

INOCULACIÓN

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

- %Mg = 0.02 – 0.07
- **%Mg=0.01 – 0.03

Graphitizing Elements		Carbide Promoting Elements	
Si	Silicon	V	Vanadium
P	Phosphorus	Cr	Chromium
Al	Aluminium	Mn	Manganese
Ni	Nickel	Mo	Molybdenum
Co	Cobalt	W	Tungsten
Cu	Copper	N	Nitrogen
Ca	Calcium	Mg	Magnesium
Ba	Barium	RE	Rare Earth
Sr	Strontium		

Table 2: Graphitizing and carbide promoting elements

¿Qué es la Inoculación?

La inoculación es un medio para controlar y mejorar la microestructura y las propiedades mecánicas de los “hierros colados”. El proceso de inoculación provee suficientes sitios de nucleación para que el carbono disuelto precipite como grafito en lugar de carburos de hierro (cementita).

Los inoculantes más comunes son aleaciones de FeSi con pequeñas y definidas cantidades de Ca, Ba, Sr, Zr, Tierras raras y Al. Ejemplos de hierros colados no inoculados y con inoculación se muestran en la figura 1 y la influencia de la inoculación sobre las propiedades mecánicas en la figura 2. Consecuentemente, los efectos de la inoculación en los hierros grises y dúctiles son el mejoramiento de la maquinabilidad, el incremento de las resistencias y la ductilidad, se reduce la dureza y la sensibilidad a la sección y se logra una microestructura más homogénea.

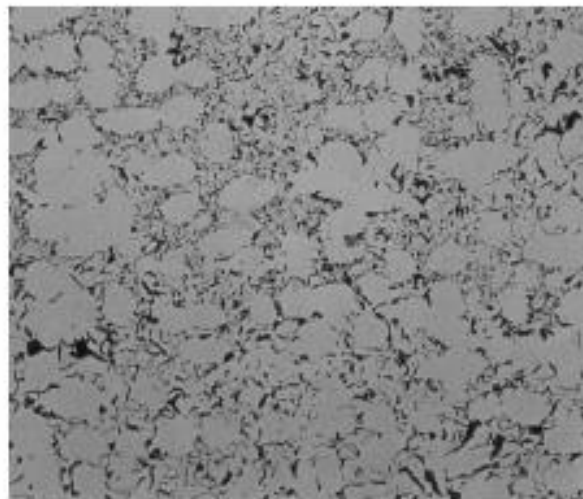
Típicamente, la inoculación también reduce la tendencia a la formación del rechupe por solidificación

Inoculation is the addition made to a melt which alters the solidification structure of gray iron. It is the use of certain materials that, when added to molten iron prior to casting, make higher quality, more predictable, gray and ductile iron castings.

Its primary purposes are to improve the mechanical properties and the machinability of iron castings. It does this by modifying the solidification process sufficient to allow the formation of Type A graphite in gray iron and nodular graphite in ductile iron.

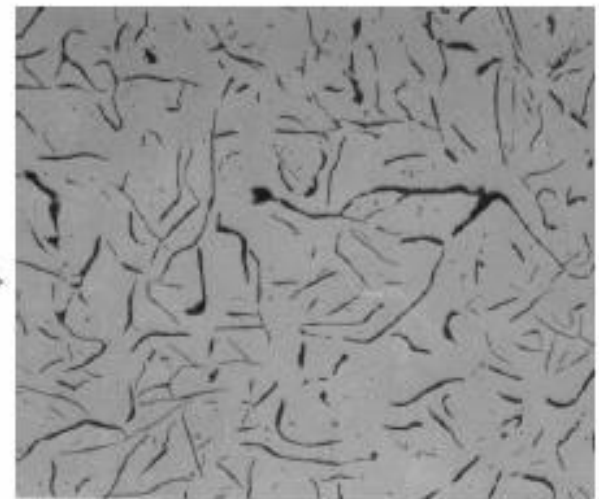
Inoculation is a familiar foundry practice that facilitates within a molten iron bath the formation of nucleation sites and the precipitation (formation) of graphite as flakes or nodules. Together with controlled cooling, it helps to create a balance, or equilibrium state, between cooling time and temperature. By creating this favorable balance for solidification, inoculation serves several secondary purposes such as:

- * control of graphite structure (morphology);
- * elimination or reduction of iron carbide formation (chill);
- * reduction of casting section sensitivity;
- * prevention of undercooling.

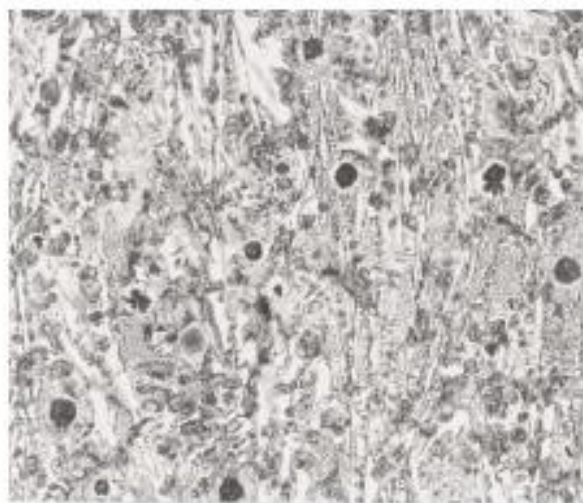


Un-inoculated

Grey Iron



Inoculated



Ductile Iron

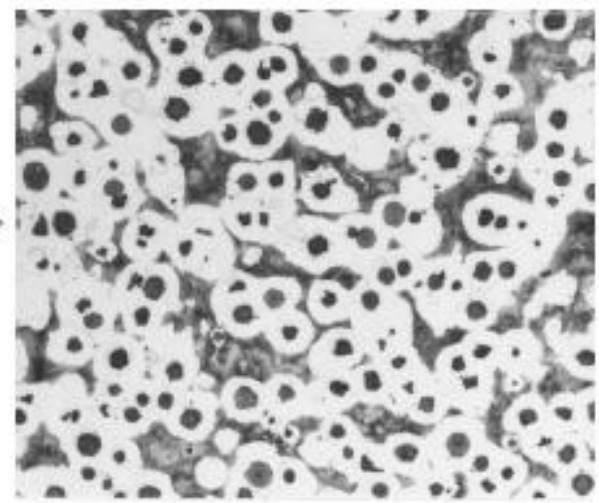
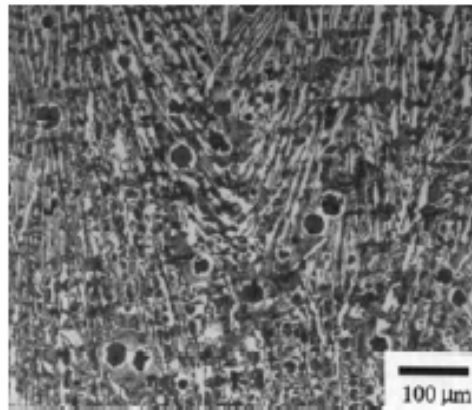
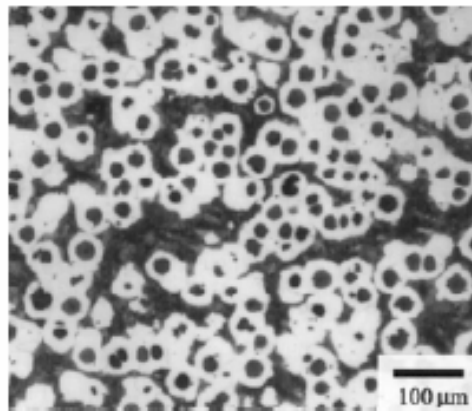


Figure 1: Examples of structures in un-inoculated and inoculated irons. (5)

Un-inoculated



Inoculated



Example:

Tensile: 200 MPa

Elongation: 0 %

Hardness: 700 HB

**Control of
structure and
properties by
minimizing
undercooling
and
providing
nucleation of
graphite during
solidification**

Example:

Tensile: 450 MPa

Elongation: 10 %

Hardness: 180 HB

Figure 2: Effects of inoculation on typical mechanical properties of ductile iron.

(5)

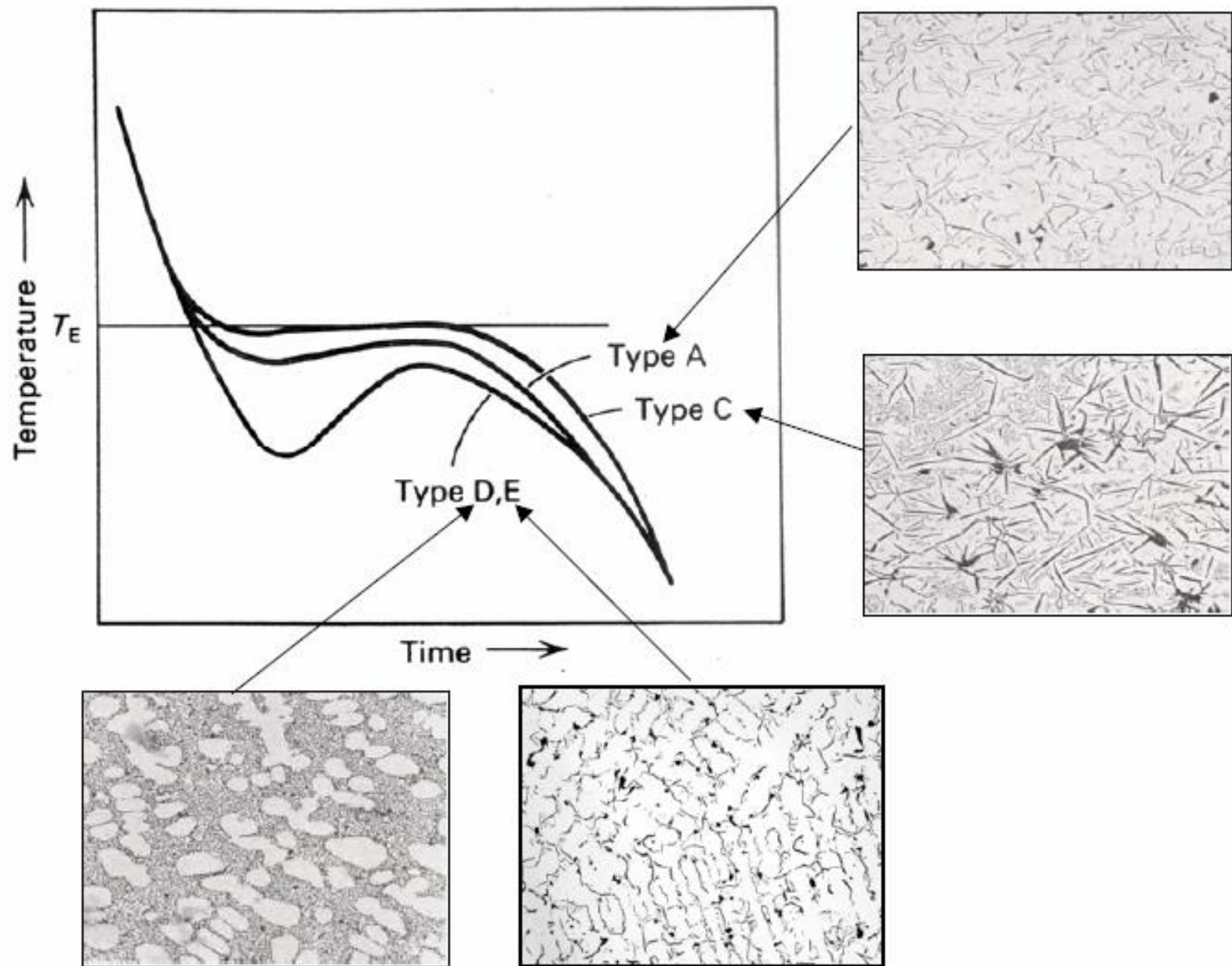


Figure 3: Graphite structures as a function of eutectic undercooling in grey iron.

Elementos Inoculantes

Lo principal que se encontró de los estudios de las microinclusiones como sitios de nucleación para el grafito es que los elementos claves en la inoculación son Ca, Ba, Sr y Al. El ferrosilicio, en si, es solamente el material que contiene y lleva estos elementos activos críticos, pero también es necesario con la idea de tener a esos elementos minoritarios en la concentración y solubilidad correctas para una óptima inoculación

Inoculants most commonly are 70-90% ferrosilicon blended with calcium (0.50% minimum) and aluminum (1.0-1.4%). Barium, manganese, magnesium and the rare earths also may be present in the proprietary inoculants. These materials affect and control the cast iron's microstructure and resulting physical properties.

Inoculant particle size affects inoculant effectiveness. Generally, coarser inoculants (1 in. or smaller) are used for ladle inoculation and finer materials (20 mesh and smaller) are used for mold inoculation. In either case, it is important that the inoculant be distributed evenly to affect all parts of the iron bath. It is also important that the highest concentration of inoculant be developed in the melt before the temperatures at which the graphite begins to precipitate and that this temperature level be maintained until nucleation is completed.

Tipos de Inoculantes

There are two types of inoculants for cast iron: one for graphitizing and the other for stabilizing. Both are used in gray iron metallurgy, but only the graphitizers are used in ductile cast irons to achieve a desired nodule count and shape.

* Graphitizing inoculants promote the precipitation of dissolved carbon as graphite during solidification. They also minimize the formation of iron carbides (by preventing undercooling) and limit edge chill in castings.

* Stabilizing inoculants promote the formation of graphites during solidification, too, but they also promote the formation of fine pearlite during solid-state cooling to produce high strength castings with a minimum amount of chill. The lower the carbon equivalent of the iron, the less the amount of inoculant necessary. Fading is not so critical as with graphitizing inoculants. So long as the metal is hot enough to dissolve the inoculant and able to prevent misruns when poured, inoculation should be effective.

Table 5 Compositions of ferrosilicon inoculants for gray cast iron

Performance category of inoculant	Composition ^(a) , %									
	Si	Al	Ca	Ba	Ce	TRE ^(b)	Ti	Mn	Sr	Others
Standard	46-50	0.5-1.25	0.60-0.90	...	...	...	...	...	...	...
	74-79	1.25 max	0.50-1.0	...	...	...	...	...	...	...
	74-79	0.75-1.5	1.0-1.5	...	...	...	...	...	...	...
	60-65	0.8-1.5	1.5-3.0	4-6	...	...	...	7-12	...	...
	70-74	0.8-1.5	0.8-1.5	0.7-1.3 0.75-1.25	...	...	...	...	...	...
	42-44	...	0.75-1.25	...	...	...	9-11	...	...	...
	50-55	...	5-7	...	...	...	9-11	...	...	...
	50-55	...	0.5-1.5	...	...	...	9-11	...	...	...
High	36-40	...	...	...	9-11	10.5-15	...	...	...	...
	46-50	0.50 max	0.10 max	...	...	...	...	...	0.60-1.0	...
	73-78	0.50 max	0.10 max	...	...	...	...	...	0.60-1.0	...

Elkem Inoculants

Inoculant	%Si	%Ca	%Ba	%Sr	%Zr	%RE	%Al
Superseed®75	73 – 78	0.1 max		0.6-1.0			0.5 max
Superseed®50	46 – 50	0.1 max		0.6-1.0			0.5 max
Superseed®Extra	73 – 78	0.1 max		0.6-1.0	1.0-1.5		0.5 max
Ultrasæed®	70 - 76	0.75-1.25				* 1.5-2.0	0.75-1.25
Foundrisil®	73 – 78	0.75-1.25	0.75-1.25				0.75-1.25
Barinoc®	72 – 78	1.0-2.0	2.0-3.0				1.5 max
Zircinoc®	73 – 78	2.0-2.5			1.3-1.8		1.0-1.5
Reseed®	72 – 78	0.5-1.0				1.8-2.1	0.5-1.25
Alinoc®	70 – 75	0.5-1.5					3.5-4.5
SMZ®	62 – 69	0.6-1.9	0,3-0,7		3,0-5,0	**	
FG FeSi/Vaxon®75	73 – 78	0.5-1.0		0.6-1.0			1.0-1.5

* Rare Earth present as Cerium, total added sulphur and oxygen content of this inoculant is less than 1%.

** Contains Mn 2,8-4,5%

Cantidad de inoculante

0.05 a 0.8 % base Si

El rango es bastante grande.

La cantidad se determina de acuerdo a la composición química y la sección crítica de la pieza

Tiempo de Decaimiento

Efecto del desvanecimiento de la inoculación.

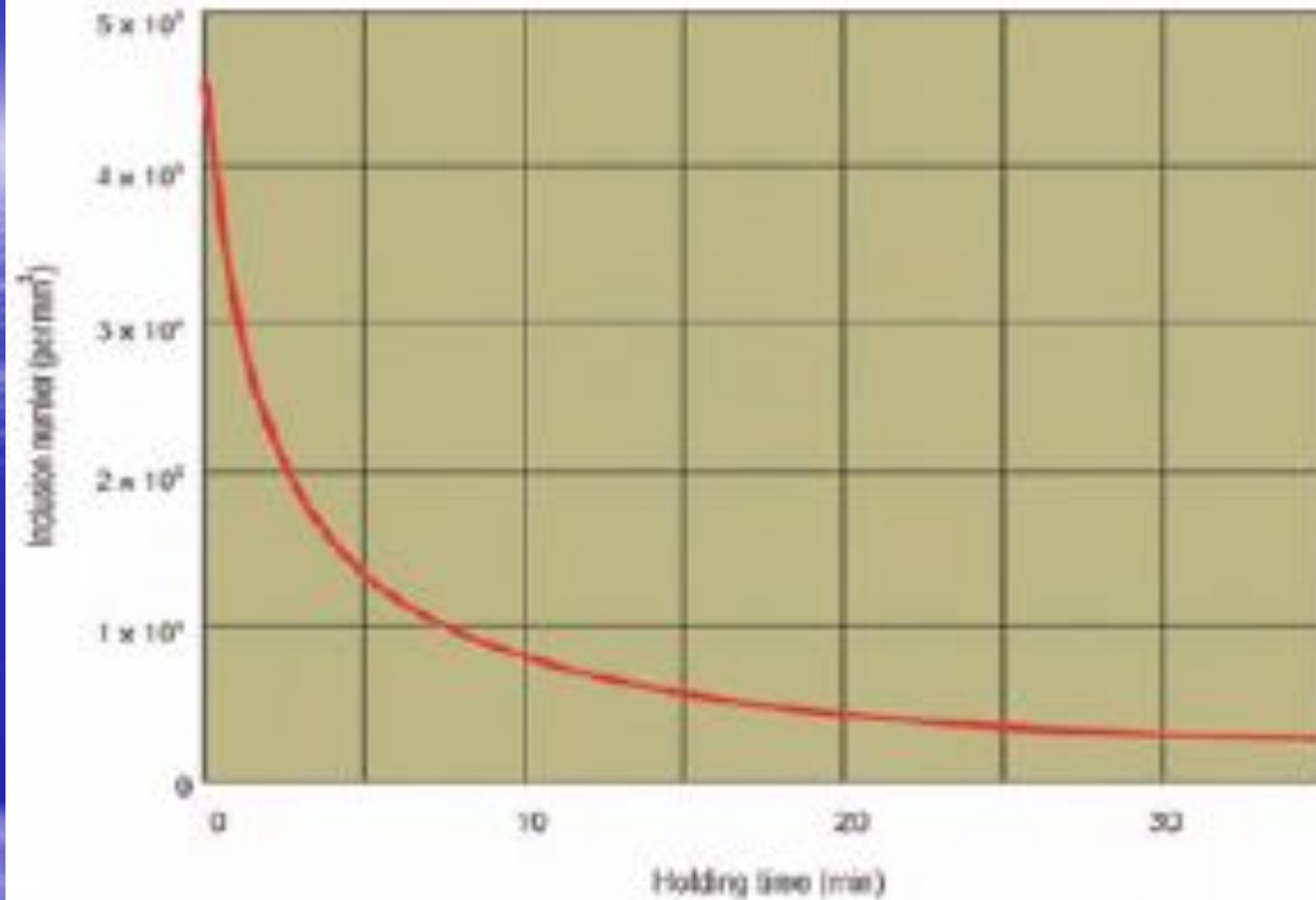
La pérdida gradual del efecto de la inoculación en el metal líquido es bien conocida por la gente de fundición, y este desvanecimiento de la inoculación con el tiempo dará lugar a la formación de estructuras de carburos y una pobre formación de grafito en el hierro, en los casos de tiempos prolongados antes del vaciado. La Figura 9 y 10 muestran este efecto de la inoculación por la reducción en la densidad de número de sitios potenciales de nucleación durante el tiempo de desvanecimiento. La velocidad de desvanecimiento de la inoculación está directamente relacionada con la velocidad de difusión de elementos reactivos a través del metal líquido.

Tiempo de decaimiento

Los efectos de la inoculación alcanzan un máximo inmediatamente después de que se agrega el inoculante a el metal fundido y entonces rápidamente empieza a decaer

La rapidez de decaimiento depende de la composición del inoculante, así como también de la composición química del metal al cuál es agregado

Los efectos de la inoculación puede ser cuestión de algunos minutos, y por esta razón muchas fundiciones imponen un límite de tiempo en el cual el metal líquido deba estar en la olla después de la inoculación. Existen sistemas en las que el inoculante se agrega en el último momento antes del vaciado, aunque está la alternativa de la inoculación en el molde



Tiempo de Decaimiento.

Número de celdas eutécticas/ mm² vs. Tiempo de mantenimiento

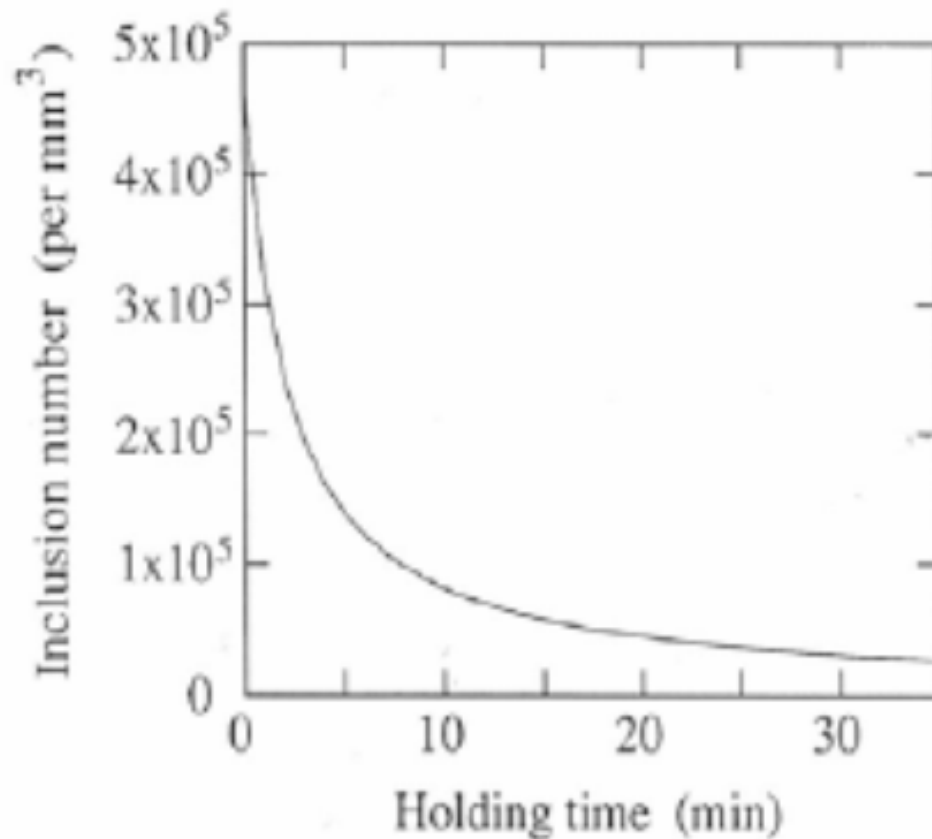
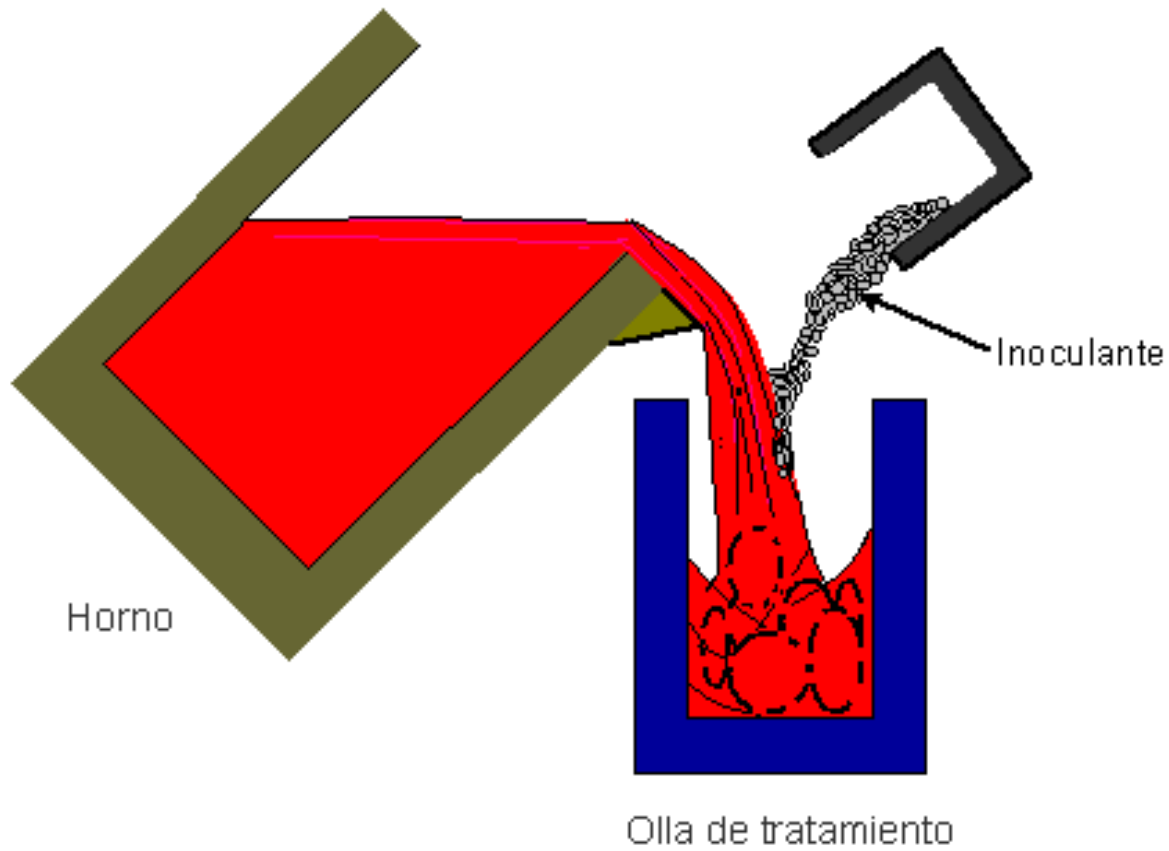


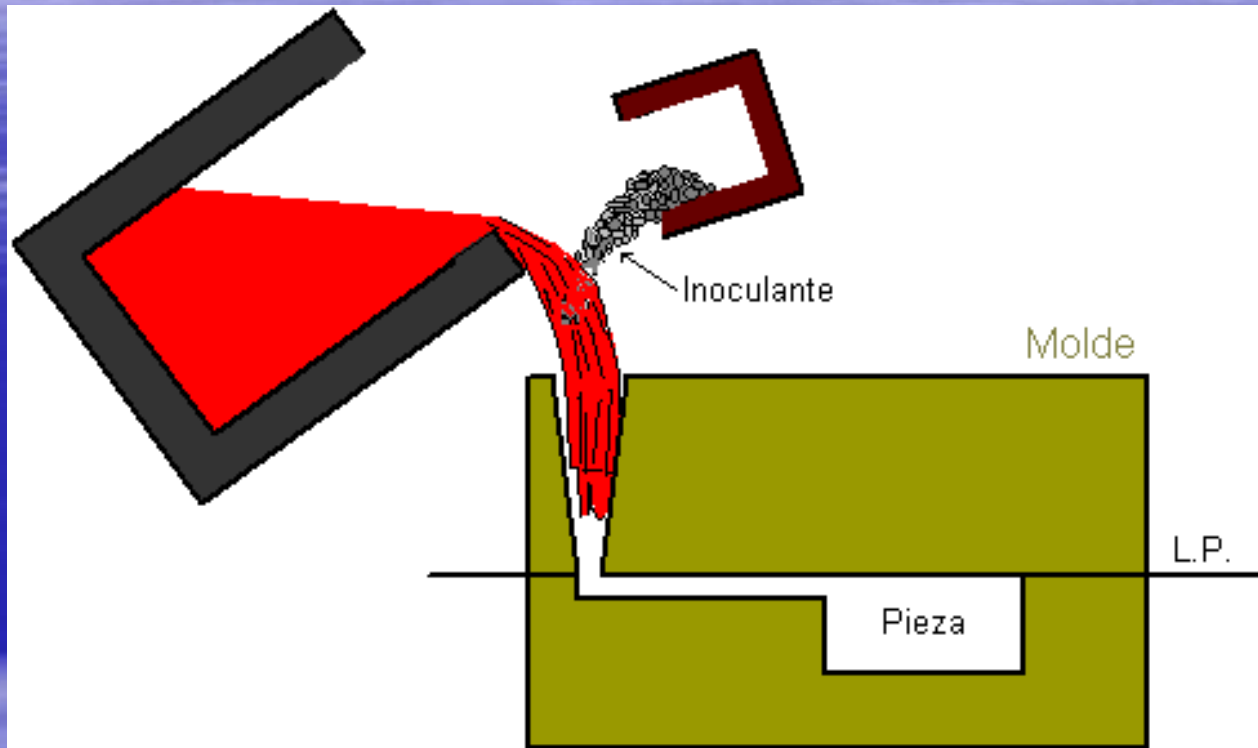
Figura 10. Reducción en la densidad de micro-inclusiones en función del tiempo de mantenimiento (holding time) después de la inoculación.

Métodos de inoculación.

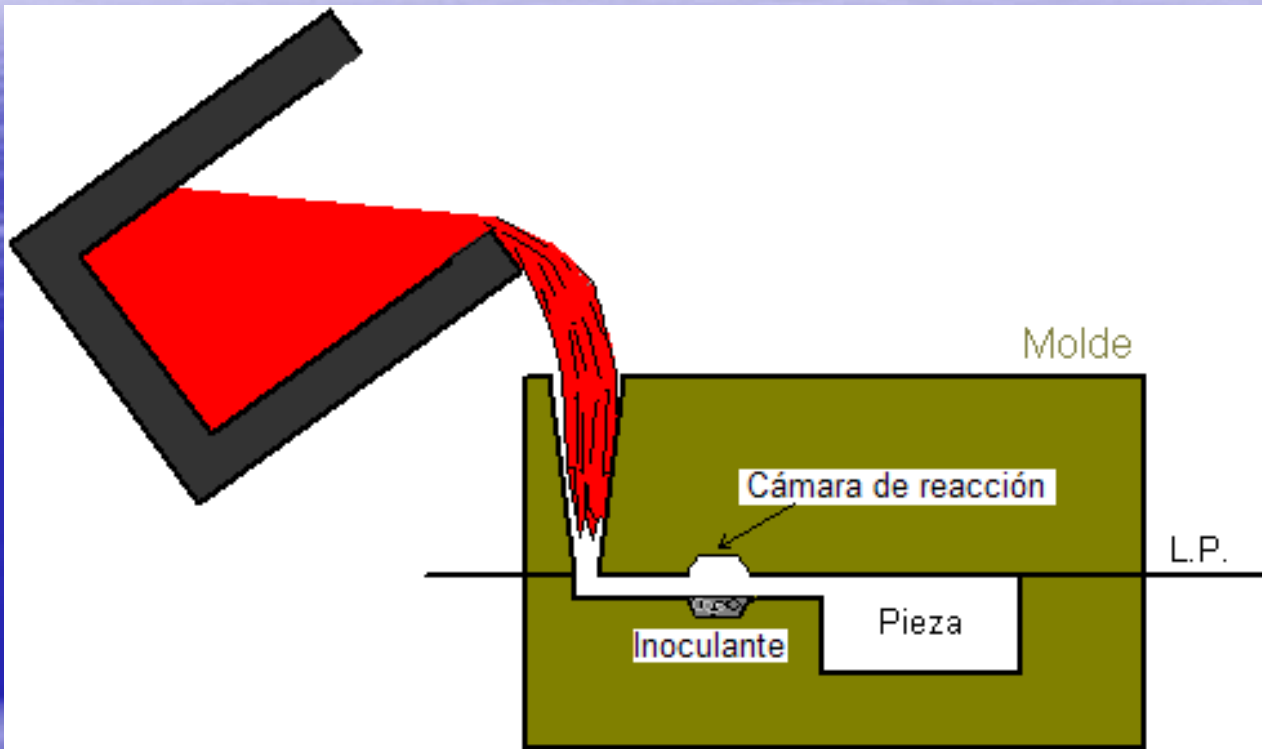
La cantidad de adición que se requiere de una inoculación en hierro líquido depende de dónde y cuándo se va a introducir. La figura 11 muestra un ejemplo de una reducción sustancial de la cantidad de adición cuando se va de una adición temprana de la cuchara de transferencia a una adición tardía a la corriente de metal. En la transferencia, la cantidad de adición del inoculante requerida puede ser de hasta 1% en peso, mientras que la alternativa al final de la inoculación en la corriente puede requerir sólo un 0.1% en peso, además que todavía proporciona suficientes o incluso mejores eficacia. Esta inoculación se debe principalmente a la adición tardía dando mucho menos tiempo disponible para el engrosamiento de las partículas y efectos de desvanecimiento.

Inoculación en la olla (inoculación inicial)

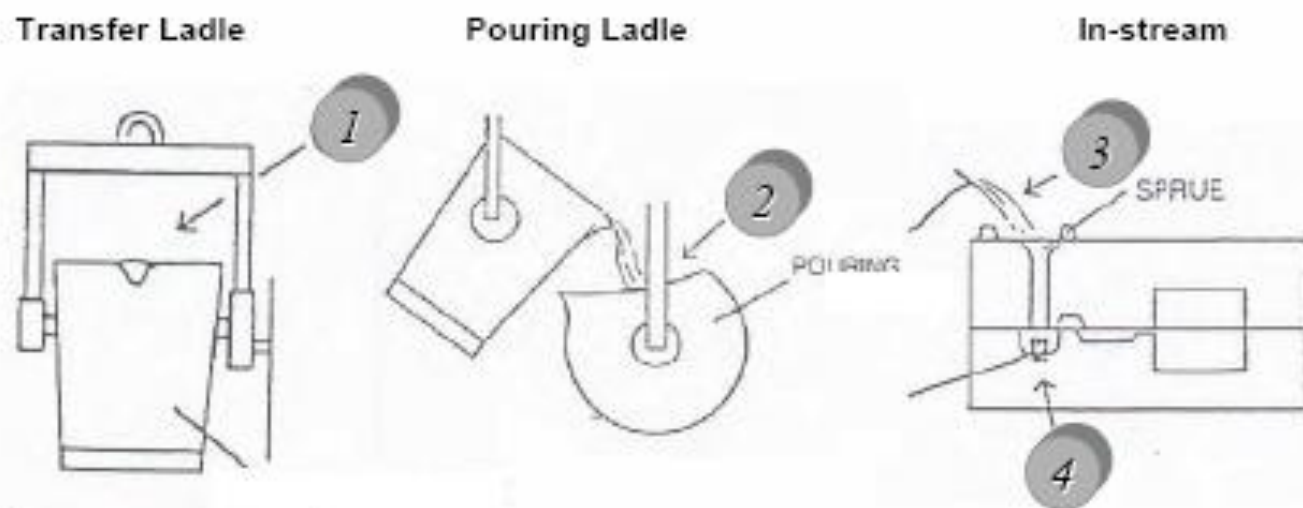




Inoculación en el molde



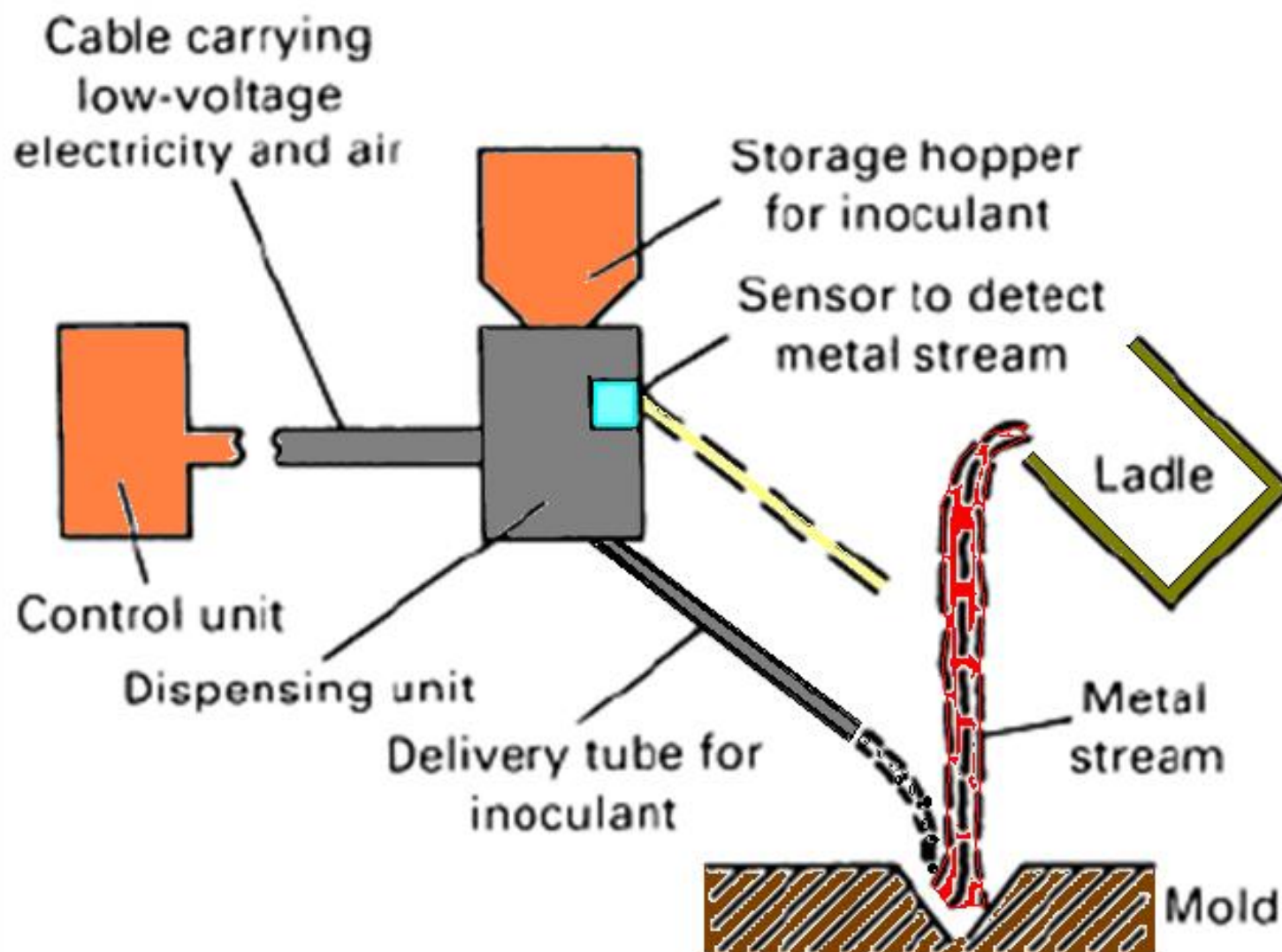
Inoculación en el molde



Examples:

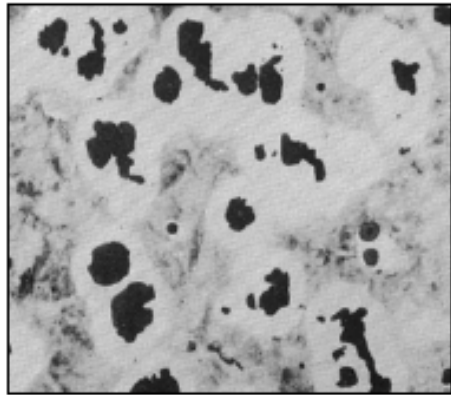
Position	1	2	3	4
Addition rate [wt%]	0.3 – 1.0	0.3 – 0.5	0.05 – 0.2	0.04 – 0.2
Sizing [mm]	0.5 – 15	0.5 – 10	0.2 – 1	0.5 – 5

Figure 11: Schematic representation of different methods for inoculant addition to the transfer ladle, pouring ladle or mould.

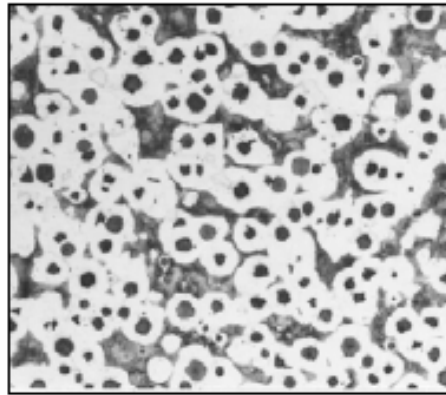


Esquema que muestra el principio de la inoculación en el flujo

Poor Inoculated



Inoculated



Good Inoculation



Improved Recovery



Reduced Mg-Addition

Property		Uninoculated	Inoculated
Proof Strength	$R_{p0.2}$	Not detected	200 - 400 MPa
Tensile Strength	R_m	< 300 MPa	350 - 800 MPa
Elongation	A_5	Not detected	3 - 30 %
Brinell Hardness	HB	> 600	140 - 300
Nodule Count	10 mm section	< 50 per mm ²	> 150 per mm ²
Microstructure	ASTM Classification	Carbide	Ferritic and/or Pearlitic

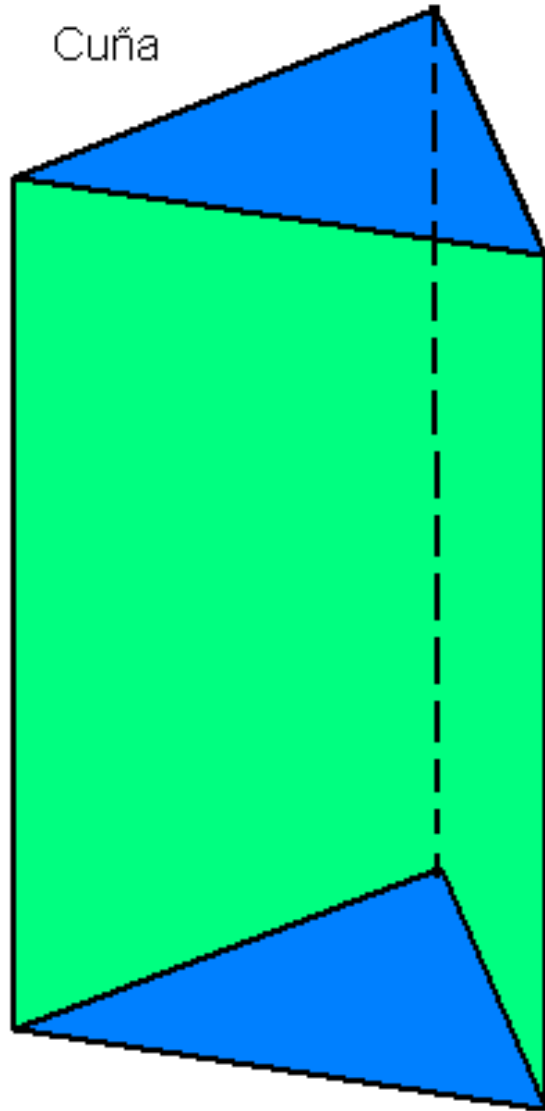
Figure 5: Examples of microstructure and mechanical properties in un-inoculated and inoculated ductile irons. (5)

Pruebas de Control

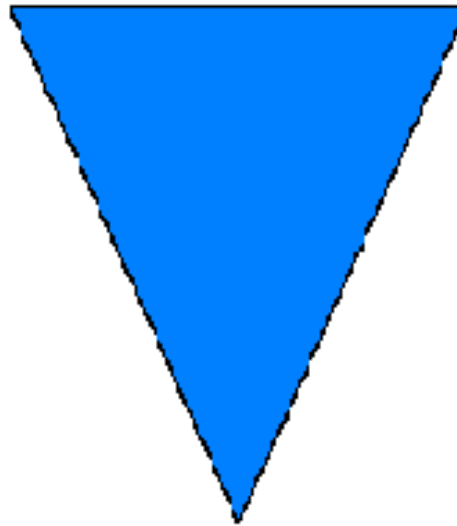
1. Prueba de la cuña

2. Análisis Térmico

Cuña



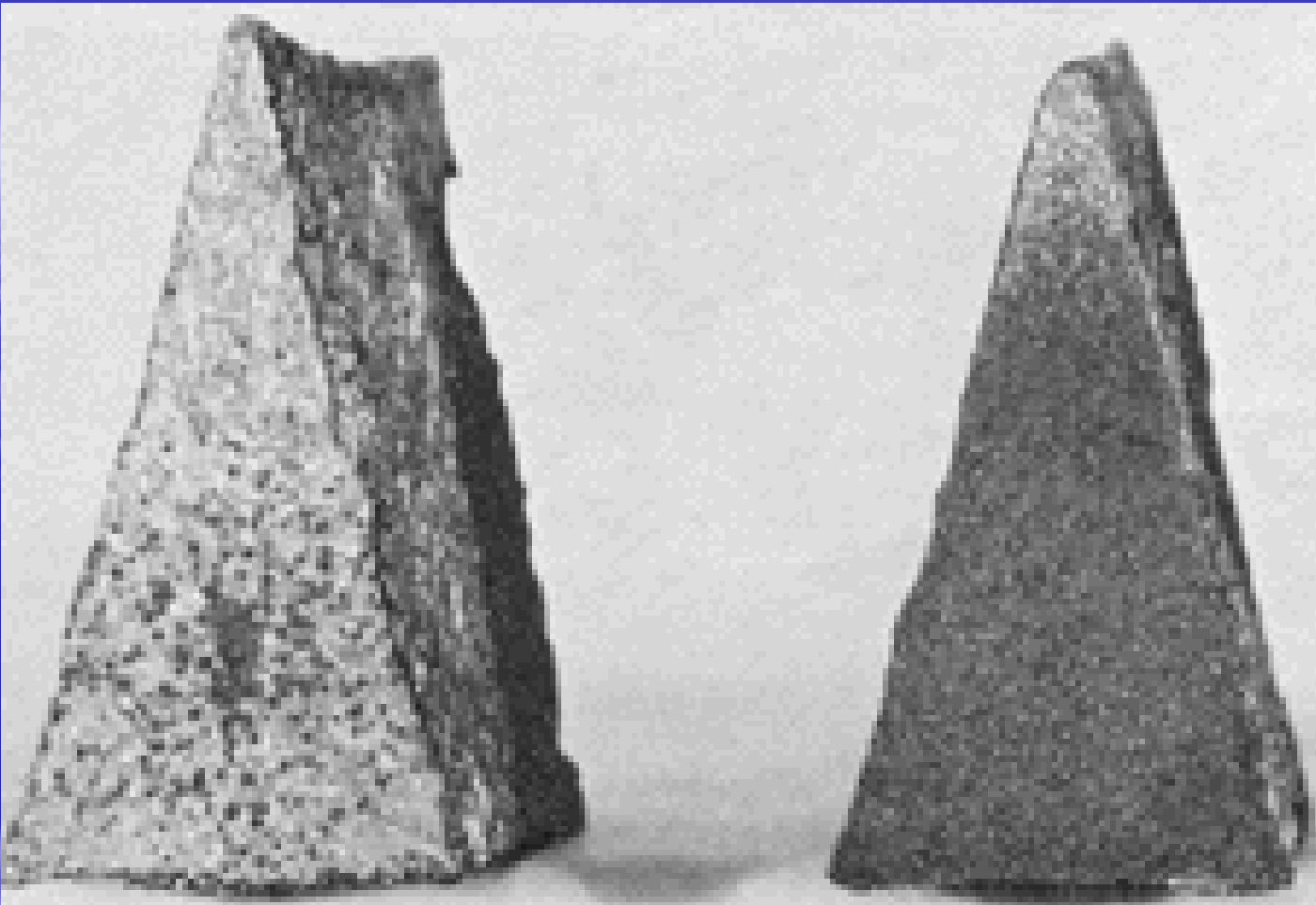
Sección transversal



Prueba de control. Para determinar la formación de hierro gris, de acuerdo con la velocidad de enfriamiento o tamaño de sección

Una vez solidificada, se fractura a la mitad por medio de un golpe.

Se analiza el tipo de fractura con respecto a su color



**The effect of inoculation on chill in grey iron.
Wedge on the left uninoculated. Wedge on the right
inoculated**

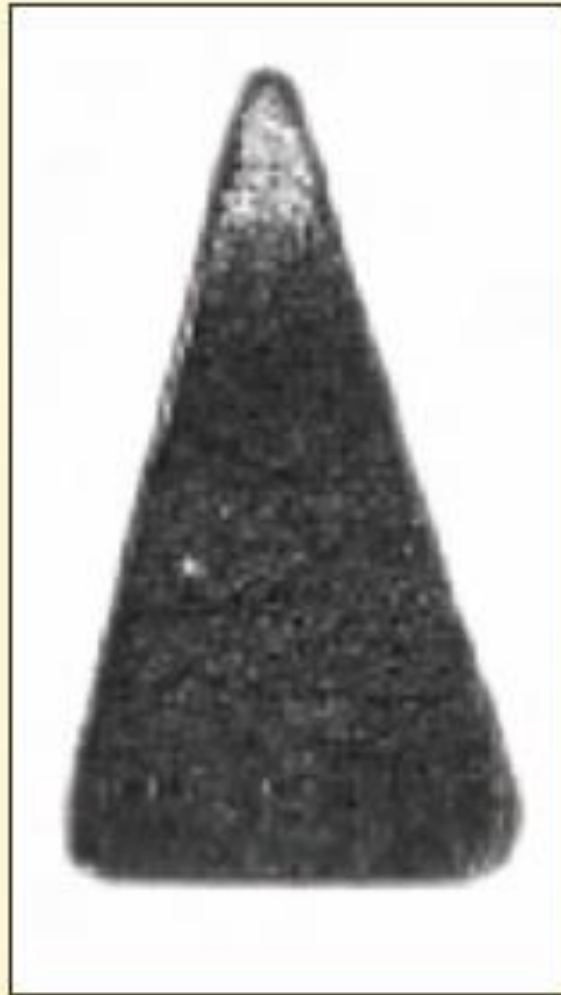


Figure 2: Chill Wedge with fast solidifying 'white' tip and slowly cooled 'grey' base.

Figure 9: Cupola melted grey cast iron (2.6X) ; no inoculation (left) , inoculated with 0.2wt% FeSi85% (centre), and inoculated with 0.125wt% Superseed (right)

