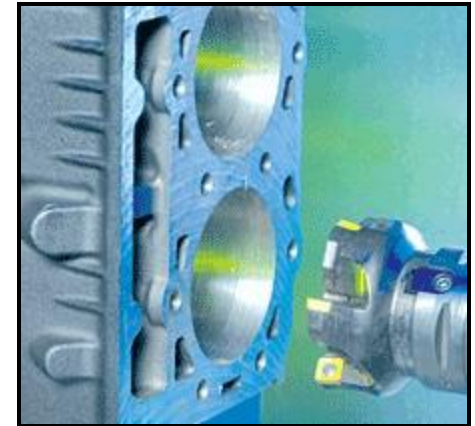
- Graphyte batch method
- Graphyte flow method



# Aplicaciones



*Figure 6 - Current wall thickness for Cyl. Blocks in CGI in production at Tupy Fundições.*





## BMW V8 (Birch, 1999; Luchner, 1999)

- ◆ power output -180 kW (245 hp) at 4000 rpm,
- ◆ maximum torque of 560 N.m between 1750 and 2500 rpm
- ◆ acceleration 0-100 km/h in 8.4 s
- ◆ fuel consumption 9,9 litres/100 km
- ◆ maximum injection pressure of 135 MPa
- ◆ adjustment of turbochargers by electric motors
- ◆ two intercoolers
- ◆ four-valve combustion chambers with the injection nozzle located in the middle



*CAD front view of BMW's V8 direct-injection engine.*

### **Audi V8** (Birch, 1999; Kassack, 2000)

- ◆ 3,3 L V8
- ◆ 165 kW
- ◆ 480 N.m of torque available from 1800 to 3000 rpm.
- ◆ direct-injection common rail
- ◆ cylinder pressures up to 160 bar
- ◆ variable turbine geometry turbochargers



## Ford PSA Jaguar V6

- ◆ 2.7L V6 Diesel
- ◆ 202 kg
- ◆ up to 152 kW
- ◆ up to 440 N.m
- ◆ common-rail direct injection
- ◆ twin turbochargers
- ◆ cylinder block in CGI 450



The new high performance 2.7 V6 diesel engine

*Ford Motor Company*

JAGUAR

PSA PEUGEOT CITROËN