

- Hierro Nodular

También llamado Hierro Dúctil, de igual manera Hierro grafiesferoidal

- Es una fundición ferrosa donde el grafito en lugar de precipitar en forma de hojuelas (Hierro gris) lo hace en forma de esferoides
- Los elementos que permiten esta modificación de la microestructura son Magnesio, Cerio y Tierras Raras, lo cuales se adicionan a la aleación en estado líquido

Composiciones de Hierros Dúctiles

USA	Germany	ISO	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Mg %	Cu %	Sn %
60-40-18	GGG40	400-18	3.50-3.78	2.80-2.85	0.2-0.5	0.03-0.06	0.02-0.035	0.020-0.060		
65-45-12	GGG40	450-10	3.30-3.80	2.40-2.90	0.2-0.5	0.03-0.06	0.02-0.040	0.020-0.060		
70-50-05	GGG50	500-7	3.20-3.60	2.30-2.90	0.4-0.6	0.03-0.06	0.02-0.040	0.030-0.055	<0.4	
80-55-06			3.50-3.90	2.25-3.00	0.15-0.35	0.05	0.025	0.030-0.055		
80-60-03	GGG60	600-3	3.00-3.50	2.40-2.80	0.3-0.5	0.03-0.06	0.02-0.040	0.035-0.050	0.30-0.40	
100-70-03	GGG70	700-2	3.65-3.90	1.70-1.90	0.3-0.5	<0.06	<0.03	0.035-0.050	0.30-0.40	0.03-0.06

Property	Grade 60/40/18	Grade 65/45/12	Grade 80/55/06	Grade 100/70/03	Grade 120/90/02
Tensile strength, min, psi	60 000	65 000	80 000	100 000	120 000
Tensile strength, min, MPa	414	448	552	689	827
Yield strength, min, psi	40 000	45 000	55 000	70 000	90 000
Yield strength, min, MPa	276	310	379	483	621
Elongation in 2 in. min, %	18	12	6.0	3.0	2.0

HIERRO NODULAR

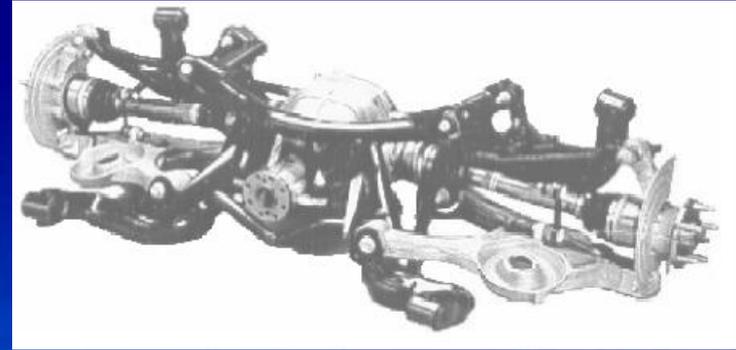
Industria Automotriz



Caja de engranes



Volante ventilado



Carcasa de camionetas Ford originalmente de H. Gris (35 Ksi), sustituidas por H. Nodular (65 Ksi), se hizo más ligera la pieza en su nuevo diseño.



Componentes de la suspensión independiente trasera del Foer Mustang Cobra 1999.

Componentes para alcantarillado y drenaje



Ductile Iron pipe is often used for inverted siphons in difficult installations such as the stream crossing shown

here because of its great strength, joint integrity, and its versatile and readily available joints and fittings.

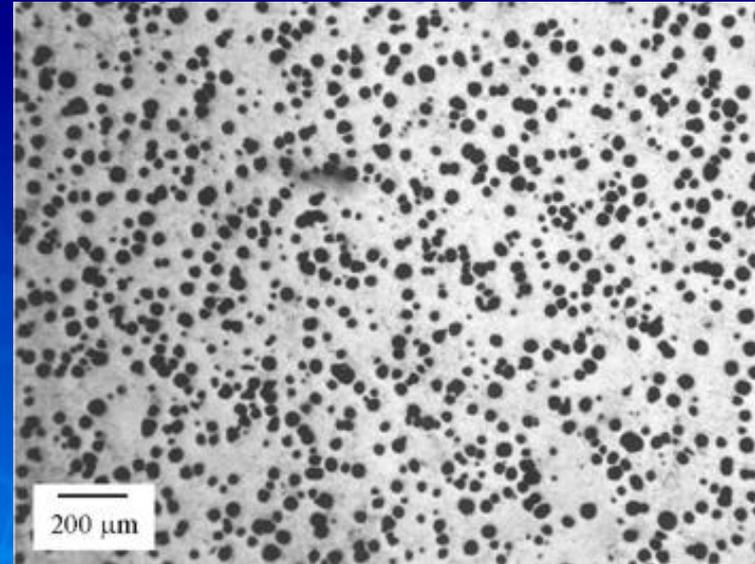
Tuberías de H.nodular usadas en sifones, en los cuales se requieren elevadas resistencias.



Tapas o cubiertas para alcantarillado



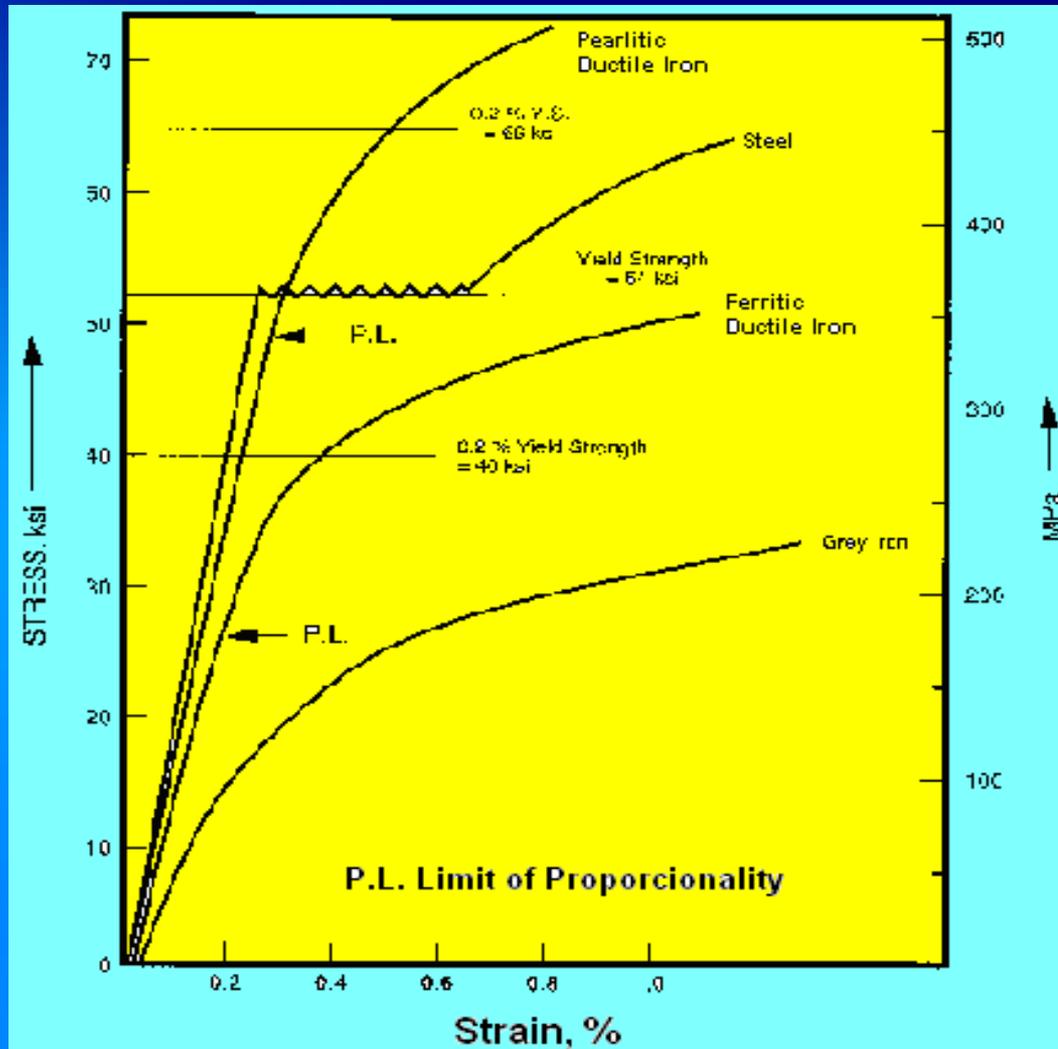
Hierro gris



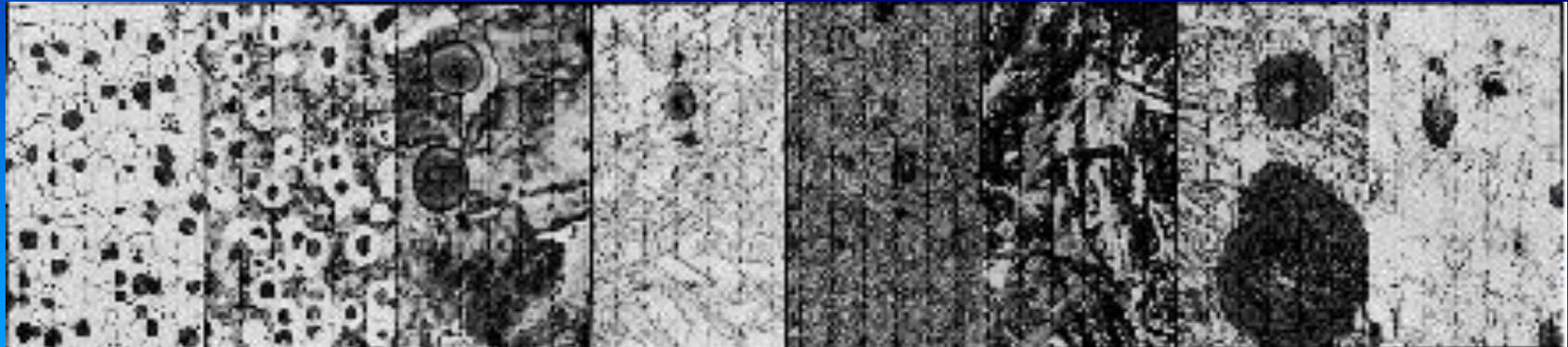
Hierro Nodular

- El Hierro Nodular presenta un amplio rango de propiedades debido a las características microestructurales, principalmente el grafito que se presenta en forma de esferoides.
- Al presentarse en esta forma se evita el principal problema del hierro gris: La fragilidad debida a la puntas en la hojuela de grafito
- Las puntas de la hojuela actúan como concentradores de esfuerzos para que las fracturas se propaguen, hecho que no sucede con los esferoides de grafito

Comportamiento elastico y de cedencia para Acero, Hierro gris, Hierros Nodulares perlitico y Ferritico.

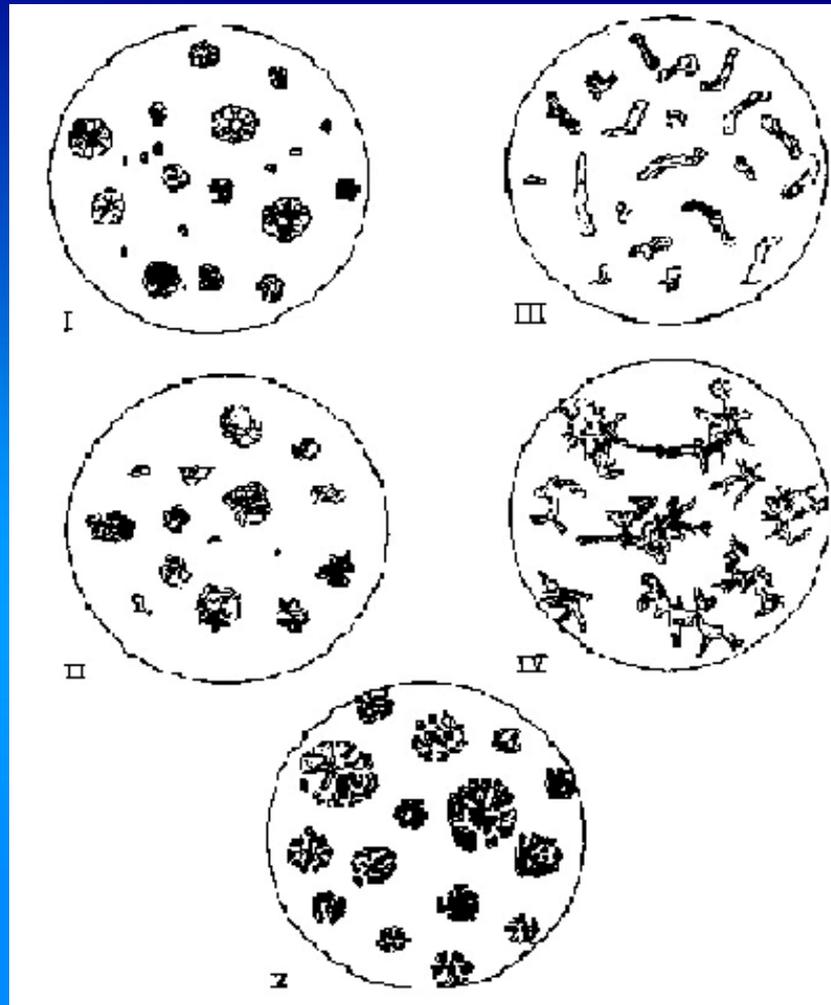


Microestructuras y Resistencia la tracción para varios tipos de Hierro Dúctil

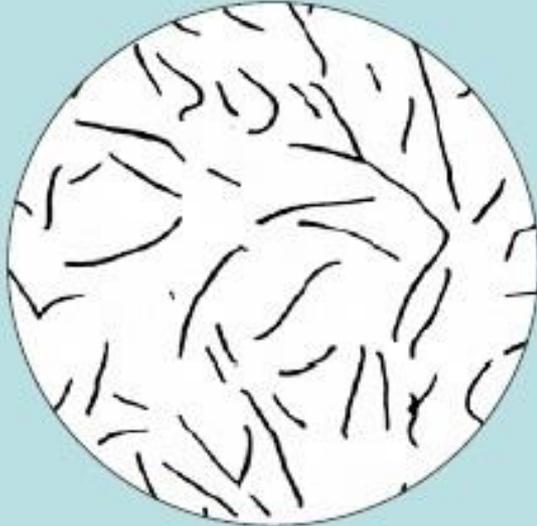


Matriz:							
Ferrítico Grade 5	Ferrítico-pearlítico Grade 3	Pearlítico Grade 1	Martensítico (With retained austenite)	Tempered Martensítico	ADI Grade 150	ADI Grade 230	Austenítico
60,000 p.s.i. (414 m Pa)	80,000 p.s.i. (552 m Pa)	100,000 p.s.i. (690 m Pa)	N.A.*	115,000 p.s.i. (793 m Pa)	150,000 p.s.i. (1050 m Pa)	230,000 p.s.i. (1600 m Pa)	45,000 p.s.i. (310 m Pa)

Clasificación de las formas del grafito, 100X



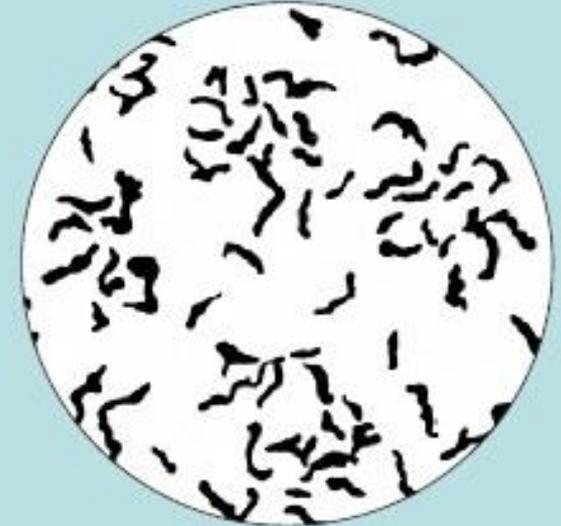
Formas del grafito en los hierros colados



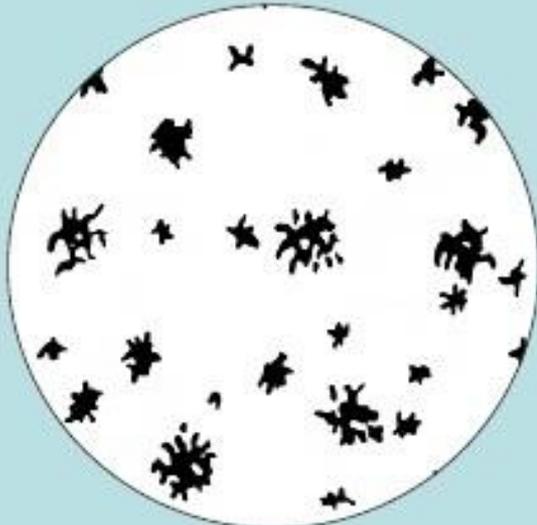
I



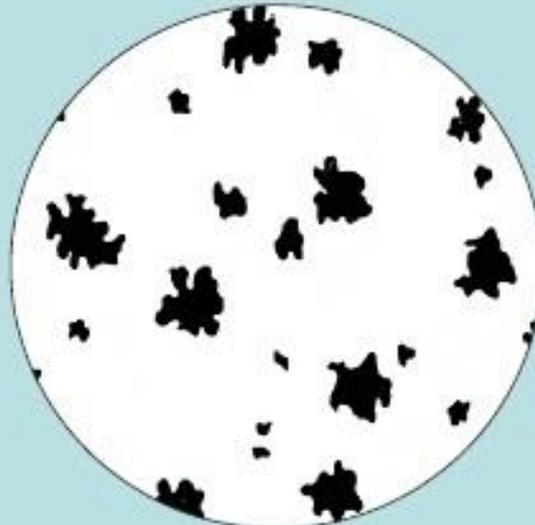
II



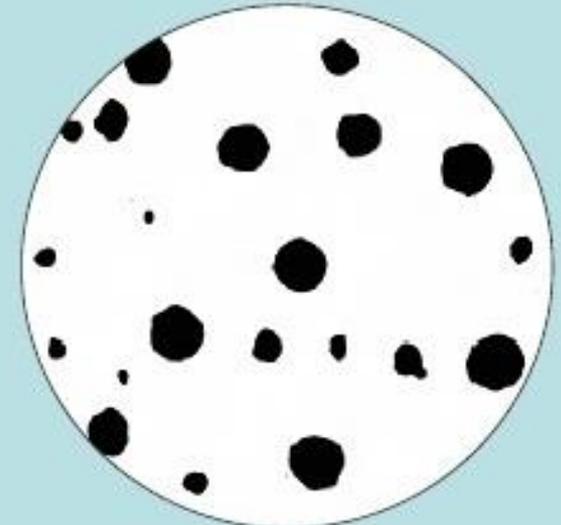
III



IV



V

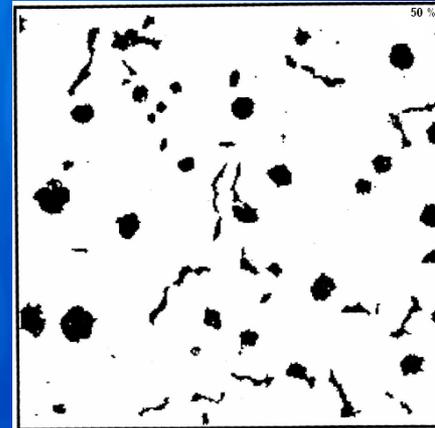
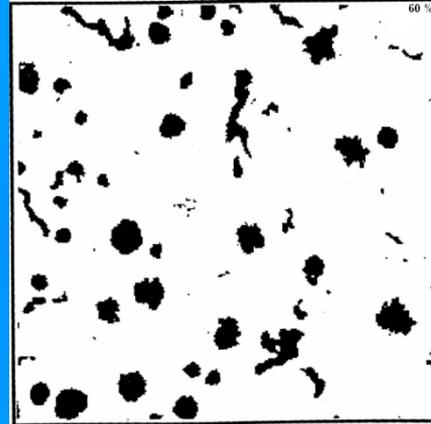
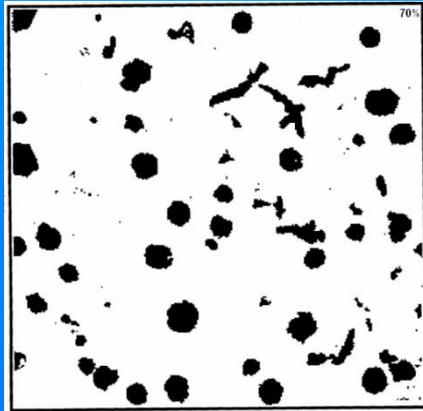
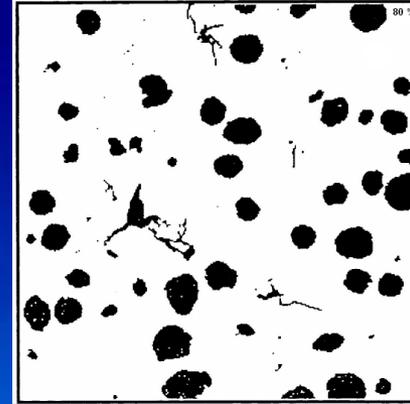
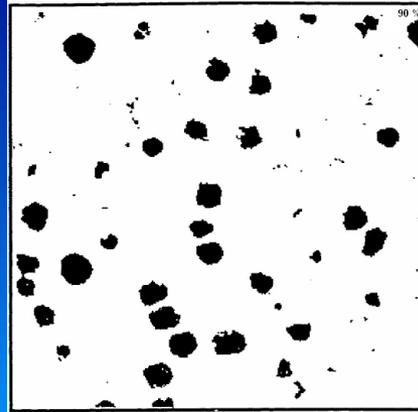
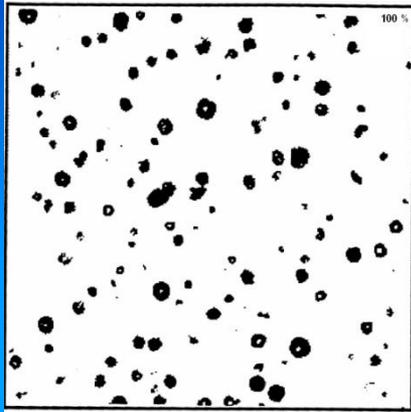


VI

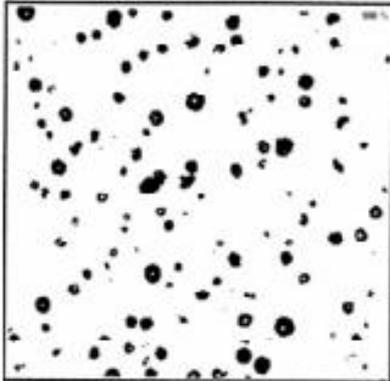
Form	Description of the form	Main spatial characteristics	Occurrence
I	Lamellar (flake) graphite	Interconnected particles within eutectic cells; lamellar (flake) graphite with sharp ends	<ul style="list-style-type: none"> Principal form in grey cast iron Austenitic cast iron with lamellar/flake graphite Can occur in the rim zone of other cast-iron materials
II	Crab graphite	Aggregate of graphite flakes	<ul style="list-style-type: none"> Can occur in rapidly cooled hypereutectic grey cast irons Can also occur in segregation areas of thick-walled spheroidal-graphite cast-iron castings
III	Compacted (vermicular) Graphite	Usually interconnected particles within eutectic cells; worm-like appearance with rounded ends	<ul style="list-style-type: none"> Principal form in compacted-graphite cast irons Can occur in spheroidal graphite cast irons
IV	Temper carbon	Isolated particles	Principal form in malleable cast irons
	Irregular spheroidal graphite*		Can occur on spheroidal-graphite cast iron
V	Slightly irregular spheroidal Graphite	Isolated particles	<ul style="list-style-type: none"> Principal form in thick-walled castings made of spheroidal graphite cast irons Occurs to a specified extent in compacted-graphite cast irons Can occur in malleable cast irons
VI	Spheroidal graphite*	Isolated particles	<ul style="list-style-type: none"> Principal form in castings made of spheroidal-graphite cast irons Occurs to a specified extent in compacted-graphite cast irons

Note: *Spheroidal graphite is sometimes referred to as nodular graphite

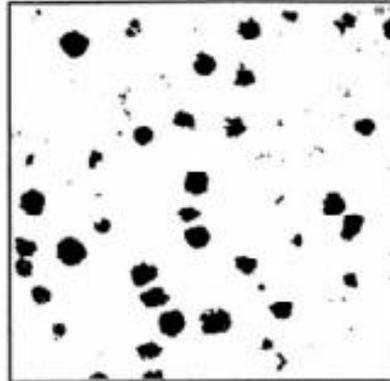
Nodularidad. porcentaje



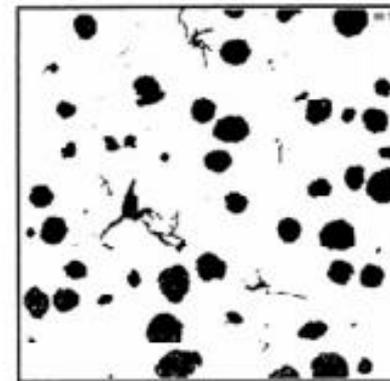
Porcentaje de Nodularidad



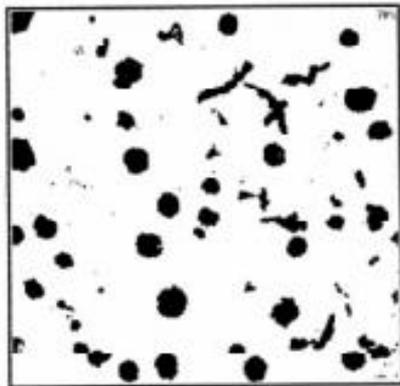
100 %



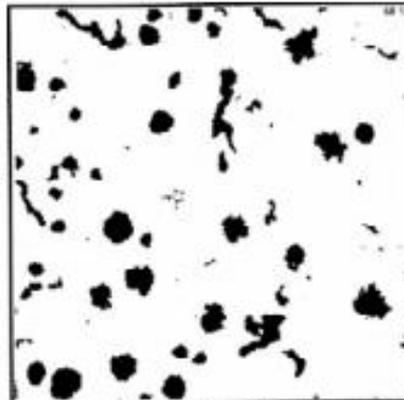
90 %



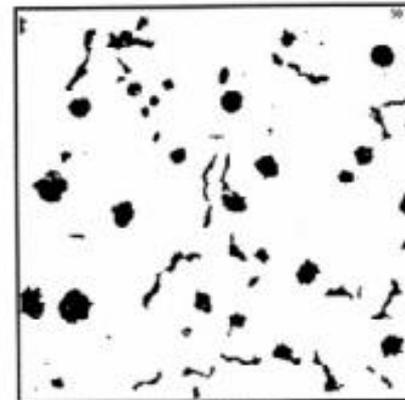
80 %



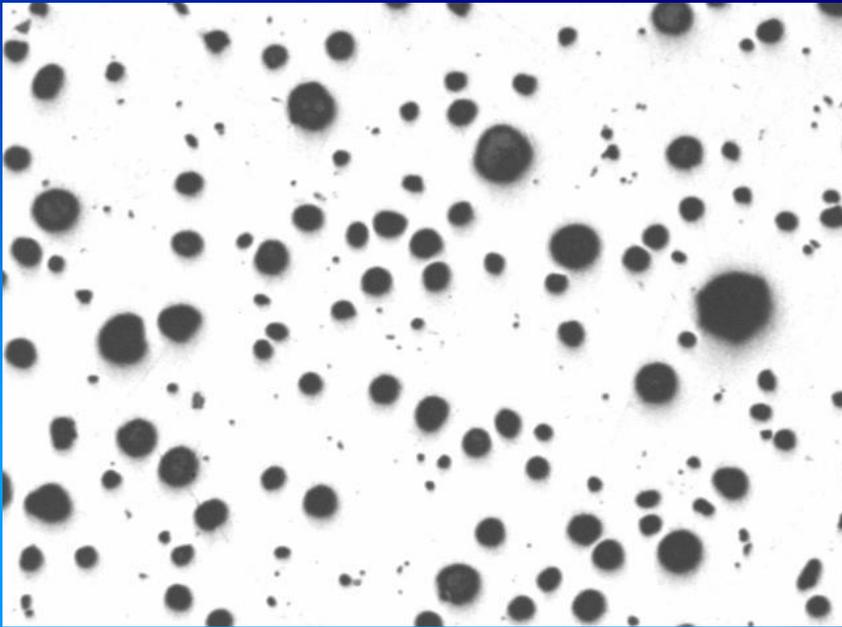
70 %



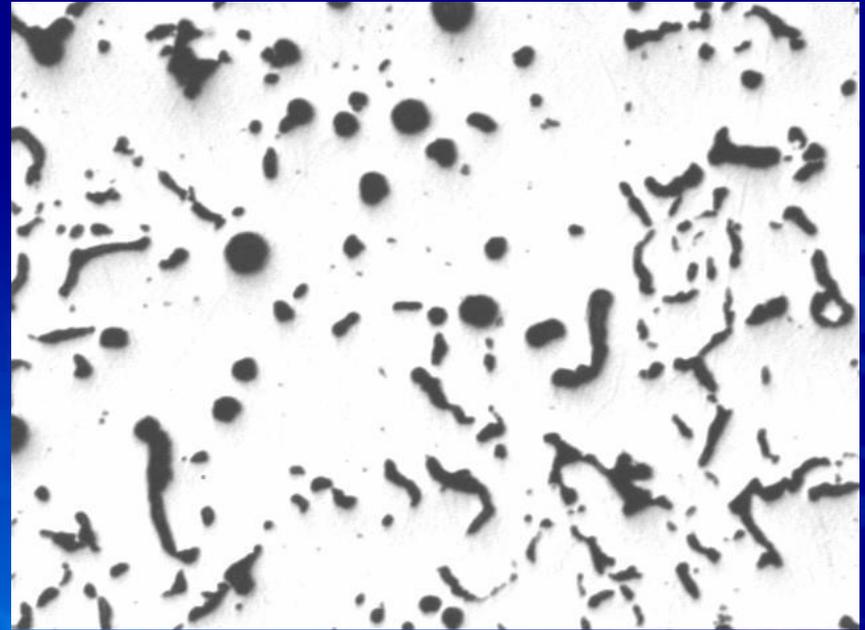
60 %



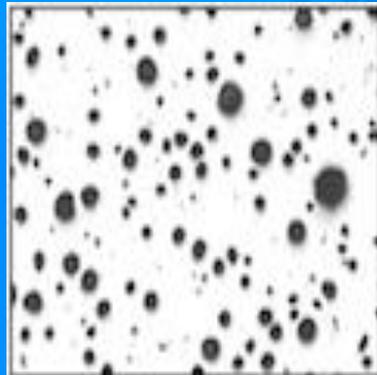
50 %



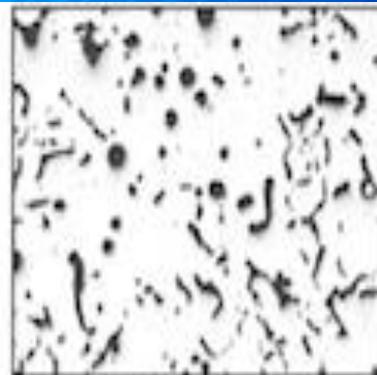
93% de Nodularidad



55% de Nodularidad

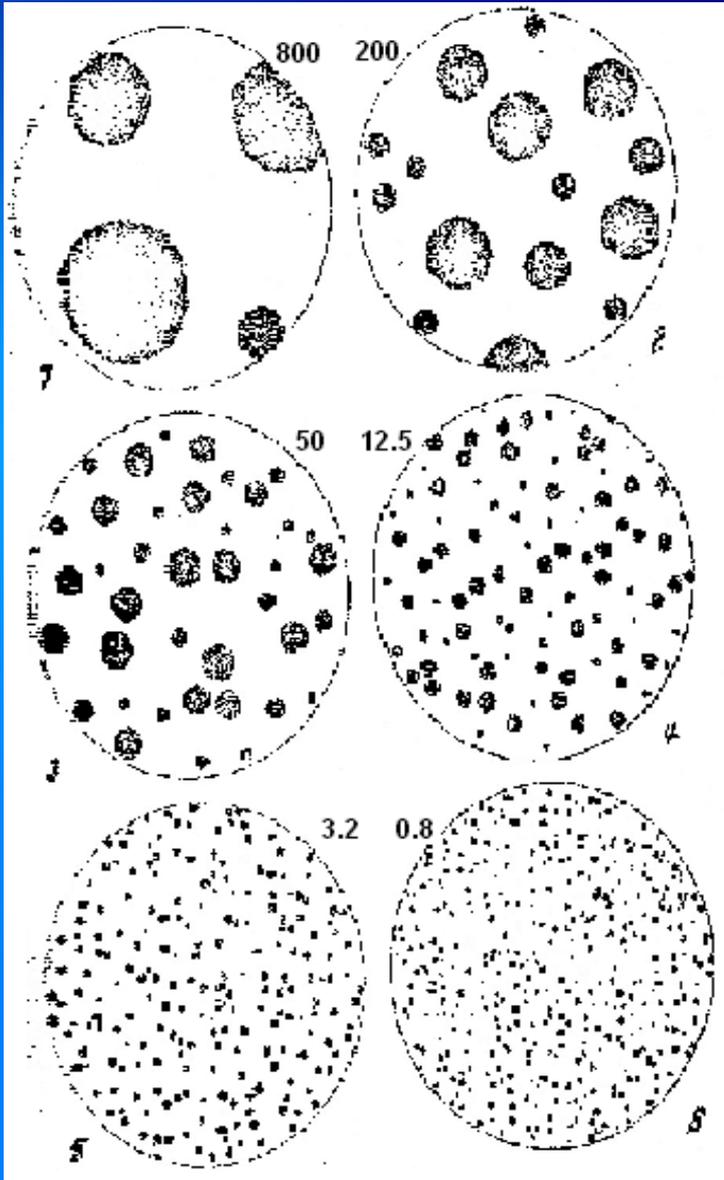


90% nodularity



60% nodularity

Clasificación de tamaños de grafito esférico, 100X



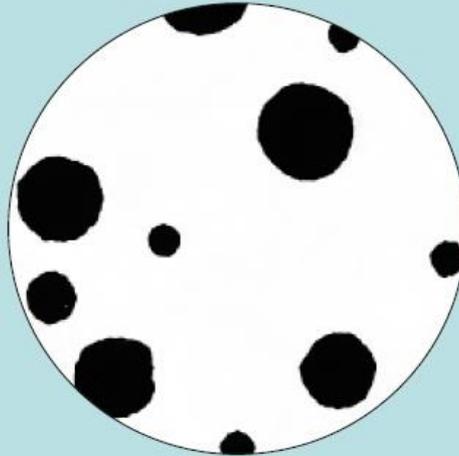
Tamaño	Dimensión máxima, mm ² . 100 X
1	128
2	64
3	32
4	16
5	8
6	4
7	2
8	1

Tamaño del esferoide de grafito en hierro dúctil



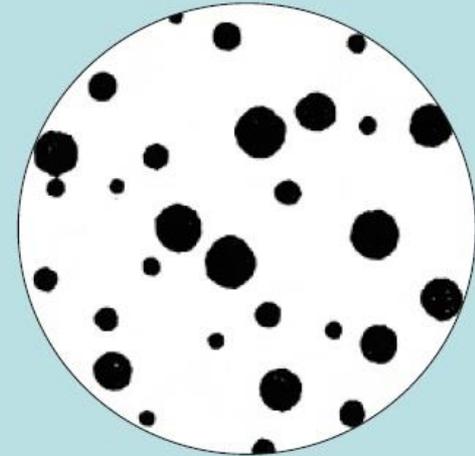
3

25 - 50mm



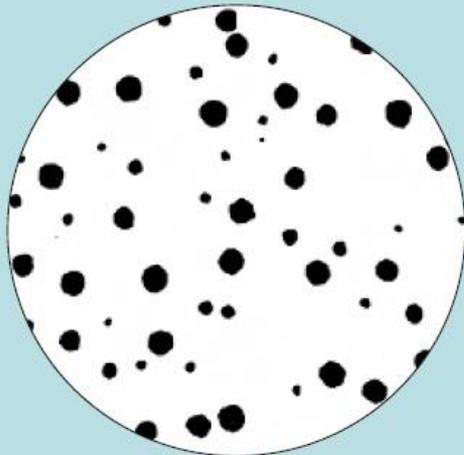
4

12 - 25mm



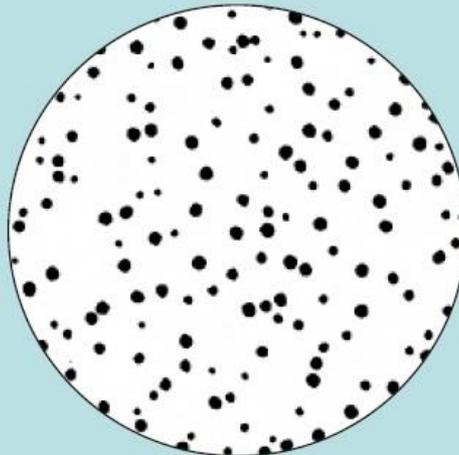
5

6 - 12mm



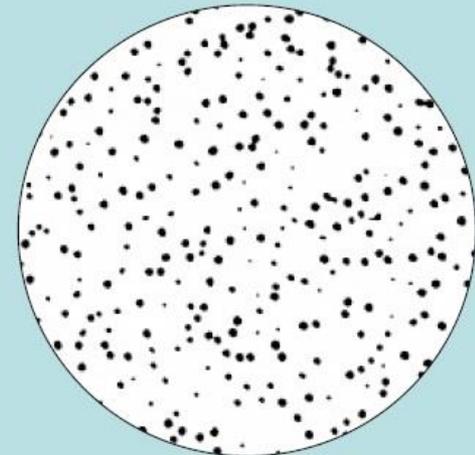
6

3 - 6mm



7

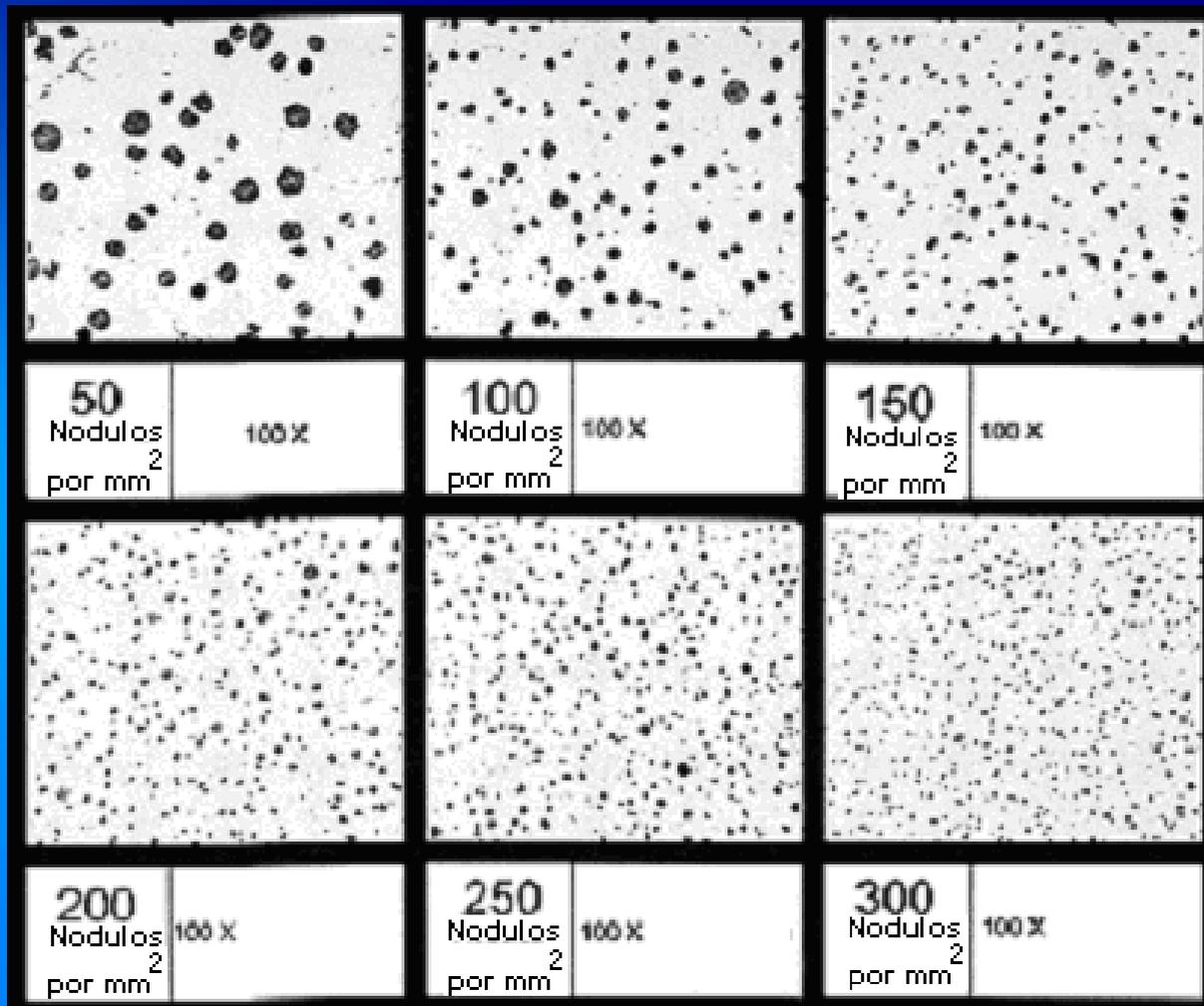
1.5 - 3mm



8

less than 1.5mm

Densidad de Nódulos



Composición Química. Hierro Nodular

- Fosforo: $P < 0.08\%$

Para evitar la formación de esteadita en forma apreciable

- Azufre: $S < 0.03\%$

Ya que el azufre reacciona con el magnesio

Composición Química. Hierro Nodular

- Manganeso
- Define el tipo de matriz: Ferrita, Ferrita-Perlita, Perlita-Ferrita, Perlita
- Si el contenido de:
 $Mn < 0.15$ Se obtiene matriz ferrítica
- Si el contenido de Mn:
 $0.5 < Mn < 0.8$ Se obtiene matriz perlítica

Composición Química. Hierro Nodular

- Silicio: $\text{Si} = 2.0 - 3.0 \%$
- Carbono: $\text{C} = 3.0 - 4.0 \%$
Deseable $\text{C} = 3.6 - 3.8 \%$

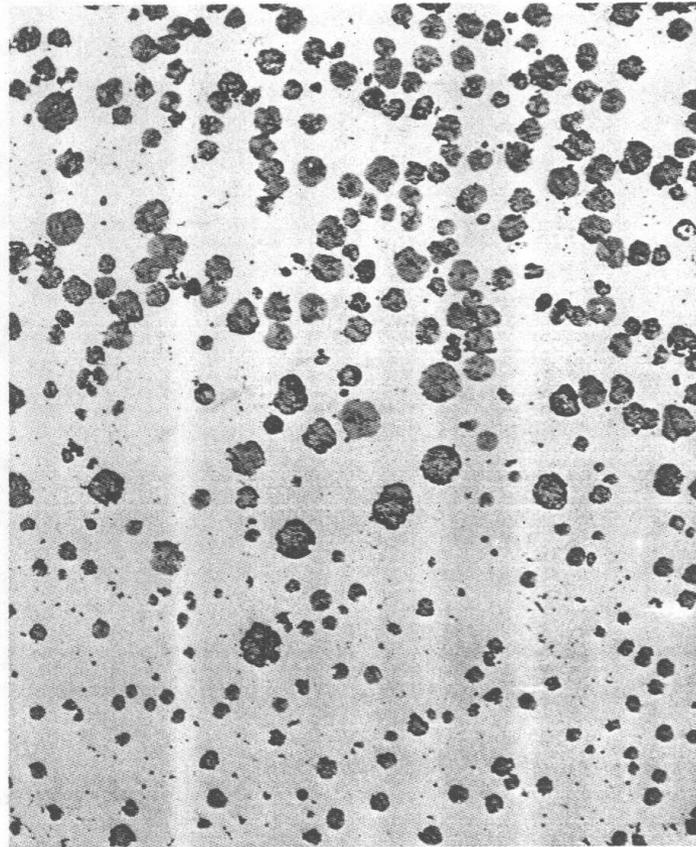
Magnesio: $\text{Mg} = 0.02-0.07\%$
(magnesio residual)

Composición Química. Hierro Nodular

- Carbono Equivalente C.E.

	C.E.
Secciones < 0.5 plg	4.6 – 4.7
Secciones 0.5 a 2 plg	4.4 – 4.6
Secciones > 2 plg	4.3 – 4.4

Carbon Flotation



50X

Unetched

Nodulizantes

Ce 0.025 - 0.035%

$T_v = 3468^\circ\text{C}$

Mg 0.02 - 0.07%

$T_v = 1107^\circ\text{C}$

Aleaciones para nodulizar

85%Ni - 15%Mg

Olla abierta

50%Ni - 30%Si - 15%Mg

Olla abierta (Más barato)

95%Ni - 5%Mg

Baja reactividad (ambos)

60%Ni - 35%Fe - 4% Mg

Método sandwich (ambos)

40%Si - 15%Cu - 12%Mg / Fe

Hierros nodulares perlíticos

9%Mg - 45%Si /Fe

Hierros nodulares ferríticos

43%Mg/coque

Magcoke

(de los últimos desarrollos)

Los elementos Mg, Ce y tierras raras alteran la tensión interfacial entre metal líquido y grafito

El carbono grafito tiene una red cristalina hcp.

Cuando el grafito precipita en forma de hojuelas lo hace en las direcciones $a_1 = a_2 = a_3 = a$, es decir el grafito se va expandiendo en los planos (0001)

Cuando se introducen Mg, Ce y tierras raras se modifica la tensión interfacial logrando un equilibrio en el crecimiento en los ejes $a_1 = a_2 = a_3 = a$ y c logrando un grafito esferoidal

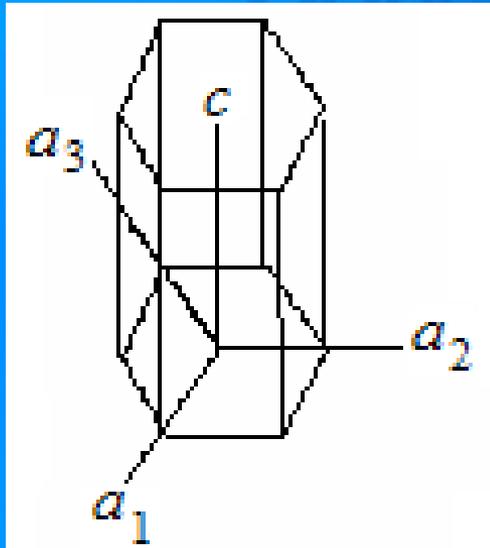
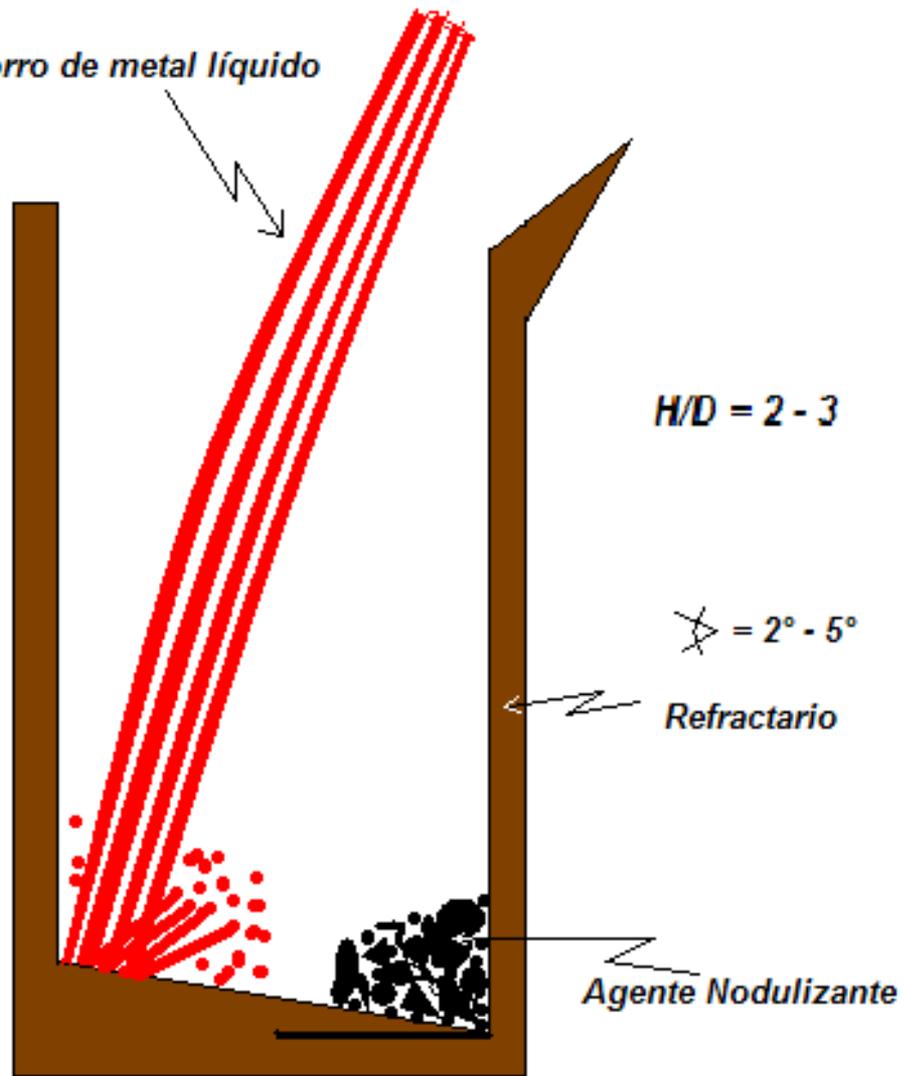


Table 3.1. Typical Chemical Composition of Some Magnesium-Based Ductile Iron Treatment Alloys (Nodulizers) Used in Industrial Practice

Treatment Alloy	Chemical Composition, %							
	Mg	Si	Ca	Al	Ce or REM*	Cu	Ni	Fe
Pure magnesium	99.98	0.008	-	0.005	-	-	0.002	0.005
Magnesium ferrosilicon	5-6	44-48	0.8-1.3	0.8-1.0	0.5-1.2	-	-	Balance
	9-10	44-48	0.8-1.5	0.8-1.0	0.6-1.0	-	-	Balance
Cerium grade magnesium ferrosilicon	4.75-6.25	44-48	0.8-1.3	0.8-1.2	0.5-0.7	-	-	Balance
REM grade magnesium ferrosilicon	5-6	44-48	0.8-1.3	0.8-1.2	0.75 -1.5	-	-	Balance
Nickel-magnesium	5-15	-	-	-	-	-	Balance	-
Nickel-iron-magnesium	4-4.5	-	-	-	-	-	Balance	32-36
Nickel-silicon-magnesium	13-15	26-32	-	-	-	-	Balance	3-5
Copper-nickel-iron-magnesium	10-15	-	-	-	0.5-1.0	Balance	10-30	10-15

*REM- rare earths metals

Chorro de metal líquido



Método de la olla abierta

Rendimiento de Mg = 20 - 25%

El magnesio adicionado al metal liquido se consume en varias maneras

Mg para desulfurar Mgs

Mg para desoxidar Mgo

Mg perdido por volatilización Mgv

Mg para nodulizar (residual) Mgr

De tal manera que:

$$Mg_{ad} = Mgs + Mgo + Mgv + Mgr$$

Donde Mg_{ad} es el magnesio adicionado

Cálculo de la cantidad de Mg recuperado

$$\% Mg_{\text{Recuperado}} = \frac{\% Mg_{\text{Analizado}}}{\% Mg_{\text{Adicionado}} - \% S_{\text{En el metal base}}} \times 100$$

Como se usa el rendimiento calculado de Mg

$$\% Mg_{\text{A adicionar}} = \frac{\% Mg_{\text{Deseado}}}{\% Mg_{\text{Recuperado}} \times 0.01} + \% S_{\text{En el metal base}}$$

Por ejemplo; El Mg deseado es de 0.04%, el rendimiento de Mg es de 40% y el % de S en el metal base es de 0.02, por tanto el % de Mg a adicionar es:

$$\begin{aligned} \% Mg_{\text{A adicionar}} &= \frac{0.04\%}{40\% \times 0.01} + \% S_{\text{En el metal base}} \\ \% Mg_{\text{A adicionar}} &= 0.12 \end{aligned}$$

Si la ferroaleación contiene 10% de Mg, la adición de la aleación será:

$$\% de FeSiMg = 0.12 \left(\frac{100}{10} \right) = 1.2\%$$

O bien, otra forma de calcular la cantidad de Mg a adicionar

$$Mg = 0.76 (S_B - S_T)$$

S_B = Contenido de azufre en el metal base (%)

S_T = Contenido de azufre en el metal tratado (%)

0.76 = Relación de pesos atómicos de Mg y S,

Debido a la reacción $Mg + S \rightarrow MgS$

$$Mg_{ad} = \frac{0.76(S_B - S_T) + Mg_{Deseado}}{Mg_{Recuperado}} \times 100$$

Simplificando

$$Mg_{ad} = \frac{(S_B - S_T) + Mg_{Deseado}}{Mg_{Recuperado}} \times 100$$

Pero si $S - > 0$

$$Mg_{ad} = \frac{Mg_{Deseado}}{Mg_{Recuperado}} \times 100$$

Mg_{ad} = Mg a adicionar

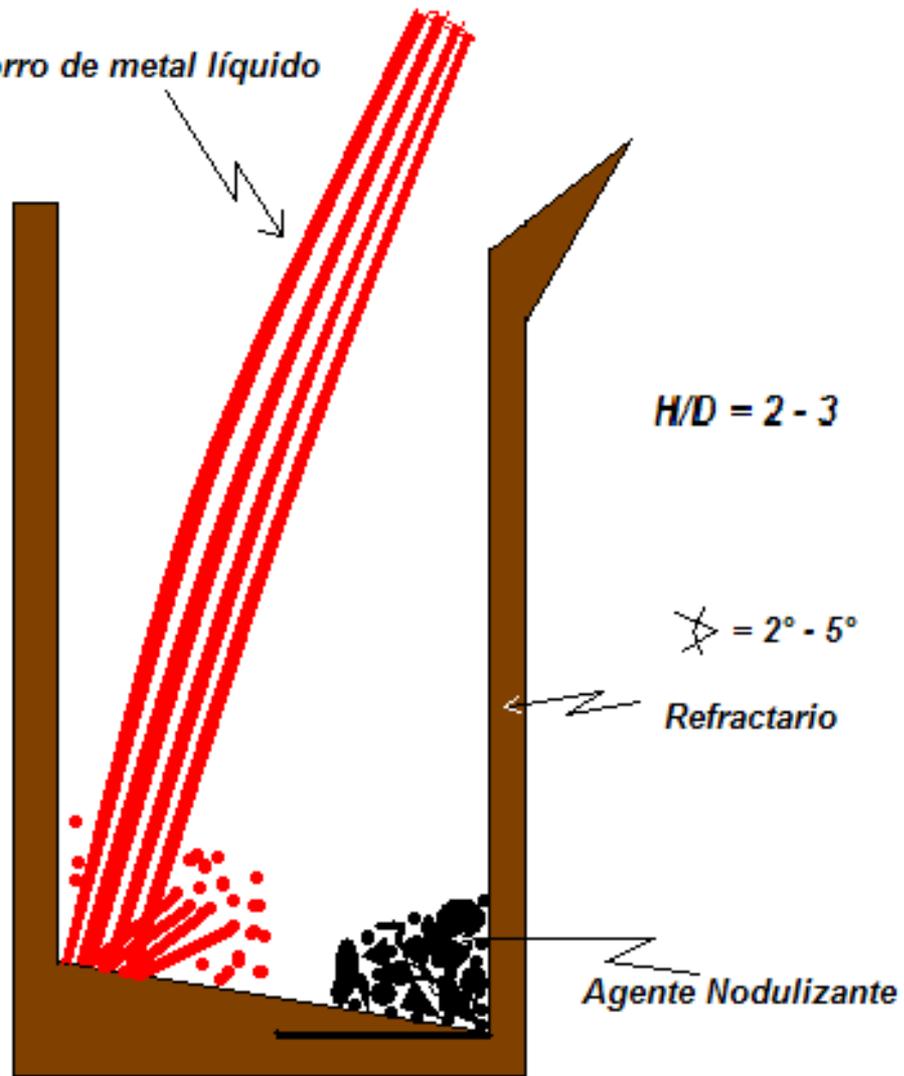
$Mg_{Deseado}$ = Mg Deseado o residual

$Mg_{Recuperado}$ = Mg recuperado o rendimiento de Mg (de acuerdo al metodo o tratamiento)

Tratamientos del metal líquido

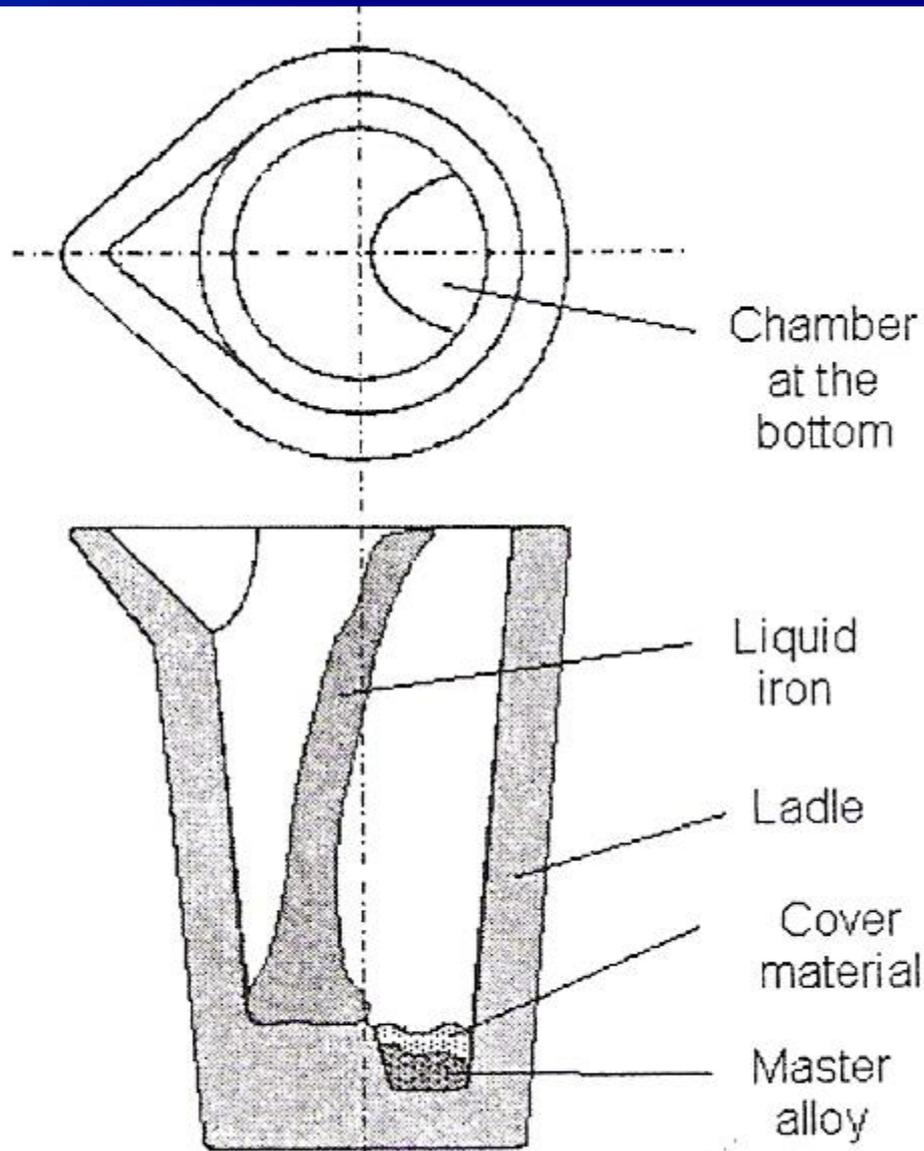
Métodos de Nodularización

Chorro de metal líquido



Método de la olla abierta

Rendimiento de Mg = 20 - 25%



Rendimiento de Mg = 45% - 50%

Fig. 3.8. The Sandwich process is illustrated.

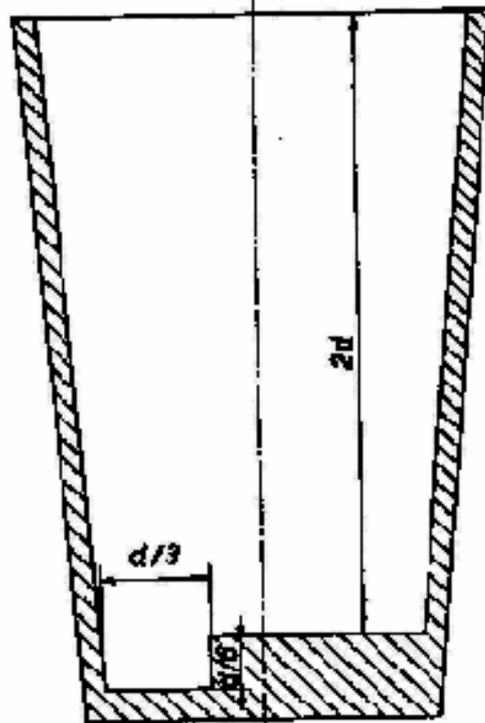
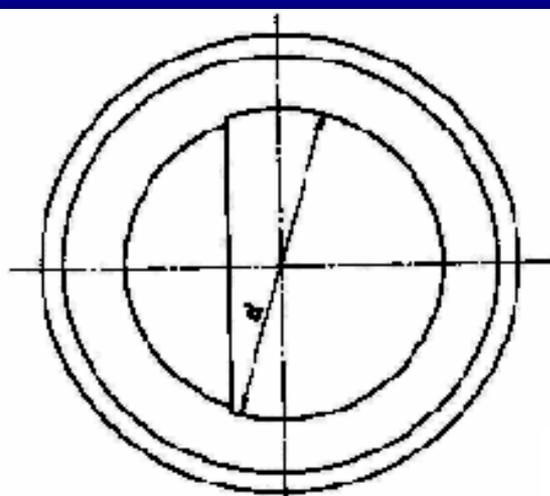
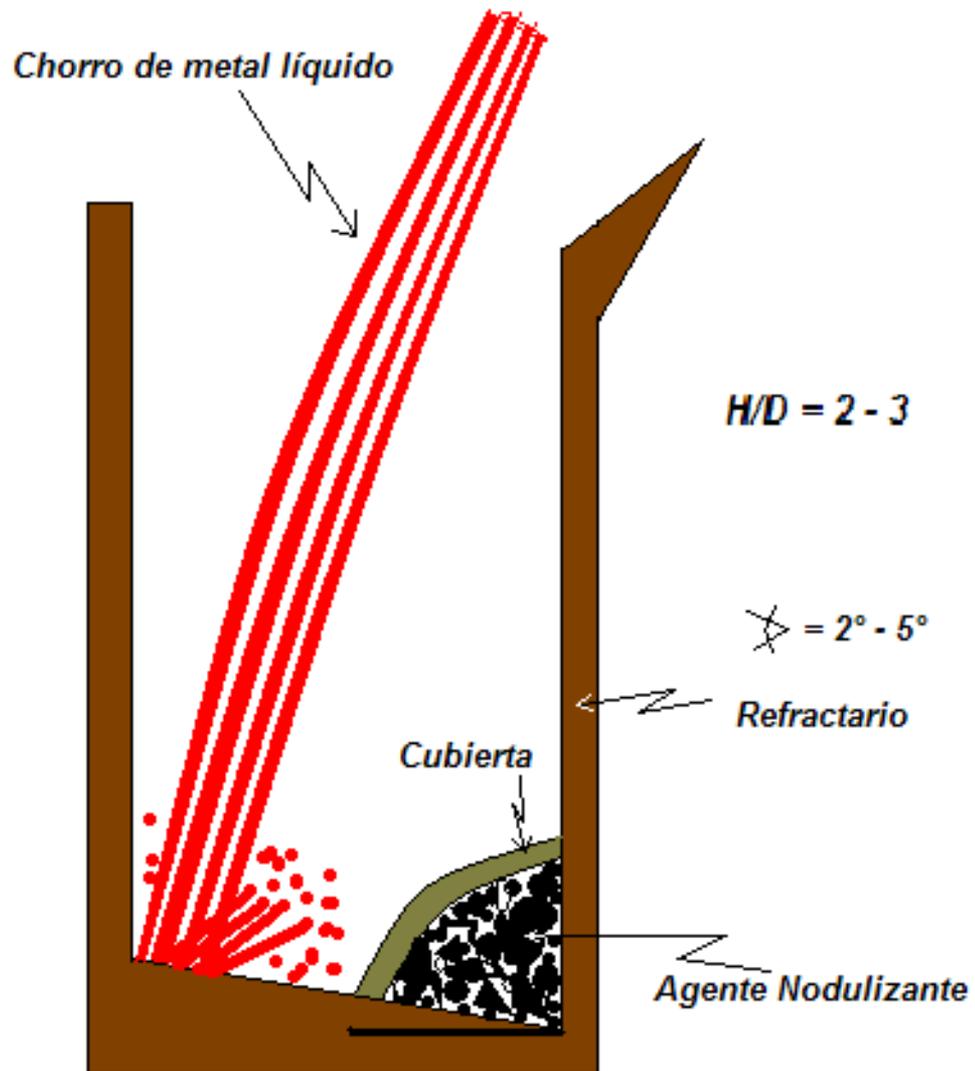


Fig. 23. Ladle suitable for ladle transfer on sandwich treatment.

Rendimiento de Mg = 45% - 50%



Método de la olla abierta modificada

Rendimiento de Mg = 30 -35%

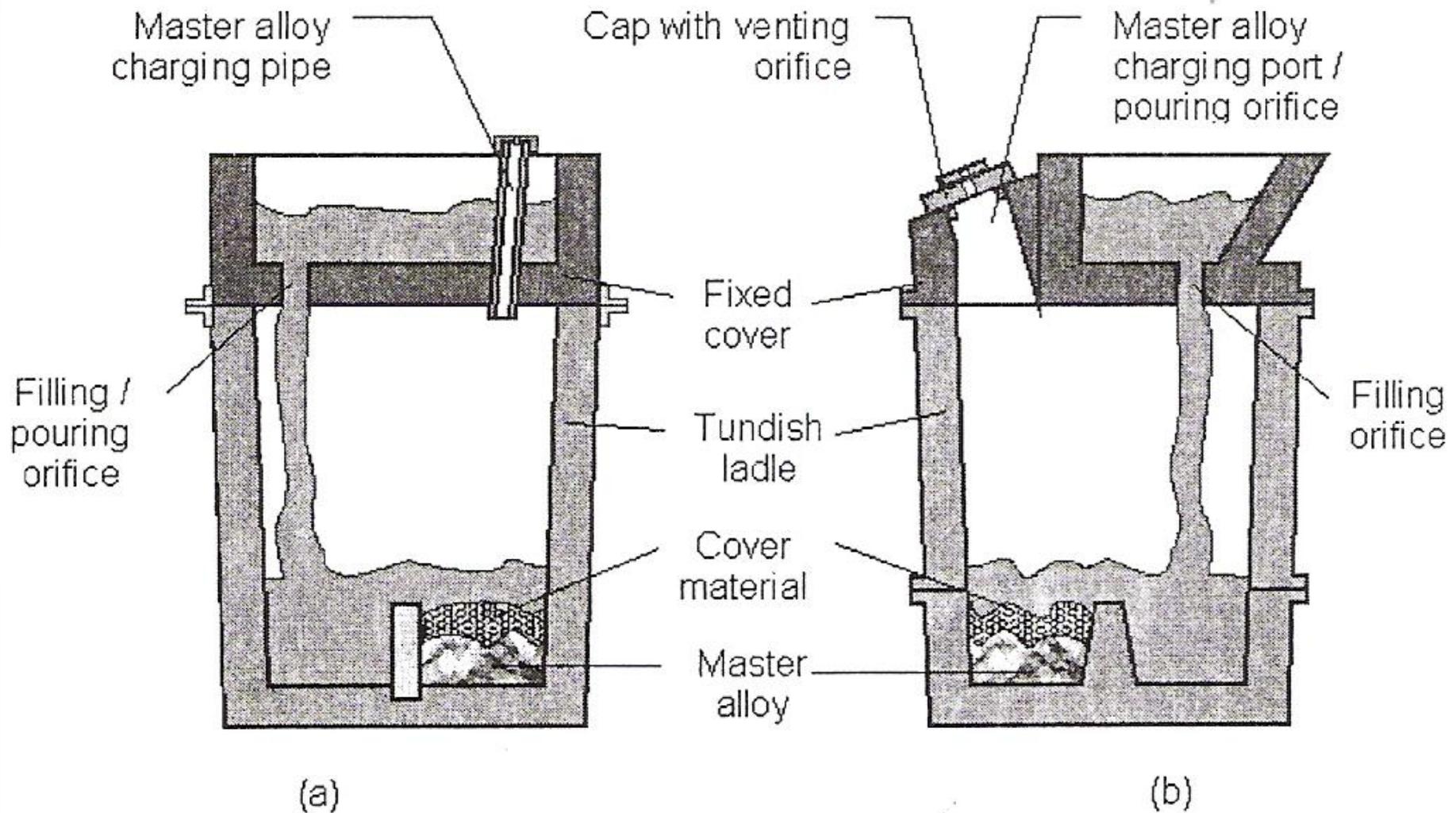


Fig. 3.9. The Tundish ladle with fixed cover is illustrated: (a) old design and (b)-new design.

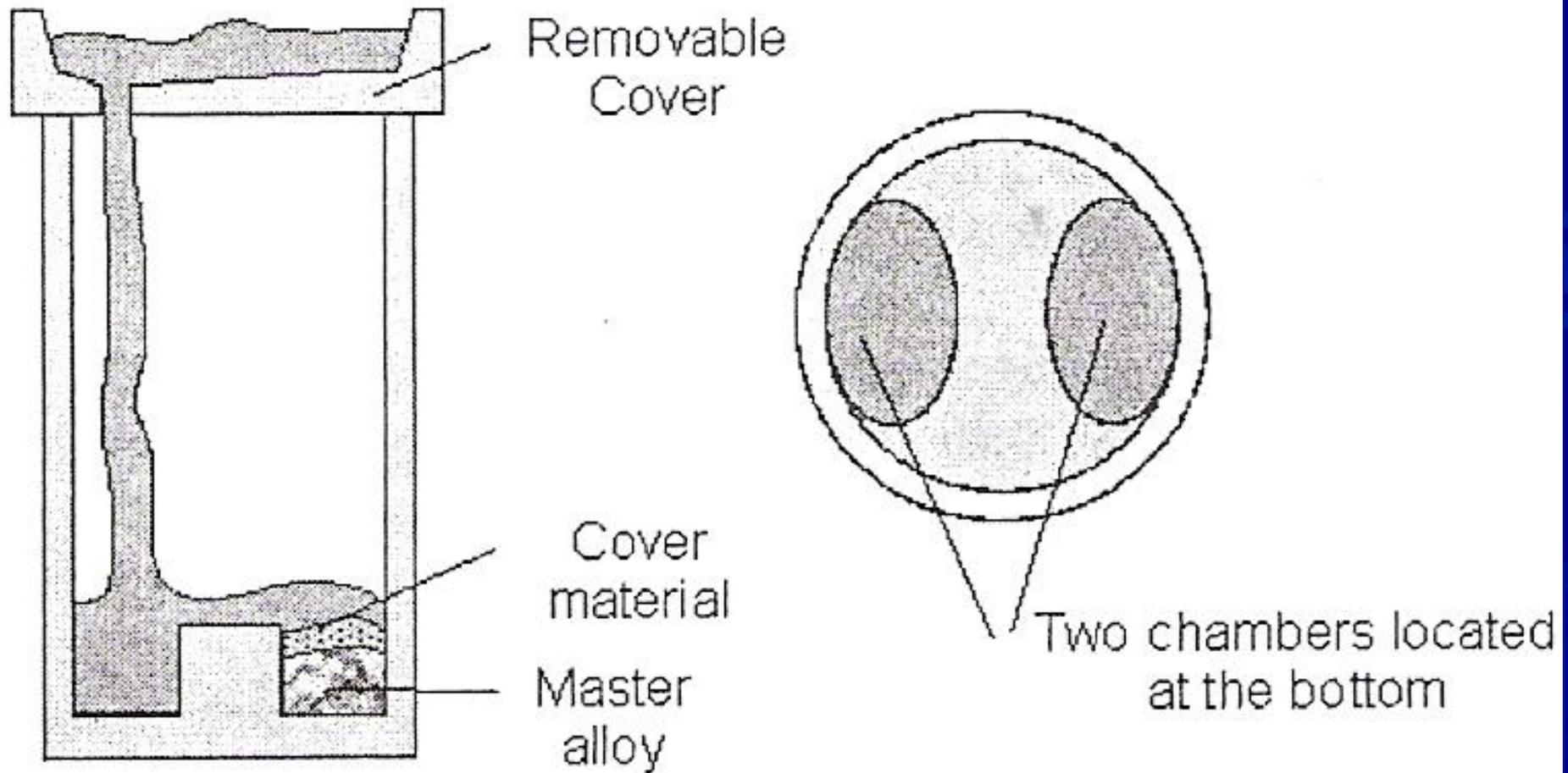


Fig. 3.10. Two chamber Tundish ladle with removable cover is shown.

Rendimiento de Mg > 80%

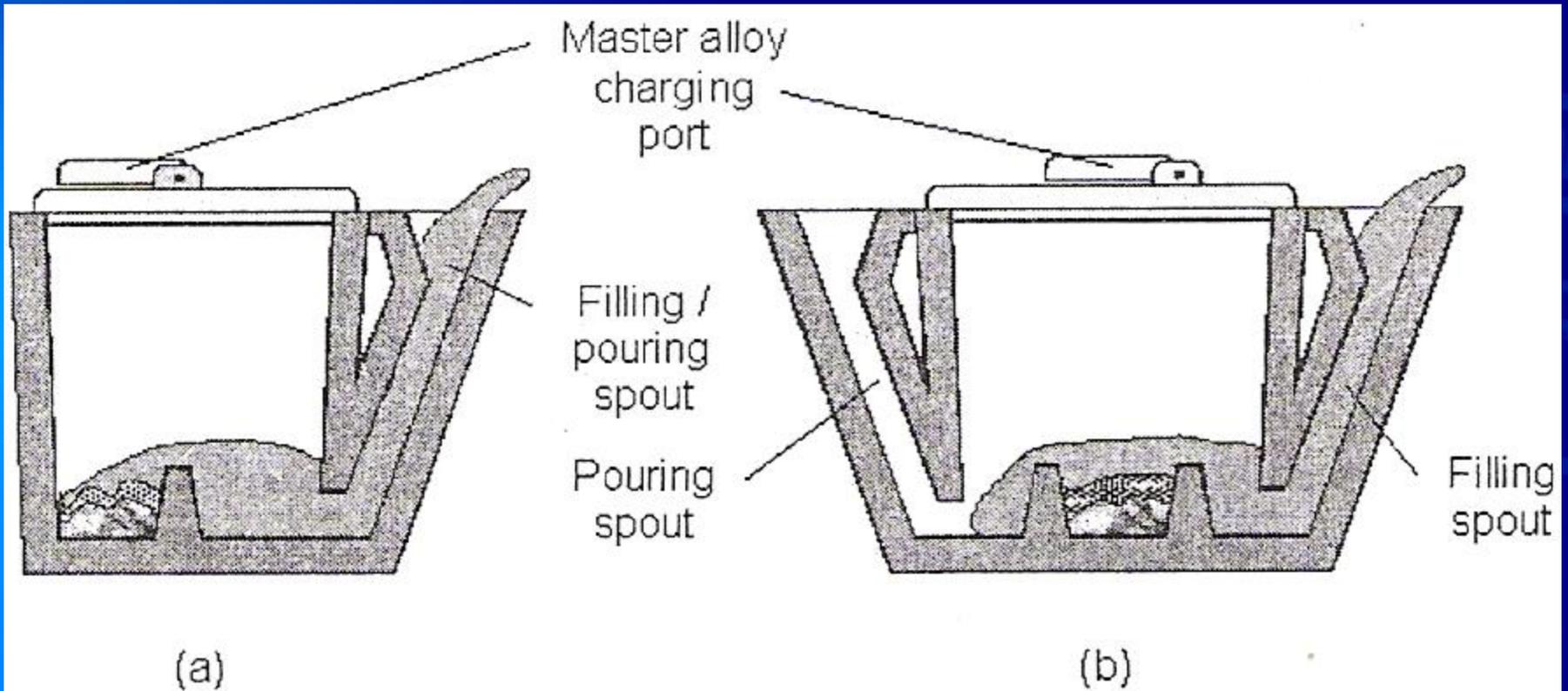


Fig. 3.11. Teapot Tundish ladles are shown: (a) single design and (b) double design.

Rendimiento de Mg > 85%

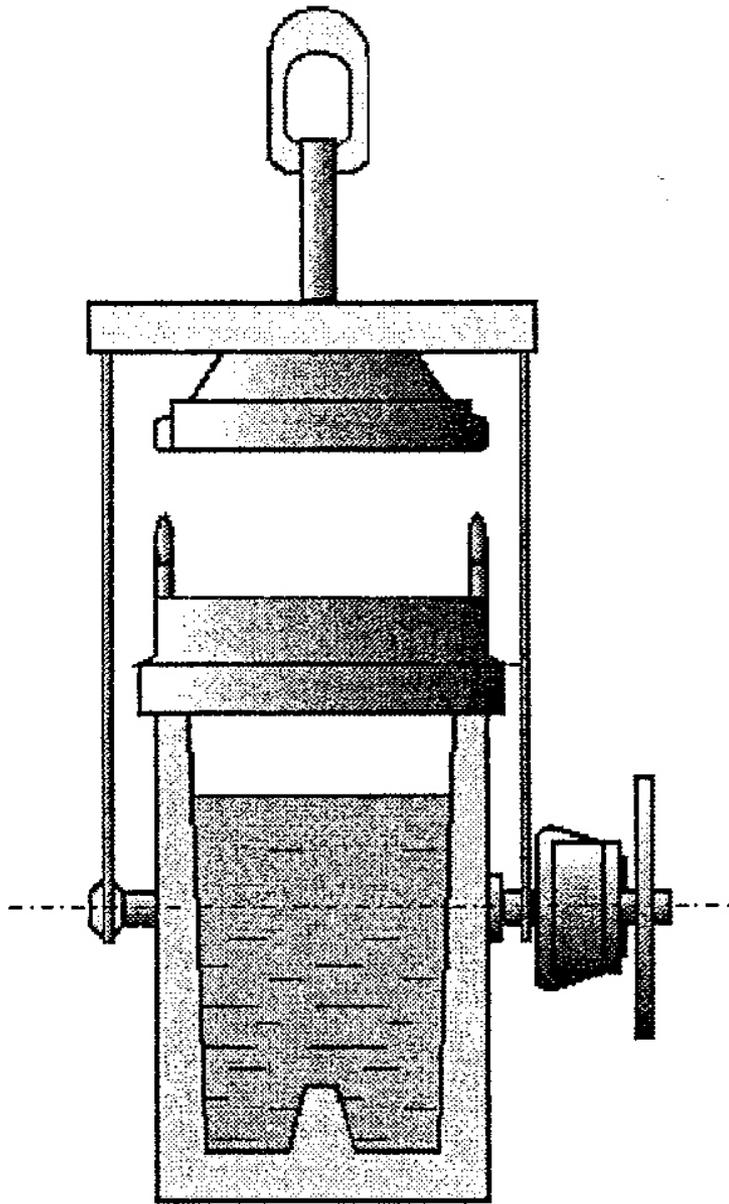


Fig. 3.12. Tundish ladle with lifting cover is shown.

Rendimiento de Mg > 70%

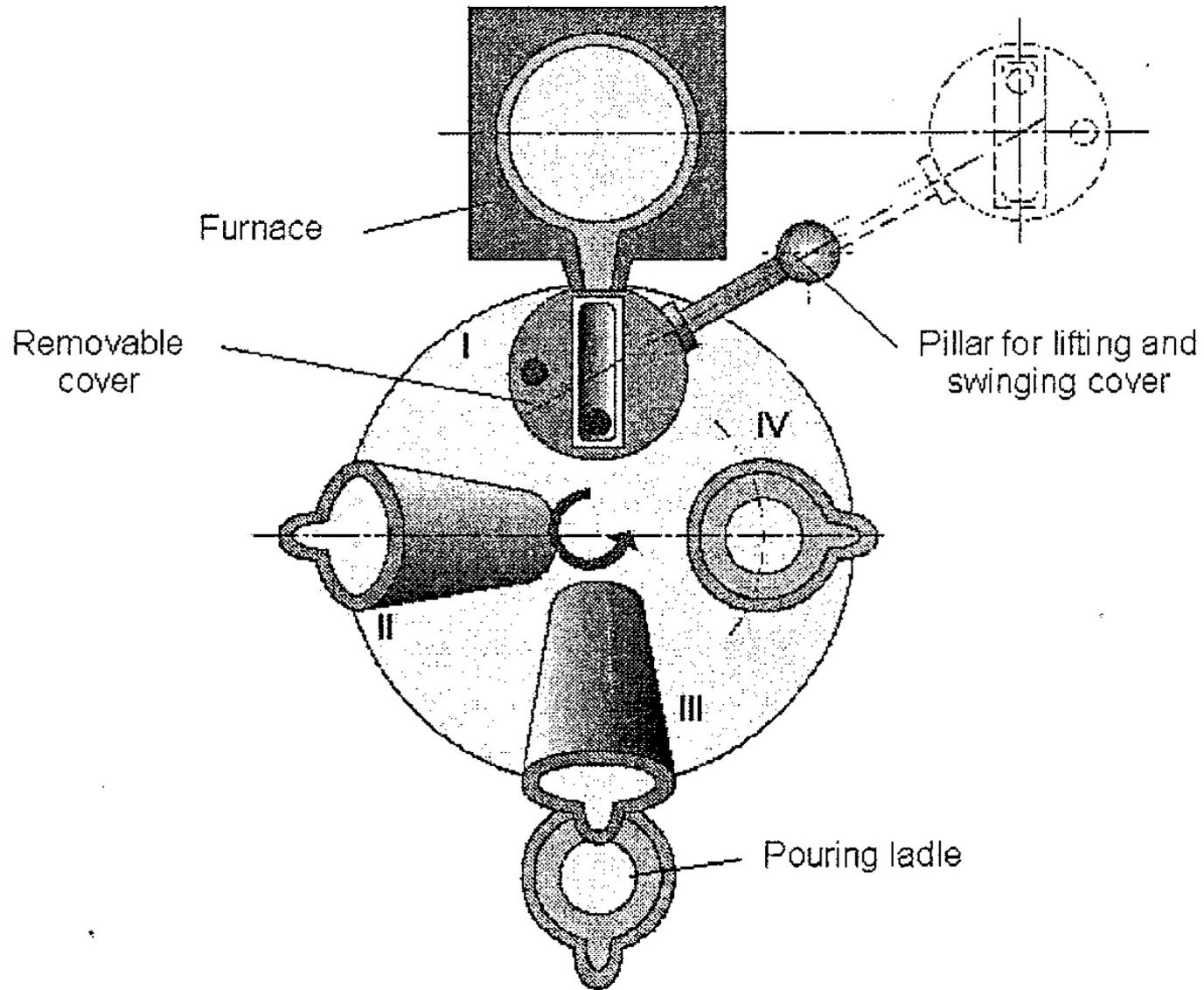


Fig. 3.13. Turntable arrangement of Tundish process is shown.

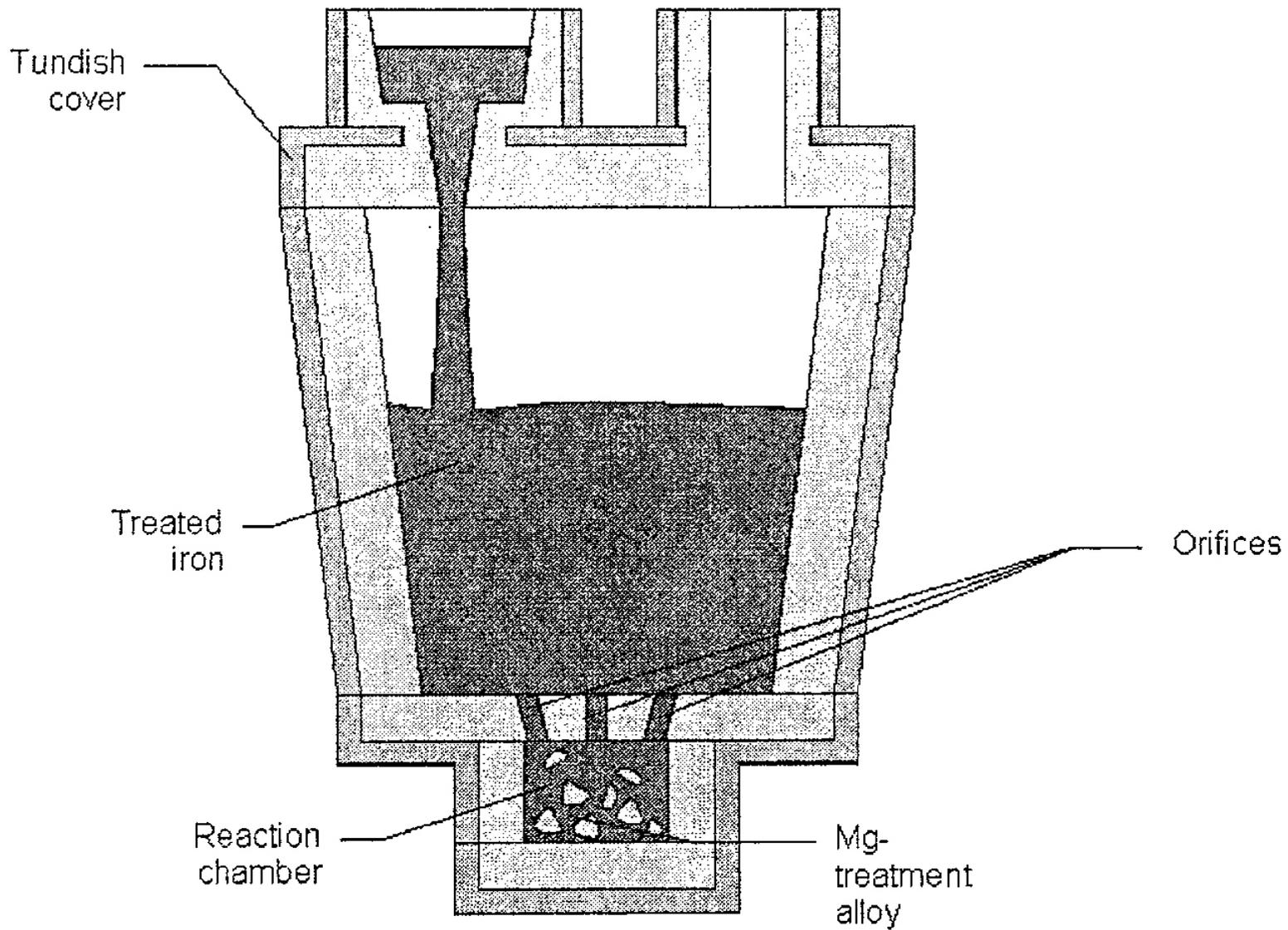


Fig. 3.14. Tundish converter for magnesium treatment of iron is shown.

Rendimiento de Mg > 85%

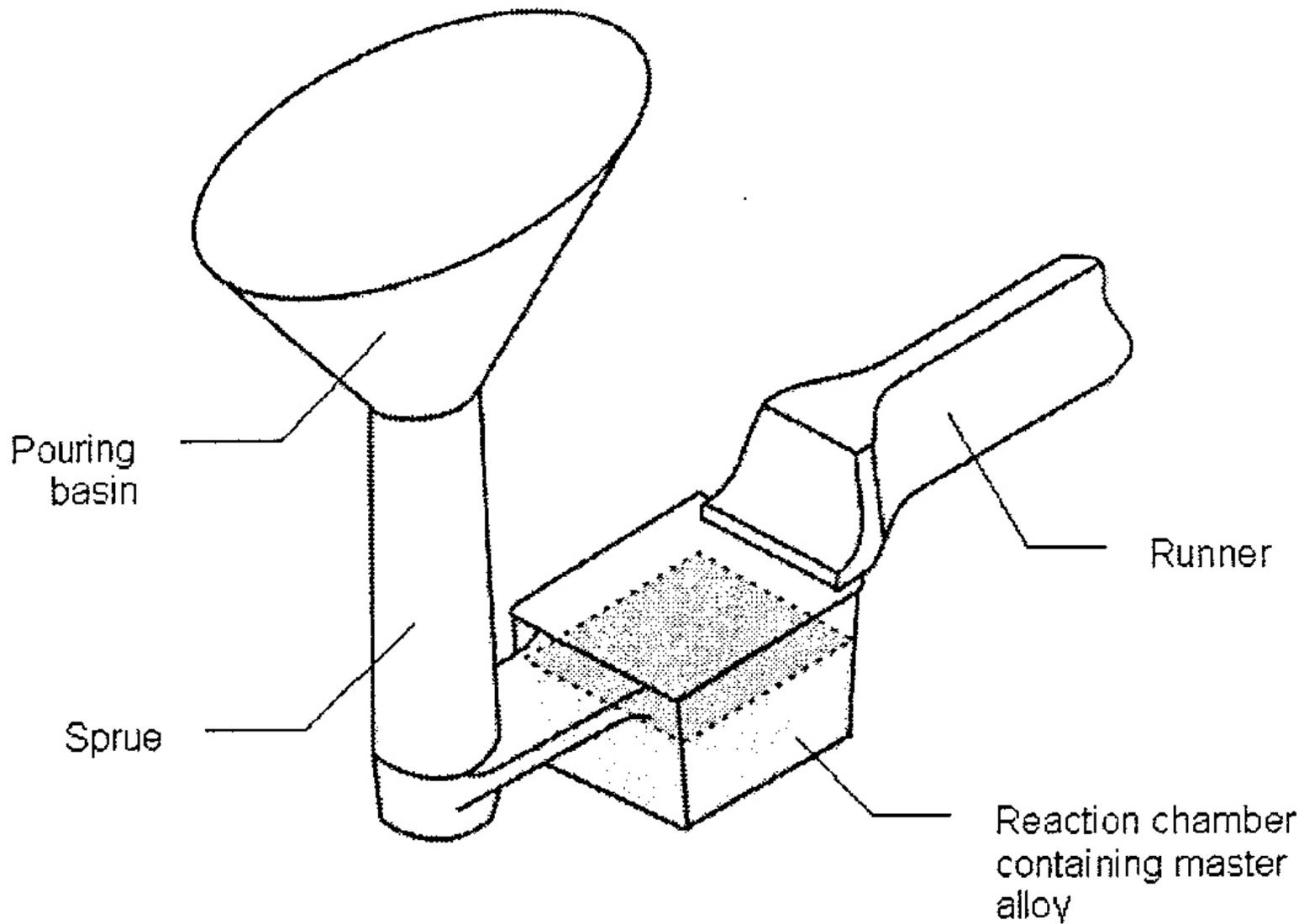


Fig. 3.15a. This schematic illustrates an in-mold treatment technique.

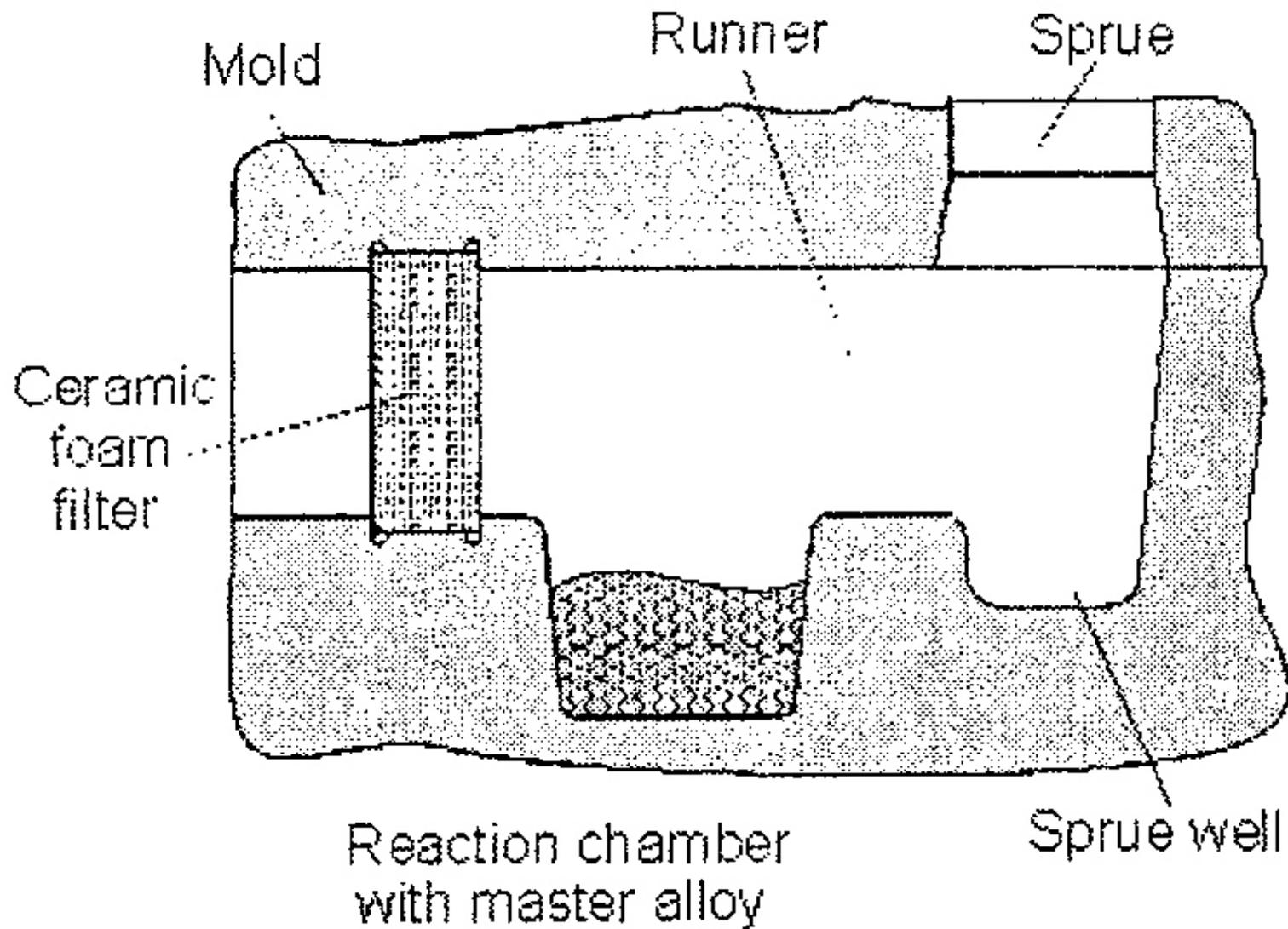


Fig. 3.15b. This schematic illustrates an in-mold process, employing a ceramic filter for slag trapping.

Rendimiento
de Mg > 90%

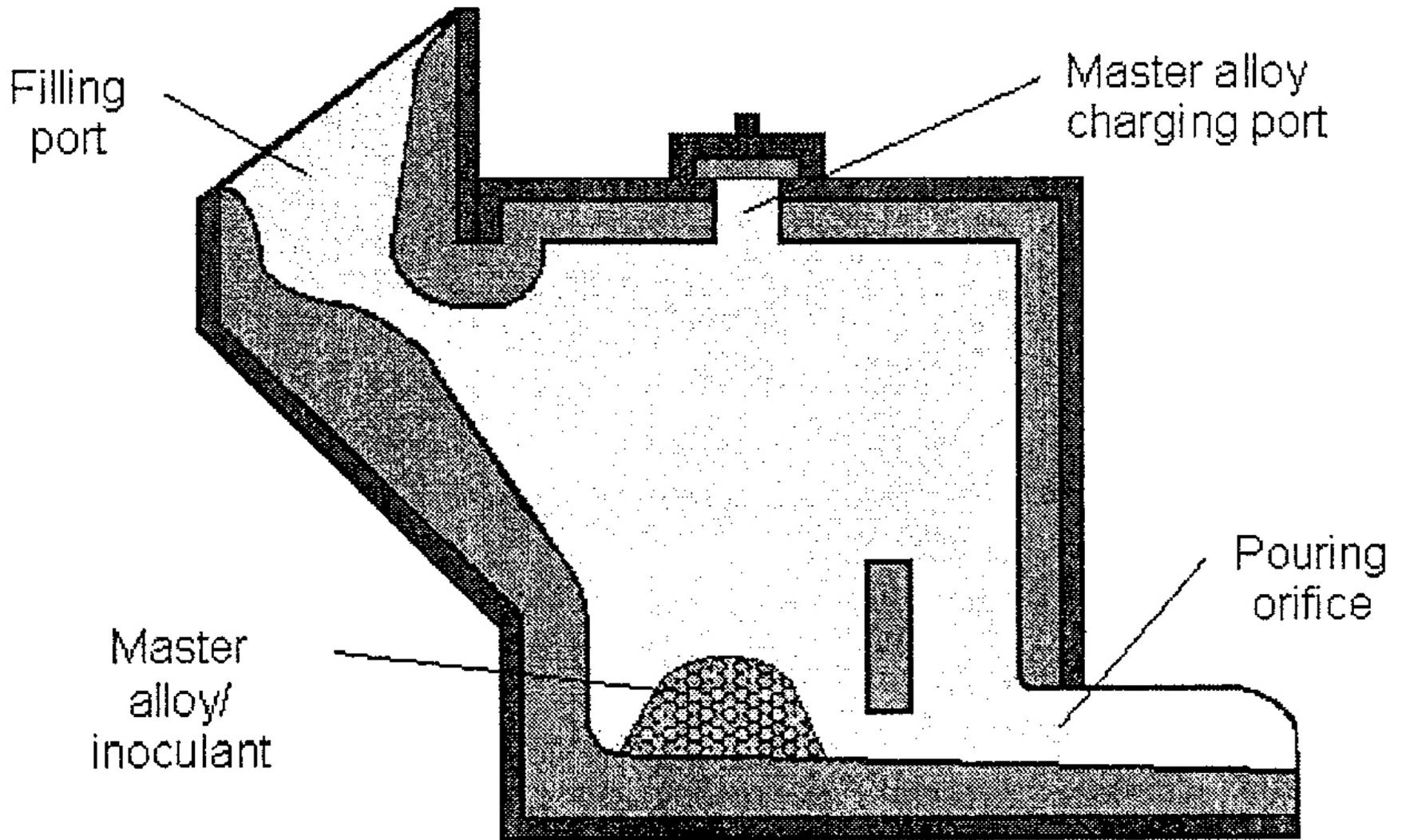
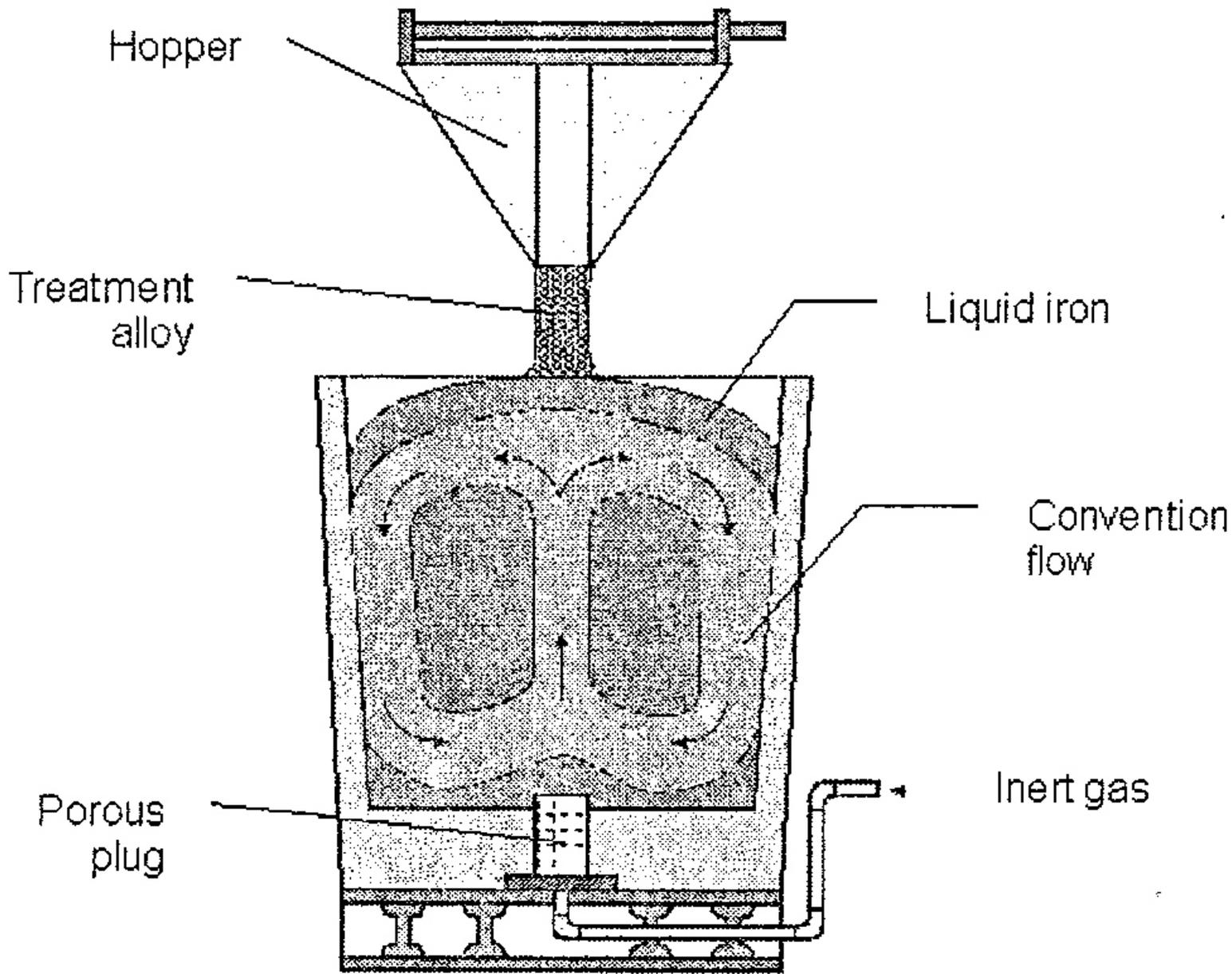


Fig. 3.16. Flow-through magnesium treatment process is illustrated.

Rendimiento de Mg > 80%



Rendimiento
de Mg \approx
100%

Fig. 3.17. Porous plug magnesium treatment and desulfurizing process is illustrated.

Tratamientos del metal líquido para los hierros dúctiles:

Nodularización

Para promover la precipitación del Cg en forma de esferoides

Inoculación

Para promover una mayor densidad de esferoides

Secuencia “correcta”:

- a) Nodularización y después
- b) Inoculación

Debido a que si se inocula primero, los embriones y núcleos formados pueden ir a formar parte de la escoria debido a la violencia de la reacción del Mg y por ende a la turbulencia generada en el seno del metal líquido que haría que las micropartículas de la inoculación subieran a la superficie formando parte de la escoria

Prueba de control en el proceso

Prueba del cupón

