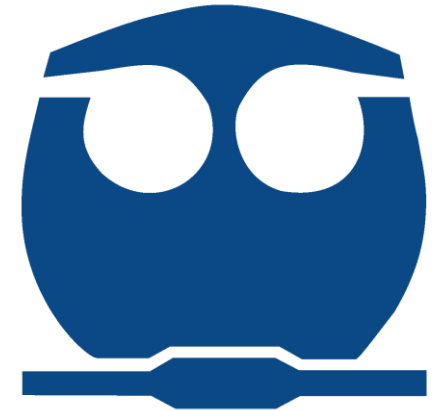




Aluminio



INTRODUCCIÓN

Características de las aleaciones base Al



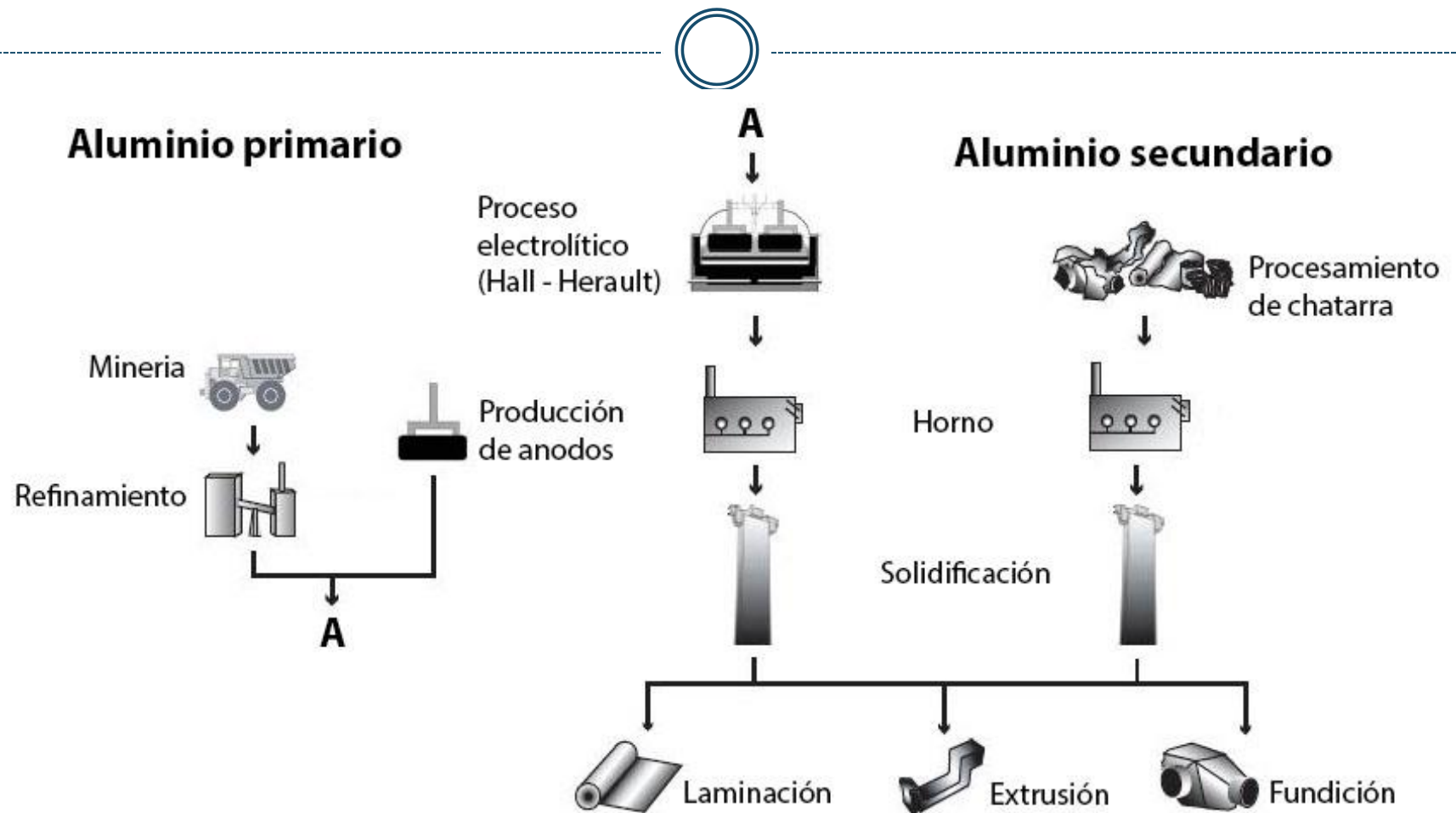
Las aleaciones base aluminio son importantes debido a las propiedades que presentan las mismas, por ejemplo:

- Baja densidad, Elevada Resistencia específica
- Alta conductividad: térmica y eléctrica
- Buena resistencia a la corrosión
- Aspecto agradable (acabado)
- Facilidad para alearse
- Facilidad para ser procesado: fundirse, maquinarse, soldarse, laminarse, etc.
- Altamente Reciclable
- Alta fluidez y buenas propiedades de fundición

Aplicaciones de aleaciones base Al



Obtención de aluminio



Nomenclatura de aleaciones base Al



Se ha desarrollado un sistema de nomenclatura para aleaciones base aluminio por la Asociación de Aluminio (The Aluminum Association), que es la más utilizada Actualmente. Para el caso de las aleaciones de fundición se utiliza un sistema de tres dígitos seguido de un valor decimal (.0 para límites de aleaciones de fundición, .1 y .2 para aleaciones de lingote que se procesarán posteriormente):

XXX.X

Elemento de aleación principal

Dígitos para designar
una aleación específica

Decimal para diferenciar
aleaciones de fundición o lingotes

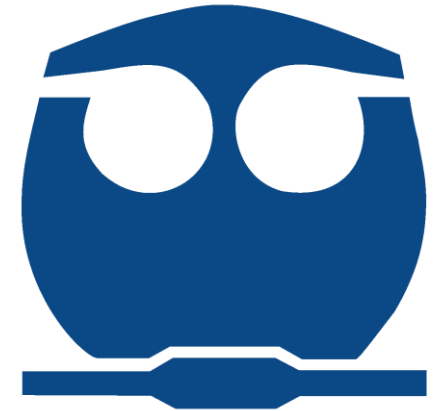
Nomenclatura de aleaciones base Al



| Serie | Aleación |
|--------------|--------------------------|
| 1XX.X | Al (pureza mínima 99.0%) |
| 2XX.X | Al + Cu |
| 3XX.X | Al + Si (con Cu y Mg) |
| 4XX.X | Al + Si |
| 5XX.X | Al + Mg |
| 6XX.X | Fuera de uso |
| 7XX.X | Al + Zn |
| 8XX.X | Al + Sn |
| 9XX.X | Fuera de uso |

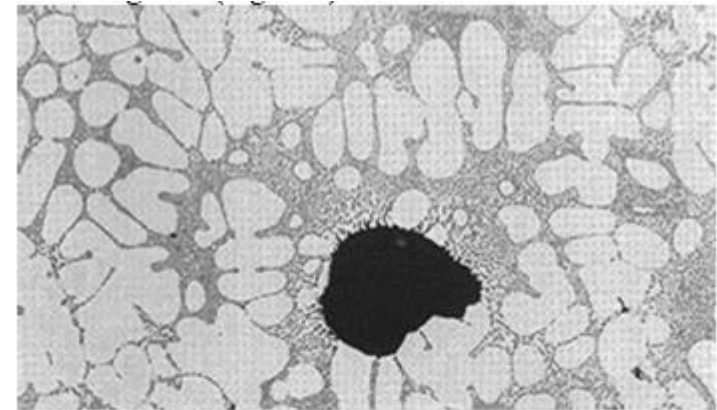


Aluminio



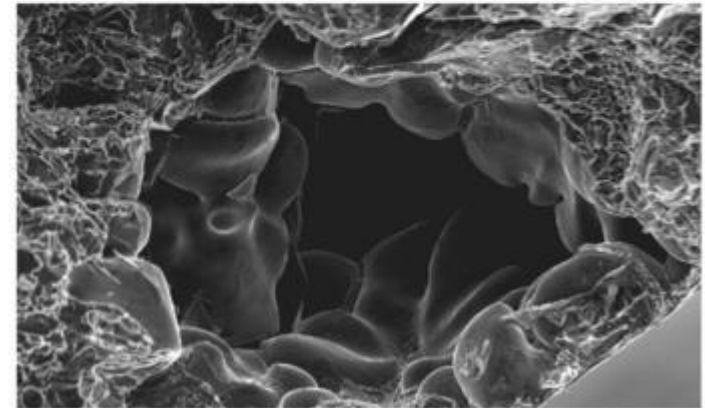
HIDRÓGENO EN LAS PIEZAS DE ALUMINIO

Porosidad en el aluminio



(a)

200 μm



(b)

100 μm

Fig. 32 Pores formed by gas evolution in the casting. (a) Light micrograph of a pore in aluminum-silicon alloy. Etchant: 0.5% HF. Source: Ref 22. (b) Scanning electron microscopy image of pore in unmodified aluminum-silicon alloy. Source: Ref 23

Porosidad en el aluminio



Los poros en piezas de fundición tienen dos causas:

➤ **Micro-rechupes.**

Poros debidos a la contracción por solidificación y se presentan en las zonas interdendriticas, presentándose con formas irregulares

➤ **Sopladuras.**

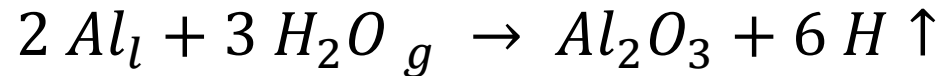
Su origen está en la solubilidad de los gases disueltos en metales líquidos y su posterior perdida de tal solubilidad en metales sólidos.

Cuando se presenta un poro en una pieza de una aleación es difícil determinar si se trata de un microrrechupe o de una sopladura, debido a que la morfología es muy parecida y la formación dendrítica influye en la morfología de los microrrechupes y las sopladuras.

Hidrógeno en Al



El Aluminio en estado líquido tiene una tendencia muy fuerte a absorber gas hidrógeno del medio ambiente. La fuente más común de contaminación por hidrógeno es la humedad del aire, la cual al entrar en contacto con la superficie caliente del metal fundido reacciona produciendo óxido de aluminio e hidrógeno según la ecuación:

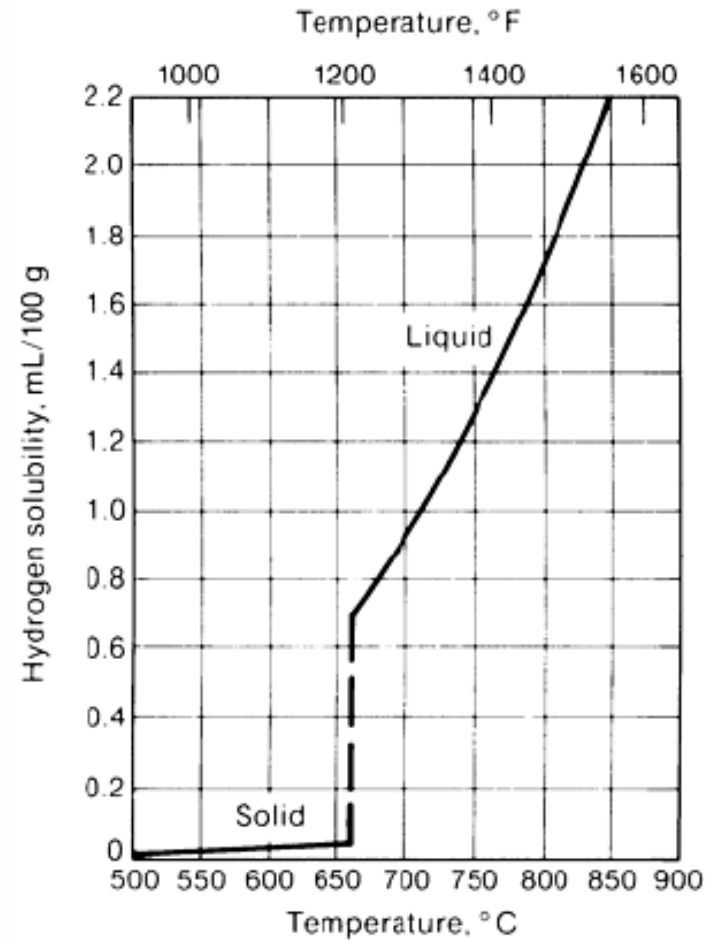
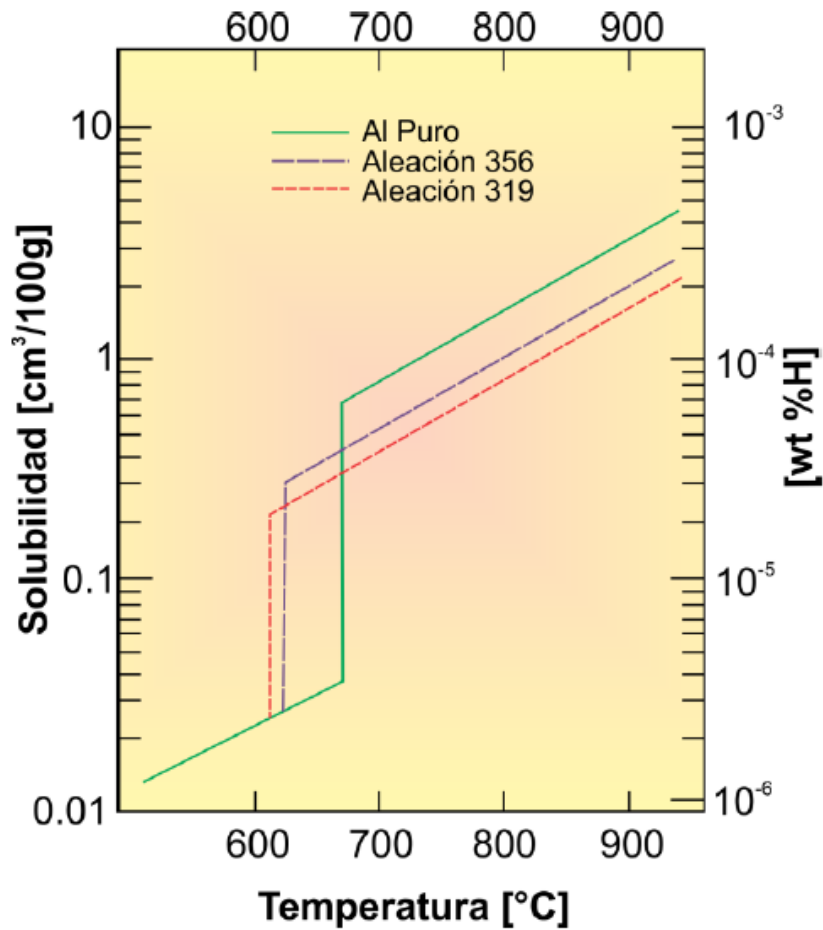


El hidrógeno resultante es absorbido fácilmente por el metal caliente manteniéndose en solución mientras el aluminio se encuentra en la fase líquida.

Este hidrógeno queda en solución líquida, pero al enfriarse el líquido y solidificar se pierde solubilidad, entonces el hidrógeno rechazado migra hacia el líquido pero como éste ya no tiene solubilidad de hidrógeno empieza a nuclear formando poros (sopladuras).

$$\text{Ley de Sievert} \quad C'_H = k \sqrt{P''_{H_2}}$$

Hidrógeno en Al



Hidrógeno en Al



| Aleación | Correlación |
|-----------------|-----------------------------------|
| Al puro | $\log S = -\frac{2550}{T} + 2.62$ |
| 2 wt % Cu | $\log S = -\frac{2950}{T} + 2.90$ |
| 4 wt % Cu | $\log S = -\frac{3050}{T} + 2.94$ |
| 8 wt % Cu | $\log S = -\frac{3150}{T} + 2.94$ |
| 16 wt % Cu | $\log S = -\frac{3150}{T} + 2.83$ |

Hidrógeno en Al



| Aleación | Correlación |
|-----------------|-----------------------------------|
| 32 wt % Cu | $\log S = -\frac{2950}{T} + 2.57$ |
| 2 wt % Si | $\log S = -\frac{2800}{T} + 2.79$ |
| 4 wt % Si | $\log S = -\frac{2950}{T} + 2.91$ |
| 8 wt % Si | $\log S = -\frac{3050}{T} + 2.95$ |
| 16 wt % Si | $\log S = -\frac{3150}{T} + 3.00$ |

Hidrógeno en Al



$$\begin{aligned} \log S = & -1.066 - 3000.35 \left(\frac{1}{T} \right) - 0.0133(\text{wt}\%Cu) - 0.0085(\text{wt}\%Si) \\ & + 0.07257(\text{wt}\%Mg) - 0.00783(\text{wt}\%Zn) + 0.24267(\text{wt}\%Li) \\ & - 0.03398(\text{wt}\%Fe) + 0.04338(\text{wt}\%Ti) \end{aligned}$$

Correlación encontrada por Anyalebechi y colaboradores, considerando el efecto de varios elementos aleantes y de la temperatura sobre la solubilidad del hidrógeno en aleaciones base Al.

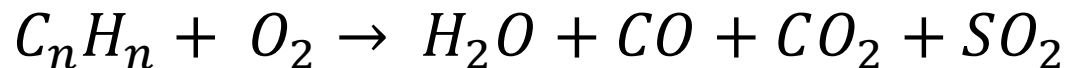
Fuentes de humedad



- Chatarra húmeda
- Humedad de los productos de corrosión
- Humedad en los fundentes (sales higroscópicas)
- Humedad de los herramentales

Agua del medio ambiente (atmósfera normal)

- Agua como producto de la reacción entre combustible y comburente

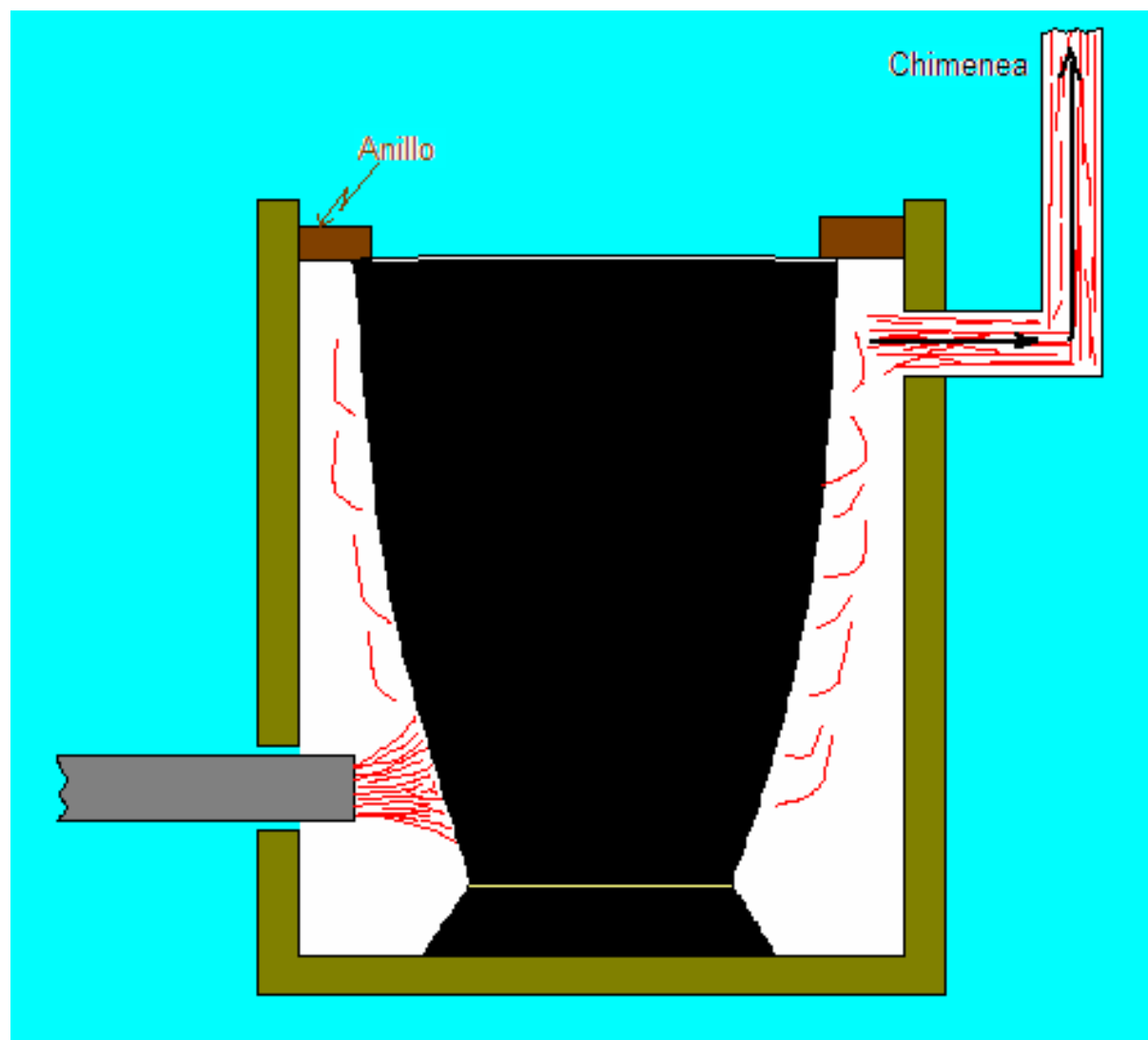


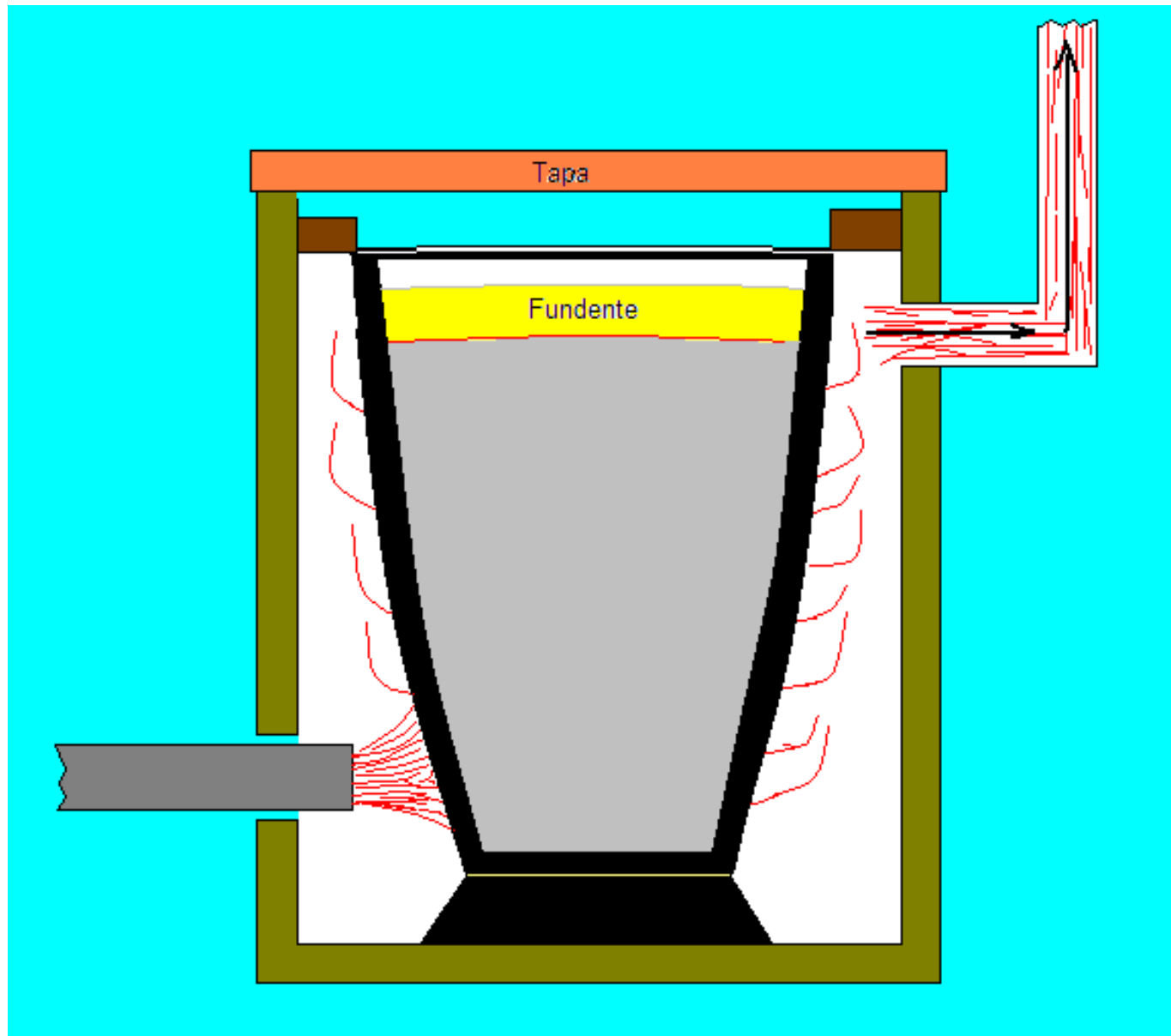
(Este último es por el contenido de azufre en el combustible)

¿Cómo evitar la humedad en el proceso de fundición del aluminio?



- Precalentamiento de la chatarra
- Limpieza de productos de corrosión
- Secado de los fundentes
- Secado de los herramentales
- Impedir el contacto entre gases de combustión y metal líquido, si es posible.
- Evitar el contacto entre gases atmosféricos y metal líquido a través de:
 - Barreras mecánicas. Tapas en hornos de crisol y de inducción
 - Barreras químicas. Fundentes en hornos de crisol y reverbero





Fundente recomendado

Mezcla de sales: NaCl 50% + KCl 50%

Carácter químico: Fundente neutro.

Función: Fundente protector o de cubierta

Esta mezcla forma un eutéctico que al colocarse en la superficie del metal (alta temperatura) se licua y casi de inmediato empieza a evaporarse a aproximadamente 780°C. Este eutéctico en estado líquido al evaporarse impide que los gases atmosféricos penetren al metal líquido, evitando la reacción entre H₂O y aluminio líquido.

Antes de proceder a vaciar, se debe retirar el fundente líquido. Esto se realiza con un fundente escorificante: NaF

Carácter químico: Fundente neutro.

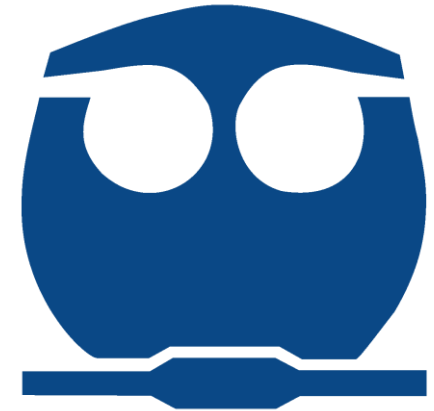
Función: Fundente escorificante

Se agrega este fundente, triturado y secado, sobre la superficie. Al efectuar esto se empieza a aglomerar la mezcla líquida de sales, para poder así retirarla.

Todos los fundente en forma de sales deben triturarse y secarse antes de agregarlos a la superficie del metal líquido



Aluminio



TRATAMIENTO DEL METAL LÍQUIDO

DESGASIFICACIÓN

Desgasificación



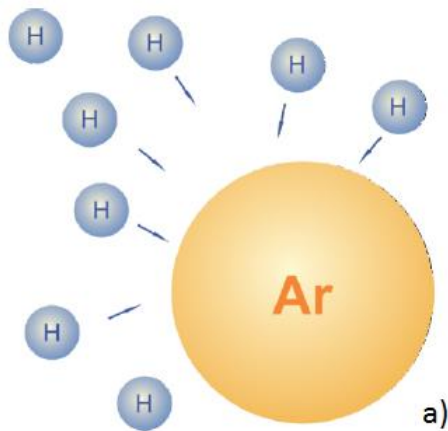
La desgasificación es un tratamiento de metal líquido. Existen tres métodos principales para lograr la remoción del hidrógeno del aluminio líquido:

- Desgasificación natural
- Desgasificación al vacío
- Desgasificación mediante la inyección de gases o polvos (reactivos o no reactivos)

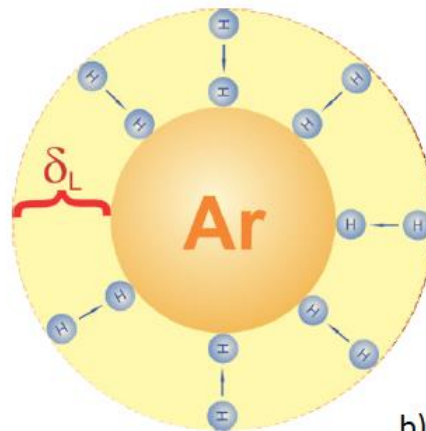
De las técnicas mencionadas la más eficiente y estudiada es la de inyección de gases, polvos o escorias realizada mediante tapones porosos, lanzas o rotores. De estos métodos, el uso de rotores es la técnica en donde se obtienen mejores resultados.

| | Gases | Polvos | Escoria |
|--------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|
| No reactivo | N ₂ , Ar | KCl, MgCl ₂ | NaCl, KCl, MgCl ₂ |
| Reactivo | SF ₆ , Cl ₂ | AlF ₃ , AlCl ₃ | |

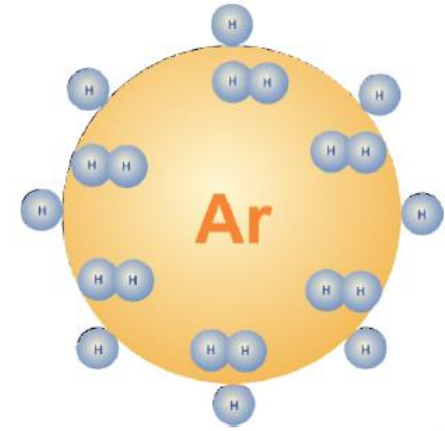
Métodos para remover impurezas sólidas y gaseosas en Al líquido.



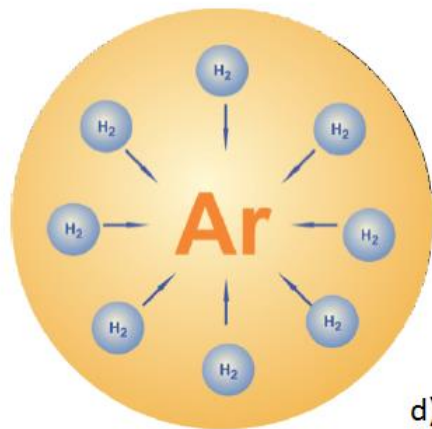
a)



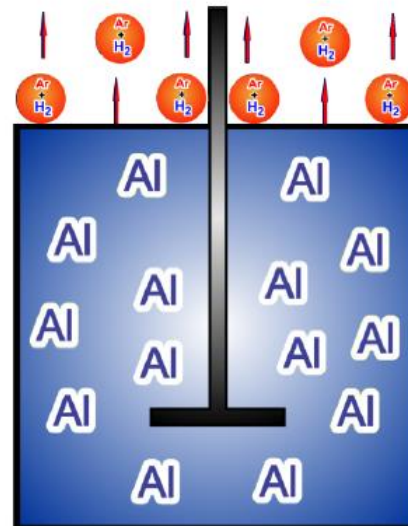
b)



c)



d)



e)

Proceso de desgasificación de Al por inyección de Ar.

a) Transporte de H disuelto del seno del fluido a la burbuja de Ar por difusión y convección.

b) Transporte difusivo de H a través de la capa límite.

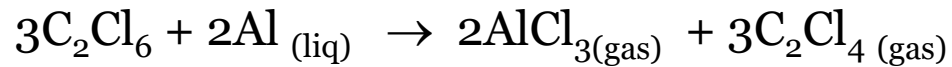
c) Proceso de adsorción - desorción en la superficie de la burbuja de Ar.

d) Difusión de H₂ dentro de la burbuja de Ar.

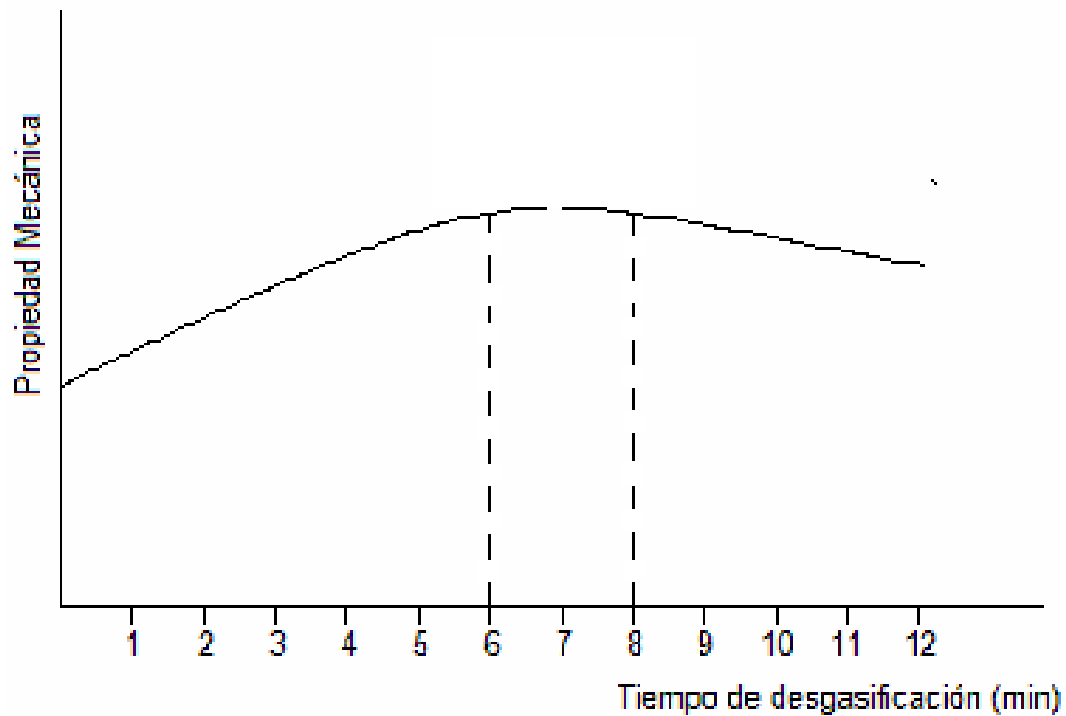
e) Remoción de H₂ del baño de Al.

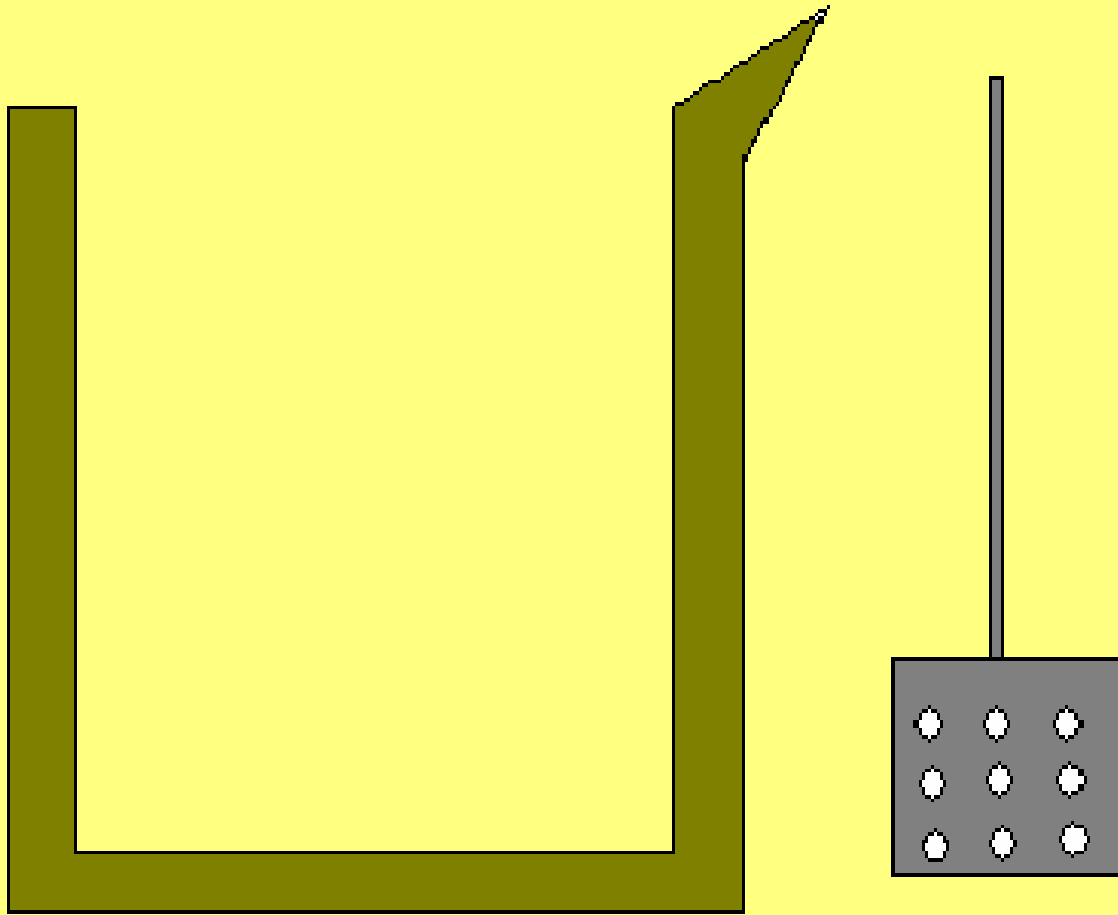
Hexacloroetano C_2Cl_6 (sal)

(En desuso)



El producto de la reacción son burbujas de $AlCl_3$ que al subir a la superficie adsorben al hidrógeno, disuelto en el metal líquido, llevándolo a la atmósfera





a)

b)

- a) Crisol u olla de tratamiento
- b) Campana de inmersión

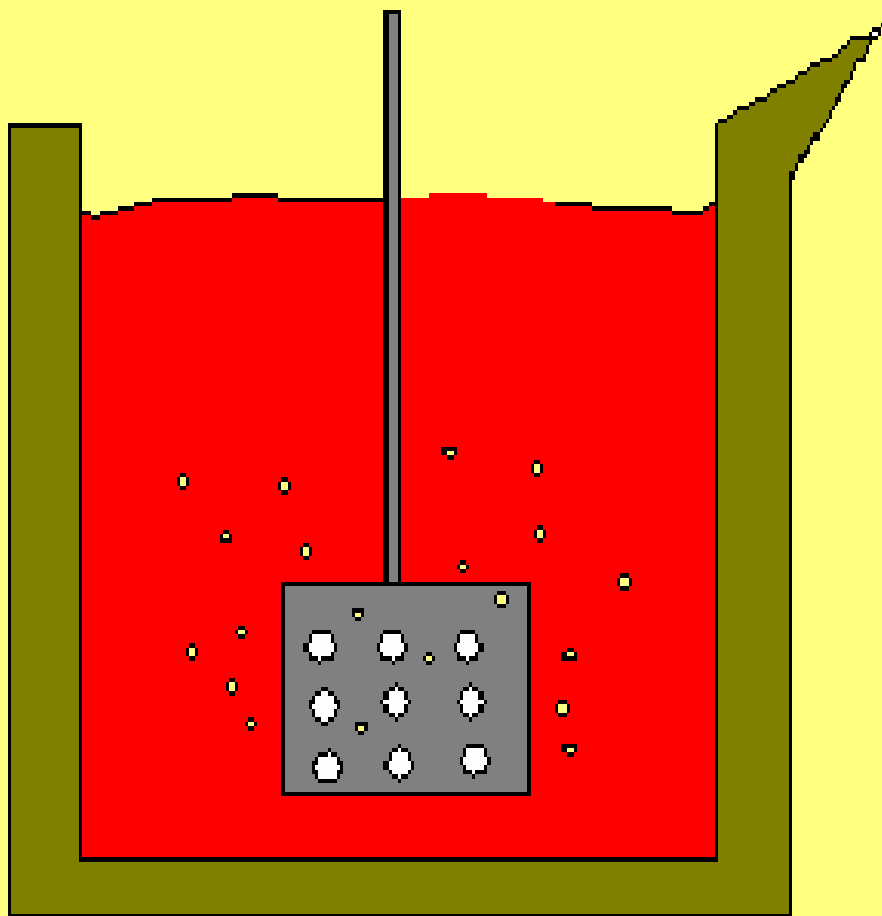
Campana de inmersión
Cilindro hueco con tapa en la parte superior.
Perforaciones calculadas en cantidad y tamaño.

Material:

Cilindro y varilla de acero bajo carbono recubiertos de pintura refractaria Para evitar la disolución del acero en el aluminio líquido



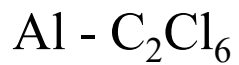
Pastillas de C2Cl6



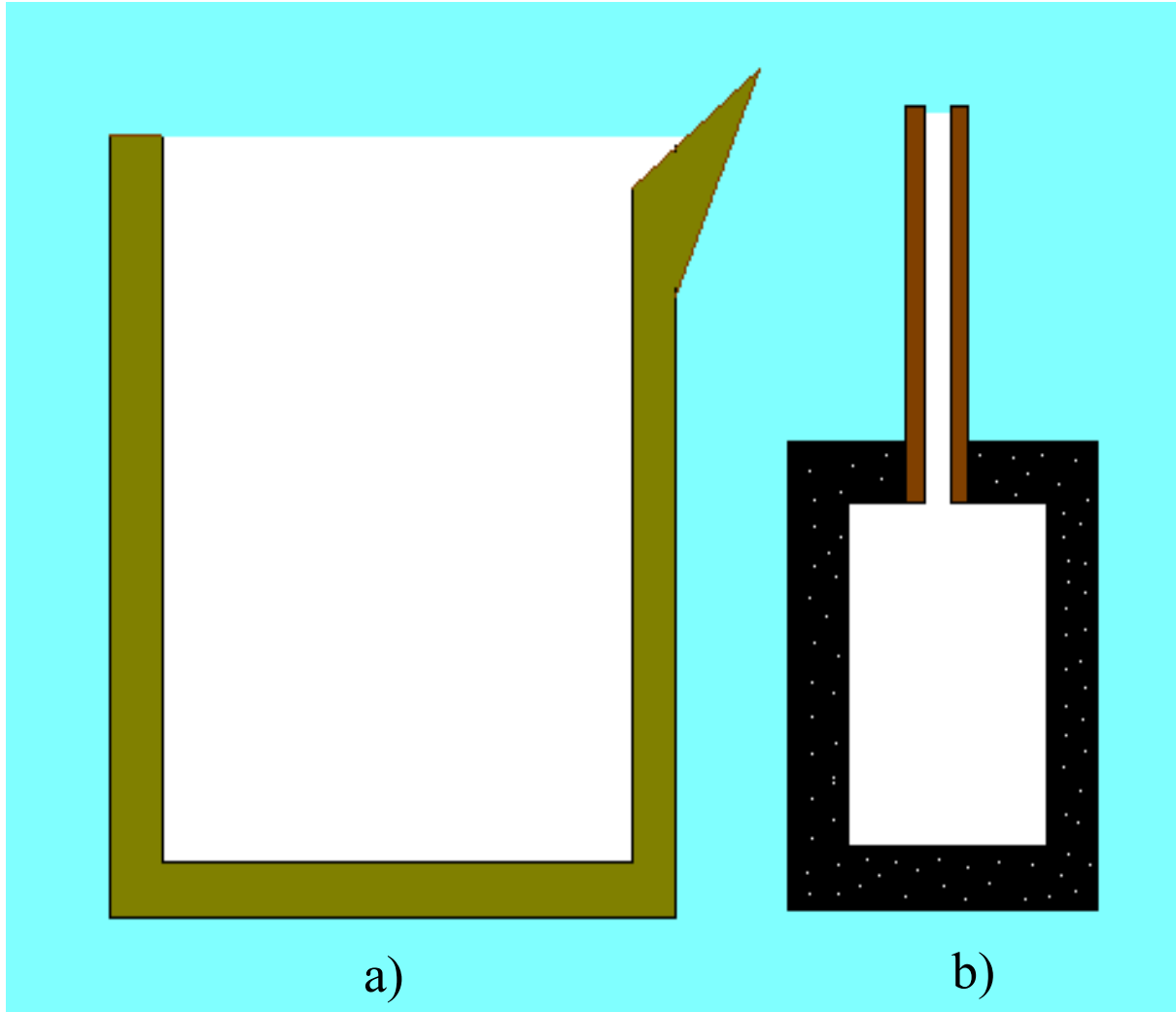
Sistema:

Horno – Campana de inmersión.

Burbujas producto de la reacción:



Gases Inertes

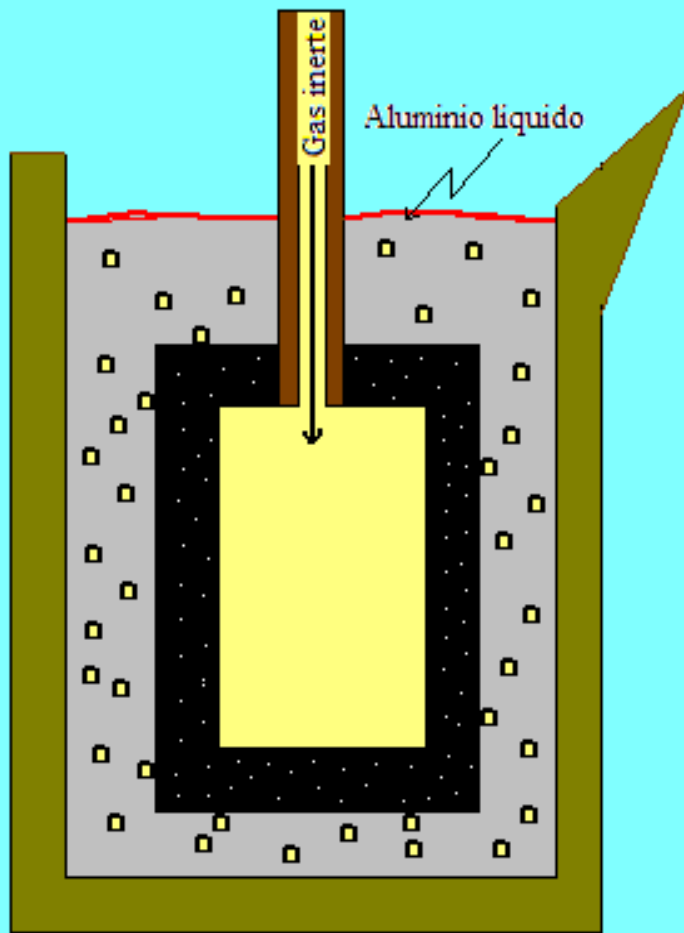


a)

b)

a) Crisol u olla de tratamiento

b) Burbujeador (grafito poroso)



Sistema:

Horno – Burbujeador.

Burbujas:

Gas inerte con el tamaño apropiado debido a la porosidad del grafito

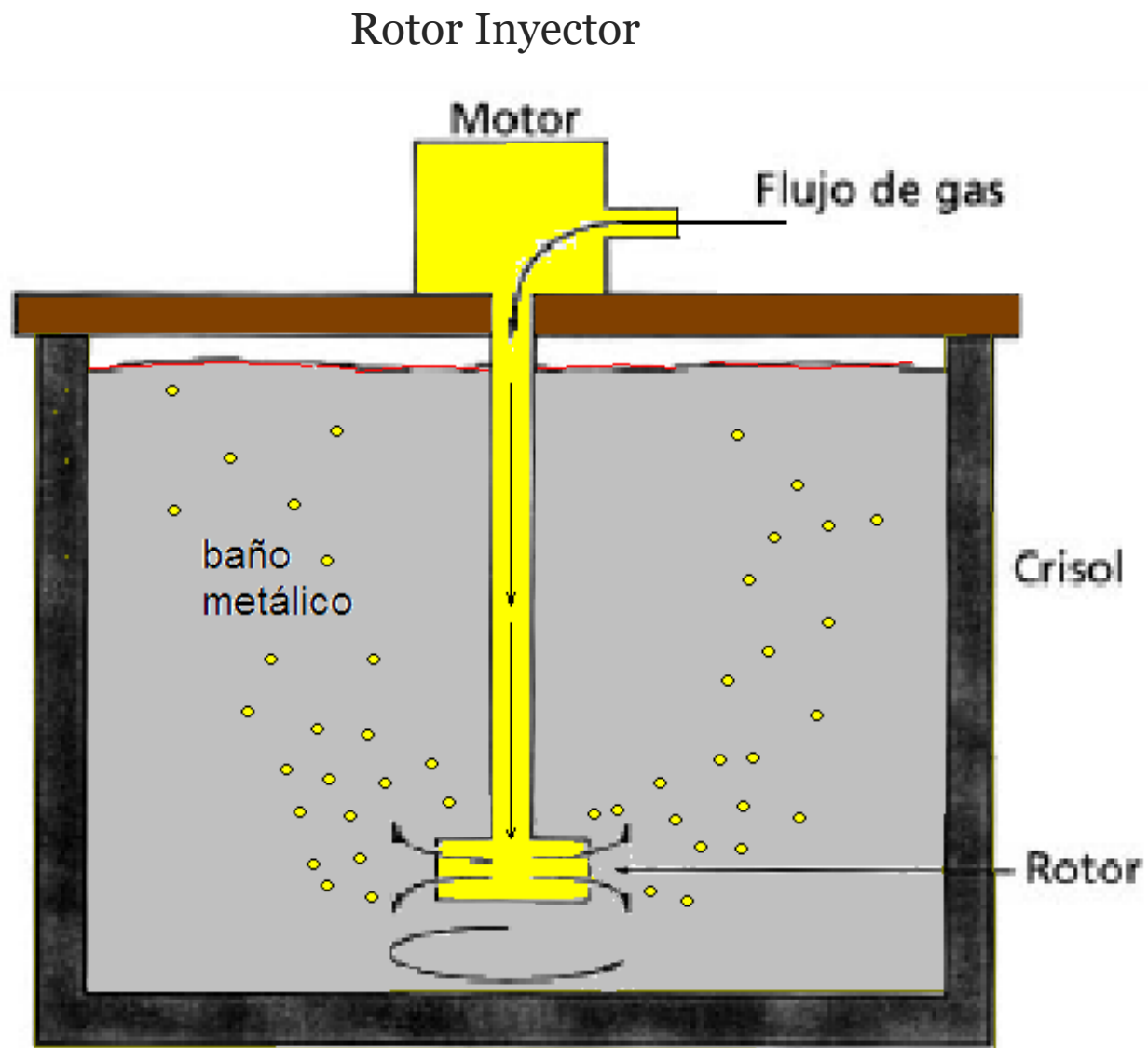
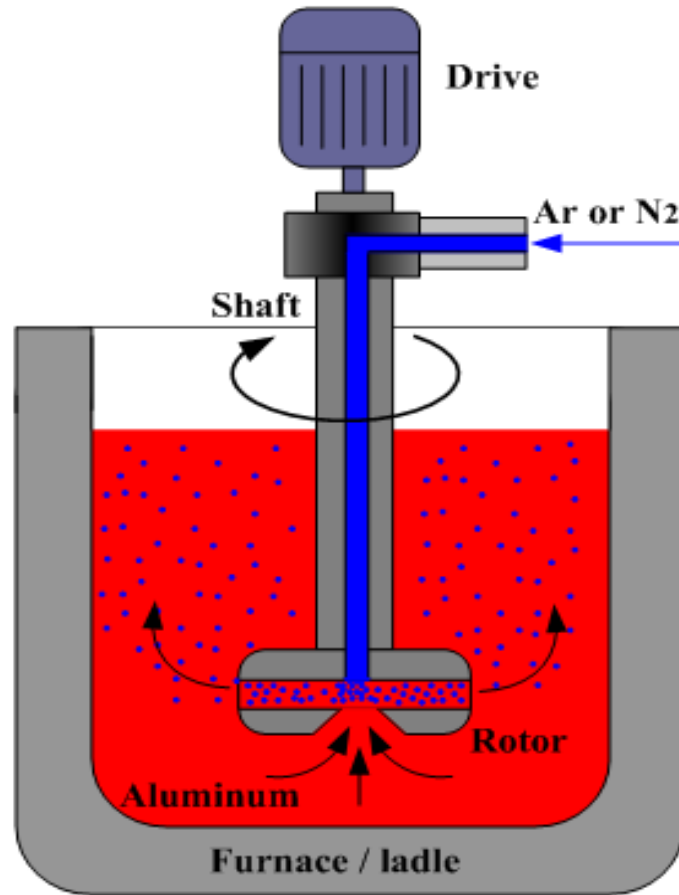


Figura. 1. Olla (cuchara) equipada con rotor inyector.

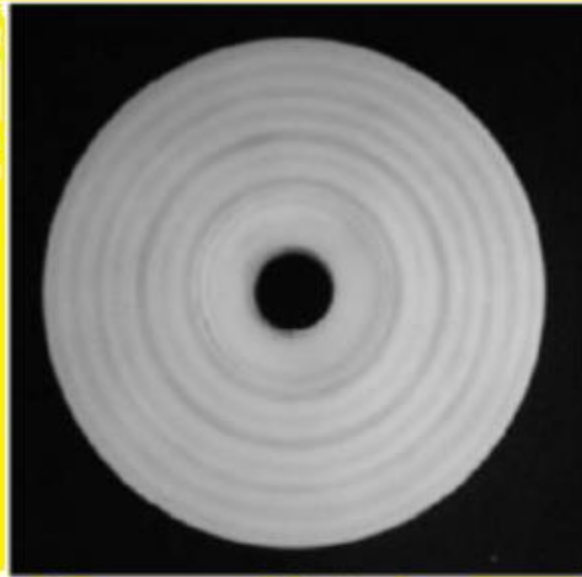
Rotary degasser for molten aluminum



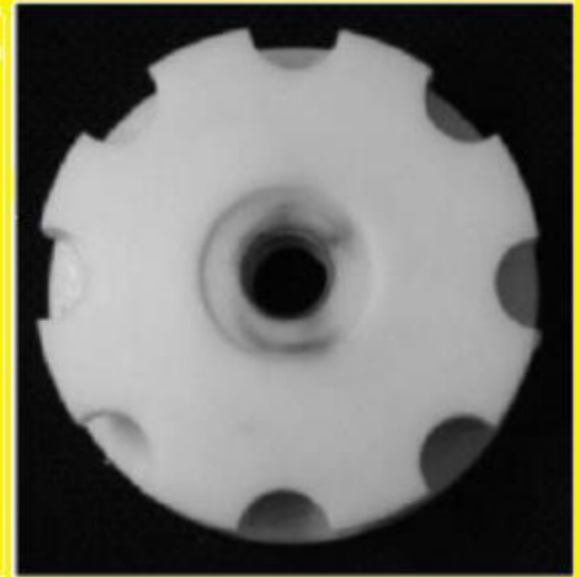
Método de desgasificación: rotor-inyector



a



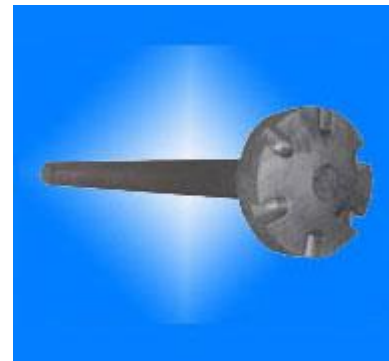
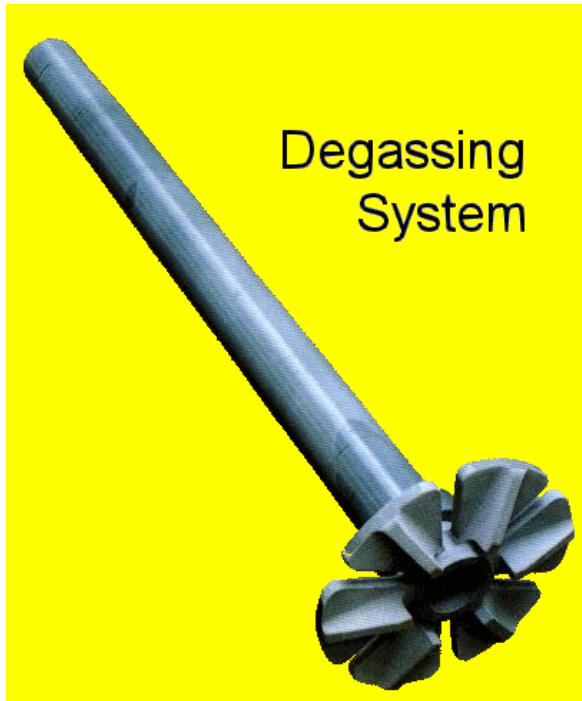
b

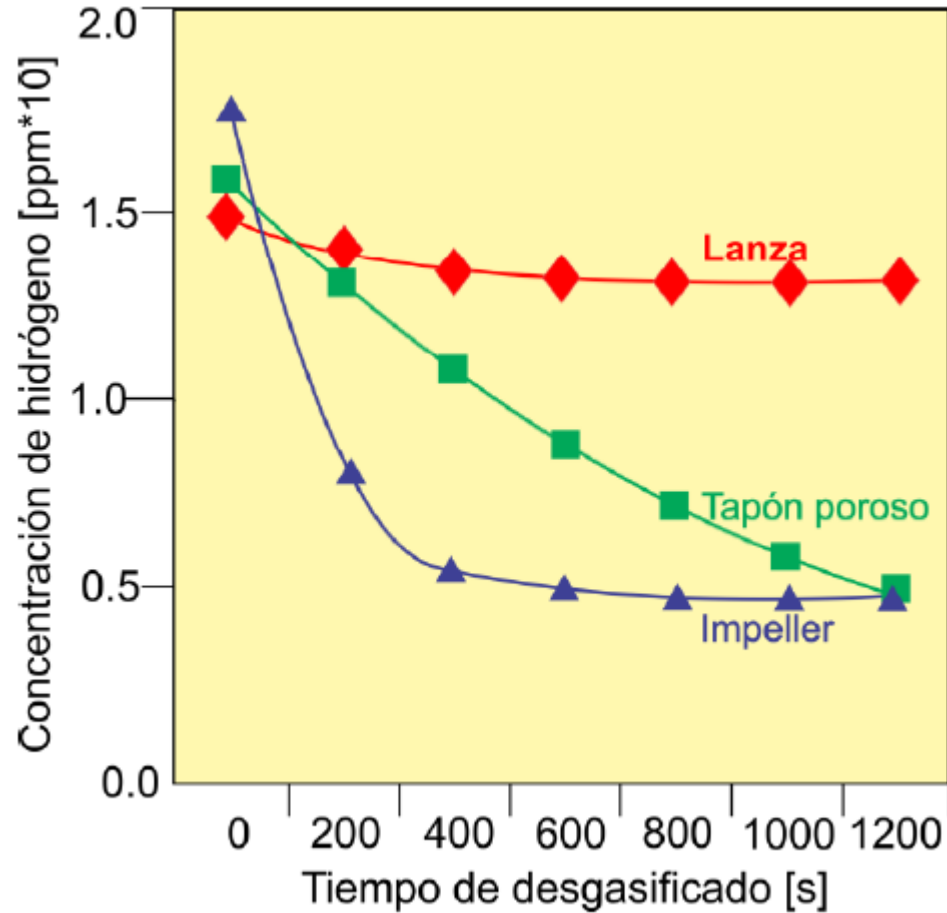


c

Tipo de rotores: a) Rotor estándar, b) Rotor liso y c) Rotor muescado

Rotores - inyectores

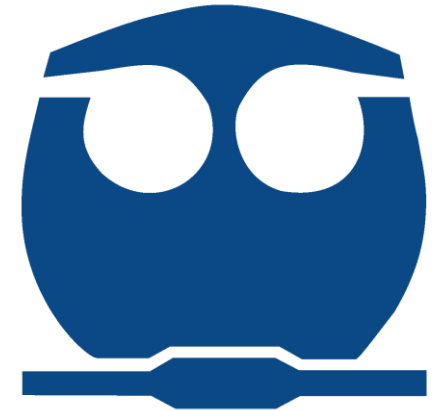




Comparación de la efectividad de diversos métodos de desgasificación en Al puro.



Aluminio



MEDICIÓN DE HIDRÓGENO EN ALUMINIO



a) Molde



b) C_{H2} = 0%



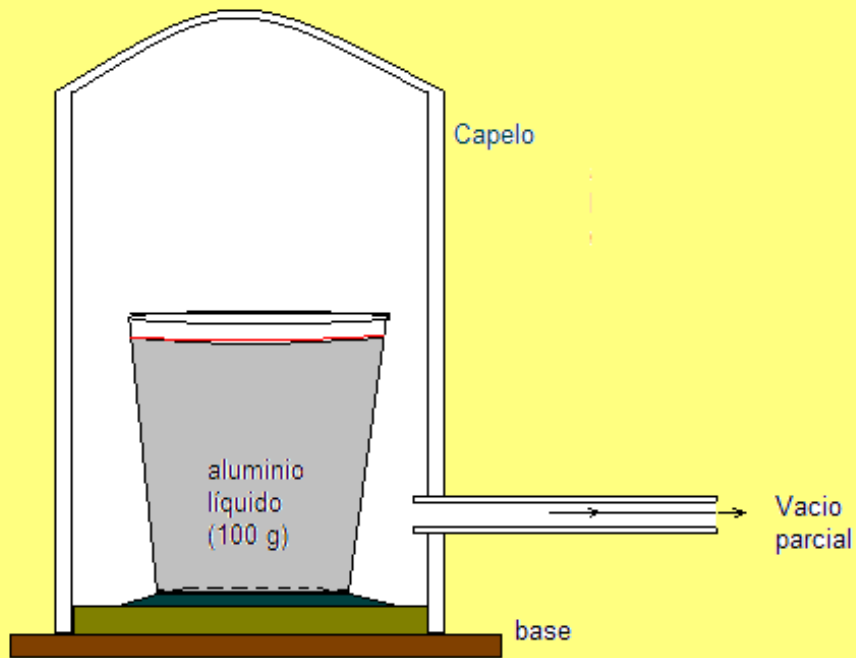
c) C_{H2} Media



d) C_{H2} Alta

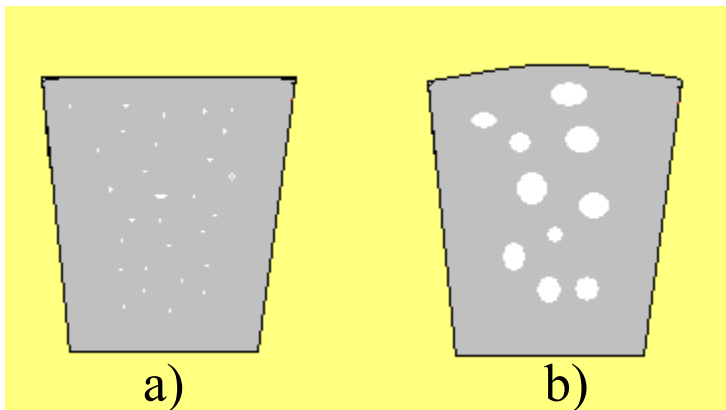
Ensayo para determinar, de forma cualitativa, el contenido de hidrógeno en aluminio.

Probeta cilíndrica de 2plg X 2plg



Método de la presión reducida.

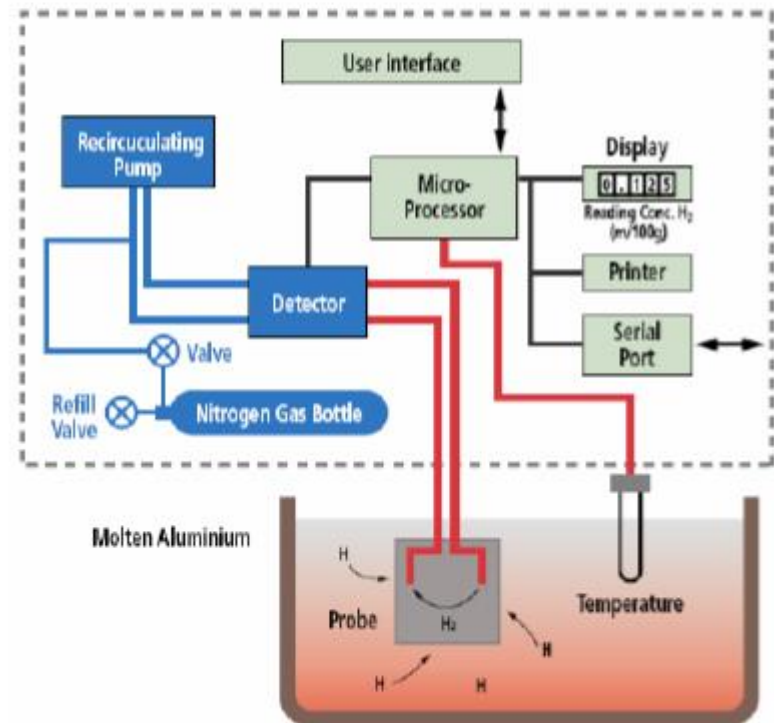
Objetivo: aumentar el tamaño de las Sopladuras, debido a el efecto del vacio parcial. Es decir aumento de volumen del hidrógeno nucleado



- a) Muestra solidificada en atmósfera normal
- b) Muestra solidificada en atmósfera reducida

Analyzer for hydrogen in liquid aluminum

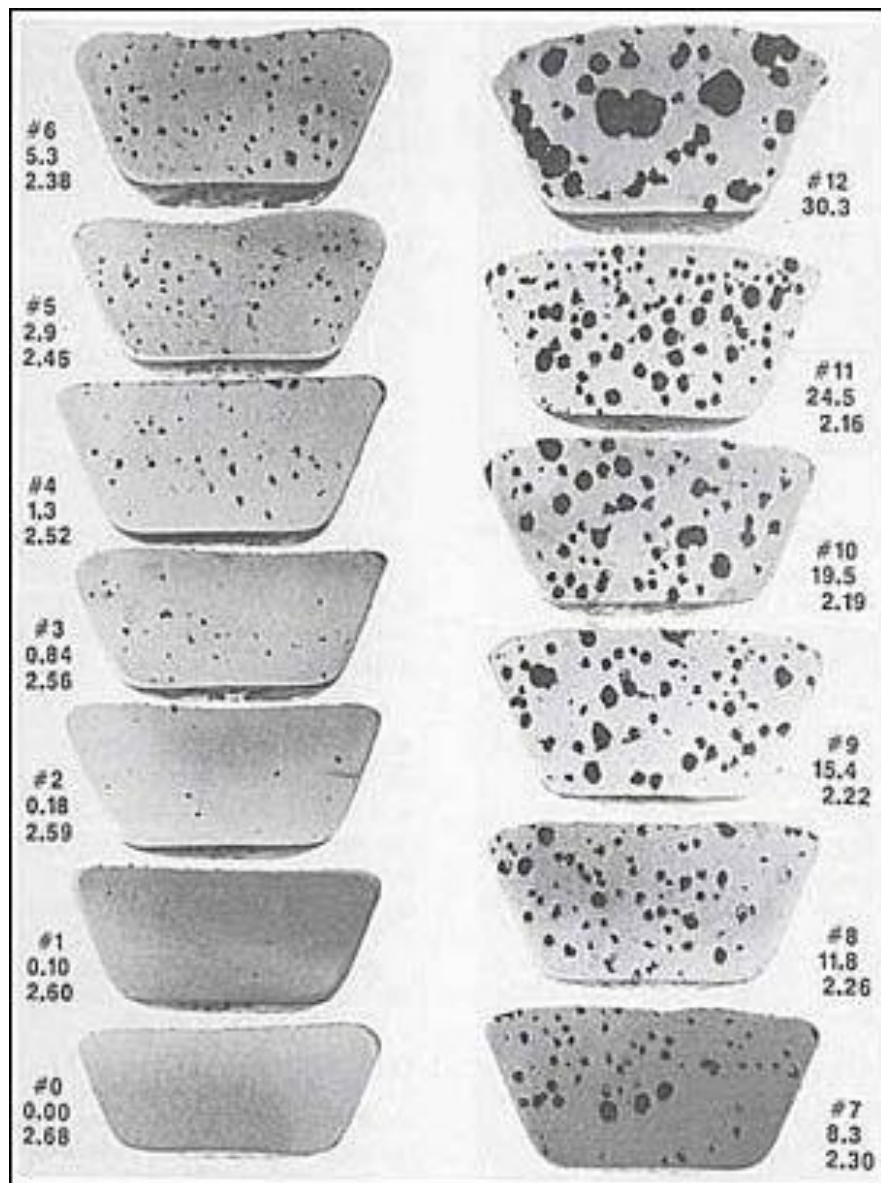
Analyze^{IT} AlSCANTMf



Simple, rugged,
low-cost probes



Equipos para el método de la presión reducida
(RPT)



Aluminum Comparative Standards for Gas
 Percent Surface Area Porosity
 Densities for 356 Alloy
 100mm Pressure

Refinamiento de grano

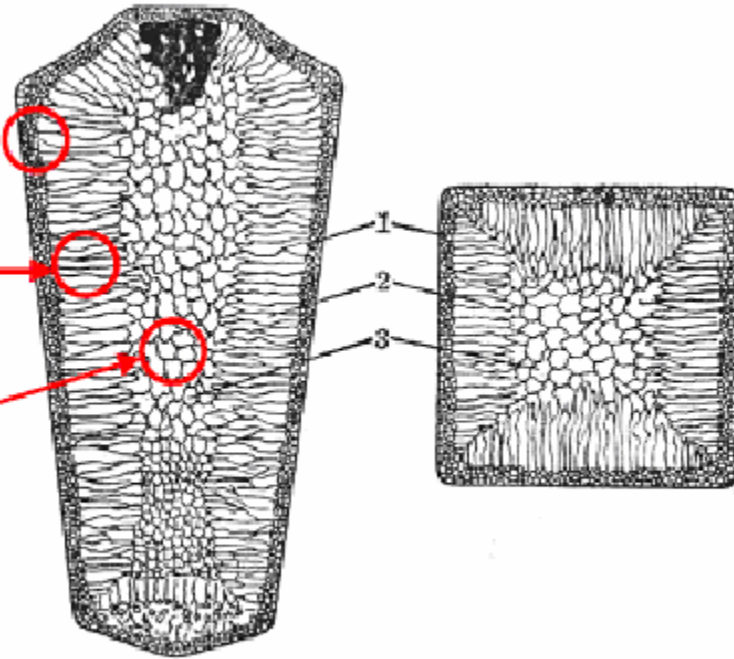
(Tratamiento del metal líquido)

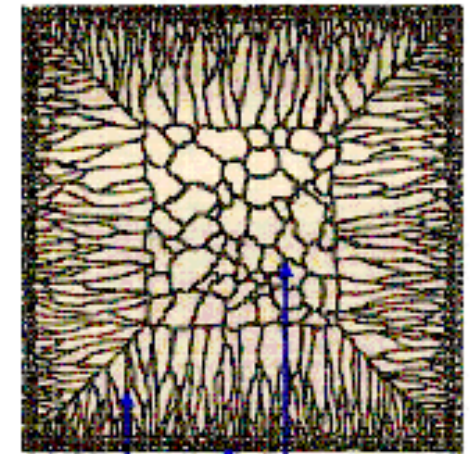
5.1. Structure of ingots and castings

Chill zone: fine equiaxed grains or random orientations

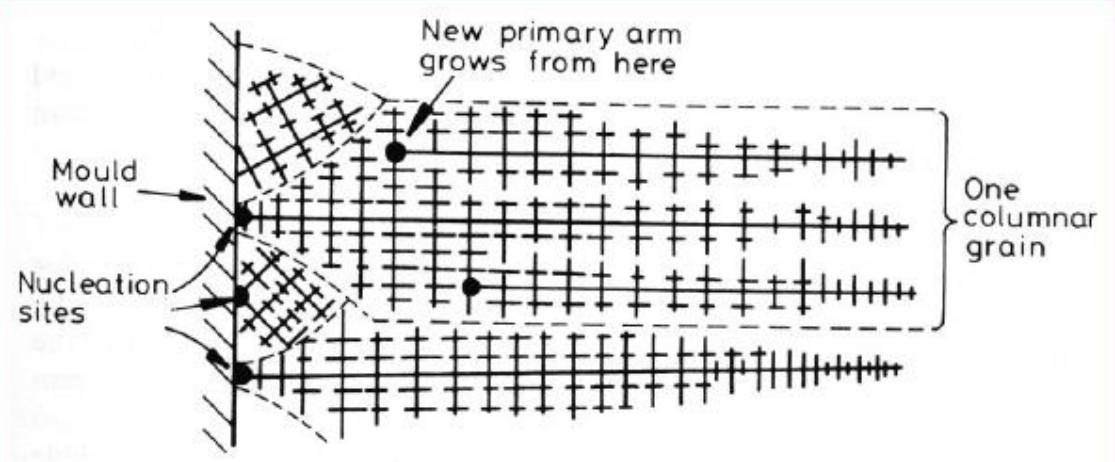
Columnar zone: large columnar grains of certain orientations formed under directional cooling (temperature gradient)

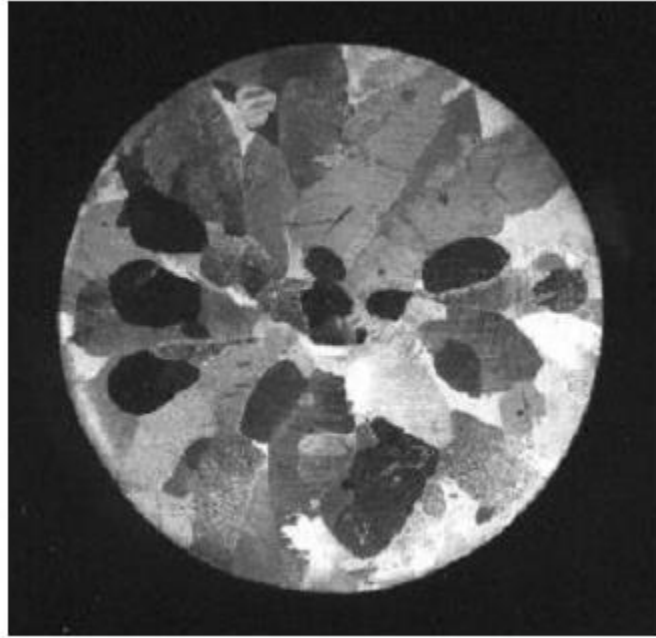
Equiaxial zone: located in the middle of the casting, contains large equiaxial grains (lack of temperature gradient)



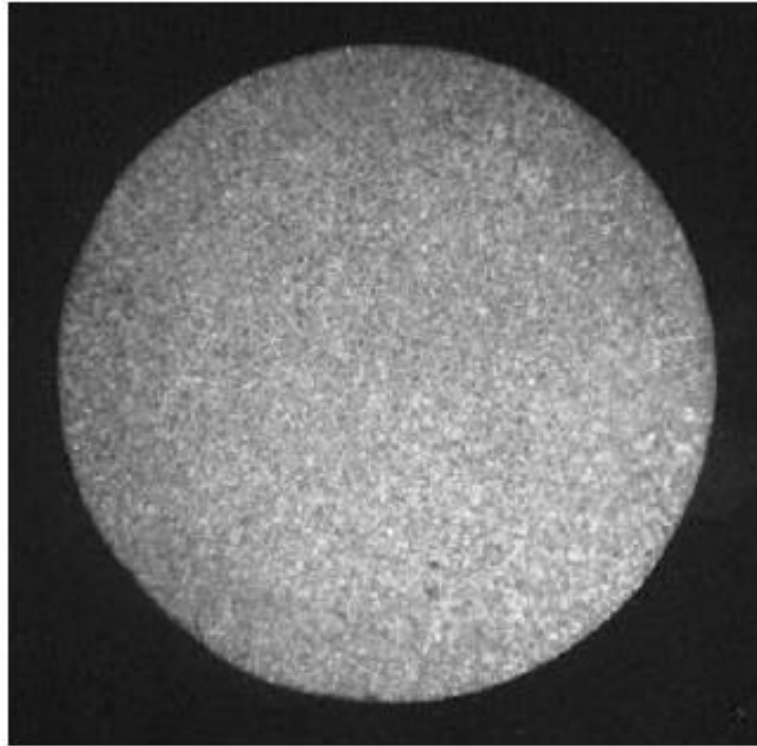


Columnar grains Large equiaxed grains
Small equiaxed grains





Aluminio 99.9% sin refinador de grano,
atacado con reactivo de Poulton.
El tamaño de grano nominal es de 4500μ



Aluminio 99.9%, con refinamiento de grano . Ti = 0.008%
adicionado a través de barras de 5%Ti – 1%B – Al. Reactivo
de Poulton. El tamaño de grano nominal es de 120 μ

Método químico

Dos elementos refinadores de granos para aluminio y aleaciones

Ti y B

Estos elementos forman boruros y titanuros de aluminio (nucleación heterogénea). Al_3Ti AlB_2

Ti Efecto no permanente fusión tras fusión

B Efecto permanente

Cantidades:

Sólo Ti = 0.08% - 0.18%

Sólo B = 0.01% - 0.03%

B y Ti : Ti = 0.03% - 0.08%

B = 0.001% - 0.005%

Aluminium-titanium (AlTi)

| Alloy | Application | Composition | CEN-spec | AA-spec | Colour code | Datasheet* |
|---------------|--|-------------------------------------|----------|---------|---------------|------------|
| AlTi5 | Supporting grain refinement in wrought aluminium alloys and foundry alloys | 5% Ti balance Al | - | - | red | available |
| AlTi6 | Supporting grain refinement in wrought aluminium alloys and foundry alloys | 6% Ti balance Al | AM-92202 | H2206 | red | available |
| AlTi10 | Supporting grain refinement in wrought aluminium alloys and foundry alloys | 10% Ti balance Al | AM-92204 | H2210 | red/ black | available |
| Ti80 | Supporting grain refinement in wrought aluminium alloys and foundry alloys | 80% Ti balance Al and/or flux | - | - | red | available |

Formas:



Aluminium-boron (AlB)

| Alloy | Composition | CEN-spec | AA-spec | Colour code | Datasheet* |
|-------------|--------------------|----------|---------|------------------|------------|
| AIB3 | 3% B balance Al | AM-90500 | H2203 | yellow | available |
| AIB4 | 4% B balance Al | AM-90502 | H2204 | 2x yellow | available |
| AIB5 | 5% B balance Al | AM-90504 | H2217 | 2x yellow | available |
| AIB6 | 6% B balance Al | - | - | yellow/ grey | available |
| AIB8 | 8% B balance Al | - | - | yellow/ black | available |

Formas



Aluminium-titanium-boron (AlTiB)

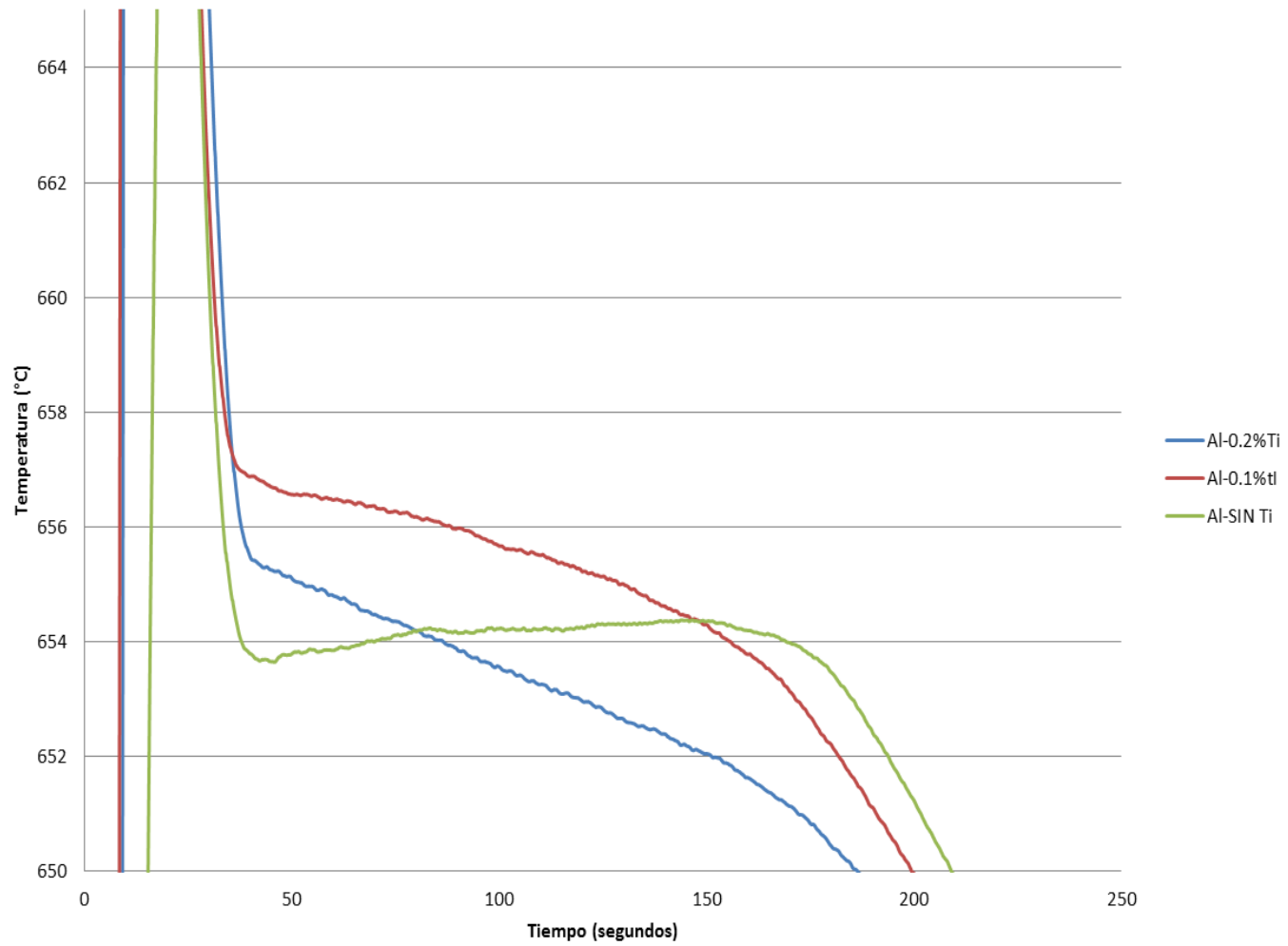
| Alloy | Application | Composition | CEN-spec | AA-spec | Colour code | Datasheet* |
|-------------------|--|-------------------------------|----------|---------|-----------------|------------|
| AlTiB5/1 | multi purpose grain refiner for aluminium alloys | 5% Ti 1% B balance Al | AM-92256 | H2252 | green | available |
| AlTiB3/1 | grain refiner for aluminium alloys | 3% Ti 1% B balance Al | AM-92250 | H2214 | green/ brown | available |
| AlTiB5/0.2 | grain refiner for wrought aluminium alloys | 5% Ti 0.2% B balance Al | AM-92252 | H2207 | green/ black | available |

Formas

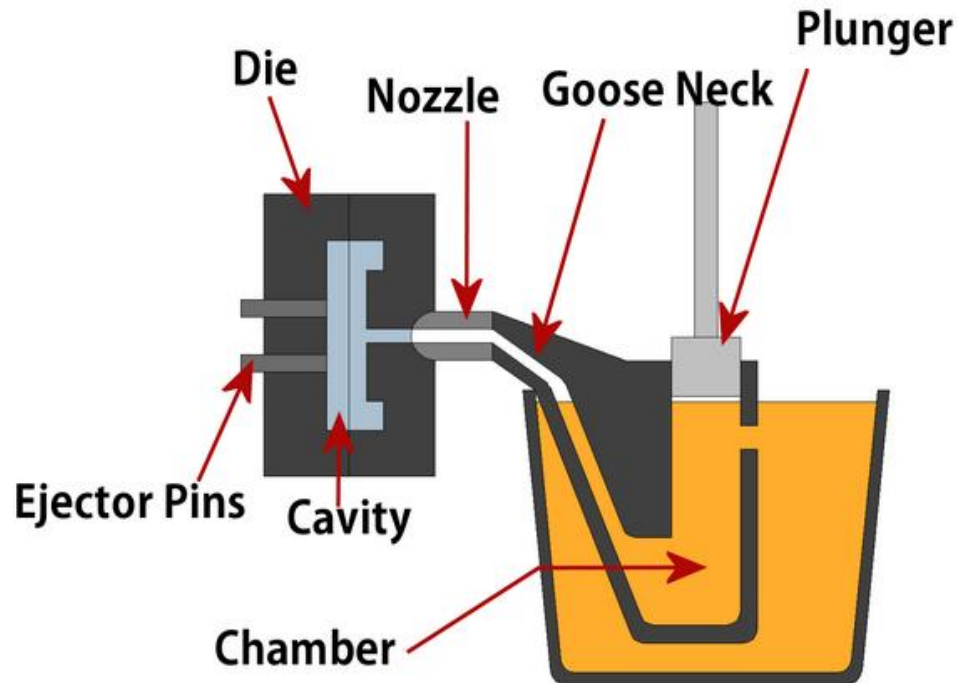
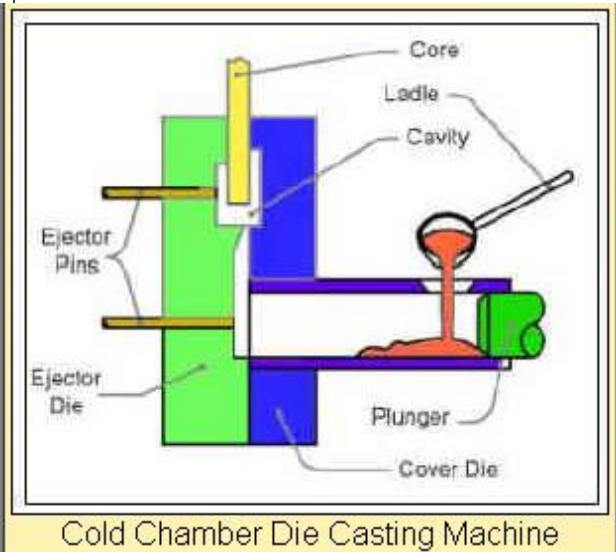
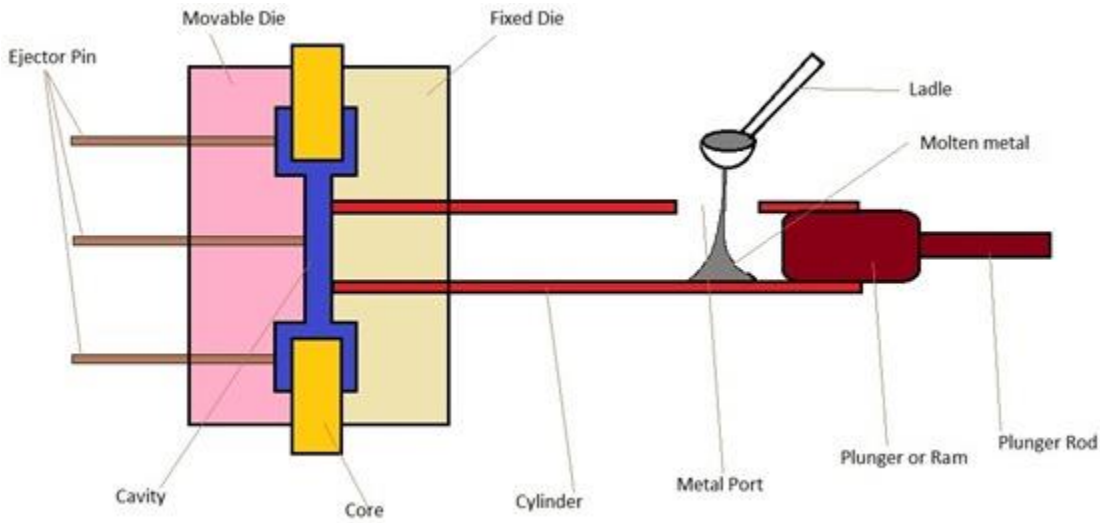


Actualmente, éstos materiales refinadores de grano, se agregan al final dentro del horno. Un poco antes de vaciar el horno.

REFINACIÓN DE GRANO



Cámara fría



Modificación

Tratamiento del metal líquido para
aleaciones aluminio - silicio

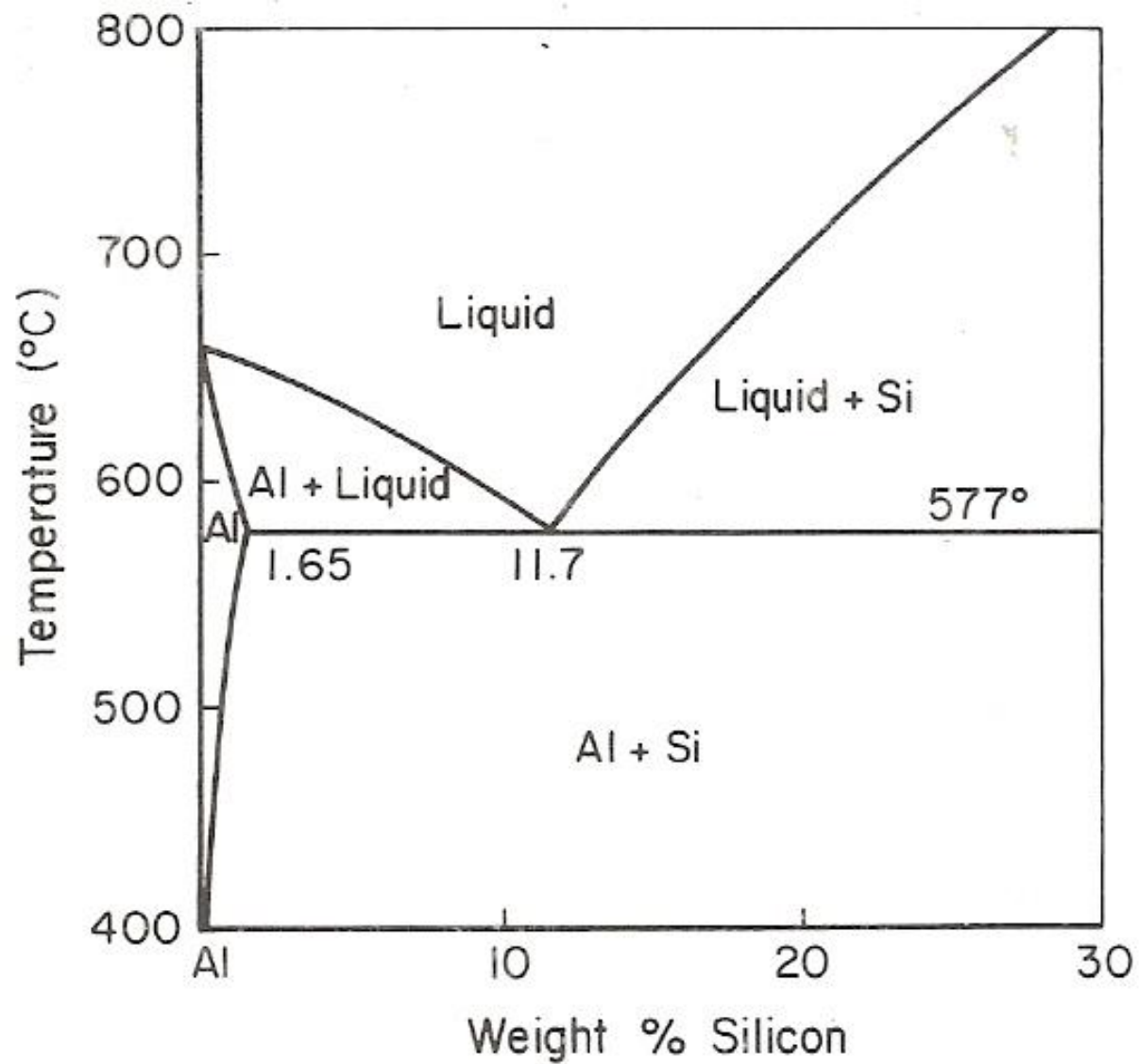
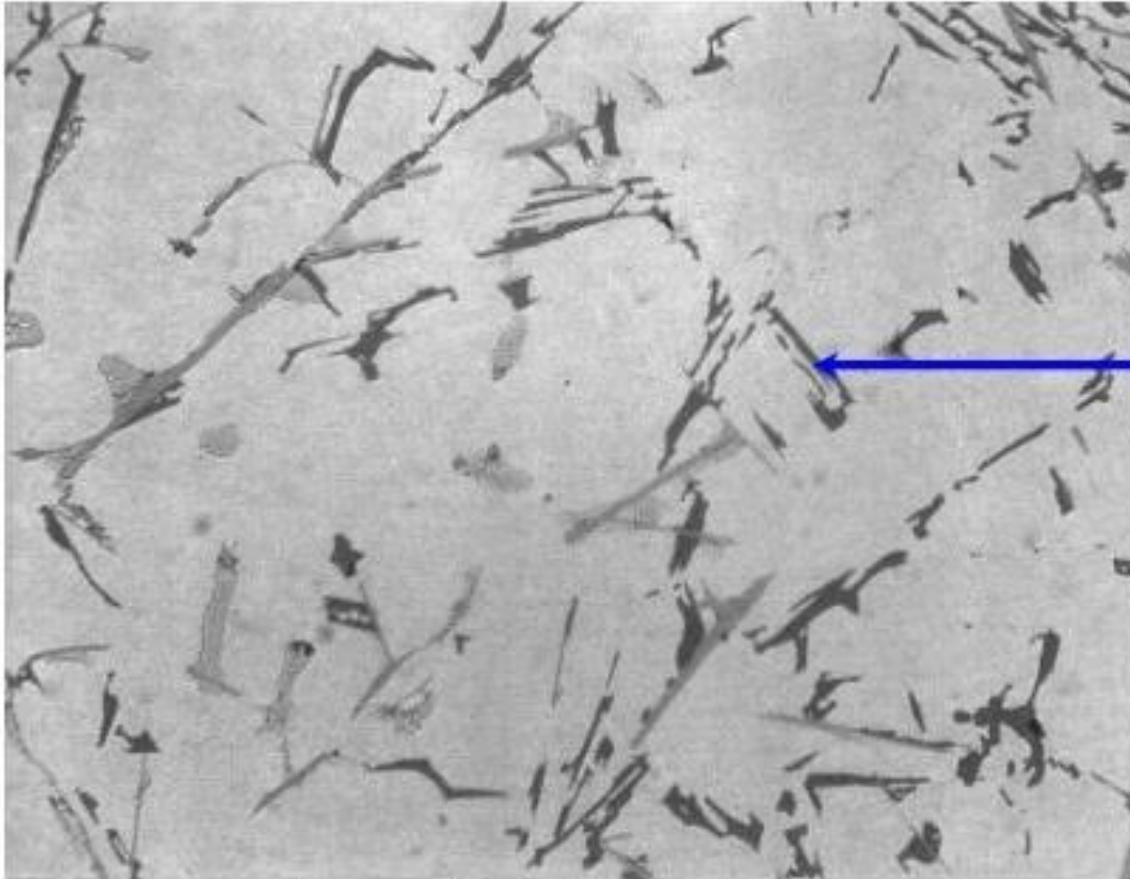
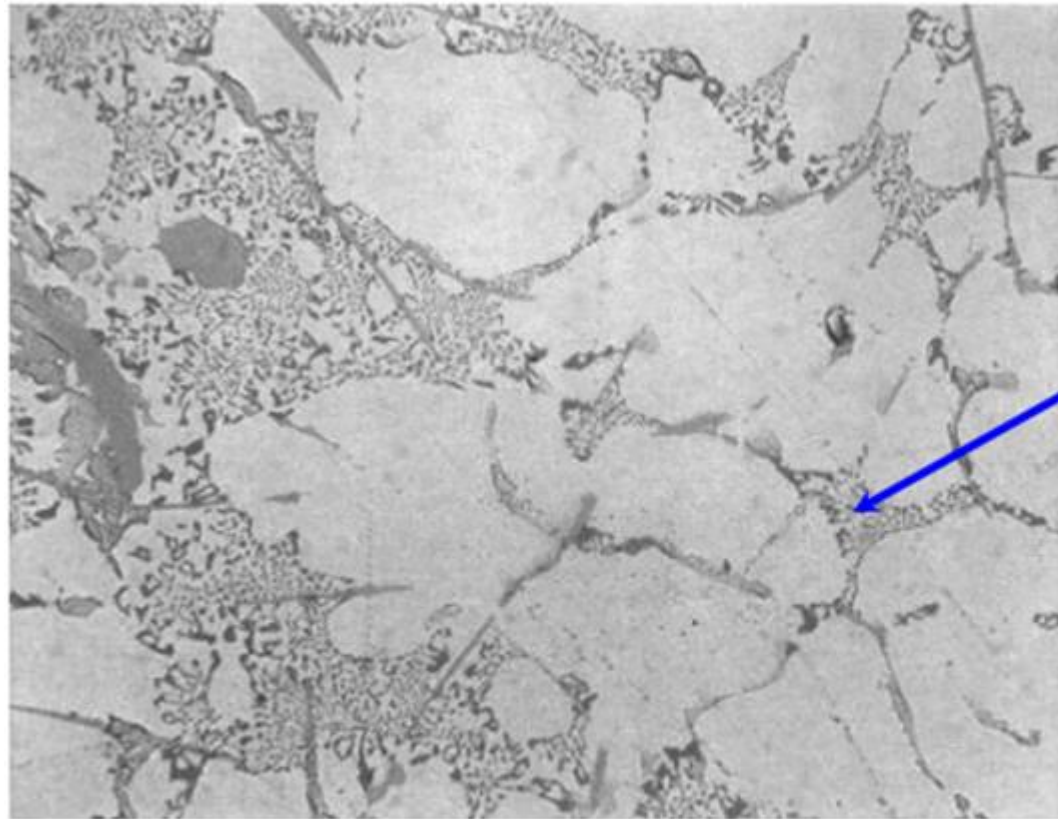


Figure 2.1. Equilibrium binary Al-Si phase



Unmodified Si eutectic

319.0. Unmodified silicon particles are very dark gray. The idiomorphic form of eutectic silicon diminishes the ductility of the alloy.



Modified Si eutectic

319.0 with 0.018%Sr. Fully modified silicon particles are very dark gray. The fibrous form of eutectic silicon enhances the ductility of the alloy.

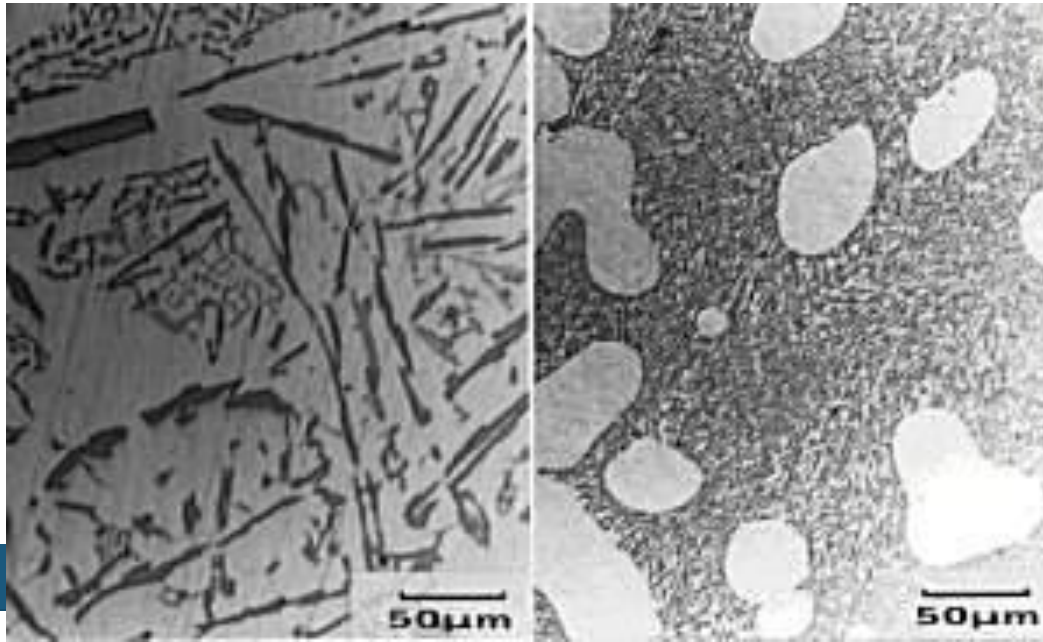
Aleaciones de aluminio-silicio para fundición son esenciales para el sector de la ingeniería automotriz, aeroespacial y las aleaciones de Al-Si permiten formas complejas para ser fabricadas; sin embargo, la forma de las partículas de silicio en forma de aguja son duras y frágiles, reducen la resistencia al impacto en piezas de fundición. La adición de estroncio en aleaciones Al-Si mejora su resistencia, mejora las propiedades mecánicas y dispersa la porosidad ya que modifica la estructura eutéctica. La aleación modificada muestra una estructura eutéctica más fina, menos microestructura acicular.

Advantages of Strontium Additions to Aluminium Alloys

Strontium modification is essential in the production of structurally sound and dimensionally accurate Al-Si castings and fabricated products. Strontium offers clear advantages over sodium- or antimony-based alloy additives, including safer addition, better recovery, reduced fade and a fume-free application.

La relación entre la tensión superficial de aleaciones Al-Si y las modificaciones microestructurales ha sido demostrado por el analisis teorico y validado por analisis microestructural . La tensión superficial es controlada principalmente por la cantidad de el modificador y el tiempo de modificación es menos importante. También se encontró que la temperatura de modificación tiene poco efecto sobre la microestructura de estas aleaciones. De forma experimental se estableció entre la tensión superficial y el grado de modificación

Cuando la tensión superficial esta arriba de 530 mN/m, ocurre una modificación parcial. Cuando la tensión superficial esta entre 400 mN/m y 530 mN/m, ocurre una modificación moderada. Cuando la tensión superficial esta por debajo de 400 mN/m, entonces ocurre una excelente modificación



Metallurg Aluminium's Strontium Aluminium Master Alloys

Metallurg Aluminium's proven strontium aluminium master alloys, in 3.5%, 10%, 12% and 15% concentrations, are the optimum choice for strontium foundry additions. Their cost-effective alloy composition, ease of use and reliability make them an essential part of advanced foundry practice – reducing total cost and increasing yields.

| Alloy | AA*/CEN** Designation | Color Code |
|---------|-----------------------|----------------------------------|
| Sr 3.5% | H2012/93800 | 1 light blue stripe |
| Sr 10% | H2007/93804 | 2 light blue stripes |
| Sr 12% | -/- | 3 light blue stripes |
| Sr 15% | -/- | 2 light blue and 1 orange stripe |

AA* - The Aluminium Association

CEN* - Comité Européen de Normalisation

Aluminium-strontium (AlSr)

| Alloy | Application | Composition | CEN-spec | AA-spec | Colour code | Datasheet* |
|----------------|-----------------------------|-----------------------|----------|---------|--------------------------|------------|
| AlSr3.5 | Modification of AlSi alloys | 3.5% Sr balance Al | AM-93800 | H2012 | light blue | available |
| AlSr5 | Modification of AlSi alloys | 5% Sr balance Al | AM-93802 | - | light blue/ yellow | available |
| AlSr10 | Modification of AlSi alloys | 10% Sr balance Al | AM-93804 | H2007 | 2x light blue | available |
| AlSr15 | Modification of AlSi alloys | 15% Sr balance Al | - | - | 2x light blue/ orange | available |

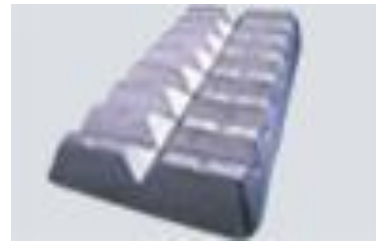
Formas

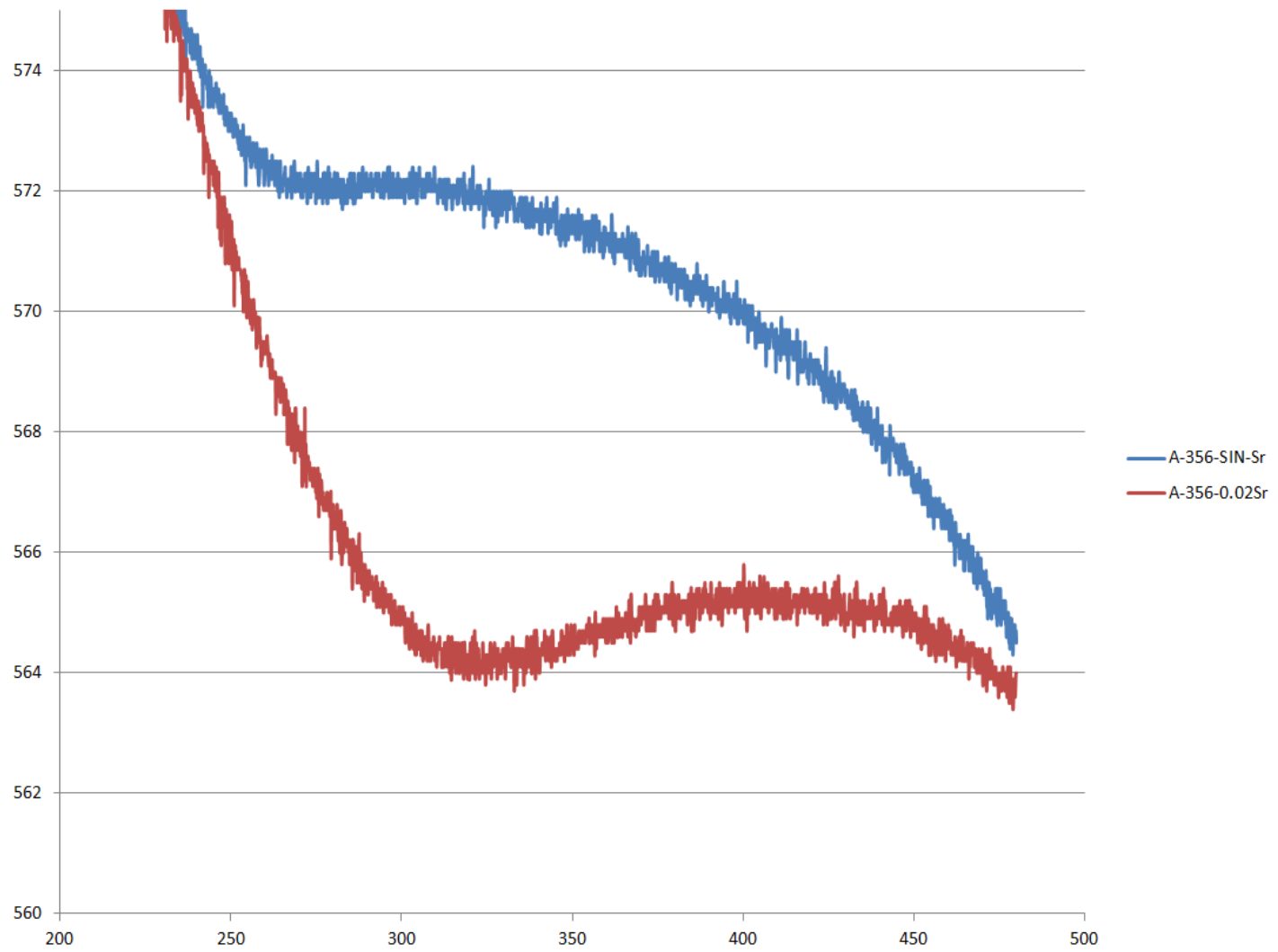


Aluminium-strontium-titanium-boron (AlSrTiB)

| Alloy | Application | Composition | CEN-spec | AA-spec | Colour code | Datasheet* |
|-----------------------|-----------------------------|--|----------|---------|------------------|------------|
| AlSr3.5Ti1B0.2 | Modification of AlSi alloys | 3.5% Sr 1% Ti 0.2% B balance Al | - | - | light blue/black | available |
| AlSr10Ti1B0.2 | Modification of AlSi alloys | 10% Sr 1% Ti 0.2% B balance Al | AM-93850 | H2017 | light blue/red | available |

Formas:





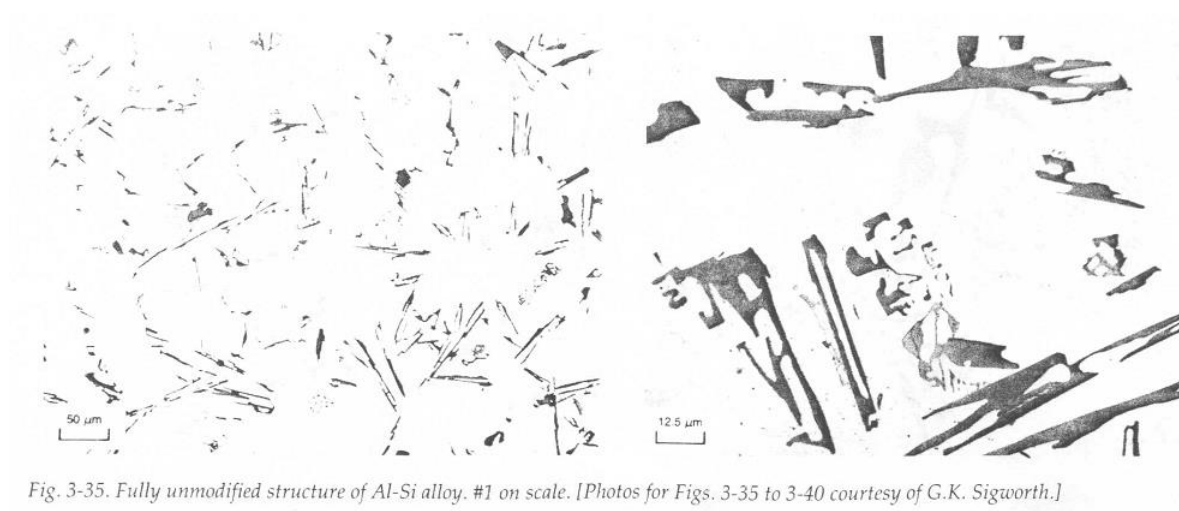


Fig. 3-35. Fully unmodified structure of Al-Si alloy, #1 on scale. [Photos for Figs. 3-35 to 3-40 courtesy of G.K. Sigworth.]



Fig. 3-36. Lamellar structure of Al-Si alloy, #2 on scale.

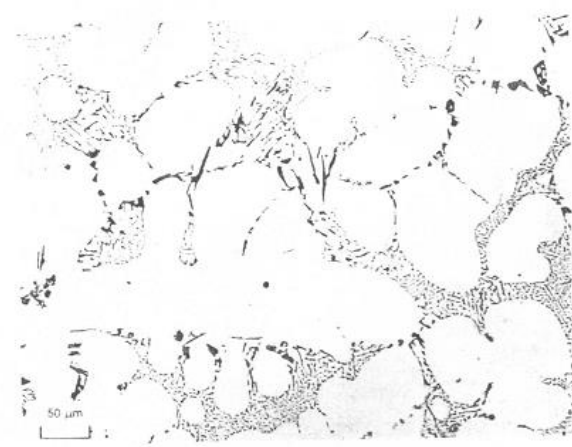
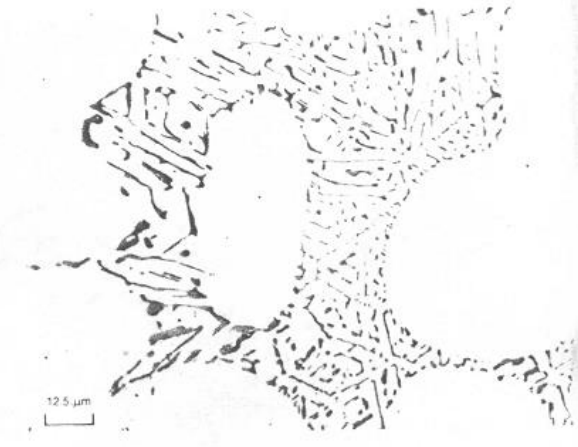


Fig. 3-37. Partial modification of Al-Si alloy, #3 on scale.



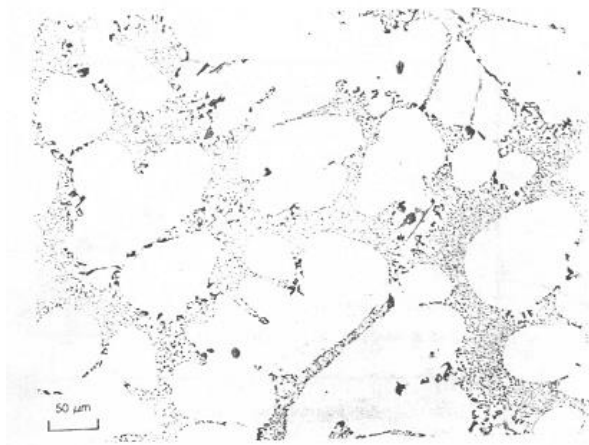


Fig. 3-38. Absence of lamellar structure in Al-Si alloy. #4 on scale.

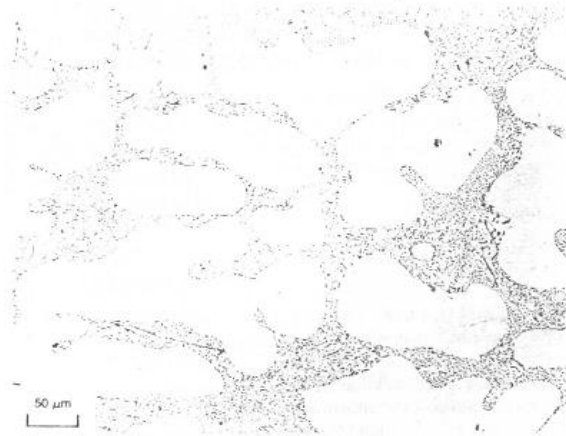


Fig. 3-39. Fibrous silicon eutectic in Al-Si alloy. #5 on scale.

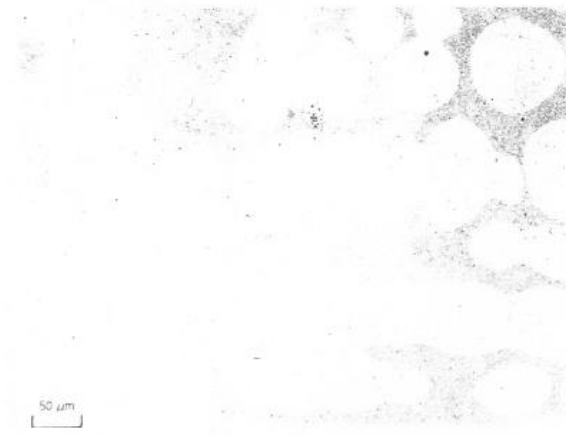
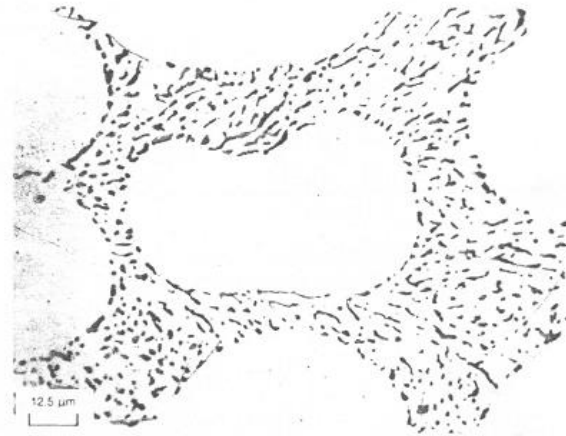
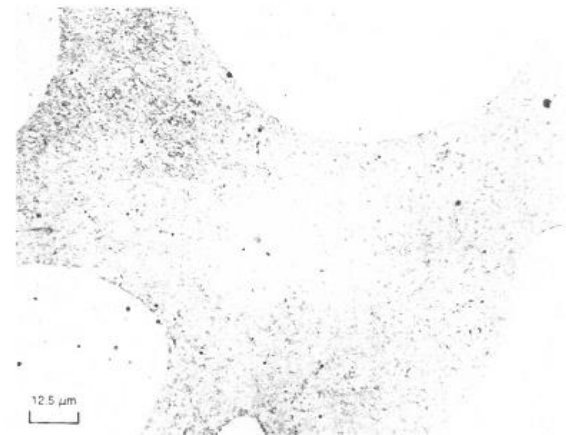


Fig. 3-40. Very fine structure of Al-Si alloy. #6 on scale.



Aluminio y aleaciones

Se tienen tres tratamientos del metal líquido

- Desgasificación
- Refinamiento de grano
- Modificación

Todas las aleaciones base aluminio, excepto las Al-Si, llevan dos tratamientos del metal líquido:

- Desgasificación
- Refinamiento de grano

A las aleaciones Al-Si, además de los dos anteriores, se les debe de efectuar:

- Modificación

Ahora bien, ¿Cuál es la secuencia correcta?

Aleaciones bases aluminio, excepto Al-Si.

- a) - Desgasificación
- Refinamiento de grano

- b) - Refinamiento de grano
- Desgasificación

Para aleaciones Al – Si

- a) - Desgasificación
- Refinamiento de grano
- Modificación

- b) - Refinamiento de grano
- Desgasificación
- Modificación

- c) - Modificación
- Refinamiento de grano
- Desgasificación

- d) - Modificación
- Desgasificación
- Refinamiento de grano