



Hornos y técnicas de fusión

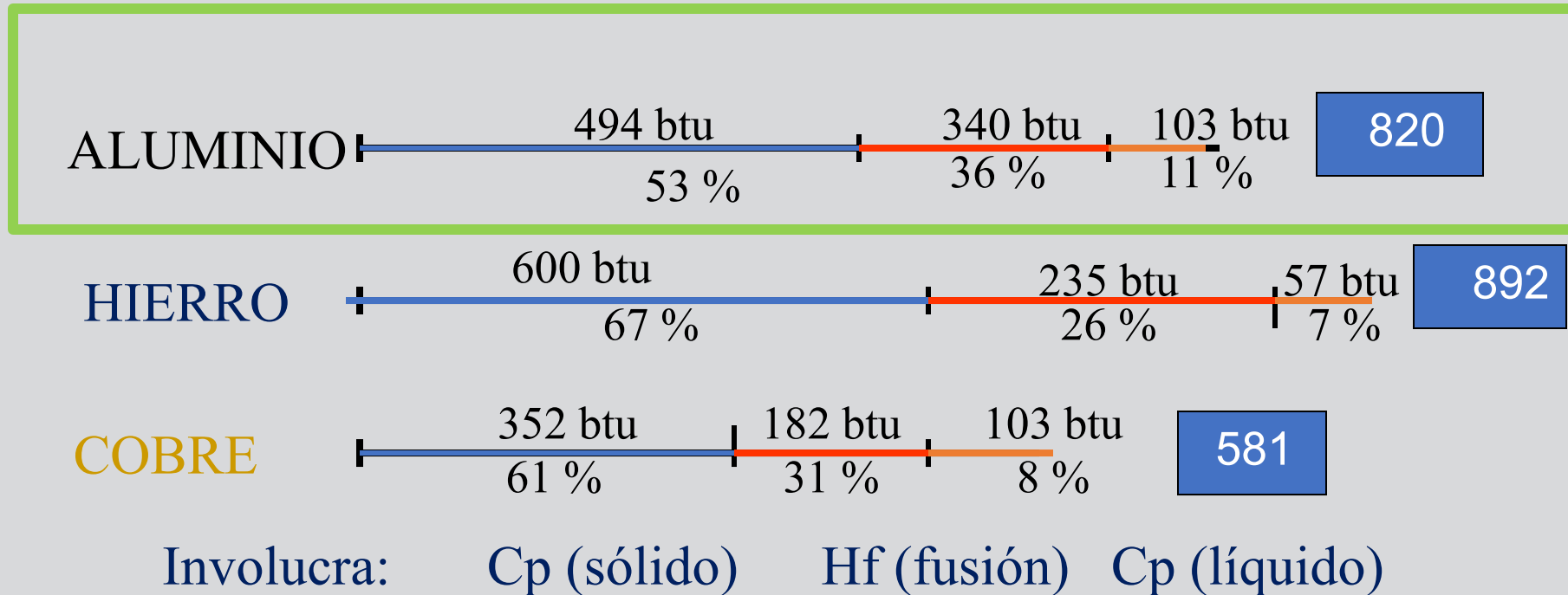
0185 Metalurgia de aleaciones coladas base aluminio

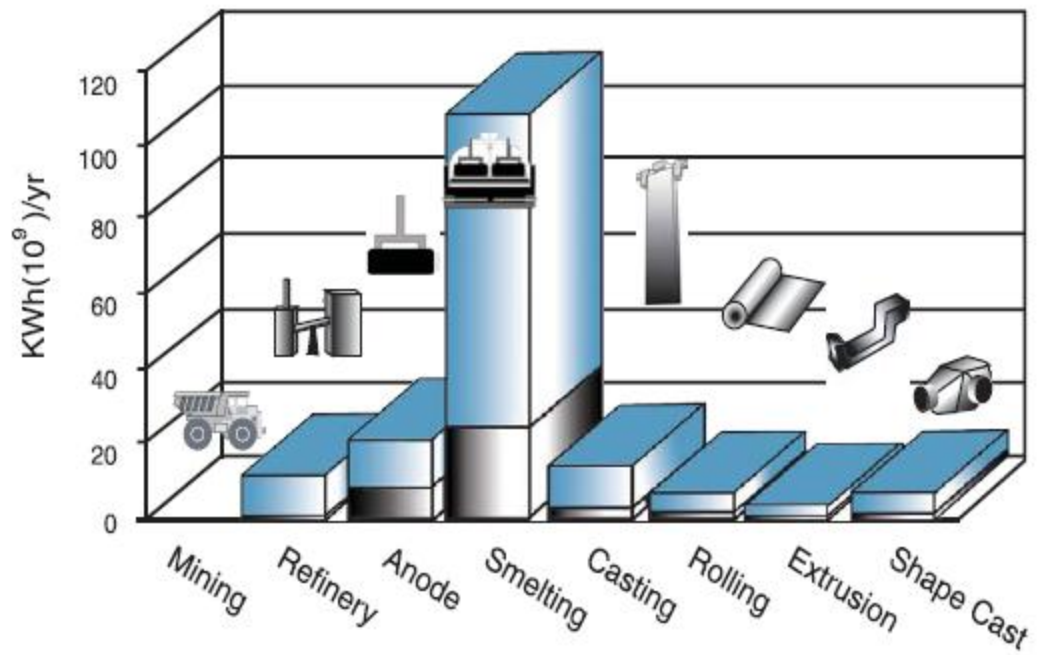
Dr. Luis Enrique Jardón Pérez
Departamento de Metalurgia
Facultad de Química, UNAM



Introducción

Comparación entre la Energía calórica para fundir Al y otros metales





The tacit energy consumption of the major processes in the aluminum production chain. Production of primary aluminum accounts for 86% of the energy consumed by U.S. industry; production of secondary aluminum for 5%; rolling for 4%; extrusion for 1%; and shape casting for the remaining 4%

UNITED STATES TOTAL ENERGY REQUIREMENTS and POTENTIAL SAVINGS	U.S. Annual Production 2000 metric tons	Theoretical Minimum Energy Requirement (kWh (10^9)/yr)	U.S. Process Energy Required (kWh (10^9)/yr)	Potential Process U.S. Energy SAVINGS (kWh (10^9)/yr)	Total U.S. Gross Energy ^{tf} Required (kWh (10^9)/yr)	Potential Gross U.S. Energy ^{tf} SAVINGS (kWh (10^9)/yr)
Bauxite Mining*						
Alumina Refining*	3,985,000	0.56	15.00	14.45	16.24	15.68
Anode Production	1,668,000	9.76	21.36	11.59	21.86	12.09
Aluminum Smelting	3,741,000	22.41	58.29	35.88	116.36	93.95
Primary Casting	3,668,000	1.23	3.70	2.47	4.56	3.34
Secondary Casting	3,450,000	1.15	8.63	7.47	9.64	8.49
Rolling	5,498,000	1.76	3.45	1.69	6.66	4.90
Extrusion	1,719,000	0.75	2.23	1.48	2.59	1.84
Shape Casting	2,513,000	0.84	6.42	5.58	6.63	5.79
Total		38.46	119.08	80.62	184.53	146.07

Características metalúrgicas del Al líquido

Oxidación (formación de escoria):

$\text{Al} + \text{O}_2 \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3$ (densidad Al y Al_2O_3 similares)

En aleaciones con Mg:

$\text{Al} + \text{Mg} \rightarrow \text{MgO}$

Solubilidad de O_2 en Al despreciable, pero forma alúmina

Agitación excesiva se forman películas de Al_2O_3

Absorción de hidrógeno:

$2\text{Al(l)} + 3\text{H}_2\text{O(g)} \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + 6\text{H(naciente)}$

Efecto de la temperatura y tiempo de mantenimiento

- 1) Oxidación y pérdidas
- 2) Desgaste de refractario (crisol)
- 3) Absorción de gases
- 4) Pérdida de refinadores y modificadores (decaimiento)

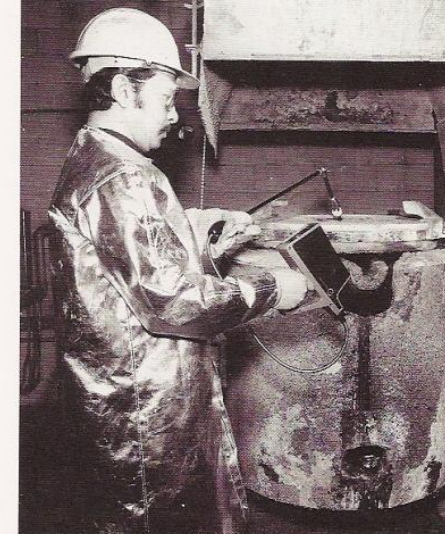


Fig. 2-3. Checking melt temperature with a portable thermocouple. The melt temperature is read on a compact, lightweight pyrometer.

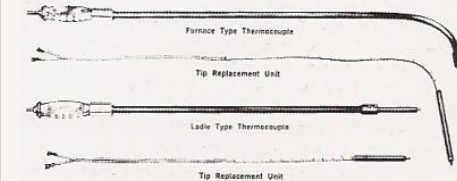
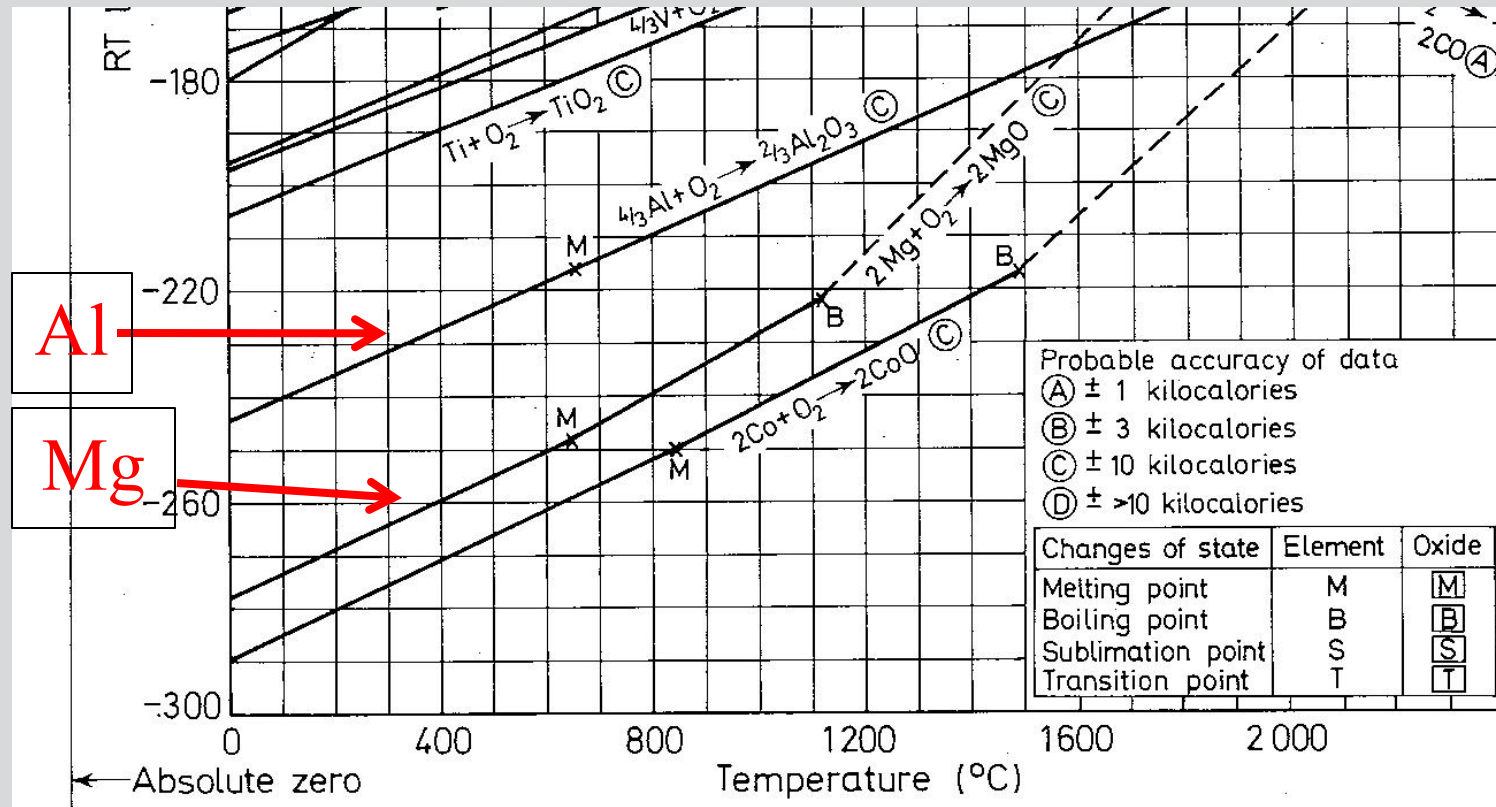


Fig. 2-4. Quick tip changes are possible with tip replacement units for closed-tip thermocouples.

Reacciones gobernantes: la define la afinidad de los elementos por el O_2 . Se usa el diagrama de Ellingham.

Elementos con ΔG muy negativos se oxidan con mayor facilidad que los que están arriba de ellos



Curves for Mo and W omitted for purpose of clarity

Figure 8.36. Standard free energies of oxide formation (conversion of 1 gram molecule of oxygen at 1 atm pressure) ($1 \text{ kcal} = 4.186 \text{ kJ}$) (from Richardson and Jeffes⁶⁹) (courtesy of the Iron and Steel Institute)

Unidad de fusión: equipo en el que por medio de calor funde y mantiene la temperatura del metal líquido

Características para su selección:

- a) Costo inicial
- b) Costo relativo de mantenimiento y reparación
- c) Costo de operación
- d) Disponibilidad de combustibles locales
- e) Limpieza ambiental y nivel de ruido
- f) Eficiencia de fusión (perdidas por fusión)
- g) Nivel de control (químico, temperatura, tratamiento, etc.)
- h) Tipo de aleación por fundir
- i) Demanda de metal por el proceso (velocidad de fusión)

Hornos sin contacto con el combustible:

- ❖ Mejor control de composición química
- ❖ Menores perdidas
- ❖ Mayor estándar de limpieza
- ❖ **En ocasiones menor eficiencia**
- ❖ Ejms: H. eléctricos de inducción, H. eléctricos de resistencia, H. de crisol con cámara de combustión aislada

Hornos en contacto con el combustible:

- ❖ Menor control de composición química
- ❖ Mayores perdidas
- ❖ Menor estándar de limpieza
- ❖ **Mayor eficiencia**
- ❖ Ejms: H. de crisol, H. de reverbero

Hornos para fundición de Al y aleaciones

Table 8.7
FOUNDRY MELTING FURNACES

Energy	Basic type (see Figure 8.35)		Furnace	Means of heating	Main fields of application
I. Fuel fired	Shaft		Cupola	Coke. Charge in direct contact with fuel. Continuous melting	Cast iron; steel (duplex with converter)
	Hearth		Reverberatory (air) Open hearth Rotary (rotating or rocking)	Gas; oil; solid fuel Gas; oil Gas; oil; pulverised solid fuel	Non-ferrous alloys; cast iron, malleable Steel (heavy) Non-ferrous alloys; cast iron, esp. malleable and special. Duplex holding
	Crucible		Crucible Lift out or pit type Tilting Bale out	Gas; oil; solid fuel Gas; oil; solid fuel Gas; oil	} Most alloys, except steel Light castings, especially die castings
	II. Electric	Hearth	Arc	Direct arc Indirect arc (rocking)	Arc to charge Radiant arc	Steel; cast iron Non-ferrous alloys; high alloy steel and special irons
Crucible		Resistor (static or rocking) Resistance		Radiant resistor rod Elements (shroud or immersion)	Steel; cast iron; copper alloys Non-ferrous alloys, especially holding for die casting
Melting channel		Induction	Coreless induction <i>sin núcleo</i>	High frequency induction	Steel, esp. alloy and small tonnage; Ni base
			Cored induction <i>con núcleo</i>	Low frequency induction Low frequency induction	Cast irons Non-ferrous alloys; holding for die and light castings

Costo comparativo (capital) y eficiencia térmica de algunas unidades de fusión

Table 8.8
SUMMARY OF COMPARATIVE CAPITAL COSTS AND THERMAL EFFICIENCIES OF SOME MELTING FURNACES*

<i>Furnace type</i>	<i>Relative capital cost of 10 cwt (\approx 500 kg) capacity</i>	<i>Efficiency % (mean of quoted range)</i>
<u>Crucible (tilting): oil</u>	1.0	16
Reverberatory (fixed): oil	2.0	29
Reverberatory (rotary): oil	2.0	26
Low frequency cored induction	2.75	78
Indirect arc	4.75	44
Coreless induction	16.0	48

Perdidas por fusión en aleaciones base Al

Son las perdidas de metal base y/o aleantes que presenta la aleación durante la etapa de fusión (oxidación, perdidas por volatilización, retención en la escoria, etc.) reducen la eficiencia del elemento base y los aleantes presentes

MELTING LOSSES IN FOUNDRY ALLOYS*

<i>Alloy type</i>	<i>Range, omitting exceptional all-swarf melts %</i>	<i>Peak frequency range or typical value %</i>	
Al-Si	0.2-9.7	1-3	
Al-Mg	0.4-10.7	1-2 6-10	See foot- note **
Al-Cu-Si	0.3-8.5	1-2	
Al-Zn	0.3-4.0	<1	
Al-Cu-Mg	1.7-3.5†	2-3	
All aluminium alloys	0.2-10.7	≈2	
Mg alloys (Zr free)	0-6.0	1-2	
Mg alloys (Zr bearing)	0.2-10.7	5-10	

* Based on References 78-80.

† Additional values in the range 12 to 14% are reported for all-swarf and contaminated scrap melts.

‡ Up to 5% additional loss from swarf. Air furnace melting loss ≈ 5-7.5% (Ref. 58).

§ Comparative values from survey of 2000 foundries in U.S.A.; range 0.5 to 12.5%; mean 3.3% (Ref. 81).

** Comparative values from source as §; range 0.75 to 10.0%; mean 3.4%.

Perdidas por fusión en aleaciones base Al

Melting Loss (in %) of Some Elements Depending on the Condition of the Charge and Type of Melting Furnace

Metal	Virgin charge		Oxidised and contaminated charge	
	electric and crucible furnaces	reverberatory furnaces	electric and crucible furnaces	reverberatory furnaces
Magnesium	2-3	3-5	3-5	3-10
Beryllium	2-3	3-5	3-5	5-10
Aluminium	1.0-1.5	1-2	1-2	2-3
Sodium	2-3	3-5	3-5	5-10
Zinc	1-3	2-4	2-3	3-5
Manganese	0.5-1	1-2	1-2	2-3
Tin	0.5-1	1.0-1.5	1.0-1.5	1.5-2
Iron	0.5-1	0.5-1	0.5-1	0.5-1
Nickel	0.5-1	0.5-1	0.5-1	0.5-1
Silicon	0.5-1	1.0-1.5	1.0-1.5	1.5-2
Copper	0.5-1	1-2	1-2	2-3
Lead	0.5-2	1-2	—	—

115

Ref. The melting of cast iron and Non Ferrous alloys, A. Lipnitsky, Peace Pu . Moscow

Hornos para fundición de Al y aleaciones

Hornos de crisol

Estacionarios: colada con cuchara

Basculantes: colada con olla o cucharota

Capacidades: capacidad esta desde 15 Kg hasta los 1000 Kg.

Consumo energético: 3300 BTU/lb de metal fundido

Rango de eficiencia: 7-17 %

Perdidas promedio de metal: 3-4 %

Crisoles: S iC, Grafito, Hierro colado (rara vez)



Hornos para fundición de Al y aleaciones



VENTAJAS:

- ❖ Alta flexibilidad.
- ❖ Bajo costo de instalación.
- ❖ Versatilidad para el cambio de aleaciones.
- ❖ Utilizan un tipo de energía "económica".
- ❖ Su operación no requiere de mano de obra calificada.

DESVENTAJAS:

- ❖ Mal control de temperatura especialmente los que utilizan combustibles.
- ❖ Debido a que la transferencia de calor hacia el metal a fundir se lleva a cabo por conducción a través de las paredes de crisol, esto los hace lentos al calentar.
- ❖ El reemplazo periódico del crisol incrementa los costos de fusión.

Hornos de Reverbero (pieza o lingote)

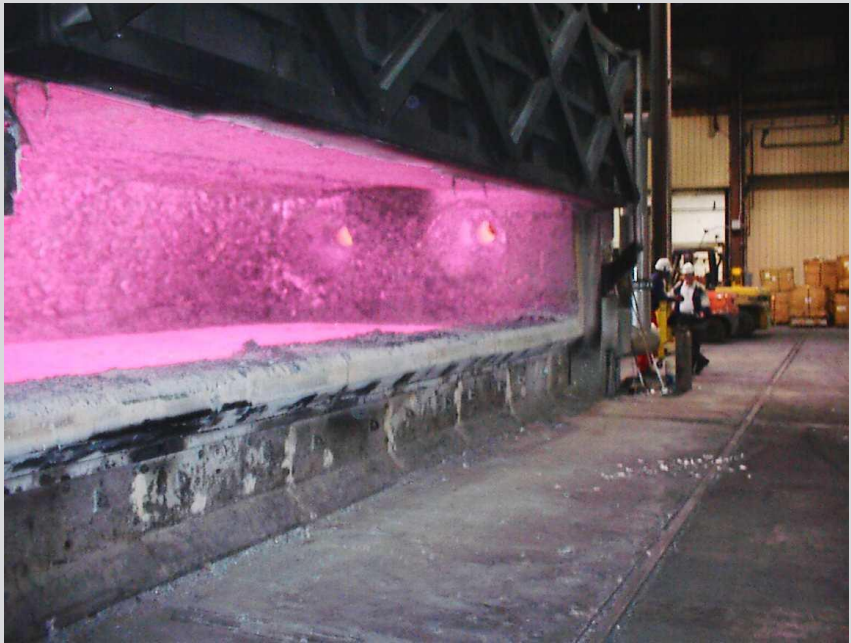
- De llama directa
- De cámara seca
- De cámara húmeda
- Eléctrico por radiación
- De carga frontal
- De energía dual

- En general tienen sistemas de recuperación y regeneración



Hornos de Reverbero (pieza o lingote)





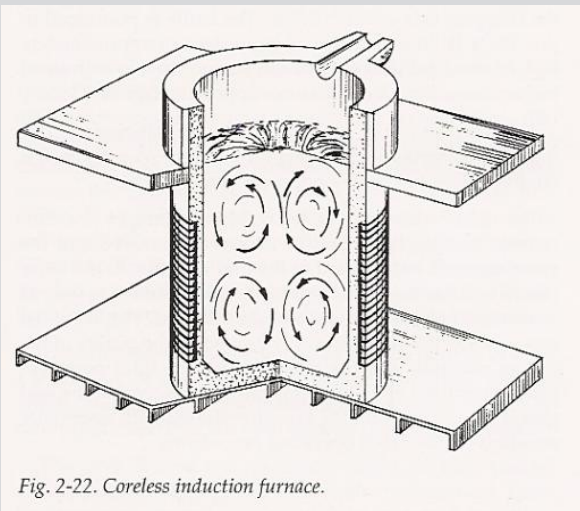
Hornos Eléctricos de Inducción

Capacidades: unas pocas lb hasta 100 000 lb

Hay de dos tipos: con canal y sin canal

Con canal: más eficientes, 5 lb por Kw/hr, desventaja acumulación de lodos en el canal (reduce la eficiencia)

Sin canal: menos eficientes 3.5 a 4 lb por Kw/hr, ventaja no hay canal



A. Paneles: Están contruidos de acero resistente para proteger la bobina durante la operación de horneó.

B. Casco de protección: Sirve como una barrera impenetrable entre el metal salpicado y la bobina.

C. Tapas aisladas que minimizan la pérdida de calor.

D. Anillo recolector de humo: Especialmente diseñado para eliminar humo nocivo y humo durante el ciclo de fundición.

E. Espiras macizas: Optimizan el rendimiento en la fundición.

F. Yugos magnéticos: Reducen el calor excesivo.

G. Espacios entre las espiras: Optimizan eficiencia eléctrica y reducen humedad.

H. Parte inferior abierta: Ayuda a reducir humedad y ventilar.

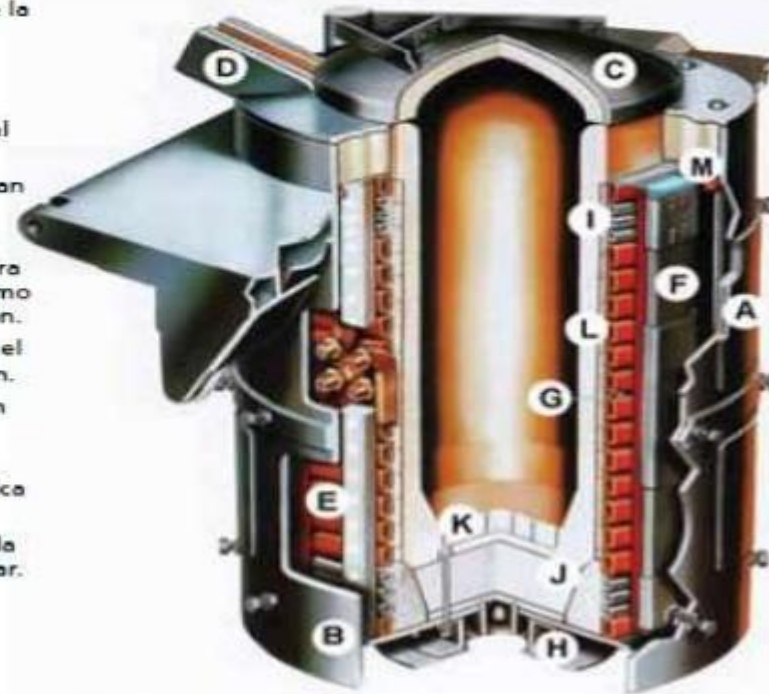
I. Bobinas de enfriamiento: Amplian la vida del recubrimiento

J. Formas refractarias.

K. Detección de fugas con polo a tierra para mayor seguridad.

L. Tubería adecuada para su aplicación.

M. Aislamiento de alta temperatura. Barrera de aislamiento eléctrico y térmico.



Hornos Eléctricos de Resistencia

- Capacidades: estacionarios 325 a 4 200 lb
vel de fusión: 175 a 1 000 lb/hr
basculantes 500 a 2 200 lb
veloc. Fusión: 260 a 600 lb/hr
- Se usan como hornos de mantenimiento (holding)
- Variante: presurizados: llenado automático del molde

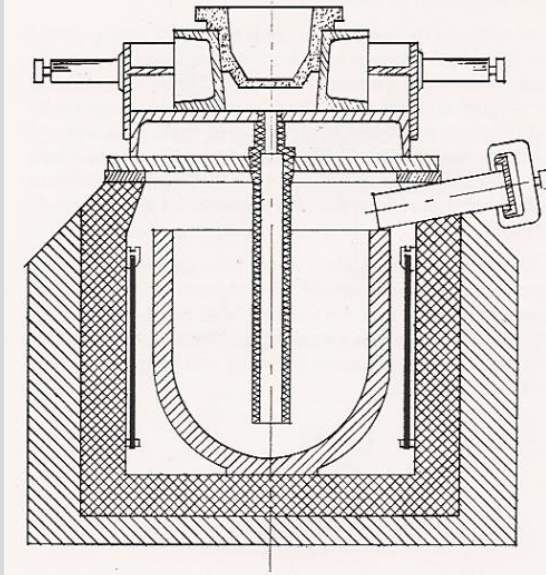


Fig. 2-24. Electrical resistance furnace for low-pressure processes.

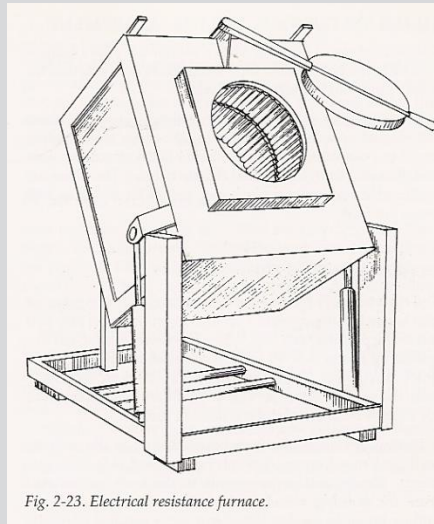


Fig. 2-23. Electrical resistance furnace.



4.2 Fusión de aluminio y aleaciones

Tipos de producto


a) Fabricación de lingotes de aleaciones específicas partiendo de chatarras y/o metales primarios

b) Fusión de aleaciones bajo norma para fabricar la pieza de fundición

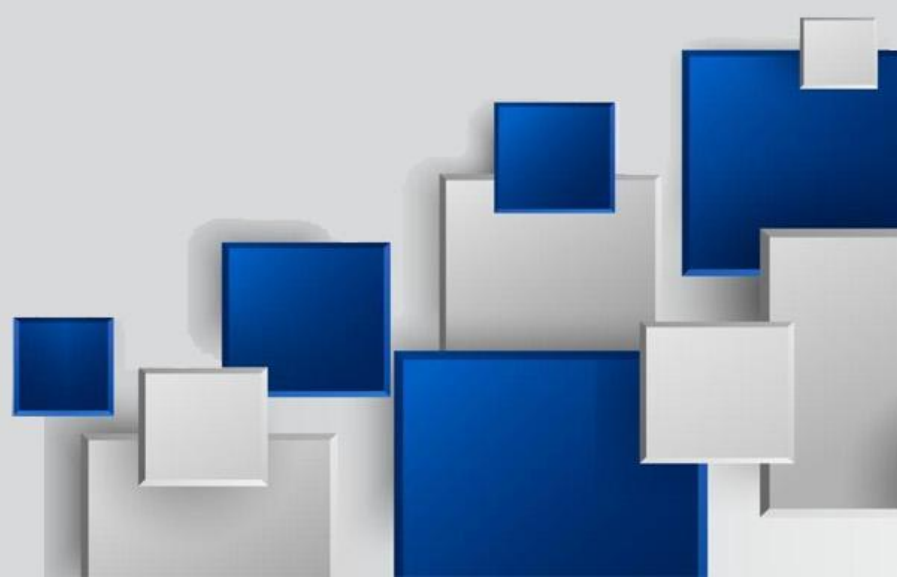
Series principales para aleaciones de fundición base aluminio

Elementos de aleación en lingotes y piezas de fundición	
Aleación	Designación
Aluminio 99 % pureza o mayor	1XX.X
Cobre	2XX.X
Silicio (con cobre o manganeso)	3XX.X
Silicio	4XX.X
Magnesio	5XX.X
Zinc	7XX.X
Estaño	8XX.X
Aleaciones fuera de uso	6XX.X

Grade designation			Product ^(a)	Composition, wt%												
Aluminum Association ^(a)	UNS. No.	ISO ^(b)		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Sn	Ti	Unspecified other elements		Al, min ^(c)
														Each	Total	
							0.40	0.35								
B201.0	A22010	...	S	0.05	0.05	4.5-5.0	0.20-0.50	0.25-0.35	...	...	...	...	0.15-0.35	0.05 ^(d)	0.15	rem
203.0	A02030	...	S	0.30	0.50	4.5-5.5	0.20-0.30	0.10	...	1.3-1.7	0.10	...	0.15-1.25 ^(k)	0.05 ^(d)	0.20	rem
203.2	A02032	...	Ingot	0.20	0.35	4.8-5.2	0.20-0.30	0.10	...	1.3-1.7	0.10	...	0.15-0.25 ^(k)	0.05 ^(d)	0.20	rem
356.1	A03561	...	Ingot	6.5-7.5	0.50 ^(e)	0.25	0.35 ^(e)	0.25-0.45	...	...	0.35	...	0.25	0.05	0.15	rem
356.2	A03562	...	Ingot	6.5-7.5	0.13-0.25	0.10	0.05	0.30-0.45	...	...	0.05	...	0.20	0.05	0.15	rem
A356.0	A13560	...	S, P	6.5-7.5	0.20	0.20	0.10	0.25-0.45	...	...	0.10	...	0.20	0.05	0.15	rem
A356.1	A13561	...	Ingot	6.5-7.5	0.15	0.20	0.10	0.30-0.35	...	...	0.10	...	0.20	0.05	0.15	rem
A413.0 ^(f)	A14130 ^(f)	...	D	11.0-13.0	1.3	1.0	0.35	0.10	...	0.50	0.50	0.15	...	...	0.25	rem
A413.1 ^(f)	A14131 ^(f)	...	Ingot	11.0-13.0	1.0	1.0	0.35	0.10	...	0.50	0.40	0.15	...	...	0.25	rem
A535.0	A15350	...	S	0.20	0.20	0.10	0.10-0.25	6.5-7.5	...	...	...	...	0.25	0.05	0.15	rem
A535.1	A15351	...	Ingot	0.20	0.15	0.10	0.10-0.25	6.6-7.5	...	...	...	...	0.25	0.05	0.15	rem



Uso de fundentes (Fluxes o coberturas o escorificantes)



Tratamientos en fase líquida de aleaciones base Al (fluxing o Fluxes)

Fundentes

- El término se utiliza para representar todos los aditivos utilizados en el tratamiento del metal líquido, están formados por compuestos químicos simples o mezclas de compuestos.
- En general son inorgánicos. Las sales son usadas en forma de polvos granulados, tabletas, los cuales pueden convertirse en líquidos cuando se aplican sobre el metal líquido.

➤ Se adicionan manualmente o en forma automática por inyección. Pueden desempeñar una función simple o varias simultáneas (desgasificación, limpieza, aportación de aleante, oxidación, desoxidación, refinación o modificación).

➤ Este término incluye el tratamiento de metales líquidos con gases inertes o reactivos para remover impurezas sólidas o gaseosas



Tipos de fundentes

Fluxes de cobertura y escorificado (covering and drossing fluxes)

Fluxes exotérmicos (exothermic fluxes)

Fluxes para limpieza de hornos (furnace wall cleaning fluxes)

Fluxes para desgasificar (degassing fluxes)

Fluxes para eliminación de Mg y Ca (Magnesium and Calcium removal fluxes)

Fluxes para modificar a base de Na (Sodium modifying fluxes)

Fluxes para refinar el grano (Grain Refining fluxes)

Fluxes especiales: introducción de aleantes, remoción de impurezas específicas



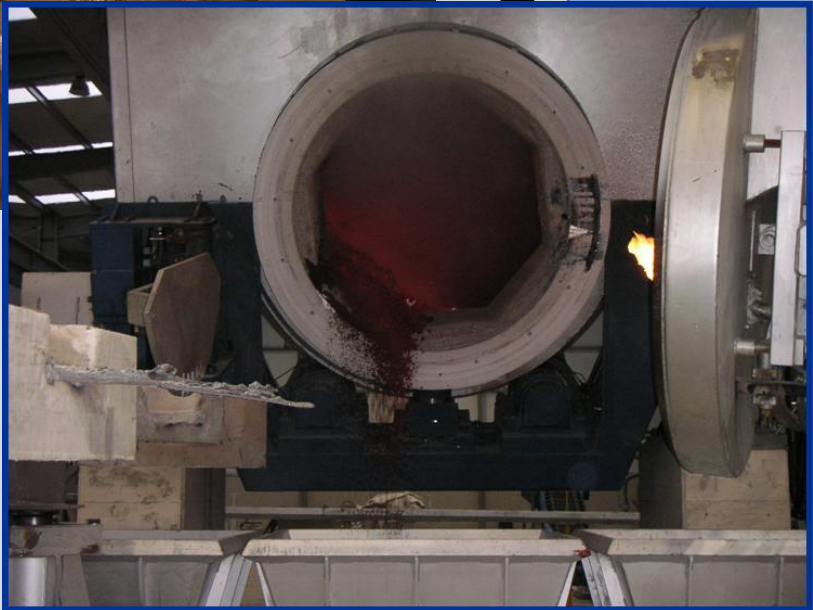
Tratamiento incorrecto



10kg.
FUNDICIÓN
"CLORUROS"



Tratamiento correcto



Some materials that are being used as fluxes for aluminum are listed below:

- Aluminum chloride, AlCl_3
- Aluminum fluoride, AlF_3
- Borax, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$
- Calcium chloride, CaCl_2
- Calcium fluoride, CaF_2
- Carnalite, MgCl_2KCl
- Zinc chloride, ZnCl_2
- Cryolite, 3NaAlF_3
- Lithium chloride, LiCl
- Magnesium chloride, MgCl_2
- Potassium chloride, KCl



Fluxes mixtures

- An important factor to consider is the flux's melting or reaction temperature range. A cover flux (fundente de cobertura) should be liquid at melt temperatures.
- Dressing and other exothermic fluxes (fundente exotérmico) should ignite at melt temperatures.

- Most fluxes are a mixture of KCl and NaCl. These salts form a eutectic, which at 44% and 56%, respectively (9 wt.%), melts at about 665°C.
- Another common ingredient in fluxes is NaF, which forms a ternary eutectic trough with KCl and NaCl that dips to 607°C.
- A common cover flux contains about 47.5 wt.% KCl, 47.5 wt.% NaCl and 5 wt.% NaF.

➤ Other cover fluxes are based on MgCl_2 and KCl , which form a low melting eutectic 425°C , or $\text{MgCl}_2\text{-KCl}$ (carnallite), which melts at a slightly higher temperature 485°C .

➤ These cover fluxes have high fluidity and can form thin layers on the melt surface. In addition, MgCl_2 is used as a fluidizing addition.

➤ However, MgCl_2 is an expensive ingredient, so it is used primarily in Na-free fluxes for alloys containing more than 2 wt.% Mg.



Criterios de uso y selección

NO HAY FLUXES UNIVERSALES

En base a la composición química de la aleación:

- Aleación con alto Mg: se tratan como aleaciones base Mg
- Al-Si hipoeutécticas: fluxes modificadores, Na, sales de Na, Al-Sr
- Al-Si hipereutécticas: fluxes a base de P, libres de Na y Ca

En base al método de fundición (molde):

- Molde permanente permite mayor nivel de gas que en molde de arena
- En colada a presión el gas no es problema crítico



En base al método de fusión:


➤ Tipo de unidad de fusión, técnica de fusión, carga, velocidad de fusión, capacidad

En base al objetivo deseado:

➤ Desgasificación, eliminación de impurezas, etc.

En base al uso final:

➤ Ejm. Pistones: libre de inclusiones, aplicación de fluxes limpiadores que contienen fluoruros. Los fluxes que forman líquidos proveen excelente limpieza, luego se aplica un drossing off flux (coagulante) para remover la escoria



Sistemas de filtrado

- **Eliminación de:** óxidos, partículas no metálicas, fragmentos de refractario, lodos
- **Filtros con aberturas:** 20, 30, 45 y 60 poros/in²
- **Tipos de filtros:** para reverbero por el fondo, para crisol de pared dividida

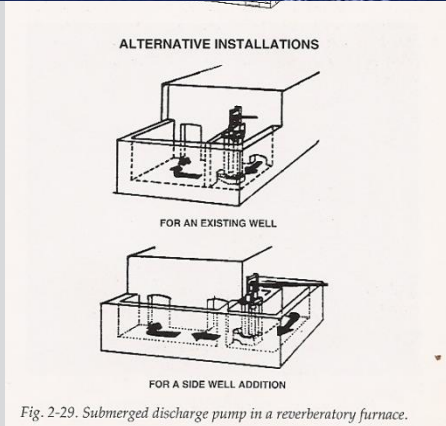


Fig. 2-29. Submerged discharge pump in a reverberatory furnace.

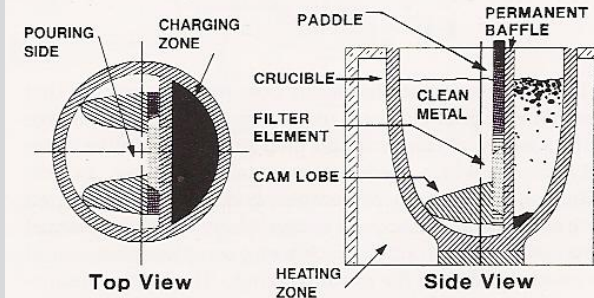


Fig. 2-26. Melting/holding crucible.

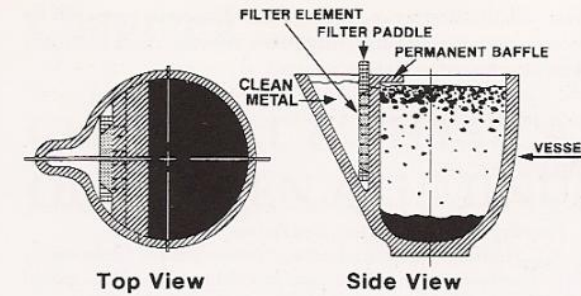



Fig. 2-27. Filter pouring ladles.



The background features a light gray gradient with scattered 3D squares in blue and white. The squares are of various sizes and are arranged in a non-uniform pattern, creating a modern, geometric aesthetic. Some squares are positioned to appear as if they are floating or attached to the surface, with soft shadows and highlights that give them a three-dimensional appearance.

Hidrógeno en las piezas de aluminio

Porosidad en el aluminio

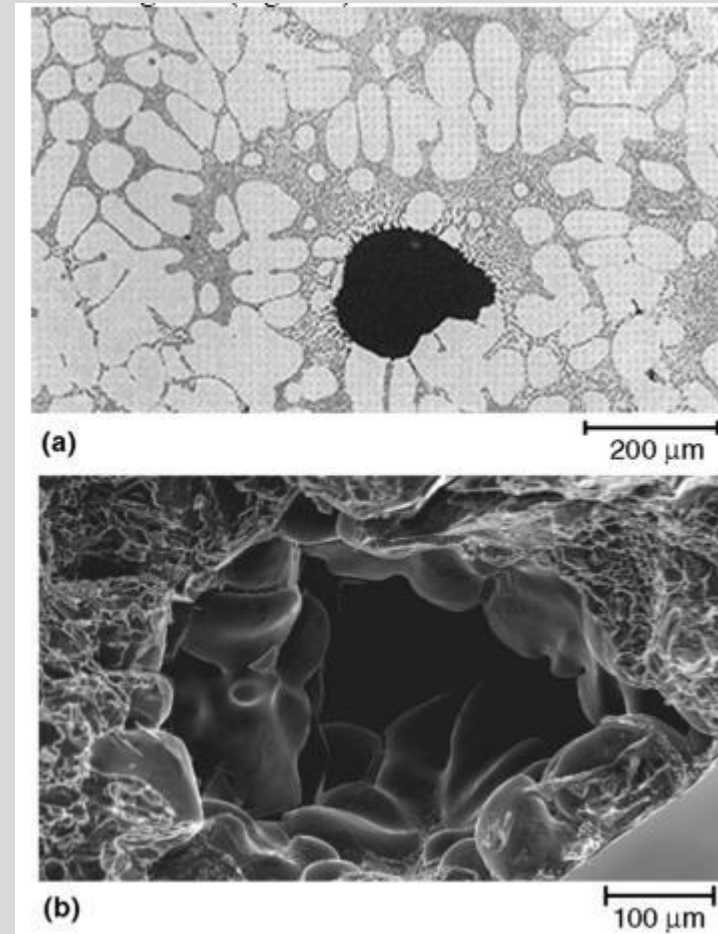
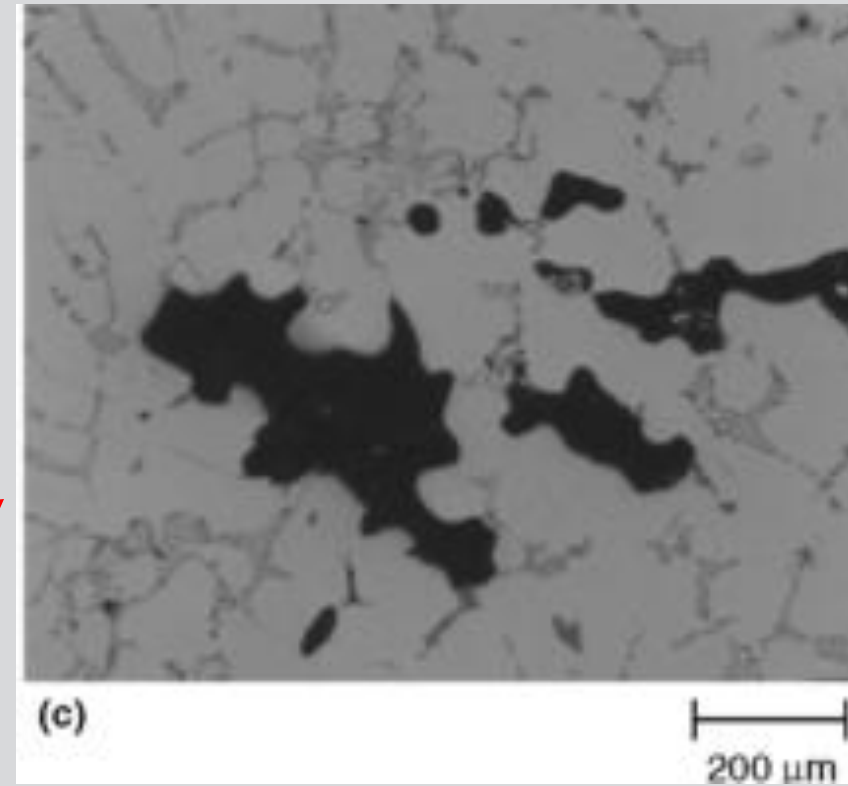
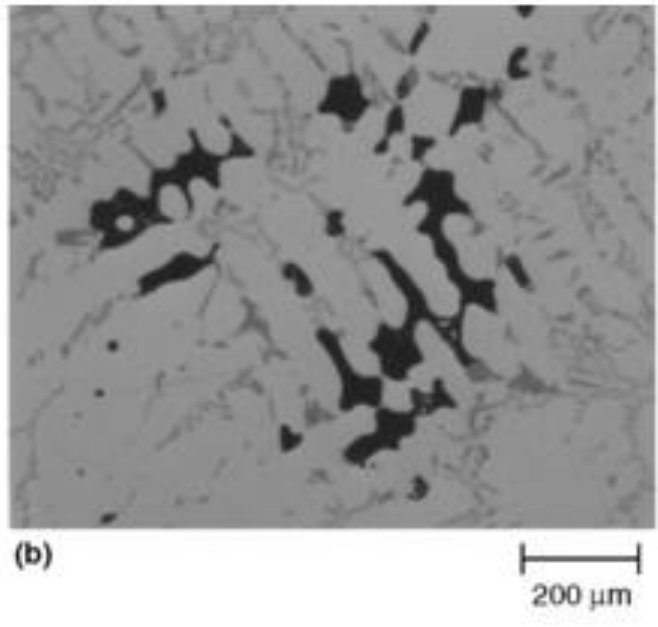
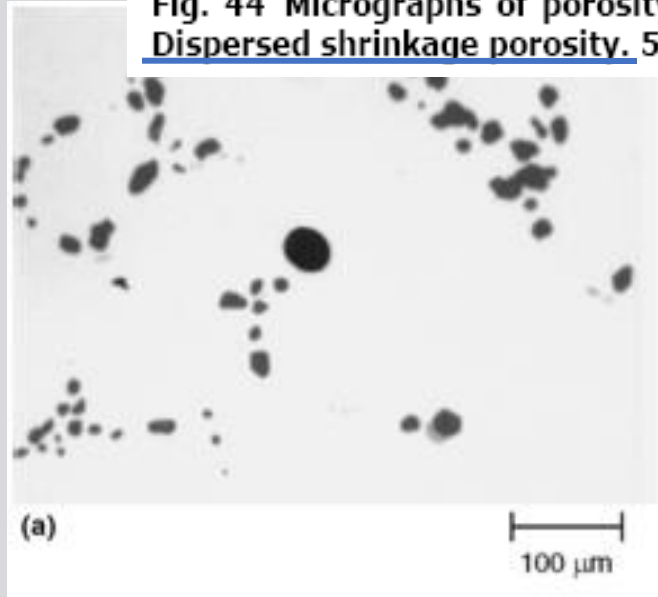


Fig. 32 Pores formed by gas evolution in the casting. (a) Light micrograph of a pore in aluminum-silicon alloy. Etchant: 0.5% HF. Source: Ref 22. (b) Scanning electron microscopy image of pore in unmodified aluminum-silicon alloy. Source: Ref 23

Poros y microrechupes

Fig. 44 Micrographs of porosity in a cast aluminum-silicon alloy. (a) Gaseous porosity, 100 \times . (b) Dispersed shrinkage porosity, 50 \times . (c) Cluster of shrinkage pores, 50 \times . Source: Ref 38





Los poros en piezas de fundición tienen 2 causas:

Micro-rechupes.


Poros debidos a la contracción por solidificación y se presentan en las zonas interdendriticas, presentándose con formas irregulares (un círculo estrellado, por ejemplo)

Es lo que conoce como rechupe disperso.

Sopladuras.

Su origen esta 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



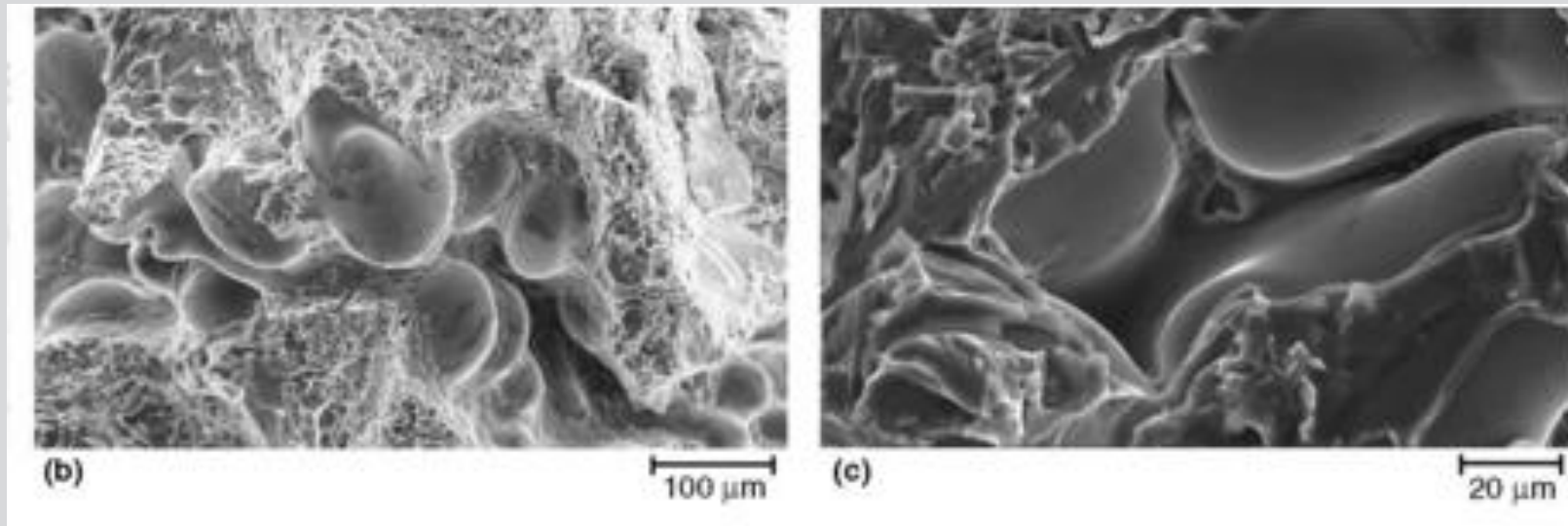


Fig. 33 Microshrinkage in aluminum alloys. (a) Light micrograph of interdendritic microshrinkage in aluminum-silicon alloy. Etchant: 0.5% HF. (b) Scanning electron microscopy image of interdendritic microshrinkage in aluminum-silicon alloy. Source: Ref 23. (c) Scanning electron microscopy image of microshrinkage between the eutectic grains in aluminum-silicon alloy. Source: Ref 23

Excess hydrogen is rejected from solution (liquid state), recombines as molecular gas which may be entrapped in the solid structure leading to porosity (interdendritic regions)

Acceptable Hydrogen levels: 0.1 – 0.15 ml / kg It can be reached for melts at 750 °C in environments with 30 % relative humidity. But How fast?: very slow!. Therefore:

Need to purge by bubbling an insoluble gas through the melt in the (reverberatory) furnace prior to pouring (e.g., Nitrogen, Argon, Chlorine).

What about Oxygen?: it is insoluble in Al. Where do the oxides come from then?

Agitation: oxidation of the Al on the surface when in contact with the furnace atmosphere

How are oxides removed?: By filtering the molten metal through ceramic filters

Therefore: modern Al casting practice:

Bubbling (hydrogen removal) + Filtering (oxides removal)

Modern Theories; (Prof. John Campbell, Professor of casting Technologies, University of Birmingham, UK). The Bi-Films and the interesting correlation between oxides particles (actually bifilms) and defects in Al castings

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

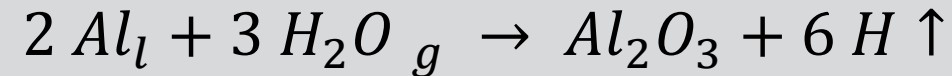
➤ Sopladuras.

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:

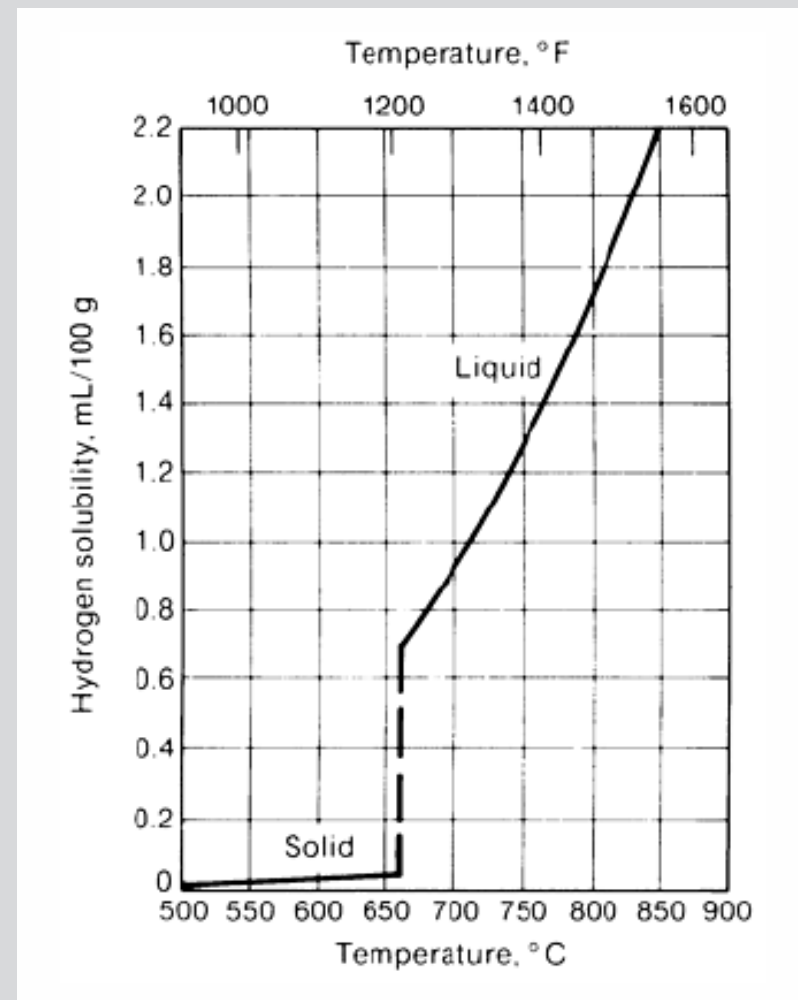
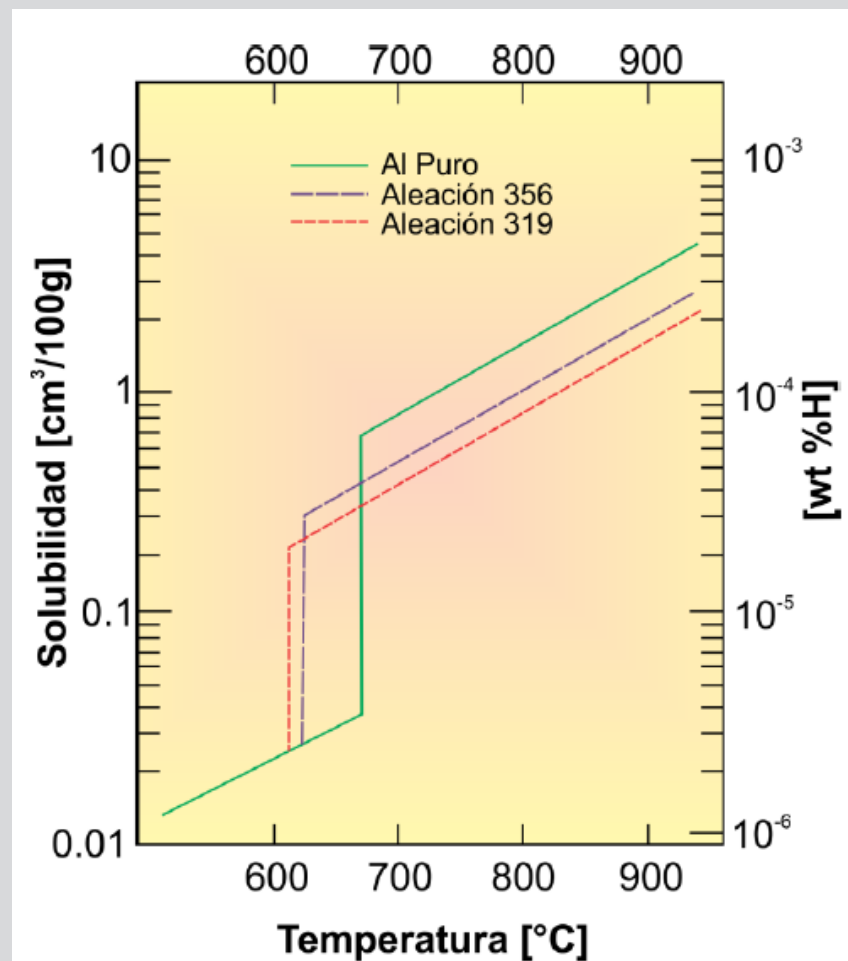


El hidrógeno resultante es absorbido fácilmente por el metal caliente manteniéndose en solución mientras el aluminio se encuentra en la fase líquida.

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

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

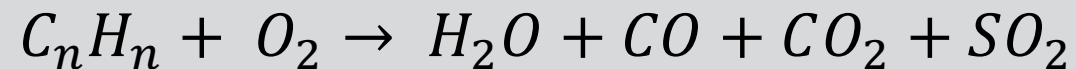
Correlación encontrada por Anyalebechi y colaboradores, considerando el efecto de varios elementos aleantes y de la temperatura sobre la solubilidad del hidrógeno en aleaciones base Al.

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



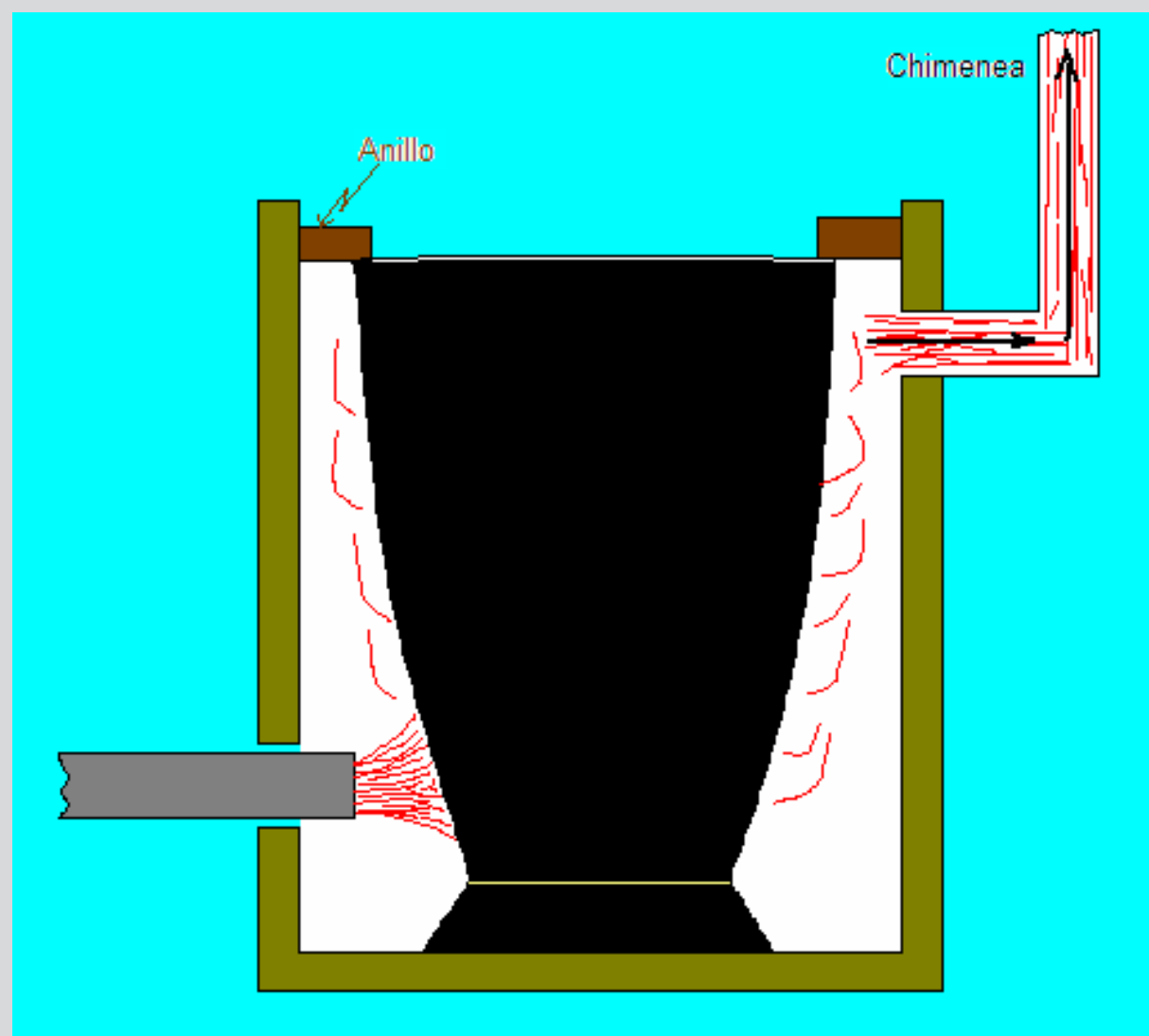
(Este último es por el contenido de azufre en el combustible)

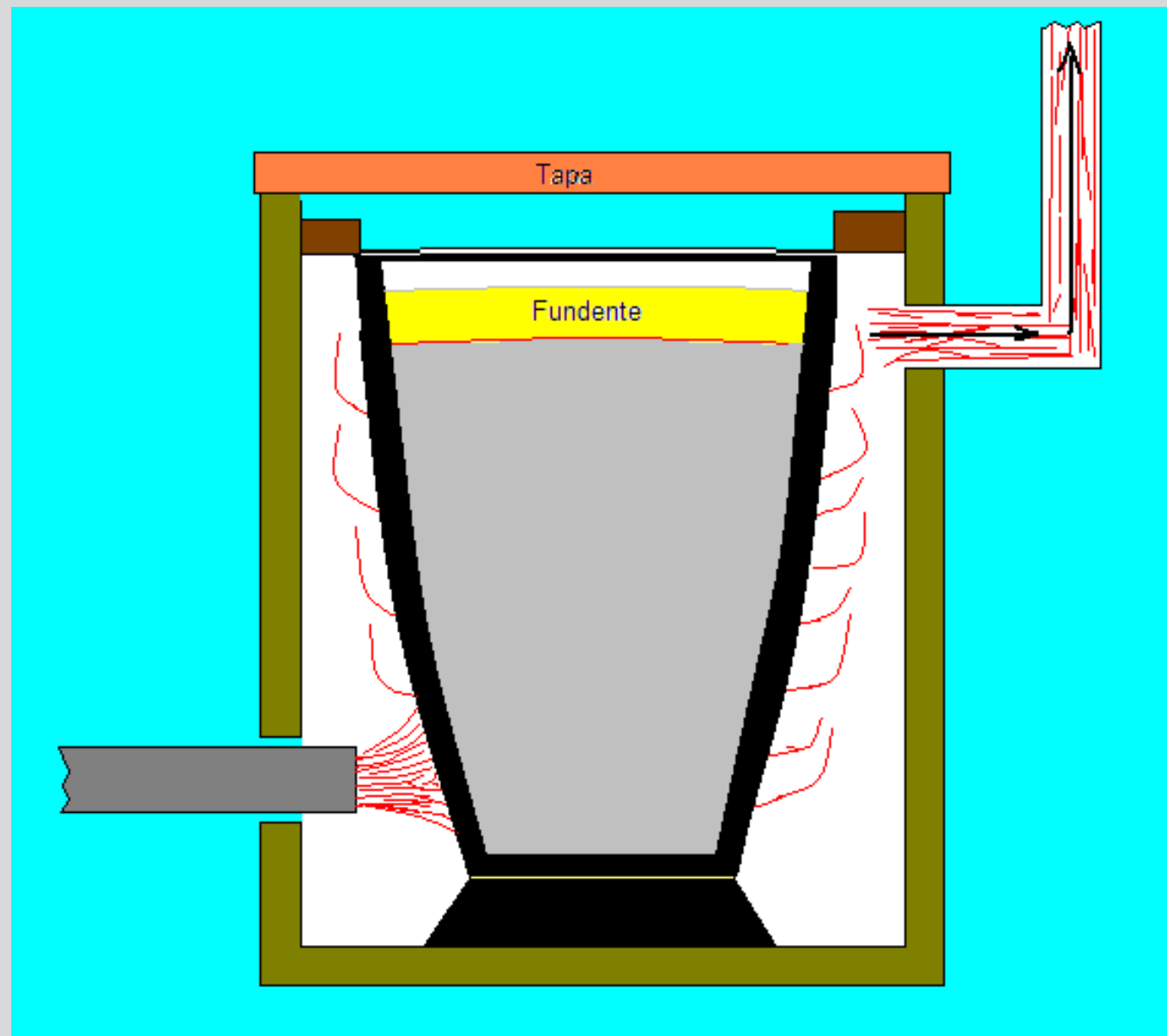
¿Cómo evitar la humedad en el proceso de fundición del aluminio?

- 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







Desgasificación

Desgasificación

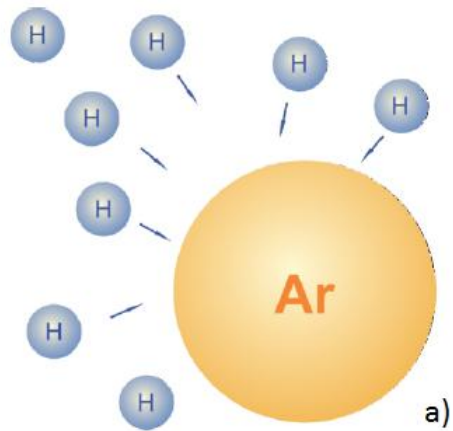
La desgasificación es un tratamiento de metal líquido. Existen tres métodos principales para lograr la remoción del hidrógeno del aluminio líquido:

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

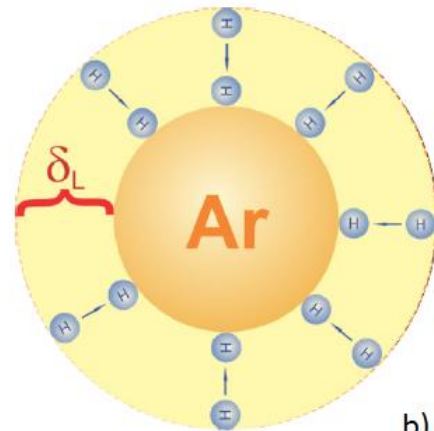
De las técnicas mencionadas la más eficiente y estudiada es la de inyección de gases, polvos o escorias realizada mediante tapones porosos, lanzas o rotores. De estos métodos, el uso de rotores es la técnica en donde se obtienen mejores resultados.

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

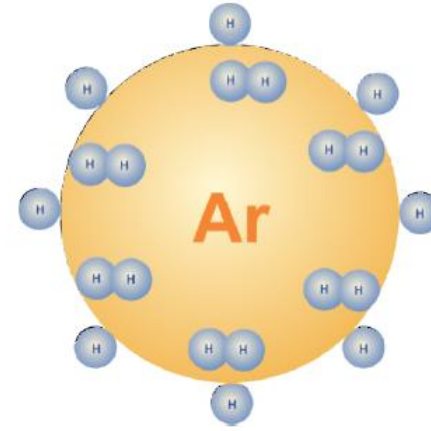
Métodos para remover impurezas sólidas y gaseosas en Al líquido.



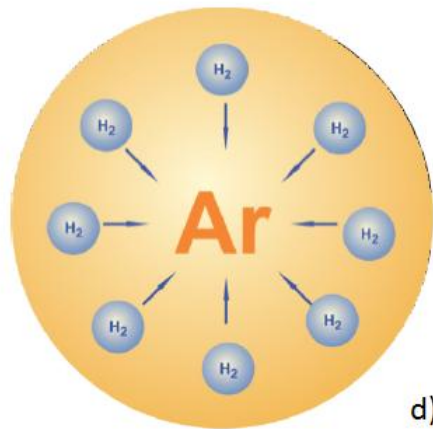
a)



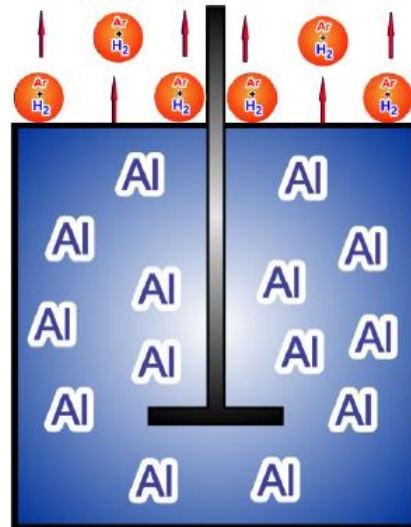
b)



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.

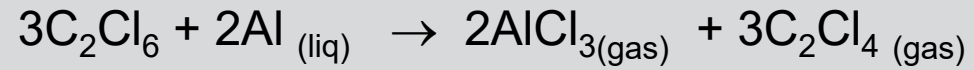
c) Proceso de adsorción - desorción en la superficie de la burbuja de Ar.

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

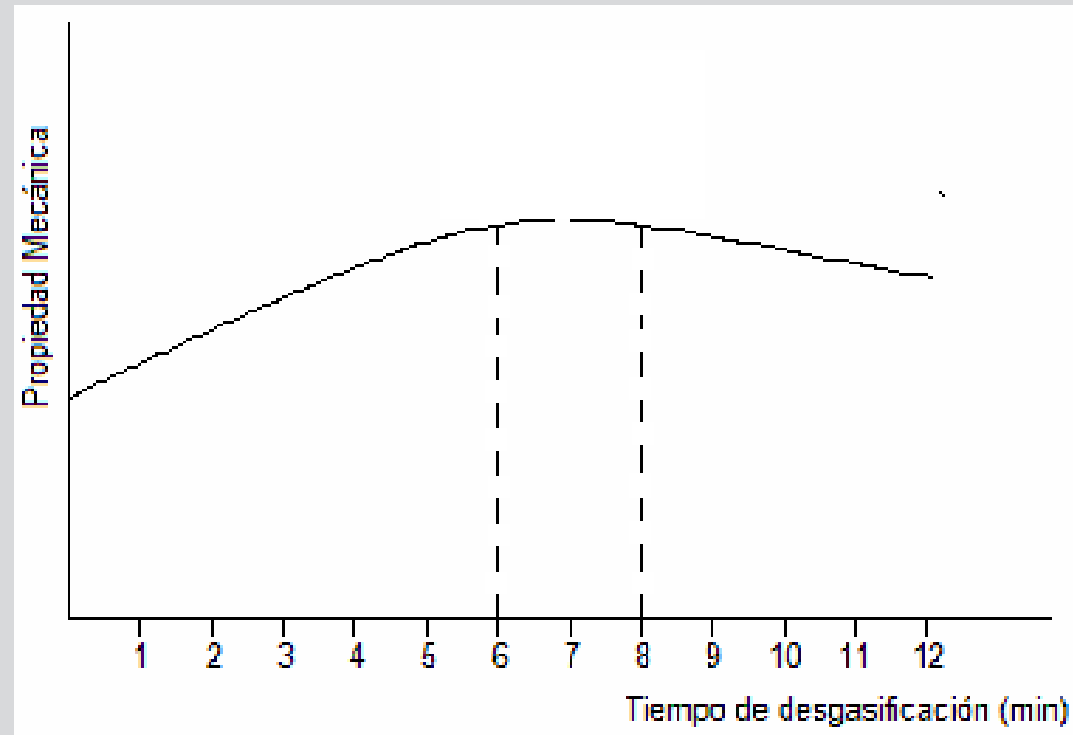
e) Remoción de H₂ del baño de Al.

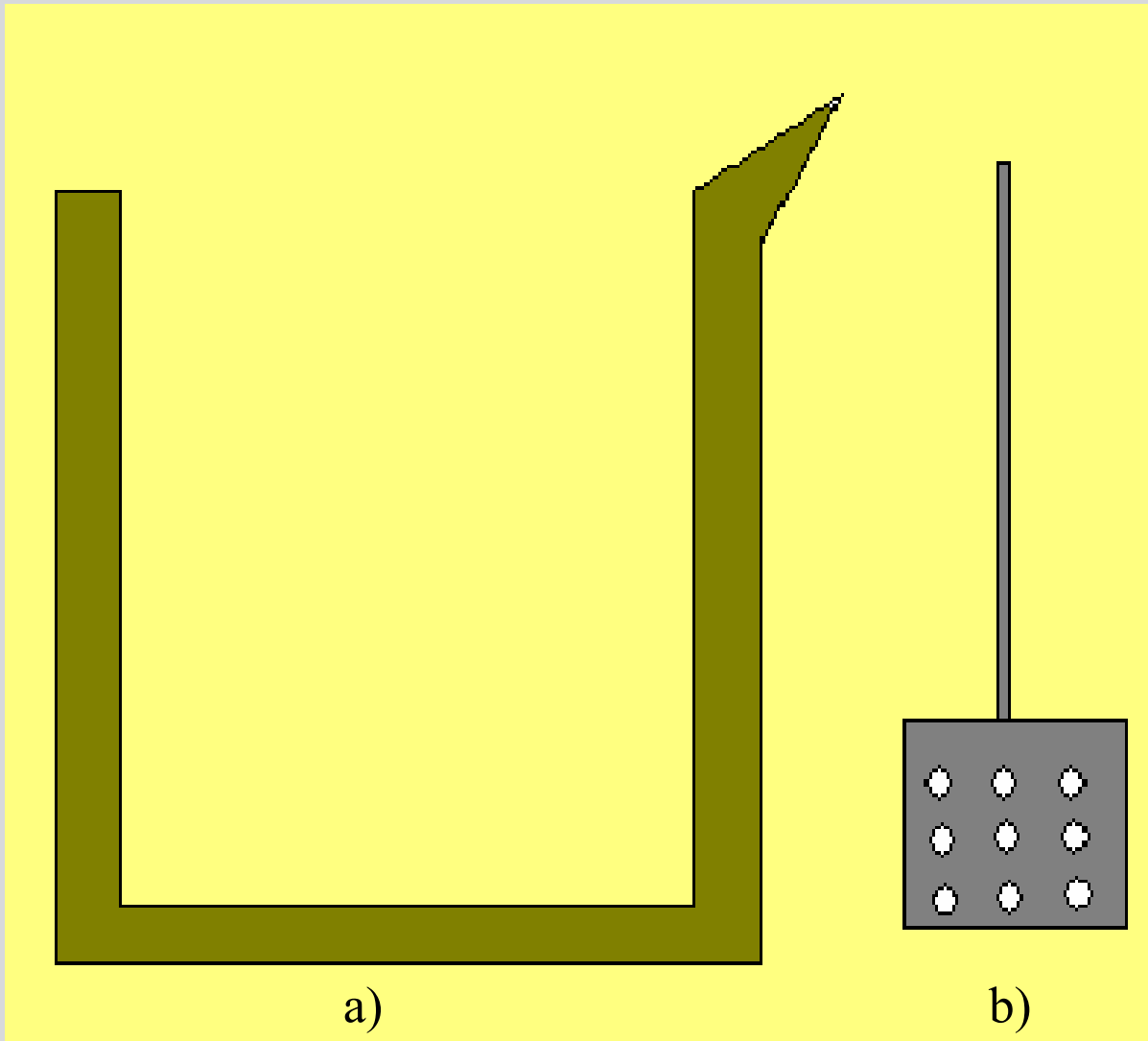
Hexafluoroetano C_2F_6 (sal)

(En desuso)



El producto de la reacción son burbujas de AlF_3 que al subir a la superficie adsorben al hidrógeno, disuelto en el metal líquido, llevándolo a la atmósfera





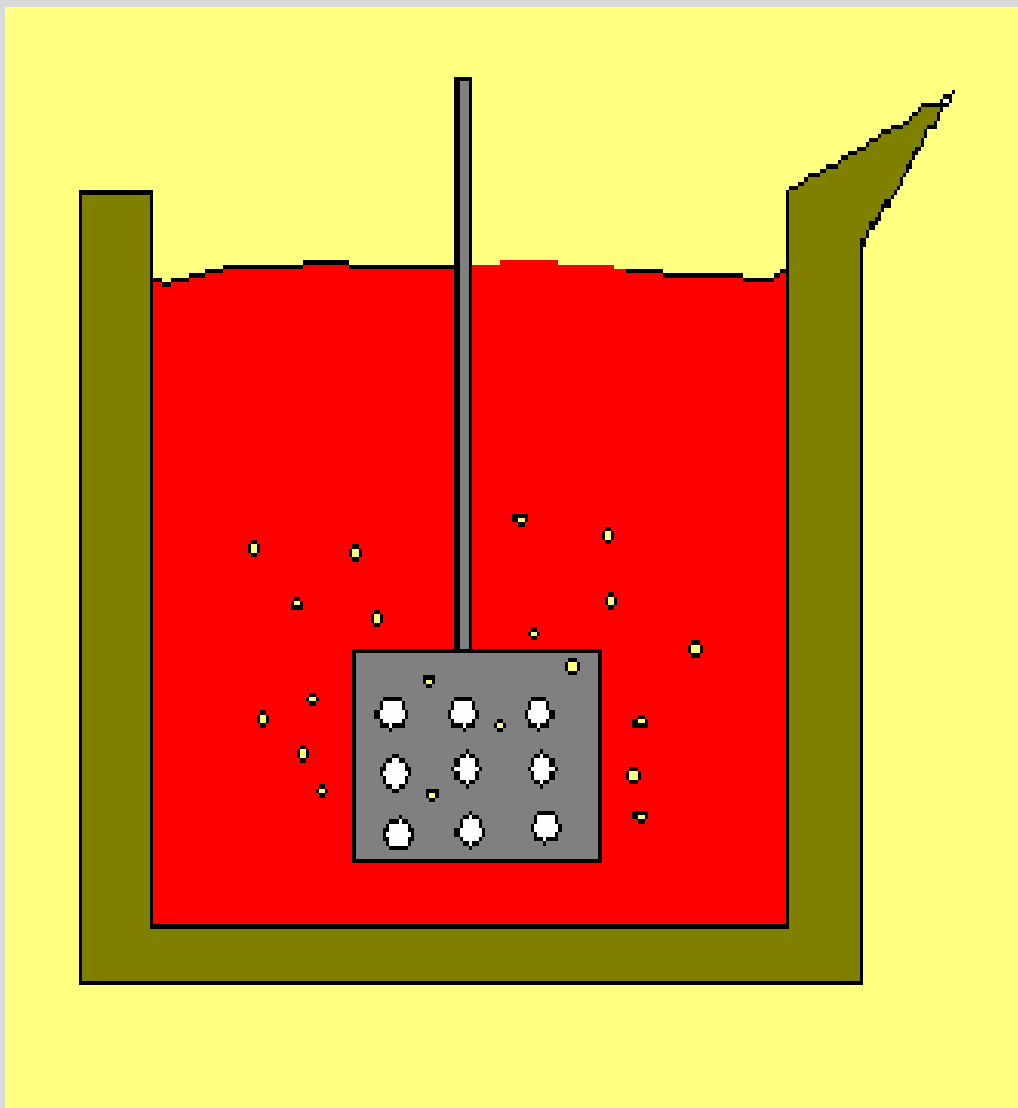
a) Crisol u olla de tratamiento
b) Campana de inmersión

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



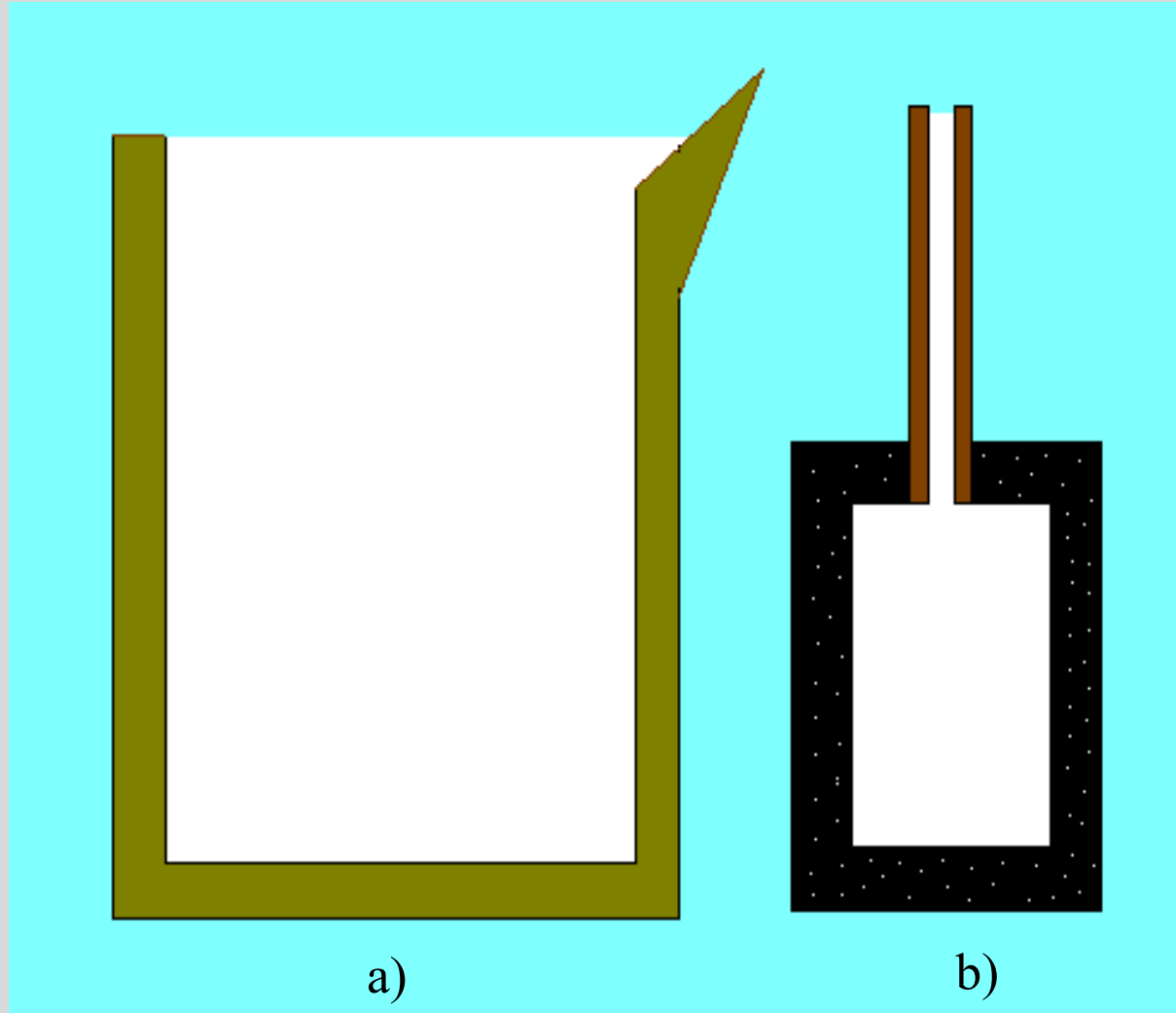
Sistema:

Horno – Campana de inmersión.

Burbujas producto de la reacción:

$\text{Al} - \text{C}_2\text{Cl}_6$

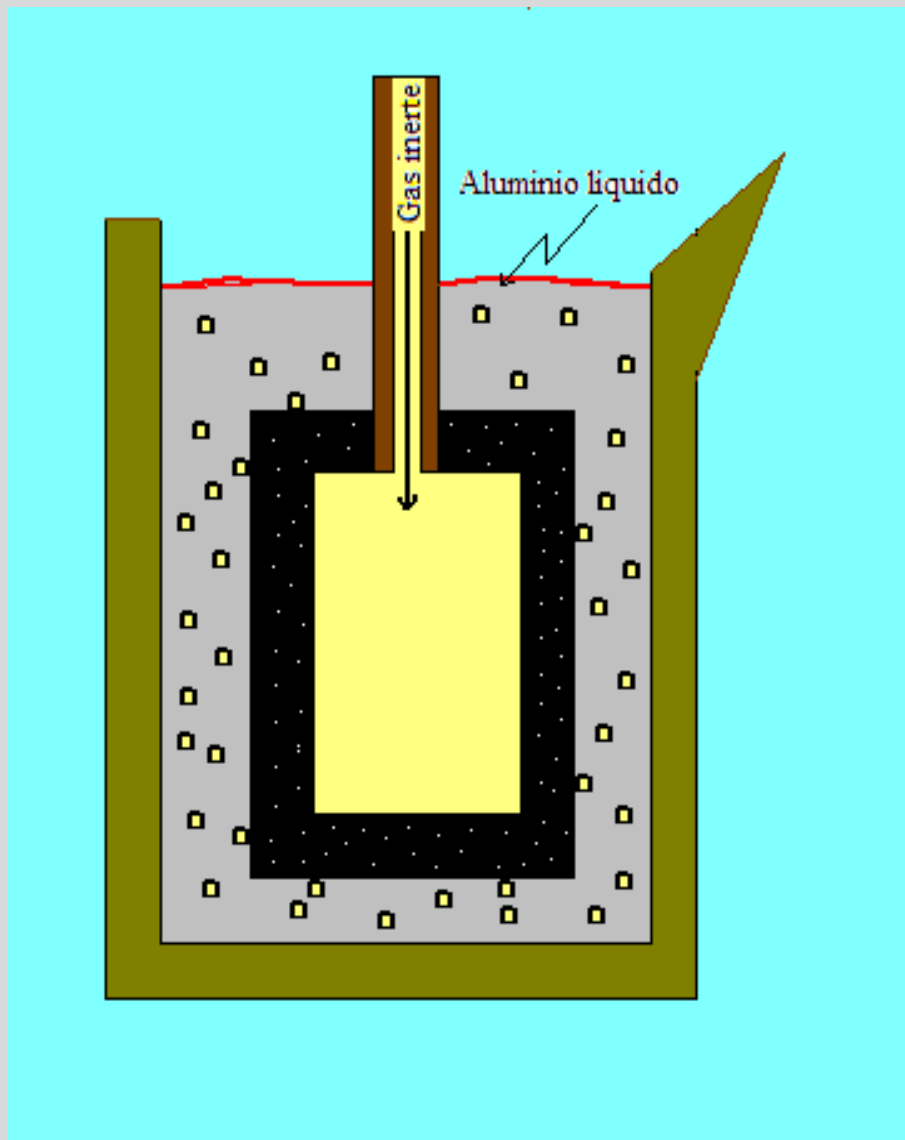
Gases Inertes



a)

b)

- a) Crisol u olla de tratamiento
- b) Burbujeador (grafito poroso)

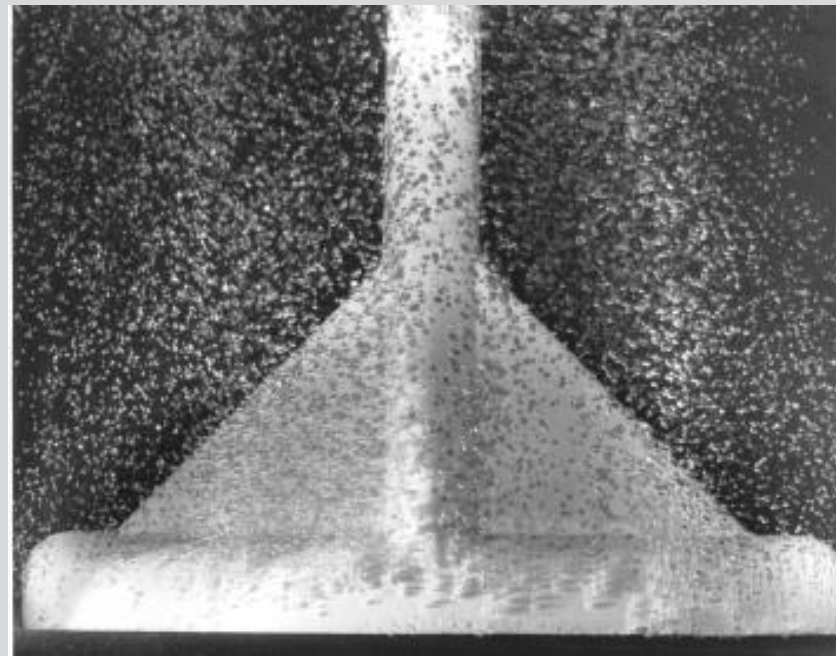
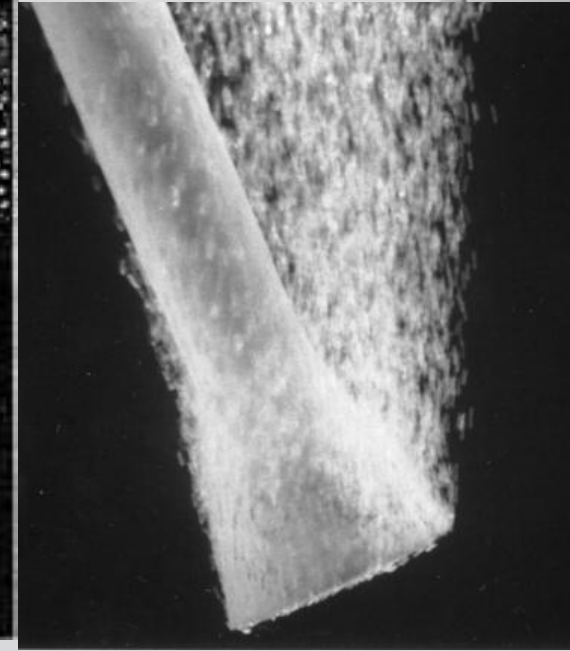
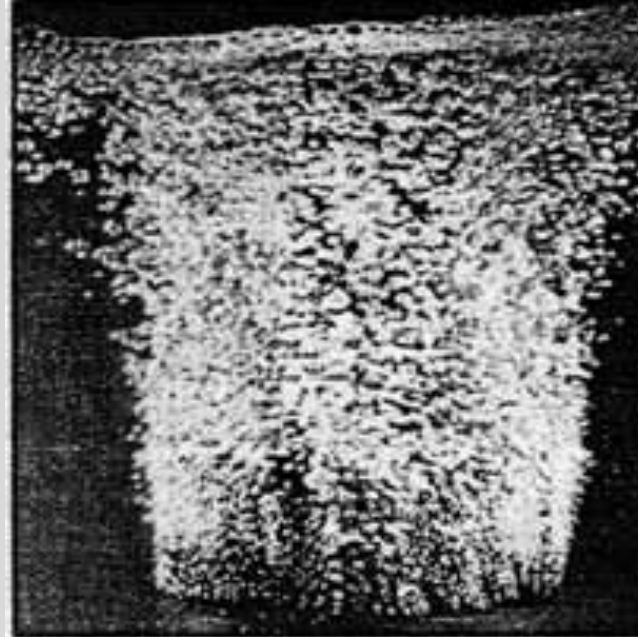
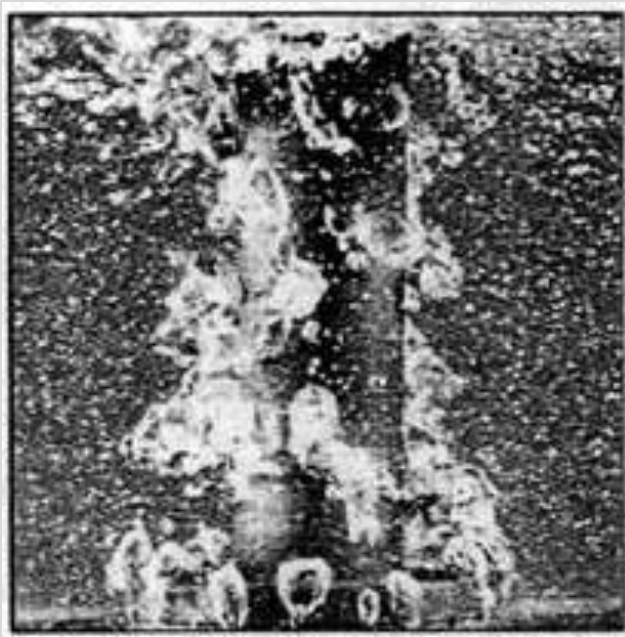


Sistema:

Horno – Burbujeador.

Burbujas:

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



Sistema Horno – Burbujeador
Burbujas con el tamaño asociado ala porosidad del grafito

Rotor Inyector

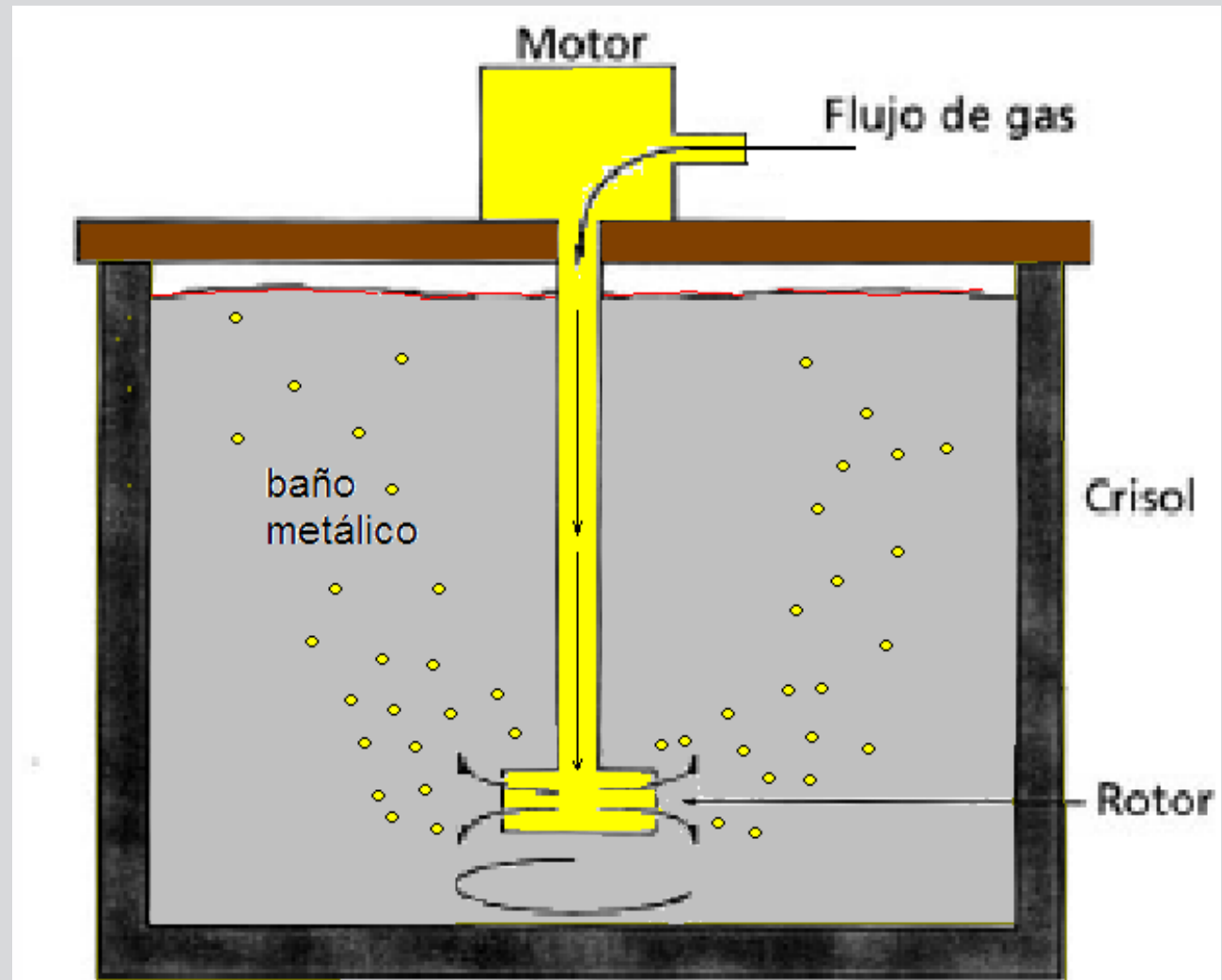
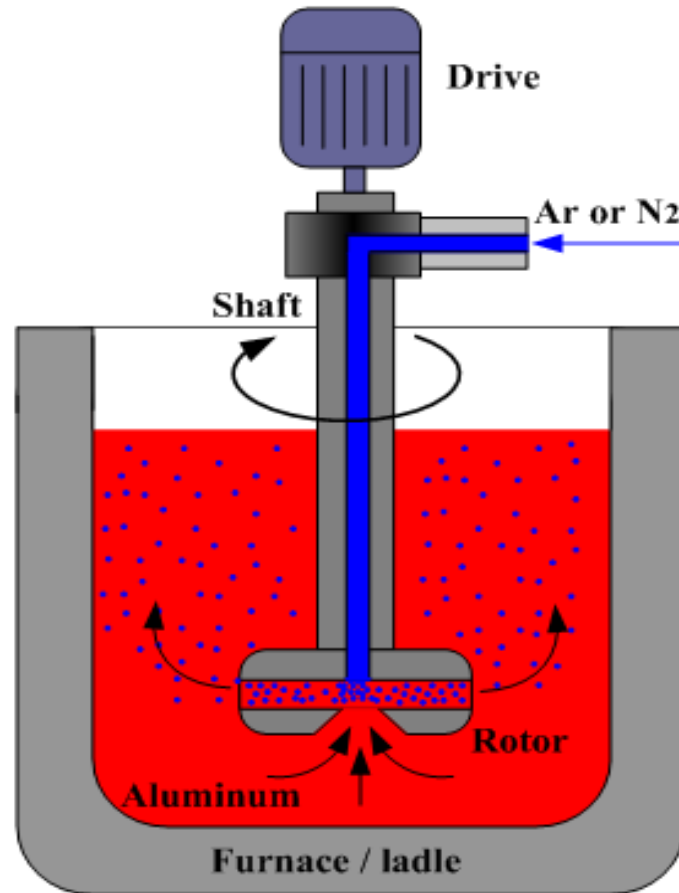
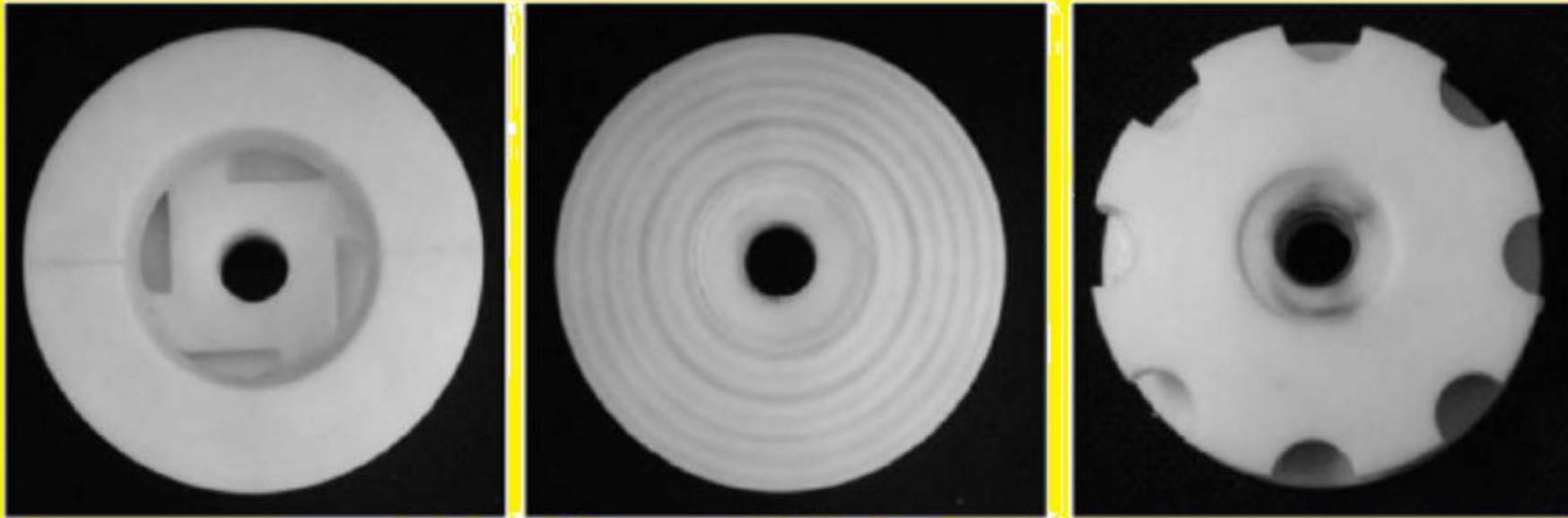


Figura. 1. Olla (cuchara) equipada con rotor inyector.

Rotary degasser for molten aluminum



Método de desgasificación: rotor-inyector



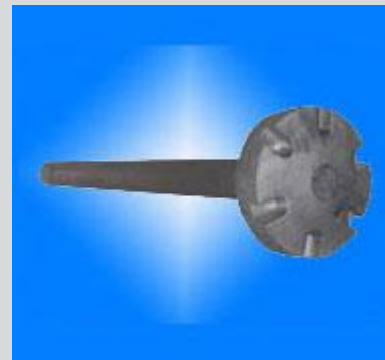
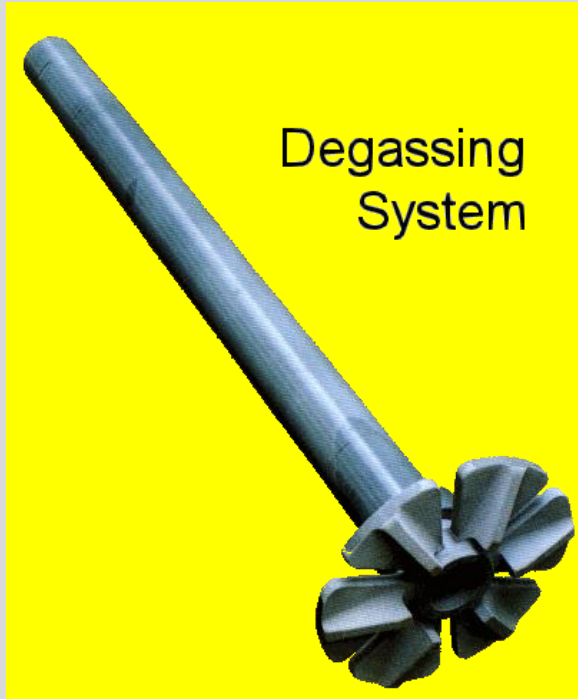
a

b

c

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

Rotores - inyectores



Uso de rotor-inyector

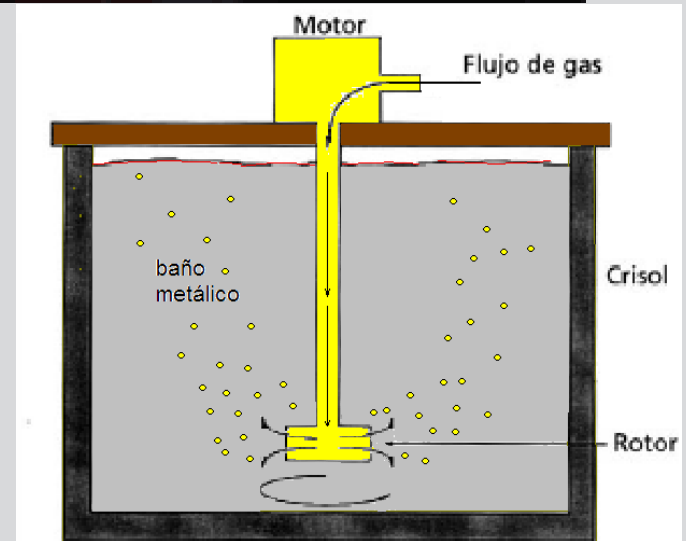


Figura. 1. Olla (cuchara) equipada con rotor inyector.

Degassing Process



Hydrogen Removal

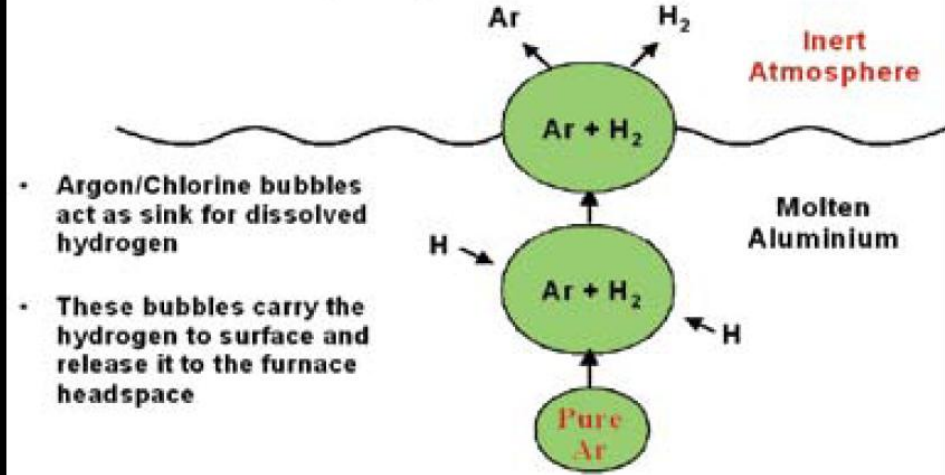
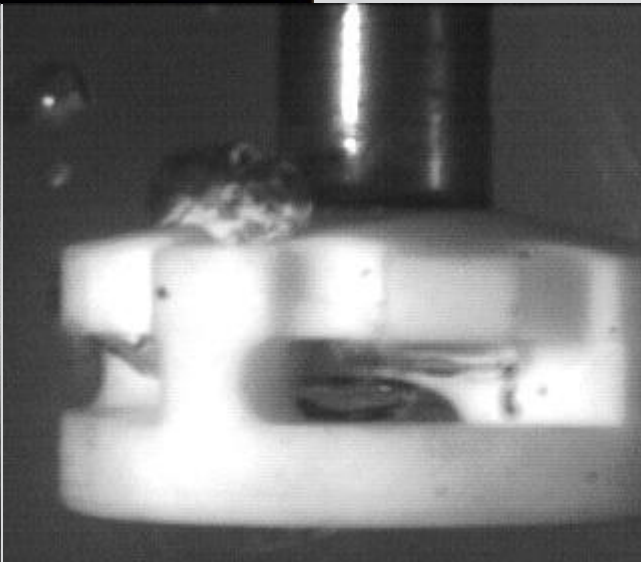
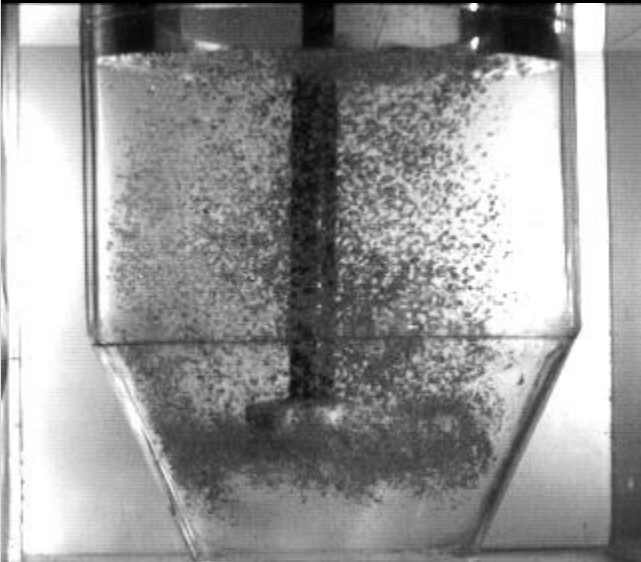
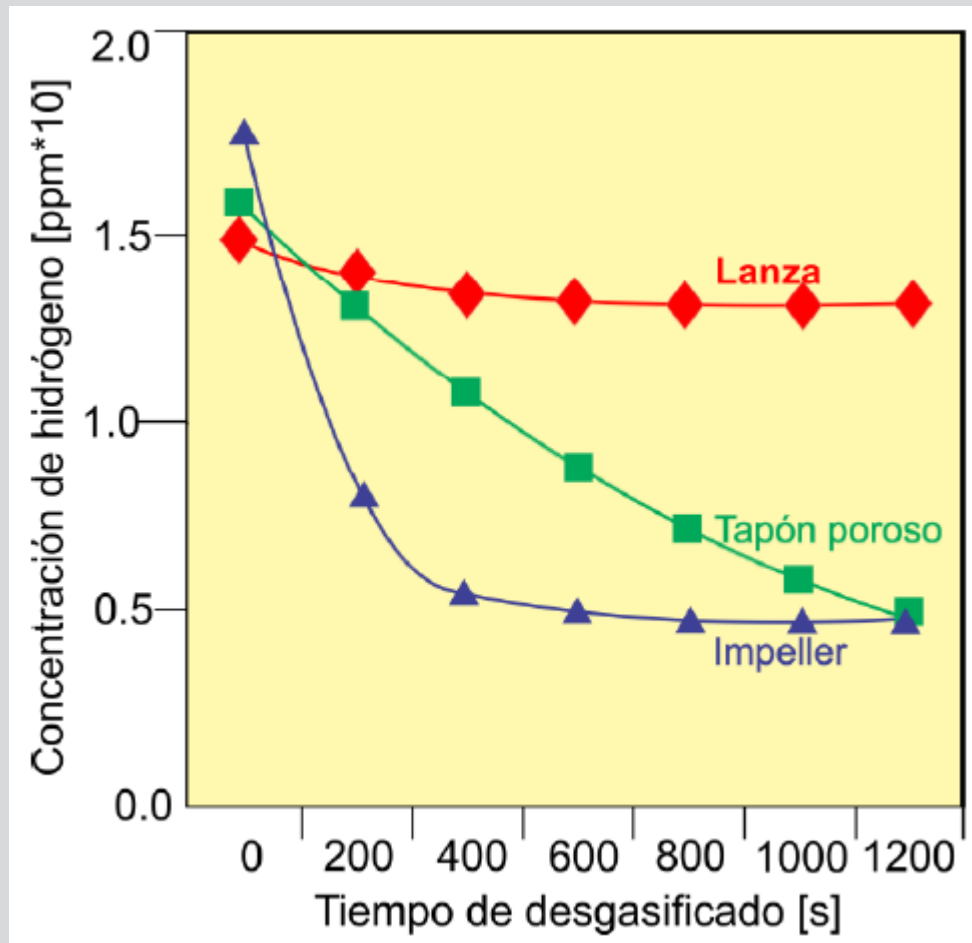


Figure 2: Hydrogen removal theory

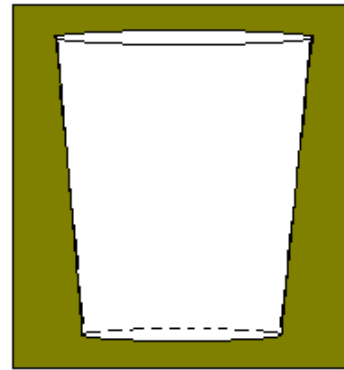




Comparación de la efectividad de diversos métodos de desgasificación en Al puro.

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

Probeta cilíndrica de 2plg X 2plg



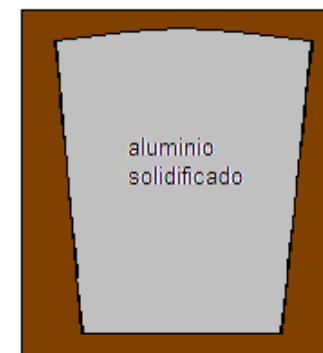
a) Molde



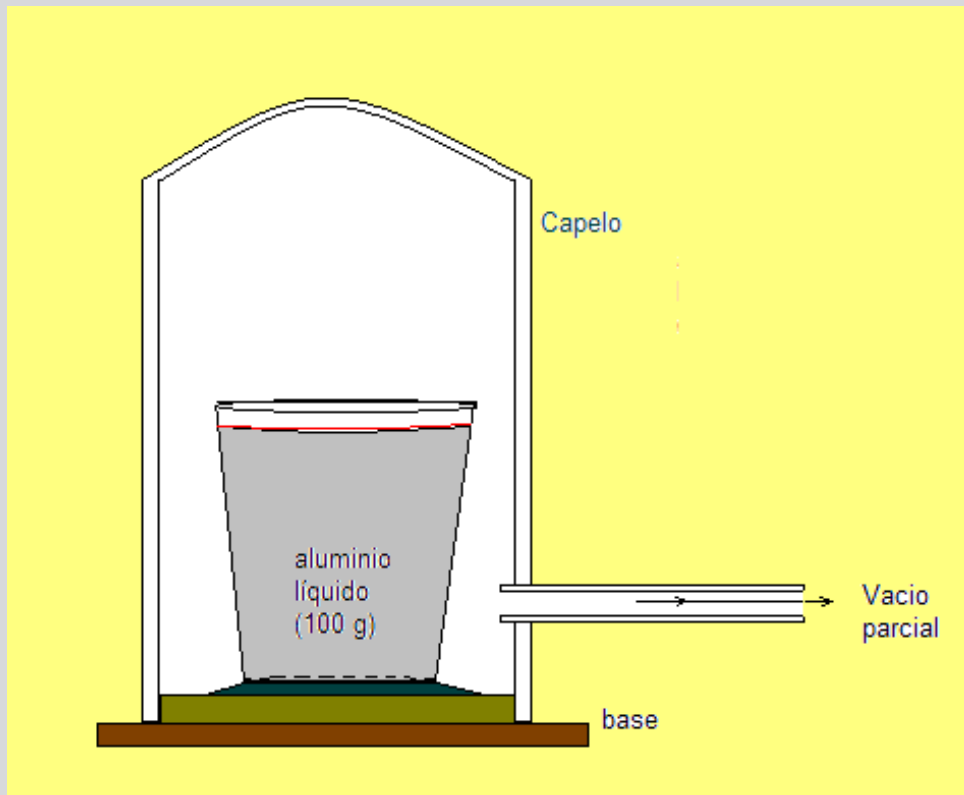
b) $C_{H_2} = 0\%$



c) C_{H_2} Media

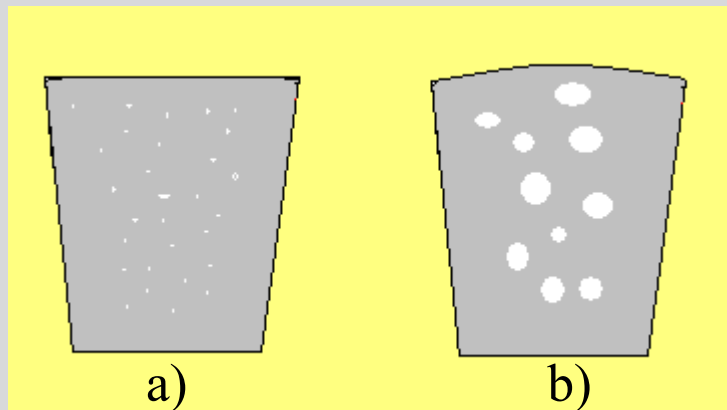


d) C_{H_2} Alta



Método de la presión reducida.

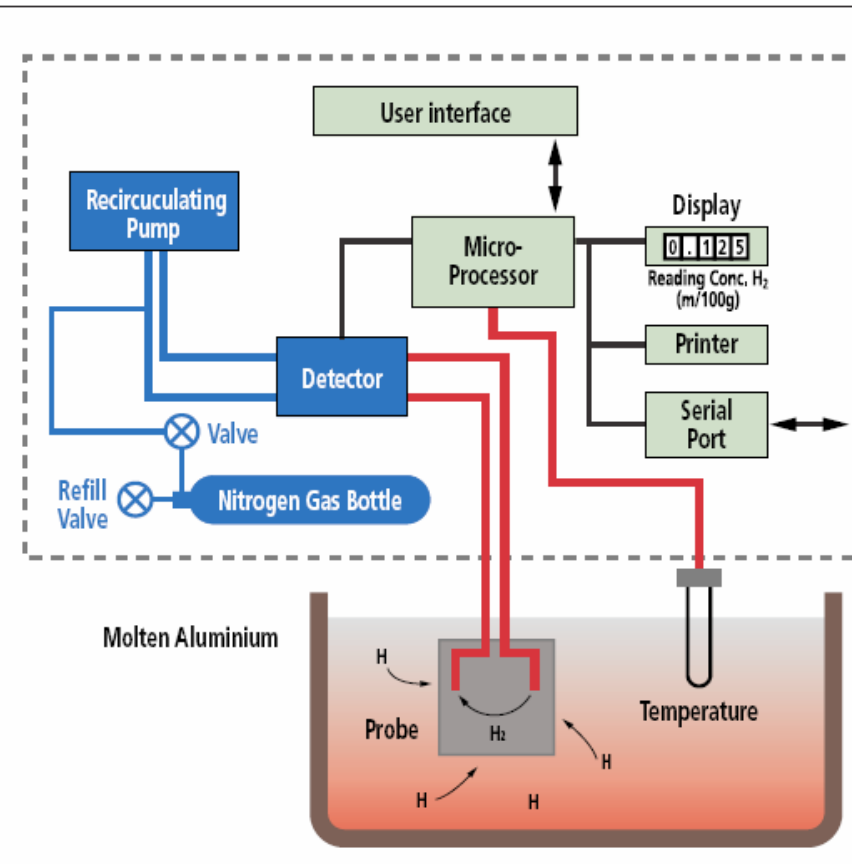
Objetivo: aumentar el tamaño de las sopladuras, debido a el efecto del vacio parcial. Es decir aumento de volumen del hidrógeno nucleado



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

Analyzer for hydrogen in liquid aluminum

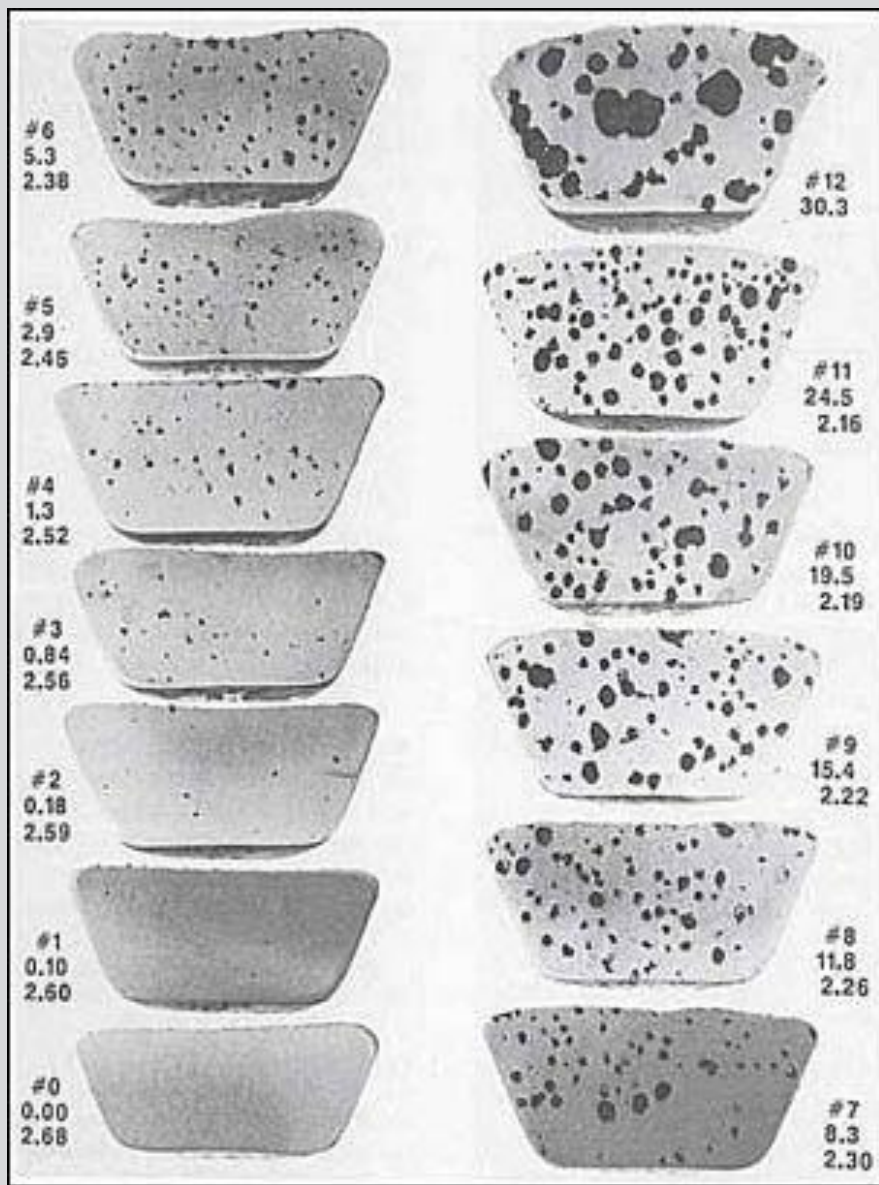
Analyze^{IT} ASCANTMf



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