



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

## PROCESO TECNICO DE LAS ALEACIONES ALUMINIO-SILICIO

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO QUIMICO METALURGICO  
P R E S E N T A N  
JOSE DE JESUS ESCOBAR GUEVARA  
ALBERTO CRUZ TRUJILLO  
MEXICO, D. F. 1980

M-17486



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

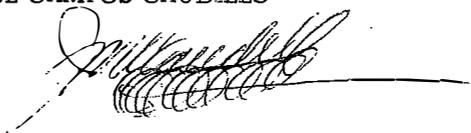
El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO .

PRESIDENTE:           ING .KURT NADLER GUNDEISHEIMER  
VOCAL:                 ING .JOSE CAMPOS CAUDILLO  
SECRETARIO:           ING . ENRIQUE CUREL REINA  
1o.SUPLENTE:         ING .MARCO ANTONIO CHAMORRO DIAZ.  
2o.SUPLENTE:         ING . MARCELINO MADRIGAL DUARTE

ASESOR DEL TEMA:

ING.JOSE CAMPOS CAUDILLO



LUGAR DONDE SE DESARROLLO:

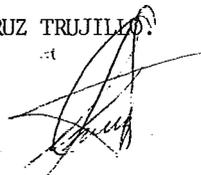
BIBLIOTECA DE LA FACULTAD DE QUIMICA .

SUSTENTANTES:

JOSE DE JESUS ESCOBAR GUEVARA



ALBERTO CRUZ TRUJILLO



CON NUESTRO MAS SINCERO AGRADECIMIENTO AL

ING. JOSE CAMPOS CAUDILLO

AGRADECEMOS TAMBIEN LA VALIOSA COLABORACION

ING. HORACIO GUAJARDO TORRES

ING. ALEJANDRO BELLO ORTEGA

ING. RAMON MENDOZA PUENTE

LIC. JOSE LASTRA JIMENEZ

Agradezco sinceramente el apoyo y confianza de :

Mis Padres:

Flaviano Cruz Rodriguez.

y

Celia Trujillo de Cruz.(Q.E.P.D)

Con Cariño a mi abuelita:

Juana Cornejo Gutiérrez.

A mis hermanas:

Guadalupe

Celia

Marisela

Evagelina

Edith

Luz María

Irma Patricia

CON MI SINCERO AGRADECIMIENTO POR LA COMPRESION Y CONFIANZA

DE MIS PADRES

MIGUEL A. ESCOBAR BEREÁ

Y

MA. DE JESUS GUEVARA DE E.

A LA MEMORIA DE:

ISABEL ESCOBAR BEREÁ.

POR EL CARIÑO A MIS HERMANOS

MIGUEL  
ALEJANDRO  
ISABEL  
ALICIA  
GRACIELA  
JORGE  
CARMEN  
TRUDY

Y POR LOS ESTIMULOS RECIBIDOS DE MI FUTURA

ESPOSA

LAURA GUERRA GOMEZ

CONTENIDO

INTRODUCCION.

I.- GENERALIDADES

II.- ALEACIONES Al-Si

- A.) DESGASIFICACION 14
- B.) REFINACION DE GRANO 30
- C.) MODIFICACION DE LA ESTRUCTURA
- D.) SISTEMA ALUMINIO SILICIO
- E.) METALES ALEANTES Y SUS EFECTOS SOBRESALIENTES
- F.) CONSIDERACIONES TECNICAS DE LAS ALEACIONES Al-Si
- G.) ALEACIONES Al-Si HIPEREUTECTICAS
- H.) MOLDEABILIDAD
- I.) TRATAMIENTOS TERMICOS

III.- CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA.

## I N T R O D U C C I O N

El tema que se desarrollo en este trabajo, fué con el objeto de proporcionar información de fácil consulta del proceso de fabricación - del Aluminio - Silicio; así como también su aplicación, ventajas y desventajas.

El auge de la Industria del Aluminio es interminable. Son ilimitadas las posibilidades de seguir produciendo nuevos artículos que pue - den sustituir a materiales de alto costo; como es en el caso de las partes automotríces.

Generalmente el Aluminio se emplea en forma de aleaciones. Las aleaciones están constituídas básicamente con Aluminio puro ( 99.99% ), y un contenido máximo del uno por ciento de otros elementos. Entre sus principales propiedades están la de su facilidad para adquirir formas - diversas y para soldarse; así como también la de lograr mayor resistencia y buenos acabados.

Tal es el caso del Silicio que hace descender el punto de fusión, incrementando la facilidad de fundirse.

Un porcentaje de más del 12% produce aleaciones de Aluminio - - particularmente adecuadas como material para soldaduras, por su bajo -- punto de fusión.

MINERALES DEL ALUMINIO.

<u>Nombre</u>	<u>Formula</u>	<u>% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></u>	<u>Elementos Asociados</u>
Bauxita	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 2H <sub>2</sub> O	73.9	Si, Fe, Ti, Ca
Diásporo	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · H <sub>2</sub> O	85.1	Mg, P, S y Mn
Gibbsita	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 3H <sub>2</sub> O	65.4	. . . . .

Descompuesto por :                      Cristalización y Aspectos Estructurales

<u>Acidos</u>	<u>Fundentes</u>	
HF, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	KHSO <sub>4</sub> Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Amorfo, Masas compactas o pisolíticas
Insoluble	Lo mismo	. . . . .
HCl, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Lo mismo	. . . . .

<u>G.E.</u>	<u>Crucero o exfoliación fractura</u>	<u>Rayadura</u>
2.5	ausente	rojisa o amarillenta
....	.....	. . . . .
....	.....	. . . . .

<u>Dureza</u>	<u>Lustre</u>	<u>Diafanidad</u>
2.5	Terroso	Opaca
....	.....	. . . . .
....	.....	. . . . .

## OBTENCION DE ALUMINA A PARTIR DE BAUXITA POR EL PROCESO BAYER

La bauxita es molida y mezclada con una solución de sosa cáustica. Esta solución se bombea a unos tanques de presión o digestores para formar el aluminato de sodio soluble y el óxido de fierro, silicato de sodio y aluminio y titanato de sodio, que son insolubles.

Esta mezcla de sólidos y líquidos que contiene a la alúmina -- soluble, es pasada a través de una serie de tanques de separación y filtros prensa, donde son retenidos los sólidos que son conocidos con el nombre de " lodos rojos ". La solución filtrada de aluminato de sodio pasa a una torre de enfriamiento y luego a los tanques de precipitación que son de acero y tienen la altura de un edificio de ocho pisos, en los cuales se agregan, por la parte superior, cristales de alúmina hidratada para que sobre estos se vayan depositando nuevos cristales de óxido de aluminio. A este proceso se le llama " siembra ". Este precipitado es filtrado, lavado y calcinado a 1000 °C en hornos rotatorios y enfriado. Así se obtiene el óxido de aluminio anhidro y no higroscópico, que es un polvo blanco y fino.

### OBTENCION DEL ALUMINIO.

La reducción es el proceso por medio del cual la alúmina es -- disociada y separada en sus dos componentes: el aluminio metálico y el oxígeno.

En las plantas modernas, la alúmina es disuelta en un baño de criolita fundida, en grandes hornos electrolíticos, llamados " tinas "

Estas tinas están formadas de una coraza de fierro de aproximadamente ocho metros de largo, dos y medio de ancho y uno de profundidad, recubiertas en su interior con bloques de carbón. Por medio de un ánodo de carbón, de aproximadamente siete metros de largo, uno y medio de ancho y uno de altura, que está suspendido encima de cada tina, se hace pasar una corriente eléctrica de bajo voltaje y alto amperaje, hacia el fondo de la tina que sirve de cátodo, a través de un baño de criolita fundida.

Esta energía eléctrica disocia la alúmina en aluminio fundido que se deposita en el fondo de la tina y en oxígeno que se combina con el Carbón del ánodo y se elimina en forma de bióxido de carbono.

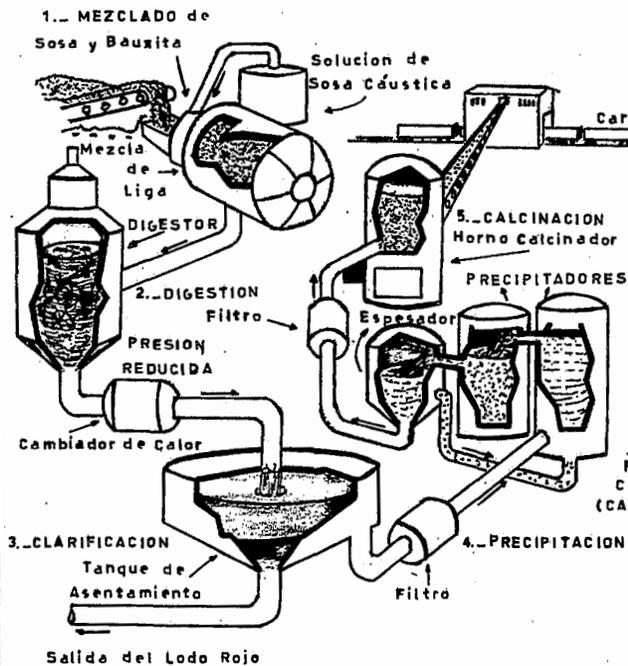
La capa de aluminio fundido depositada en el fondo de la tina, se convierte de esta manera en el cátodo o polo negativo.

Este proceso es continuo pues se va agregando alúmina para -- reemplazar la que se ha consumido por la reducción.

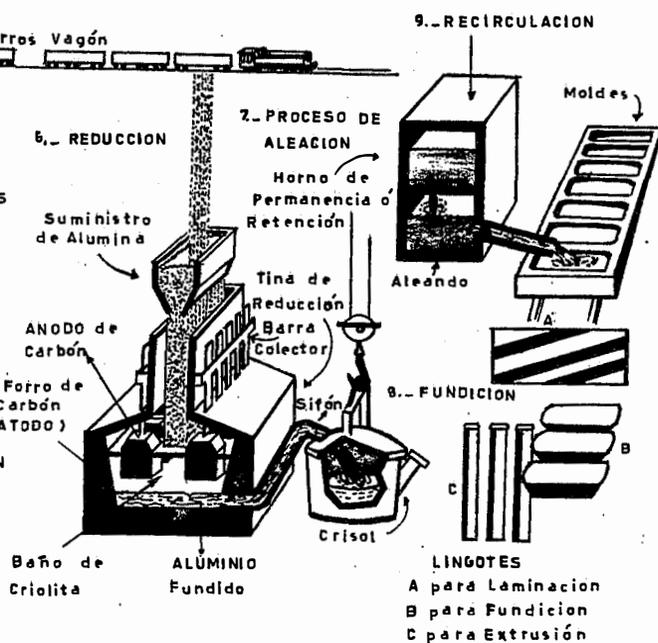
El calor generado por la resistencia que ofrece el baño de -- criolita, al paso de la corriente eléctrica, mantiene a ésta fundida y a una temperatura de 980 °C, lo que permite que las nuevas cargas de alúmina sean disueltas con facilidad.

El aluminio es extraído periódicamente de las tinas por medio de sifones, hacia crisoles; de ahí el metal es transportado a los -- hornos de retención.

# REFINACION DE BAUXITA EN ALUMINA



# OBTENCION DEL ALUMINIO



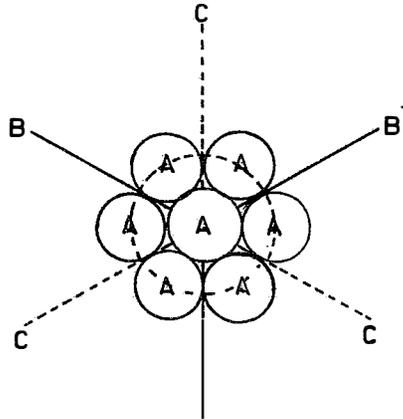
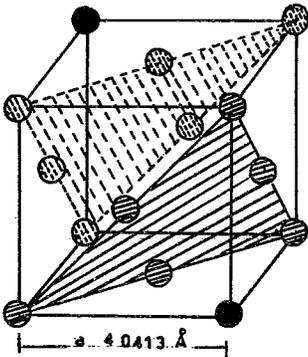
PROPIEDADES FÍSICAS DEL ALUMINIO (99.996%)

Número Atómico = 13

Masa Atómica = 26.974

Configuración electrónica =  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$

Estructura cúbica de caras centradas con las siguientes características:



Estructura cúbica de caras centradas

Ordenamiento de los átomos en un plano compacto

- 1.- Constante de la red = 4.0413 Å
- 2.- Radio atómico = 1.4245 Å
- 3.- Distancia entre átomos = 2.858 Å

Densidad: = 2.7 (gr/ml) a 20°C. En el punto de fusión la densidad es la siguiente:

Densidad del Aluminio Sólido a 660°C = 2.55

Densidad del Aluminio Líquido a 660°C = 2.38

Características térmicas:

Punto de fusión = 660.24 °C

Calor de fusión = 92 cal/gr

Punto de ebullición bajo 760 mmHg. = 2056°C

Tensión de vapor:

0.00062 mmHg a 660 °C

1.0000 mmHg a 1030 °C

Calor específico a 20 °C = 0.222 cal/gr °C

Conductividad Térmica:

a 20 °C = 0.52 cal cm/cm<sup>2</sup> s °C.

<u>Temperatura °C</u>	<u>Conductividad Térmica (Vatios cm/cm °C)</u>
20	2.2
-166	2.5
-230	3.5
-260	1.5

Coefficiente de Dilatación (Lineal).

<u>Temperatura °C</u>	<u>Coefficiente de Dilatación x 10<sup>6</sup></u>
-188	8.8
-163	13.2
-103	18.2
20	22.4
100	23.5
300	28.4
500	31.1
generalmente se usan coeficientes medios	
20 - 100	23.8
20 - 200	24.6
20 - 300	25.4
20 - 400	26.5
20 - 500	27.7
20 - 600	28.7

Características Ópticas.- Poder emisor 4.96 comparado con el cuerpo negro.

Estado del Metal	Temperatura °C	Poder Emisor % del Cuerpo Negro
Sólido Pulido	30	5
	100	6
	200	7
	300	7.5
	400	8
Fundido	700	12
	1000	17

La tabla anterior es para el Aluminio comercial recubierto de una capa de óxido de espesor 0.01 a 0.1 ( $\mu$ )

Cuando esta anodizado se modifica totalmente el poder emisor teniendo hacia -- el del  $Al_2O_3$ , casi parecido al cuerpo negro.

Anodizado, espesor del $Al_2O_3$ en ( $\mu$ )	Poder Emisor a 30 °C % del Cuerpo Negro
0.1	5
1	34
2	63
5	73
10	69

Poder Reflector .- El Aluminio pulido presenta un excelente poder reflector — que varía con la longitud de onda. En el espectro visible ( $\lambda$  de 0.36 a 0.76  $\mu$ ) no es superado más que por la Plata pulida, pero con la ventaja de que el Aluminio refinado, pulido y abrillandato puede ser protegido por un anodizado sin reducción sensible de su poder reflector.

Características Magnéticas . - El Aluminio es anti-magnético, -- debido a esta propiedad, el Aluminio es utilizado para gabinetes de conductores eléctricos, estructuras marinas, equipos automáticos, y en cualquier equipo donde el magnetismo es un factor negativo.

Sin embargo el Aluminio puro es débilmente paramagnético con una susceptibilidad de :

$$K = + 0.60 \cdot 10^{-6} \text{ C.G.S.}$$

Conductividad Eléctrica :- = 2.630 cm<sup>2</sup>/cm a 20 °C. Se dice -- que la conductividad del Aluminio es de 63.22% con relación a la del -- Cobre. Solamente que como el Aluminio pesa menos de la tercera parte que el Cobre, kilo por kilo es dos veces más efectivo como conductor eléctrico.

Propiedades Mecánicas . -

Módulo de elasticidad = 6 700 Kg/mm<sup>2</sup>

Módulo de Torsión = 2 700 Kg/mm<sup>2</sup>

Coefficiente de Poisson = 0.34

Compresibilidad = 1.4 · 10<sup>-3</sup> por Megabar a 20 °C

Carga de Rotura = 5.4 Kg/mm<sup>2</sup>

Alargamiento = 62%

Hilo de 1.5 mm  $\phi$  recocido 113 horas a 130 °C

La siguiente tabla son cifras correspondientes al Aluminio refinado y el Aluminio ordinario en productos laminados comerciales.

Tipo de Metal % N\	Estado del Metal	Carga de Rotura Kg/mm <sup>2</sup>	Límite Elástico (en 0.2%) Kg/mm <sup>2</sup>
99.997	Recocido	5	2
	Semiduro	8	6
	Duro	13	9
99.5	Recocido	8	4
	Semiduro	11	10
	Duro	18	15

Alargamiento %	Dureza Brinell
60	14
18	24
10	31
42	20
14	29
5	47

Propiedades Mecánicas en Caliente.      (Laminado - Recocido)

Temperatura °C	Carga de Rotura Kg/mm <sup>2</sup>	Límite Elástico (en 0.2%) Kg/mm <sup>2</sup>	Alargamiento %
150	6	3	55
200	4	2.5	65
250	3	1.5	75
300	2	1	80
350	1.5	0.7	85

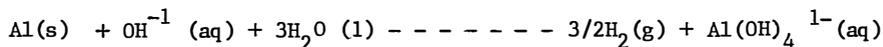
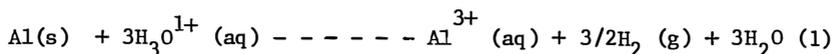
Propiedades Mecánicas a bajas temperaturas.

Metal	Temperatura °C	Límite Elástico (0.2%) Kg/mm <sup>2</sup>	Carga de Rotura Kg/mm <sup>2</sup>
Recocido	20	1.25	7
	-138	2	9.5
	-196	2.5	16
Deformado	20	7.5	8
	-138	8	11
	-196	10	16.5

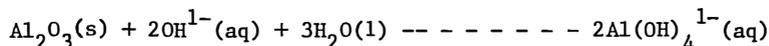
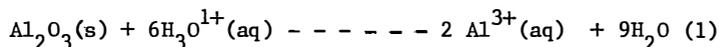
Alargamiento

40
46
50
22
32
43

Propiedades Químicas . - A temperaturas ordinarias no es atacado por el Oxígeno del aire, el Hg o sus sales favorecen a este ataque. El Aluminio se vuelve pasivo a una ulterior acción química al formarse -- una película impermeable de óxido en su superficie. El metal es atacado por ácidos bases no oxidantes, desprendiendo Hidrógeno.



En ambos casos, se produce primero la reacción de óxido anfótero de la película superficial.



En presencia de ácidos oxidantes fuertes, como el Nítrico y el Sulfúrico, la película de óxido permanece intacta y el metal subyacente queda protegido de la reacción. Con lo anterior se demuestra - que el Aluminio es altamente resistente a la corrosión.

Una propiedad química sobresaliente del Aluminio es su gran poder reductor. Debido a esta propiedad, se aplica el Aluminio en la soldadura por puntos. Cuando una mezcla de Aluminio en polvo y óxido Hierro - (III), llamada Termita se pone en ignición, tiene lugar una reacción altamente exotérmica.



El Hierro formado se funde y se puede usar directamente para soldar ejes rotos de hélices, armazones de timón y piezas similares de - hierro o equipos de acero.

Usos: Debido a sus propiedades tiene una versatilidad de aplicaciones en la industria alimenticia, en la industria de los empaques, arquitectura y decoración, en la industria del - transporte, en electricidad, etc.

D E S G A S I F I C A C I O N .

I.- ORIGEN DE LOS GASES

II.- DETERMINACION DEL GAS EN LOS METALES FUNDIDOS

a.) CUALITATIVAMENTE

b.) CUANTITATIVAMENTE

III.- METODOS DE DESGASIFICACION

IV.- CONSIDERACIONES

## ORIGEN DE LOS GASES.

Las fuentes más importantes de los gases son las siguientes:

La atmósfera del horno ya que además de  $N_2$  y  $O_2$ , puede -- contener vapor de  $H_2O$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $SO_2$  e hidrocarburos, variando las proporciones de estos últimos según el combustible y la relación combustible / aire.

Las atmósferas de los crisoles calentados por el gas y aceite y la de los hornos de reverbero contienen de 5 a 20 % en peso - de agua y las de los eléctricos son ricas en  $H_2$  y  $CO$ .

Se tiene que considerar en los hornos calentados con combustibles líquidos o gaseosos la combustión de  $H_2$  con el aire para - dar vapor de agua, que hemos visto que será una fuente de  $H_2$  en -- contacto con el caldo de algunos metales. También la humedad del ambiente interviene la captación de  $H_2$  por parte de algunos baños líquidos, pero a pesar de que el grado de saturación sea elevado la influencia del combustible es mayor.

En los hornos alimentados por diesel habrá que tener en cuenta la formación de  $SO_2$  si existe contenido de azufre. La fuente - de hidrogenación más importante de un baño a partir del vapor de - agua puede ser el combustible mismo incluso mayor que el aire saturado de humedad.

Por lo que debemos considerar que existe una relación directa entre la humedad del aire y la gasificación de los baños de metales que absorben hidrógeno ( aluminio y cobre ).

La influencia de la humedad sobre un baño en reposo es prá-cticamente nula. Especialmente para aquellos metales que forman -- una película de óxido compacta ( aluminio ).

La turbulencia de la superficie provocada por toma de muestras, movimientos, transferencias, et., originan captación de hidrógeno.

Por lo que será fundamental cuidar que la colada sea totalmente tranquila. Ya que la cantidad de burbujas de gas presentes en -- una pieza dependen también del tipo de gas volviendo a constar que -- el hidrógeno es el que provoca en mayor grado.

Las cargas de los hornos . - Se destaca sobretodo:

La humedad de las mismas, causada no solamente de gaseados sino de posibles explosiones ejemplo:

La humedad encerrada bajo la piel del bebedero de los lingotes de zinc que debe hacer desconfiar de su sequedad. Lo mismo ocurre -- con el hidrógeno procedente de la deshidratación de las películas -- de óxido en las cargas de aluminio y sus aleaciones. Una fuente de hidrógeno en las aleaciones aluminio magnesio es el contenido de mag nesio.

Otras cargas que también interfieren son los aceites y grasas de los recortes, el azufre de materia prima procedente de electrólisis.

Los refractarios de los hornos. - Sean a base de ladrillo o -- monolíticos confeccionados con apisonado son fuente de humedad y -- óxidos sino han tenido una correcta cocción y además si el calentamiento o pre-calentamiento se hace mediante llama de hidrocarburo -- ha de vigilarse ésta, no vaya a tener al final del secado mayor can tidad de hidrógeno que al principio.

Los fundentes. - Los fundentes utilizados para cobertura, lavado, desgasificado, afino, etc., suelen ser otra fuente importante de humedad ya que son principalmente sales muy higróscopicas. De -- ben mantenerse siempre en estufas antes de su utilización.

Las herramientas . - Las herramientas utilizadas suelen cargarse superficialmente de humedad al enfriarse después de su utilización y durante los cambios de temperatura noche y día por lo que deben calentarse siempre antes de su utilización.

La reacción molde-metal. - Ya que el gas que contiene el metal e incluso el metal líquido pueden reaccionar con productos del molde provocando la aparición de porosidad por gas como en las aleaciones Al - Mg.

Aire ocluido en la colada. - Hemos visto que la solubilidad de un gas disminuye al disminuir la temperatura y en general existe una brusca disminución durante la solidificación, por tanto será fundamental el diseño de las piezas moldeadas. Pero también es importante tener en cuenta el diseño de la pieza y del molde para que en el momento de la solidificación no queden rechupes internos o cierres en falso en donde quede aire ocluido atrapado durante el régimen turbulento de la colada.

Así como en el molde en arena, verde y estufada, el gas que normalmente es atrapado es el  $H_2$ , en el moldeo en coquilla de acero pre-calentado es constituyente primario es el  $N_2$ .

Elementos de adición. - Es importante conocer la influencia de los diferentes elementos de adición o de las impurezas sobre la solubilidad de los gases en metal líquido.

## DETERMINACION DEL GAS EN LOS METALES FUNDIDOS.

La determinación del gas en los metales fundidos puede realizarse cualitativamente y cuantitativamente:

Cualitativamente.

Radiografía de rayos X. - Utilizando como método no destructivo de control sobre piezas de colada, detecta la presencia de porosidad en forma clara en los materiales ligeros transparentes a los rayos -- X, como el : Al, Mg, Be, etc., y con mayor dificultad en metales pesados como el : Cu, Zn, Pb.

Por variación de densidad . - Este método se utiliza en piezas solidificadas, si la solidificación se realiza bajo presión reducida este método es más sensible que si se realiza a presión atmosférica.

Observación de las superficies de probetas solidificadas al -- aire. Es el método más utilizado en las fundiciones del cobre y aluminio, detectando la presencia de gas en cantidades elevadas utilizando el siguiente método : como probeta utilizamos un molde en forma -- cónica de material refractario de las siguientes dimensiones : diámetro superior (bebedero) de 50 a 80 mm., diámetro inferior (fondo) -- de 40 a 70 mm., y altura de 25 a 50 mm. Durante la solidificación -- puede suceder que el bebedero de la probeta:

- Presente un abultamiento o rechupe invertido, a veces con -- emisión de partículas incandescentes " gran cantidad de gas "

- Presente una superficie plana o rechupe inferior al normal, con pequeños abultamientos " cantidad de gas apreciable "

- Presente rechupe profundo y sin abultamientos ni cabezas de alfiler " poco o ningún gas "

Solidificación de una probeta en vacío. - Se utiliza una probeta como la descrita anteriormente y solidificandola en vacío. --

Los pequeños bultos o cabezas de alfiler aparecen en su bebedero señalan la presencia de gas y el número y morfología de los abultamientos su cantidad, este método conocido como Straube - Pfeiffer, -- presenta dificultades ya que los resultados varían mucho según el tipo de aleación y la cantidad de gas presente, por lo que se han desarrollado aparatos que utilizan vacíos de 60 a 10 mm. de Hg., en vez de alto vacío del Sp., y con solidificación a presión constante.

Conclusiones . - Se ha descubierto que el éxito para el control del gas en metales ferrosos según éste sistema se encuentra en el -- mantenimiento del metal o aleación en estado líquido durante 4 a 7 -- minutos con una solidificación muy lenta que permita la aparición -- clara de las burbujas y bajo una presión de 1 a 2 mm, de Hg., por lo que se recomienda tener una mufla cerca del aparato que tenga los -- crisoles a temperatura de 80 a 120 grados centígrados por encima del liquidus y un manometro de Hg., que es más sensible.

Cuantitativamente.

Los más utilizados son:

Extracción en vacío. - Desarrollado por Ransley la probeta preparada cuidadosamente se calienta a temperaturas inferiores a las de fusión en unos 100 a 300 grados centígrados según el metal, en alto vacío y se extrae de esta forma el gas que contiene, se utiliza principalmente para la extracción y medición de  $H_2$ ,  $O_2$ , y  $N_2$  tanto en -- ferrosos como en no ferrosos mediante un aparato llamado Exhalograf.

Fusión de vacío. - Es similar al método anterior pero en este caso se funde una cantidad determinada de metal y se analizan los -- gases que se extraen en vacío.

Espectrometría de emisión . - Mediante una muestra sólida y -- midiendo directamente la radiación resultante ( C y S ).

Método de Dardel. - Para analizar hidrógeno en el aluminio también " primera burbúja " que consiste en lo siguiente : una muestra líquida de 300 a 400 gr. de aluminio colocada en un recipiente en el que se va haciendo vacío, se observa a través de una mirilla de vidrio hasta su solidificación y aparición de la primera burbúja en la superficie de su bebedero en este momento la temperatura y presión a la que esta sometida la muestra permite recurrir al diagrama de equilibrio para conocer la cantidad de hidrógeno que contiene el líquido.

Utilizando los aparatos H y Km. - Tester y FMA Aluschmeltester

Fusión con Barrido. - Este método consiste en hacer un barrido de los gases del caldo mediante un gas inerte como  $N_2$ . Utilizando los siguientes aparatos:

El telegas desarrollado por Ransley para medir la cantidad de  $N_2$  en el aluminio fundido esta basado en la introducción de una pequeña cantidad de  $N_2$  en el caldo, captandolo con una pequeña campana y recirculandolo hasta que se lleva al equilibrio  $N_2 - H_2$  es -- decir la presión parcial de nitrógeno en la mezcla  $N_2 - H_2$  sea constante en ese momento se toma la lectura de la temperatura y se determina el porcentaje de hidrógeno.

El ITHAC cuya presión y posibilidad de trabajo en la fundición son muy superiores a las anteriores.

Método de Sauerwald. - Se pasa  $Cl_2$  a través del caldo y la -- mezcla gaseosa resultante (  $AlCl_3 + H_2$  ) se pasa a través de óxido cúprico sobrecalentado que quema el hidrógeno producido  $H_2O$  que -- absorbe y pesa es un procedimiento muy largo y no muy exacto.

Método del bromuro. - Similar al anterior se disuelve la muestra Al en (  $CS_2 + Br_2$  ). El hidrógeno absorbido o disuelto en metal queda libre y el  $H_2$  que estaba presente como hidruro forma HBr por -- medio de  $N_2$  los gases son conducidos a través de una solución de --  $AgNO_3$  que precipita el  $Br_2$  y el agua formada es pesada. Como el -- anterior se trata de un método largo y no muy exacto.

## Desgasificación.

Actuaremos de forma diferente según que el gas que presente sea:

- Soluble y que no forme compuestos en el metal del baño como - ejemplo  $H_2$  en las aleaciones de cobre, aluminio, magnesio, etc.

- Soluble pero que forma uno o más compuestos en el metal del - baño por ejemplo :  $O_2$  en aleaciones de Cu, Al, etc.

- Insoluble en el metal del baño, pero que forma otros gases o compuestos por ejemplo :  $CO$  y  $CO_2$  e hidrocarburos gaseosos en el Cu, Al y sus aleaciones.

- Gases inertes en el baño metálico, por ejemplo el  $N_2$ ,  $CO_2$  -- y gases inertes en el Cu, Al, etc.

El método de desgasificación utilizado será función de la forma en que se encuentre el gas en el baño:

- Para los gases solubles pero que no forman compuestos, se -- actúa sobre la presión y temperatura utilizando alguno de los métodos siguientes:

- Introducción de  $O_2$  para evacuar el  $H_2$  en forma de agua, el  $S$  en forma de  $SO_2$  el  $CO$  en forma de  $CO_2$ .

- Introducción de gases inertes para desplazar el gas por efecto mecánico de " barrido " ( Ley de Henry ).

- Introducción de compuestos que generen gases inertes.

- Introducción de gases activos cuando el  $H_2$  que no forma -- compuestos se encuentra en gran cantidad en forma monoatómica.

- Introducción de compuestos que liberen gases activos

- Desgasificación en vacío, ultrasonidos, etc.

- Para los gases solubles, realizando su eliminación mediante la aplicación de los principios de la energía libre de formación de los compuestos reflejados en el diagrama de Ellingham correspondiente utilizando reductores, fundentes, etc.

- Para los insolubles e inertes, por medios físicos o mecánicos.

Eliminación del  $H_2$  . - Para eliminar el gas de un metal líquido determinado podemos actuar sobre:

- La presión del punto de equilibrio del gas en el metal.
- La temperatura del baño líquido.
- La adición de los elementos como aleados o impurezas.

Acción sobre la temperatura. - A medida que baja la temperatura del líquido la solubilidad del gas disminuye. Por tanto debe ser la mínima posible. Sin embargo, la viscosidad baja también con la temperatura, con lo que disminuye la velocidad de escape del gas.

Por ello normalmente se prefiere desgasificar a temperaturas del orden de 60 a 120 grados centígrados por encima del liquidus.

Acción sobre la presión. - Existen diferentes formas de actuar sobre la presión del punto de equilibrio del gas en el metal líquido para rebajarlo:

- a.) Acción de gases inertes se comprueba que al hacer pasar gases inertes SECOS como  $N_2$  a través de los caldos, el gas resultante del barboteo arrastra el gas existente en el caldo  $H_2$ , o lo que es lo mismo en un baño de aluminio se puede disolver un gas activo presente como el  $H_2$  en uno inerte -- introducido como N. Según los métodos:

- En los baños de aluminio la reducción de  $H_2$  en un 30% supone un consumo de 1.2% a 2.7 m<sup>3</sup>/Tm de gas inerte.

En las aleaciones de cobre se ha comprobado también su efecto - beneficioso por ejemplo en los latones : en un CuZn 90/10 con 1 c.c./100 gr. se reduce a 0.2 - 0.3 c.c./100 gr. eliminando el peligro de hoja en productos laminados.

- Además debe tenerse en cuenta la acción del gas inerte sobre otros elementos presentes en el la colada y sobre los que se puede -- actuar.

Por tanto la conclusión será que ambos tipos de desgasificación deben ensayarse para cada material teniendo presente, además, el sistema utilizado. Ya que al tratarse de un proceso mecánico, la difusión y perfecta dispersión de las burbujas en todo el baño será fundamental en los resultados. Los sistemas de introducción del gas - del tipo cerámico basados en corundo o carborundo con una porosidad del 30 a 35% resulta muy eficaz.

b.) Acción de gases activos. - Es la forma de los gases que reaccionan con el gas que hay que eliminar.

Como ejemplos típicos podemos mencionar:

- El del cloro, en el aluminio líquido H en el Al Liq. +  $1/2\text{Cl}_2$  HCL.

- Utilizandose diferentes sistemas de introducción como el -- de desgasificación de un baño de aluminio.

En este método se pasa de 5 a 9 Kg.  $\text{Cl}_2$ /Tn. de metal según la aleación debido a la elevada contaminación que provocan estos gases activos se tiende a utilizar gases inertes con cierta proporción de gas activo ( 90  $\text{N}_2$  + 10%  $\text{Cl}_2$  ) con resultados parecidos.

Debe tenerse en cuenta que paralelamente habrá formación de cloruros de los metales presentes como Al  $\text{Cl}_3$  Mg  $\text{Cl}_2$  Na Cl Mn  $\text{Cl}_2$  -- Ca  $\text{Cl}_2$ .

Por lo que debe tenerse en cuenta la verdadera acción del  $\text{Cl}_2$ .

Demos presentar las ecuacion-s de energía libre de formación de los diferentes cloruros. Al Examinar dichas curvas en función -- de la temperatura deducimos que en primer lugar se eliminará el calcio, después el sodio, después, el magnesio. En cuanto al manganeso se eliminará junto con cantidades apreciables de aluminio.

Todos los elementos con energía libre de formación respecto - al  $\text{Cl}_2$  próximo al vaor de  $/\text{Cl}_2$  para el Al a 750 grados centígrados serán sospechosos desde el punto de vista de retención de  $\text{H}_2$ .

Además de la entalpía libre para la reacción que justifica, - por ejemplo la eliminación del Na de los baños de Al y sus aleaciones, ya que es después del calcio el primer elemento atacado y eliminado por el cloro. Se ha de tener presente la formación de otros cloruros, por ejemplo:

- Cloruros que a la temperatura del baño son gaseosos, con - burbúja muy inferior a la del  $\text{Cl}_2$  es el caso del  $\text{Cl}_2$  en el Al líquido con formación de  $\text{AlCl}_3$  gaseoso por encima de 180 grados centígrados.

- Cloruros que a la temperatura del baño son líquidos y reaccionan con el  $\text{H}_2$  de las aleaciones Al - Mg en las que se ha observado que el efectodesgasificantes del  $\text{Cl}_2$  es tan efectivo como en el Al fundido, debido a que el  $\text{MgCl}_2$  líquido formado se encuentra

distribuido en forma de gotas pequeñísimas que reaccionan con el  $H_2$  atómico justificando el que se encuentre HCL en los gases residuales del tratamiento. Esta propiedad de mayor afinidad del  $Cl_2$  por el Mg que por el Al podría utilizarse para la eliminación del Mg en los baños de Al.

- El del oxígeno . - En las aleaciones de Cu-Al de forma que reacciona con el  $H_2$  y escapa en forma de agua quedando  $CuO_2$  - en exceso que es reducido antes de colar.

c.) Acción de ambos en algunos casos se trata de anular la acción beneficiosa de ambos tipos de gases y se tratan los baños con mezclas de ambos. Un caso típico es la utilización del " trigas " ( 80 %  $N_2$  + 10% de  $Cl_2$  + 10% de CO) en los baños de aluminio.

d.) Acción de fundentes . - Que actúan al descomponerse en contacto con el caldo produciendo:

- Gases inertes, insolubles o reductores ( según el metal ), como CO y  $CO_2$  siendo su base carbonatos que se descomponen.

- Gases activos, como flúor (  $F_2 + H_2$   $H_2F_2$  )  $Cl_2O$  siendo su base fluoruros o cloruros u orgánicos como el hexacloroetano.

e.) Acción de gas y fundentes se utilizan mezclas de gas y fundente en polvo con objeto de aprovechar la acción de ambos para que la contaminación de la atmósfera sea mayor  
Para las aleaciones de aluminio :

- Argón + Fundente que desgasifican el baño en un 65 a 70 % durante 20 minutos mediante un consumo de un kilogramos de fundente  $0.73 m^3$  de Ar. por Tn.

- Argón con nitrógeno +(KCL/NAEL composición eutéctica) en polvo con 1% de creolita o hexacloroetano, hacia los 800 grados centígrados.

f.) Acción del vacío . - Puede reducirse el gas a valores muy bajos. Por ejemplo con 5 minutos para el Al.

El inconveniente mayor recide en el costo del equipo.

g.) Acción de una sobrepresión. - Se ha visto que sometido un caldo que contiene gas a una sobrepresión de unas 500 a lat., se -- elimina practicamente todo el nivel de porosidad admisible. Un baño de Al sometido a diferentes sobrepresiones muestra una relación directa con la cantidad de gas residual y a 500 ATM desaparece practica -- mente todo el H<sub>2</sub> presente.

h.) Acción combinada de los anteriores . - Tienen las siguientes ventajas:

- De la relación del vacío por parte superior del horno, mientras por la parte superior del baño se dejan introducir pequeñas cantidades del gas activo cuya acción desgasificante es más energética.

- De la utilización de la sobrepresión a base de conducir el líquido mediante bombas electromagnéticas hacia un pasadizo de refractario poroso de ZrO<sub>2</sub> o Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> insuflando al mismo tiempo gases inertes, activos o mezclas de ambos.

i.) Acción de los ultrasonidos. - Se someten a una frecuencia ultrasónica entre 0.5 y 2 Khz, el gas presente se difunde a través -- del metal debido a las ondas que provocan la formación de burbújas -- debido a la cavitación originada, desgasificación favorecida por la presencia Ti - O Nb.

j.) Formación de hidruros.- Se ha visto que el hidrógeno es el gas que contamina la mayor parte de los metales, y uno de los procedimientos de eliminarlo es tratar el caldo -- con compuestos o elementos que formen hidruros estables -- con él. Los elementos que forman hidruros más estables -- y utilizados son el Zr, Ca, Na, Sr, Ba, Tl, Li.

El sodio sirve para desgasificar el caldo ( además de modificar los Al - Si ), ya que absorbe gran cantidad de H<sub>2</sub> para formar HNa -- pero un exceso de Na reacciona con la humedad del ambiente y desgasifica el caldo de nuevo.

Asimismo el Ti, que disuelve una gran cantidad de  $H_2$  puede utilizarse para desgasificar los caldos en forma de esponja o polvo de Ti así un caldo de Al - Si - Mg con 0.5 c.c./100 gr. de  $H_2$  redujo su contenido a 0.2 c.c./100 gr. después de tratarlo con un 4% de esponja de Ti.

Todo lo dicho anteriormente es correcto para aleaciones de moldeo pero para las de forja. Ya que al laminar bandas de aluminio que contengan Na, Ca, Ba (retienen  $H_2$  unido por la fuerza de atracción a dichos elementos ) se observan numerosas picaduras en dichas bandas provocadas por el  $H_2$  liberado.

- k.) Por filtrado se utiliza para eliminar de los baños las partículas en suspensión su efecto es también desgasificante.
- l.) Por intercaras de paladio.- Basandose en la fácil captación del  $H_2$  por este metal se ha desarrollado un procedimiento para provocar una solidificación unidireccional - de forma que justo delante de la intercar líquido - sólido se desplaza una membrana tubular de Pd ( o acero inoxidable en el caso de Al ), que va absorbiendo el  $H_2$  presente en el metal líquido.

## C O N S I D E R A C I O N E S .

1.- De la fórmula de la solubilidad del  $H_2$  en estado líquido y la acción de los demás gases la solubilidad del gas -- aumenta con la temperatura.

- Por lo tanto no sobrecalentar los caldos excepto( Zn - Cd ) que son muy volátiles y cuya elevada presión de vapor impide la penetración del  $H_2$  en su seno.

- El Th, Ta, Zr, Ti, W, Ce, Pd, Nb, y la que originan procesos exotérmicos conformación de hidruros.

2.- Para aleaciones hay que tener presente que nos favorecen y otros limitan la solubilidad del gas en el caldo.

- Para  $H_2$  en el cobre fundido, el Ni favorece la absorción de  $H_2$  el Zn, Sn, Al disminuye la absorción de  $H_2$  también los metales -- del grupo IV absorben grandes cantidades de  $H_2$  por un proceso exotérmico.

- Por lo tanto conocer los elementos de aleación para cada caso.

3.- La solubilidad del gas en general aumenta con la presión -- exterior del mismo ejemplo : la solubilidad del  $H_2$  aumenta con  $PH_2$  es decir con la presión del  $H_2$  en el exterior del -- baño.

- Por lo tanto habrá que vigilar las atmósferas de la parte -- superior de los baños dados por el quemador de gases combustibles -- y siempre que sea rentable realizar la fusión y la colada en vacío.

4.- Debemos recordar que al disminuir la solubilidad del gas en el caldo, ya sea por descender la temperatura o la presión interna del gas. Se facilita la formación de burbújas pero

si este descenso de temperatura se acompaña de una solidificación puede ocurrir que se dificulte la desgasificación dependiendo del tipo de solidificación.

- Por tanto conocer las propiedades del metal o aleantes fundidos que además es fundamental para conocer el grado de desgasificación alcanzable.

5.- Conviene recordar que la mayoría de los metales sólidos - especialmente las chatarras y recortes llevan en las superficies -- adheridos humedad, aceite y grasas. Que son fuentes de  $H_2$ .

- Por lo tanto seleccionar y vigilar los recortes y chatarra que esten limpios de impurezas. Precalentar los materiales húmedos así como todo el instrumental usado.

- Vigilar la humedad de los refractarios de los hornos nuevos o reparados y vigilar la llama de los mecheros ( en caso de utilizar combustibles líquidos o gaseosos ), no vaya a ocurrir que al finalizar el secado el refractario tenga más  $H_2$  que cuando empezó el secado.

- Utilizar fundentes estufados.

6.- Tener presente que en la practica se debe considerar la -- acción de varios parámetros a la vez. Sobre la solubilidad del gas en un baño, ejemplo: Para el  $H_2$  con el magnesio y con el Zinc., o sea relacionar los diferentes parámetros entre sí.

## VENTAJAS DEL DESGASIFICADO ANTES DE LA MODIFICACION.

Algunas veces se piensa que por usar lingotes modificados como proporcionados por el refinador, procesos subsecuentes de Modificación en la fundición pueden ser reducidos u omitidos con esto.

Sin embargo, cuando se piensa que el grado de Modificación -- en uno de estos lingotes varía considerablemente y también que la -- relación de chatarra - lingote en cualquiera de estas cargas tam -- bién varía, vemos que la única forma satisfactoria de asegurar un grado constante de Modificación, es destruir la Modificación existente y modificar por un proceso conocido y controlable.

La función principal del desgasificante es remover los gases nocivos (Hidrógeno), cuando se requiere un metal libre de gases como particularmente sucede en piezas vaciadas en arena, el trata -- miento de desgasificado debe ser enérgico, recomendándose el uso -- exclusivamente de un desgasificador.

Sin embargo, esta desgasificación no sólo elimina los gases, sino que también elimina el Sodio y de ahí que destruya la Modificación.

Es esencial por eso que la desgasificación vaya precedida de la Modificación y no al revés.

La estrecha estructura equiaxiada mostrada en la figura No. 1 resulta de la adición de un refinador de grano. Los inoculantes refinadores de grano comunmente usados en la industria del Aluminio son aleaciones Patrón conteniendo Titanio o Titanio más Boro.

Las adiciones de refinadores de grano son usadas principalmente por dos razones : A.) Obtener una estructura fina uniforme de -- grano B.) Reducir la formación de centros de agrietamiento o fisura.

La figura No. 2 muestra la burda estructura no uniforme obtenida en una aleación 6063 que fué fundida sin la adición de un refinador de grano en la fusión.

En la figura No. 3 se muestra el resultado de la adición de agentes retenedores de grano con lo cual se obtuvo un buen refinamiento así como uniformidad en la distribución y tamaño de grano.

Las figuras Nos. 4 y 5 ilustran el conflicto que puede existir entre la obtención de una fina estructura dendrítica y una uniforme, pequeños tamaños de grano.

La figura No. 4 muestra un lingote fundido sin un refinador de grano; este lingote tiene una fina dendrita espaciada pero ancha, granos columnares. En contraste con la figura No. 5 el cual muestra una sección de un lingote con la adición de un refinador de grano, la estructura es algo más gruesa pero los granos son mucho más pequeños y estas equiaxiados.

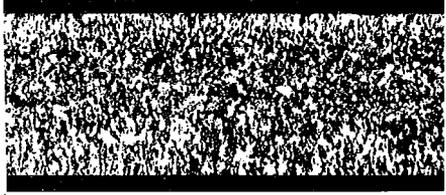
El control del tamaño de grano puede ser llevado a cabo por métodos tales como Vibración, Turbulencias y Control del Flujo del Metal el cual proporciona núcleos por separación de brazos de dendritas.

La figura No. 6 muestra la estructura completa columnar producida cuando la alimentación del metal esta colocado en el centro de la cavidad del molde. Cuando la corriente esta dirigida hacia el flujo a través de la cáscara solidificantes de la pieza fundida,

la larga estructura equiaxiada es obtenida, esta mostrada en la figura No. 7

CRISTALES PLUMA.- Los lingotes de aleaciones de Aluminio sin la adición de un refinador de grano a menudo exhibe una estructura - columnar en forma de abanico, referida así como cristales pluma figura No. 8

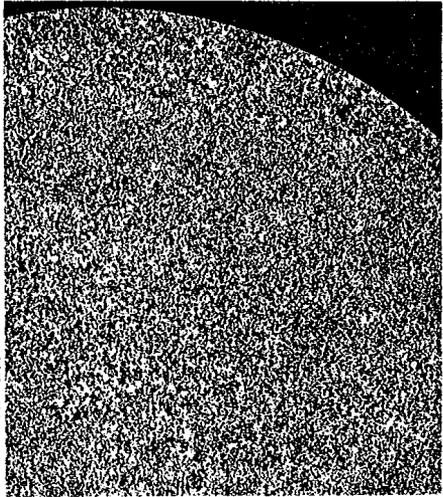
Esta estructura puede ser encontrada en ambas aleaciones tanto en las de bajo soluto como en las de alto soluto y más probablemente a desarrollar cuando hay un gradiente térmico saturado al frente de la interfase de solidificación, a altos aumentos o enfoques cristales pluma son vistos abarcar granos columnares gemelados, figura No. 9



1



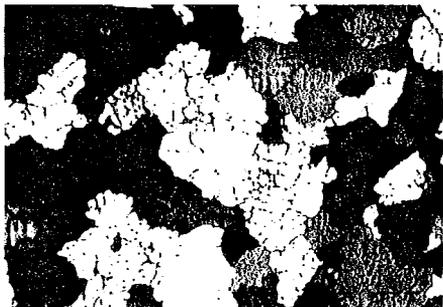
2



3



4



5



6



7



8



9

## EL PORQUE DEL REFINAMIENTO DE GRANO.

### a.) Aumento en la velocidad de colada . -

No es común en efectuar un 20% de aumento en las velocidades de colada con menos de 0.01% de adiciones de Titanio como con 5% de Titanio y 1% de Boro de Aleación Madre de Aluminio.

### b.) Reducción de rupturas.-

La adición de refinadores de grano tienden a reducir concentraciones de fuerzas y producen suficientes granos equiaxiados que granos de estructura columnar.

### c.) Mayor Flexibilidad.-

En la operación de colada y equipo de extrusión.

### d.) Reducción de Cerrado en Frío.-

Las rapidas velocidades de colada ayuda a evitar los pliegues o arrugas del metal conocidos como cierres en frío, el cual de manera diferente formado sobre el metal ya sólido en la pared del molde.

### e.) Reducción de Segregación.-

Las grandes dendritas estan formadas en aleaciones que no han sido adecuadamente refinadas en su grano, resulta con concentraciones de impurezas en las dendritas periféricas, como gotas sudadas en la capa del lingote.

### f.) Aumento en Sólidez y Resistencia.-

La porosidad debida a la contracción durante el enfriamiento es reducida cuando el grano del Aluminio es refinado. El refinamiento de grano por introducción de núcleos reduce grandemente irregularidades en la estructura del grano, frecuentemente aumenta la resistencia mecánica y la resistencia al corte.

La estructura del Aluminio sólido depende sobre todo del rango de nucleación de cristales y el rango de crecimiento del cristal. El número y tamaño de los cristales depende de un número --

de factores incluyendo propiedades físicas y químicas del metal, -  
fusión y variables de las piezas.

---

## M I C R O S E G R E G A C I O N .

La mayoría de las adiciones hechas al Aluminio son menos solubles en el sólido que en la fase líquida, esto es, el coeficiente de distribución de equilibrio  $K_0$ , es menor de uno (1).

Por otra parte, para más soluto, el Aluminio presenta una - relativa baja solubilidad final así, segundas - fases constitutivas están invariablemente presentes en estructuras de lingotes.

Por estas razones, las dendritas, las cuales son la primera porción de la estructura de una pieza al solidificar, están bajas en contenido de soluto pero están bordeadas por redes interdendríticas de una o más constitutivas segunda - fase.

El tamaño y distribución de los constituyentes dependen en un número de factores, incluyendo concentración de soluto, brazos de dendritas espaciadas y tamaño de grano.

Así, lingotes de más aleaciones de Aluminio deben ser calentadas por un largo tiempo a temperaturas a cerca de la temperatura del solidus con el objeto de homogenizar la estructura para obtener una distribución de soluto más uniforme.

## INOCULACION CONTINUA.

La refinación del grano puede llevarse a cabo por adiciones - continuas de Aleaciones Madres en forma de alambre. Esta forma permite la inoculación continua de aleaciones de Aluminio. Además hace posible la operación automática por permitir una integración del -- equipo de alimentación del alambre y controles automáticos, los cuales miden el flujo y contenido de aleación del metal que se esta -- produciendo.

La aleación en forma de alambre es adicionada en el metal caliente más fácilmente justo antes de entrar en el equipo de colada.

Esto garantiza una buena combinación de Aleaciones Madres -- con el Aluminio.

Los beneficios que ofrece este sistema son los siguientes:

- 1.- Optimo refinamiento de grano con mínima adición. Sola - mente el metal que se esta vaciando es refinado. Todo - el agente refinador de grano va adentro de la colada, el cual significa el 100 % de utilización de este material.
- 2.- Rápidas operaciones de colada.
- 3.- Alta calidad.
- 4.- Eliminación de la acumulación en el horno, disminución o segregacion de  $TiB_2$ .
- 5.- No hay pérdidas de tiempo en el horno para hacer la - - adición. El mecanismo de alimentación continua hace -- uso del tiempo requerido para la colada.
- 6.- Eliminación de la aglomeración de partículas de  $TiB_2$ . Estas permanecen en una fina y bien distribuida forma.
- 7.- Uniforme refinamiento de grano en todas partes en el - completo proceso de colada.
- 8.- Habilidad en variar las cantidad de adición en acorde con la composición del metal y el rango del flujo.

Adiciones de  $TiB_2$  prevalecidas por adición simultánea de Titanio y Boro producen buenas estructuras equiaxidas, que fuertemente ~ opuestas al engrosamiento del grano debido a altas temperaturas de colada o fusiones repetidas.

El engrosamiento es menor que en las aleaciones que contienen grandes cantidades de Titania sólo.

Los requisitos de un compuesto que actúe como un agente nucleante son los siguientes:

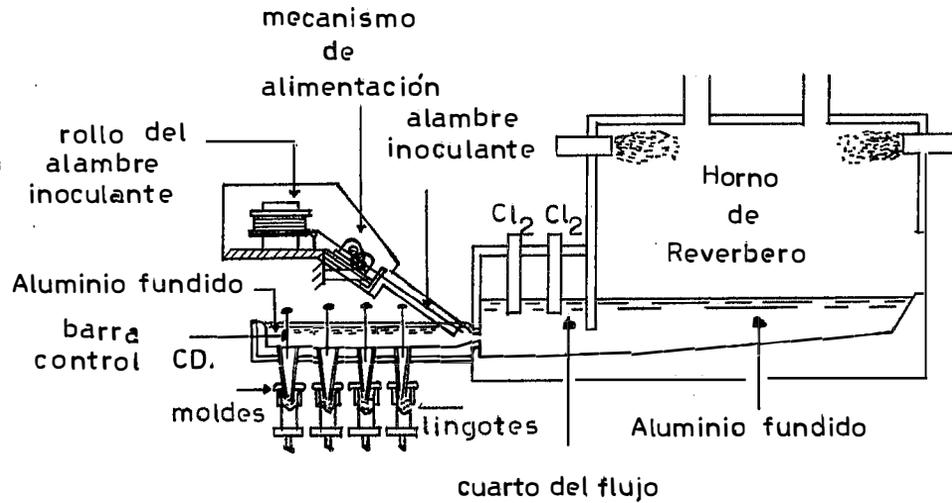
- 1.- Suficiente estabilidad en la fusión sin descomposición.
- 2.- Tener un punto de fusión mayor que el de la aleación.
- 3.- Tener una estructura similar en tipo y dimensiones a la del metal que va a ser refinado con la formación de fuertes enlaces de adsorción entre el agente nucleante y los átomos del metal.

Las aleaciones refinadas con  $TiAl$  contienen  $TiAl_3$  " innecesario ", primeramente en los límites de grano.

Las aleaciones refinadas con  $TiBAl$  contiene partículas de  $TiB_2$  ambas dentro de los granos y en los límites de grano, con  $TiAl_3$  encontrados primeramente en los límites.

El Boro aumenta la conductividad eléctrica. El refinamiento tiene una importante función, permite la rápida colada de piezas - de Aluminio, planchas o bloques para rolado y forja, aumenta la resistencia a la tensión por reducción de la porosidad en arena y -- molde permanente.

## INOCULACION CONTINUA.



## MODIFICACION DE LA ESTRUCTURA.

Las primeras aleaciones de Aluminio fabricadas fueron las de Al - Si. El Dr. Pacz en 1921 estableció que sus propiedades mecánicas de dichas aleaciones podrían ser mejoradas considerablemente — con la adición de Fluoruro de Sodio y así alcanzar una importancia industrial.

Al proceso de adición de agentes, tales como metales alcalinos y metales alcalino térreos al metal fundido para mejorar las propiedades mecánicas se llama Modificación.

Para tener un claro entendimiento acerca de la Modificación, emerge una explicación basada en la nucleación y fenómeno de crecimiento, tan afectado por el balance entre sodio y fósforo ( o metales similares ).

En las aleaciones Al - Si sin modificar el componente Al - Si está presente en una cristalización en forma de agujas burdas, aunque la Modificación no refina el tamaño del grano del metal, si lo parte de una estructura de apariencia de aguja y lo cambia a una forma fina y globular.

La consideración del refinamiento o control de la estructura sólida de estas aleaciones, requiere una valoración de Modificación Sodio del Silicio eutéctico y el Fósforo para el Silicio Hipereutéctico.

Los mecanismos son diferentes; la adición de Sodio produce un selectivo enfriamiento inferior del Silicio eutéctico; el refinamiento con Fósforo es causado por nucleación heterogénea.

El diagrama ALUMINIO - SODIO - FOSFORO - SILICIO es básico para el entendimiento de este muy importante proceso de la Modificación.

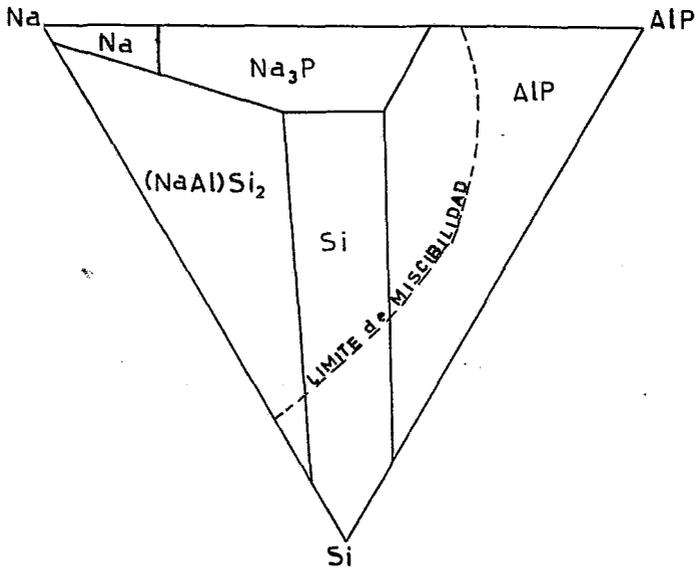


Fig. 1-A

Trazos esquemáticos del líquido de el diagrama ALUMINIO - SODIO - FOSFORO - SILICIO. La línea punteada indica el límite del campo de inmiscibilidad.

En la proyección de las superficies de cristalización primaria el vacío de miscibilidad es mostrada por una pequeña línea.

Las aleaciones comerciales en el fondo de la esquina, muy estrechas hacia el fin del Silicio, con contenido de Fósforo o Sodio del orden 2 - 3 de más pequeña magnitud que el porcentaje de Silicio.

Las fases que pueden estar presentes son : Al, Si,  $(\text{NaAl})\text{Si}_2$ , Na,  $\text{AlP}$  y  $\text{Na}_3\text{P}$ . El radio  $\text{Na}_3\text{P}$  controla la fase presente. Si el radio es aproximadamente 2.2 el Fósforo y el Sodio son combinados como  $\text{Na}_3\text{P}$  y no otra fase Sodio Fósforo esta presente; con más bajos radios el exceso de Fósforo se presenta como  $\text{AlP}$ ; con altos radios el Sodio forma  $(\text{NaAl})\text{Si}_2$ . El  $\text{AlP}$  y el  $(\text{NaAl})\text{Si}_2$  no pueden coexistir.

#### SISTEMA ALUMINIO - SODIO

El Sodio ha sido probado como un desoxidante para aleaciones de Aluminio, pero el solo uso comercial es como modificante para la aleación Aluminio - Silicio.

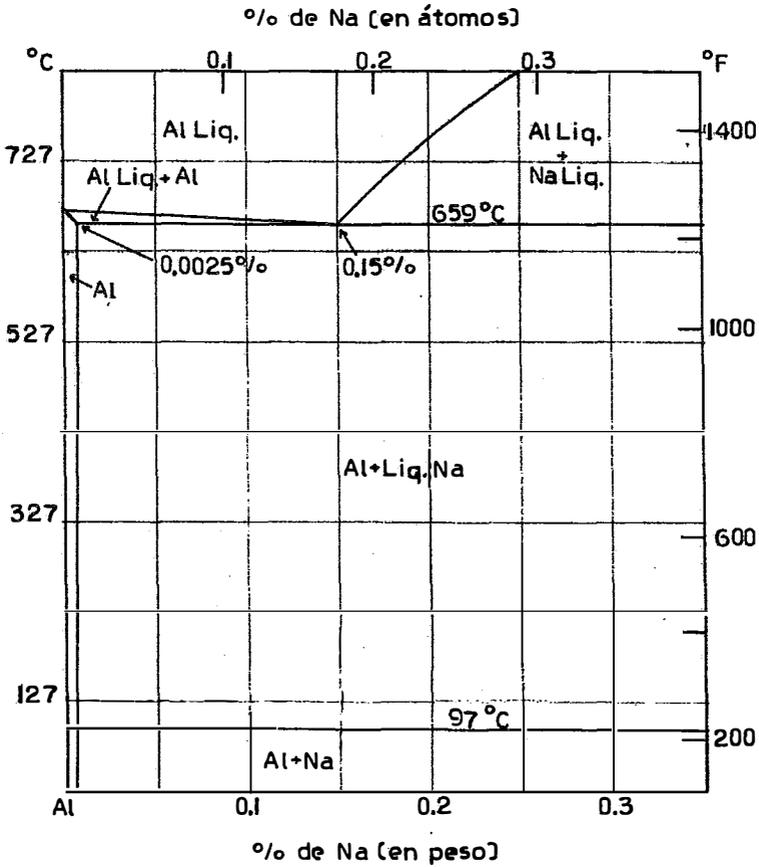
La miscibilidad en estado líquido es muy limitada. El punto monoeutéctico es aproximadamente 0.15% Na, 659°C. La solubilidad aumenta hacia 0.25% Na a 777°C. La solubilidad sólida es del orden de 0.002 - 0.003% de Na a temperatura monoeutéctica.

El sodio tiende a escapar rápidamente de las aleaciones fundidas; manteniendo la fusión por una hora o así como reducir el contenido de Sodio por una orden de magnitud.

Las adiciones aumentan la viscosidad por un factor arriba de 15 y decrece la tensión superficial aproximadamente 25%.

Las propiedades mecánicas del material relacionadas con Sodio no hace distintas de aquellas de Aluminio Sodio - libre. Hay un pequeño decrecimiento en ductilidad y resistencia al impacto y un poco incremento de dureza.

Diagrama de equilibrio ALUMINIO-SODIO



Sin embargo, aumentos tan bajos como 0.01% de Sodio, hace al - Aluminio de baja fusión y disminuye apreciablemente la resistencia a la corrosión.

No se han detectado efectos apreciables en las propiedades del aumento normal de Sodio presente en Aluminio (0.001 - 0.003% de Na), igual cuando el uso extensivo de flujos de sales de Sodio pueden haber aumentado el contenido de Sodio a el máximo (0.005% de Na). Adiciones de 0.5% de Na (nominal) a aleaciones Aluminio - Silicio con -- 0.5 - 1.5% de Si, a Aluminio - Cobre y a aleaciones Aluminio - Cobre - Magnesio tienen un pequeño efecto en las propiedades mecánicas, pero igual mucho más pequeñísimos aumentos reduce la intensidad y especialmente la ductilidad en aleaciones Aluminio - Magnesio.

La fase de Silicio puede estar presente en una variedad de estructuras. El eutéctico puede estar :

- a.) Casual
- b.) No Modificado
- c.) Poco Modificado
- d.) Modificado
- e.) Super Modificado

Los primeros cristales de Silicio pueden aparecer como :

- 1.- Globular
- 2.- Plumoso o puntas brillantes (dendritas)
- 3.- En forma de esferas

Las estructuras son listadas en orden de incremento de el radio Na:P; el eutéctico casual corresponde al radio Na:P más bajo, el super modificado al más alto (figuras Nos. 10 - 19 ) muestran algunas de estas estructuras.

Nota: En todas las aleaciones comerciales el sodio y el fósforo están como impurezas.

La modificación se usa aquí para mostrar solo el refinamiento del Silicio eutéctico de apariencia acicular o globular (figuras Nos. 10, 16, 17), hacia el finalmente dispersado esferoide (figura No. 13 ).

El término dispersión Silicio primario es usado para referir la multiplicación y refinamiento de los cristales de Silicio primario.

Disminuyen en tamaño los granos de Aluminio o de las celdas eutécticas esta denotado como " Refinamiento de Grano ".

Como el radio del Sodio aumenta, cambias distintas propiedades.

La resistividad eléctrica en ambos estados líquido y sólido disminuye por arriba del 30%. La viscosidad aumenta. La tenacidad y ductibilidad primero aumenta, después declina. La resistencia al impacto aumenta; por tanto lo hace maquinable.

La energía de superficie en Al - Si (sólido) es reducida, por ser difusión de Silicio en Aluminio. La posición de la fractura también cambia; a bajos radios está principalmente dentro del Silicio o en la interfase Aluminio - Silicio; a altos radios está en el Aluminio y la apariencia cambia de oscuro, toscamente cristalino, interfase vídriosa a una sedosa a una dúctil. Este cambio de coloración produce la perfeccionada ductilidad. La composición a la cual aparecen cristales de Silicio primario cambia de 11.7 a 12.5% de Silicio o más y entonces regresa a 11.7%.

La temperatura de fusión del eutéctica permanece constante a 923°C pero la temperatura de congelación se reduce en aproximadamente 283 - 293°C y entonces regresa a la normal. La fase principal en los cambios eutécticos; encabeza el Silicio a bajos radios y a altos radios encabeza el Aluminio.

Sin embargo, ninguno de el tamaño de la celda eutéctica ni la forma o tamaño de los cristales de Silicio eutéctico estan radicalmente cambiados: Los cristales permanecen constantes y solo estan más cortos y estrechamente pareciendo algas. ( Fig. 18 y 19 )

La tendencia a la formación de vainas de Aluminio alrededor cristales de Silicio primario no cambia. Proque los cristales de Silicio - son pesadamente gemelados en muchas direcciones, no define una relación de orientación entre las dos fases pueden ser detectads indiferente -- al radio Na:P.

El hábito de cambiar cristal : a bajos radios los planos limitantes son (111), con una dirección 100 textura fibrosa; a altos radios -- los planos limitantes vienen siendo (001).

El mecanismo de crecimiento también cambia : a bajos radios de Na:P y rangos de enfriamientos comerciales el crecimiento del Silicio eutéctico es por gemelación en los planos (111), a altos radios se reduce considerablemente la unión, y como un resultado, la velocidad -- del Silicio eutéctico decrece gradualmente. Como el radio de Na:P -- incrementa cristales primarios también cambia la forma : de figura -- globular (figura No. 16 ) a la dendríta (figura No. 10 ), a la esferoide (figura No. 13 ). Cristales de textura dendrítica y estrellas formadas se localiza frecuentemente en las aleaciones de alta - pureza que contienen poco o nada de Sodio y Fósforo.

El Fósforo en forma de compuesto AlP ha sido encontrado principalmente dentro de cristales de Silicio como se muestra en la figura No. 16 , a menudo con visible orientación relativa y está generalmente aceptado que cuando AlP esta presente, el Silicio nucleado en él. A los más bajos radios de Na:P el Sodio es más o menos igualmente distribuido a través de la aleación, pero a altos radios agujas o cristales de un compuesto rico en sodio con visibles (figura No. 15 ), especialmente concentrados en las bandas de estructuras super-modificadas (figura No. 14 ).

El Aluminio nuclea Silicio de 5 a 12°C de subenfriamiento, el compuesto AlP nuclea Silicio de 3 a 5°C de subenfriamiento y el compuesto (NaAl)Si<sub>2</sub> nuclea Silicio de 4 a 6°C de subenfriamiento. El Aluminio es normalmente nucleado a 2 4°C a inferior enfriamiento, - pero no por Silicio.

Además el radio Na:P, otros factores controlan la estructura - que pueden ser otros mecanismos de modificación:

- 1.- Los enfriamientos rápidos tienden a producir estructuras muy similares a unas modificadas, aunque los cristales - de Silicio tienden a ser un poco más angulares.
- 2.- Altas presiones tienen el mismo efecto.
- 3.- Super calentamientos del metal fundido.
- 4.- Tratamientos al vacío.
- 5.- Vibración ultrasónica.

#### ADICION DE OTROS ELEMENTOS EN LUGAR DE SODIO O FOSFORO.

Las características que deben de tener son:

- 1.- Elementos modificantes que actuen como el Sodio.
- 2.- Silicio modificado con elementos que actuen en forma similar al Fósforo.
- 3.- Elementos con efecto no directo en la estructura del Silicio.

En el primer grupo Potasio y Estroncio, más estrechamente se -- asemejan al Sodio, Litio, Bario, Cesio, Rubidio son mucho menos efectivos y aproximadamente tan volátiles como el Sodio.

El Calcio es más permanente, neutraliza el efecto del Fósforo, como el Sodio lo hace, pero su efecto modificante en Silicio eutéc<sub>tico</sub> es muy limitado. El Magnesio tiene el mismo efecto como neutralizador de Fósforo y no hace apreciable modificación a el Silicio, su principal efecto siendo la formación de  $Mg_2Si$ , el cual hace a las aleaciones endurecibles con el tiempo.

Elementos que modifican Silicio y distribuyen cristales de -- Silicio primario son : Arsénico, Azufre, Selenio, Telurio y Galio.

El Boro junto con Titanio refina el tamaño de grano de el Aluminio pero no hace efecto apreciable en la apariencia de el Silicio.

Argón, Cloro, Hidrógeno y Nitrógeno cuando burbujeados en la fusión tienen el usual efecto de flotación de impurezas y engrosaamiento del grano, inclusive aquellos de Silicio primario.

Una consistente explicación con todos los datos experimentales confiables pueden ser desarrollados en las bases de las siguientes más o menos acciones probadas:

- 1.- La nucleación y crecimiento de Aluminio no son substancialmente afectados por el Fósforo o Sodio.
- 2.- El contenido de Fósforo de todo metal comercial es usualmente suficiente a producir algún ALP primario, solo en zona refinada de Aluminio está el Fósforo abajo de la composición eutéctica.
- 3.- El ALP es el mejor nucleante para el Aluminio, y cuando el ALP es primario modifica al Silicio totalmente.
- 4.- El NaP no nuclea Silicio.
- 5.- El Sodio neutraliza el efecto nucleante de el Fósforo a través de la reacción :



- 6.- El Sodio envenena el ángulo gemelo del Silicio y hace imposible su crecimiento por un mecanismo de gemelación. -- Así con Sodio presente en el crecimiento del Silicio subenfriado es necesario manejarlo. A mayores subenfriamientos.
- 7.- El Sodio reduce la tensión superficial del Aluminio pero no la del Silicio. El radio  $\sigma(\text{AL}) : \sigma(\text{Si})$  es disminuído; así el Silicio tiende a esferarse y el Aluminio tiende a extenderse en él.
- 8.- El  $(\text{NaAl})\text{Si}_2$  puede nuclear Silicio casi también como el ALP.

Sobre estas bases el proceso de solidificación y la estructura están dependiendo en la colocación de la aleación en el campo cuaternario. En aleaciones dentro del campo de nucleación primario (ALP) - del Silicio por los cristales primarios tiene lugar a un subenfriamiento más lento. Si el contenido de Silicio es casi eutéctico los cristales de Silicio se forman primero y creciendo lentamente así -- más o menos como un octaedro perfecto limitado por las caras (111).

Porque de la fácil nucleación de Silicio en ALP, el Silicio - puede cristalizar antes que el Aluminio igualmente a bajo del debido punto eutéctico de aquí el aparente cambio de la composición eutéctica a 11.7% de Si.

Si el contenido de Silicio esta abajo del eutéctico, el Aluminio ( el cual no es afectado por ALP cristaliza primero, entonces -- el Silicio es nucleado por el ALP.

Si el contenido de ALP es muy alto, la nucleación predomina - y el eutéctico esta completamente separado, con poco, más o menos -- cristales de Silicio equiaxiados, orientados al azar.

Con bajo contenido de ALP, después de la nucleación por ALP, hay algún crecimiento y la apariencia normal de eutéctico de propagación burda de cristales de Silicio, resulta (figura No.10 ).

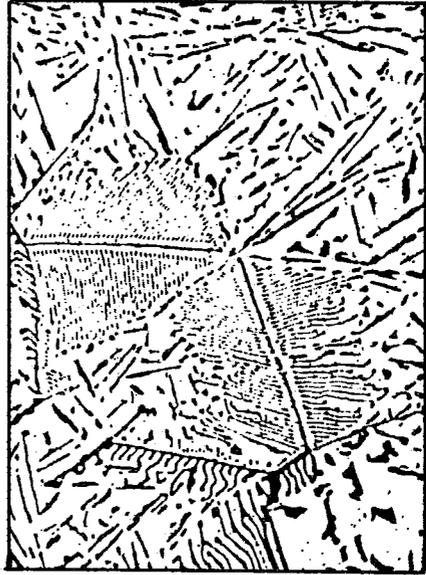
En el área donde ninguno de los dos compuestos ALP ni - -  $(AlNa)Si_2$  tiene prioridad (indicando como Silicio en proyección) como se ven en la figura No. 1-A , la nucleación del Silicio primario se realiza por alguna impureza desconocida de considerable subenfriamiento y una vez nucleando el Silicio desprotegido crece rápidamente y produce dendritas (plumosas) figura No. 11 ó propagando cristales en forma de estrellas.

El Silicio eutéctico es nucleado por Aluminio y crece normalmente. En el área contigua del campo primario  $(AlNa)Si_2$  hay usualmente Sodio en solución en la fusión, insuficiente para producir -- cristales primarios  $(AlNa)Si_2$  pero suficientemente para envenenar el crecimiento por gemelación del Silicio y cambiar el balance de energías interfaciales.



10

10



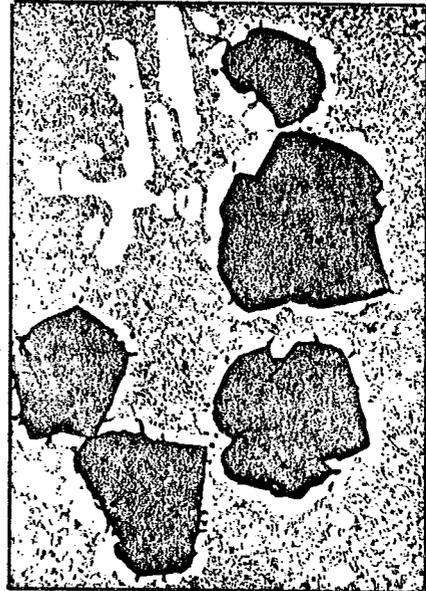
11

11



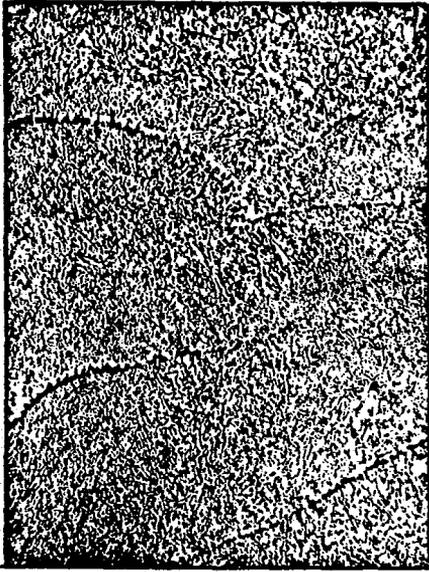
12

12



13

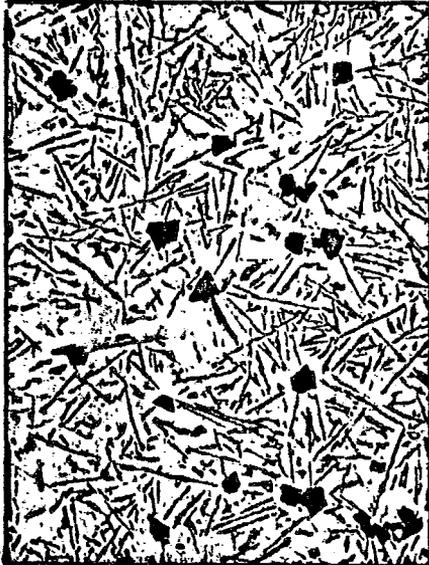
13



14



15



16



17



18



19

El envenenamiento del sencillo proceso de crecimiento forzado - del Silicio a altos subenfriamientos, así refina su tamaño, al mismo tiempo que el cambio de balance de las tensiones superficiales que - tienen a redondearlo.

En el campo de nucleación primario del Silicio debido a compuesto (NaAl)Si<sub>2</sub> y la aparente composición eutéctica cambia a más bajos -- contenidos de Silicio.

El efecto de esferización debido a el cambio de balance de las tensiones superficiales es notable también en cristales primarios -- ( figura No. 13 ).

La nucleación del Silicio por (AlNa)Si<sub>2</sub> reduce el crecimiento y cristales de Silicio globular aparecen especialmente en los límites de grano donde el Sodio está concentrado. Esta es la estructura super - modificada.

Enfriamientos rápidos y altas presiones fuerza muy rápidamente el crecimiento del Silicio eutéctico pero no cambia el balance de las tensiones superficiales así el Silicio es refinado pero no redondeado.

R E V E R S I O N . - Se entiende por " Reversión ", a la inestabilidad de la Modificación de las aleaciones Aluminio - Silicio, ya que tienden a regresar a su forma original, o sea antes de la modificación.

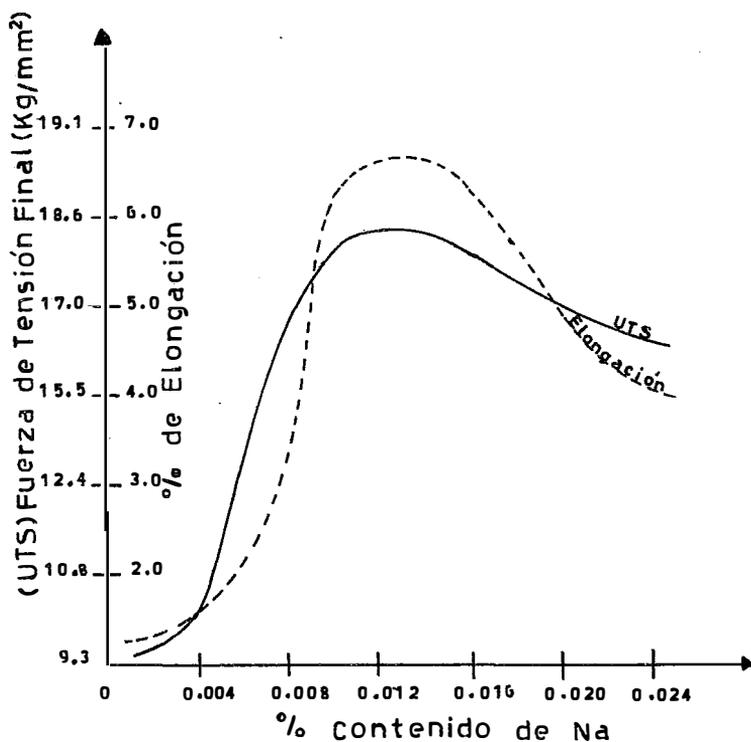
La velocidad de cambio es proporcional al contenido de Silicio, a la temperatura de fusión y al tiempo durante el cual ésta se utilice. Pero inversamente proporcional al volumen de el metal líquido. Metales a temperaturas abajo de los 750°C (1375°F), son -- lentamente desmodificados.

Generalmente una carga de 50 Kgs., puede ser mantenida satisfactoriamente alrededor de 20 minutos antes de vaciar sin destruir el efecto de la modificación.

Se considera no obstante, que unos 30 minutos de período sostenido no deben exceder sin adicionar más cantidad de Sodio.

IMPORTANCIA DE MANTENER CONSTANTE EL CONTENIDO DE SODIO.

Pruebas de laboratorio mostraron la importancia del contenido de Sodio, por eso es importante mantener un contenido de 0.032%, en este nivel los valores de la resistencia a la tensión y la elongación estarán en su máximo como puede verse en la gráfica. Nótese que el hecho de adicionar un exceso de Sodio o sobre modificación como es llamado, reduce considerablemente los valores de la resistencia a la tensión.



## VENTAJAS DEL USO DE SODIO TRATADO AL VACIO.

La Modificación puede ser hecha por el uso de Sodio metálico o Sodio en forma de sales. Cualquiera de las dos formas son ineficientes al momento de ser adicionadas a la carga.

El método de las sales es limpio y seguro en su manipulación, pero es demasiado laborioso y estas sales tienen una tendencia a -- producir porosidad debido a la humedad que traen consigo. El Sodio metálico es barato, pero peligroso para manejarlo. Para protegerlo de la humedad en la atmósfera, normalmente es empaquetado con parafina (Kerosina).

El Sodio que ha sido almacenado de esta manera, aún contiene cierta cantidad de parafina, la cual es una fuente de Hidrógeno y consecuentemente las aleaciones de Aluminio tratadas con Sodio metálico de este tipo son generalmente gasificadas y las piezas hechas mostrarán porosidades.

Un cubo de Sodio de 28 gr. puede contener tanto como 0.2 gr. de aceite, el cual producirá  $350 \text{ cm}^3$  del gas Hidrógeno.

Debido a que reacciona con la humedad, el Sodio metálico -- cuando esta expuesto al aire se forma una película de Hidróxido de Sodio, la cual se descompondrá cuando el Sodio sea sumergido en el Aluminio fundido y formará Oxido de Sodio y vapor de agua, siendo esta un recurso de Hidrógeno que será absorbido inmediatamente por el metal.

Se ha desarrollado un producto empaquetado al alto vacío -- para proteger al Sodio de la contaminación de la humedad de la -- atmósfera. Esta especialmente tratado para eliminar por completo al Hidrógeno, la parafina y el Hidróxido, y esta empaquetado en -- vasijas herméticas de Aluminio puro, y puede ser libremente manejado y almacenado por períodos sin límite de tiempo tal que los -- envases estan sin deteriorarse.

PROCESO DE MODIFICACION CON SODIO A PARTIR DE ESTRUCTURA ACICULAR.

La adición de Sodio da como resultado :

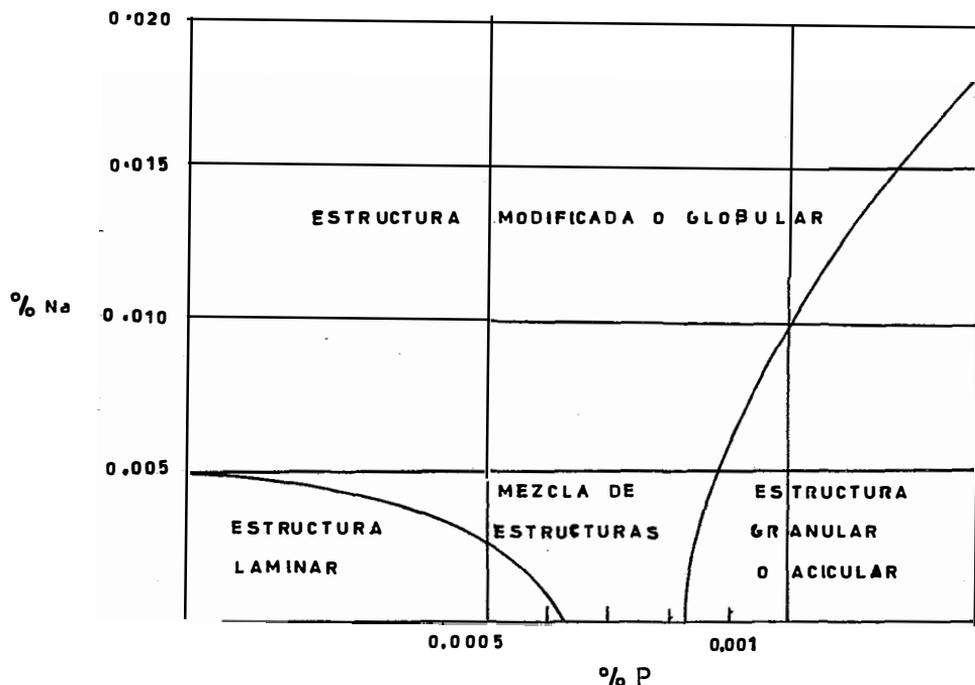
- a.) Formación de Fosfuro de Sodio.
- b.) Cambio a estructura laminar.
- c.) Formación de estructura globular.

A PARTIR DE ESTRUCTURA LAMINAR.

La adición de Sodio da como resultado :

- a.) Cambio a estructura globular o modificada.

## MOLDE PERMANENTE



Estructuras metalograficas del eutéctico Al-Si en función de los contenidos de Sodio y Fósforo, según Nolting.

ESTRUCTURA ACICULAR.- Frente de solidificación aspero, alta susceptibilidad a la formación de cavidades superficiales por contracción, marcada tendencia a formar poros.

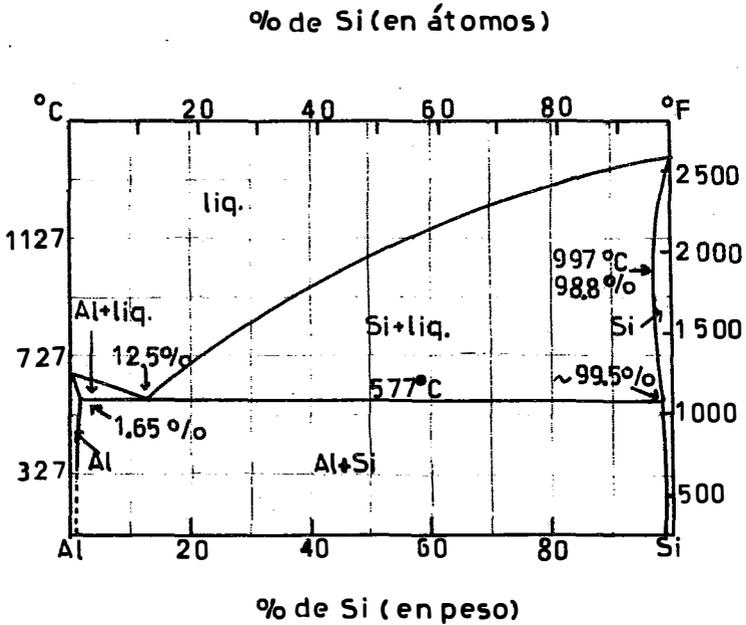
ESTRUCTURA LAMINAR . - Frente de solidificación desigual, alta susceptibilidad a la formación de cavidades por contracción superficiales y " colas de rata "

ESTRUCTURA GLOBULAR .- Frente de solidificación definido y liso no es susceptible a la formación de cavidades superficiales por contracción y formación de poros.

## SISTEMA ALUMINIO SILICIO (Al-Si)

El Silicio es la impureza más abundante en el Aluminio, partiendo desde la Sílice o Silicatos en la Bauxita. Es también una de las adiciones más comunes a las aleaciones de Aluminio, a las cuales imparte fluidez en piezas fundidas y soldadura y altas propiedades mecánicas a través de la formación de compuestos que hace a las aleaciones tratables térmicamente.

El sistema, un simple eutéctico único, en el cual las dos fases en equilibrio son Aluminio y Silicio.



El Diagrama de Equilibrio Aluminio - Silicio

La solubilidad sólida del Silicio en Aluminio es mostrada en la siguiente tabla:

°C	S o l u b i l i d a d	
	Peso	% Atomo
1,125	1.65	1.58
1,098	1.30	1.25
1,073	1.10	1.05
1,023	0.70	0.67
973	0.45	0.44
923	0.25	0.24
873	0.10	0.10
823	0.04	0.04
773	0.01	0.01

El enfriamiento rápido del líquido aumenta la solubilidad arriba del 16% de Si y cambia el punto eutéctico arriba de 17% de Si.

La temperatura eutéctica es generalmente aceptada como 577°C -- pero la composición del punto eutéctico ha sido reportada como margen de 11.7% de Si a 14.5% de Si, con el más probable valor de 12.5% de Si.

El Silicio es un diamante cúbico, grupo espacial Fd3m, 8 átomos en la celda unitaria, parámetro  $5.4285 \times 10^{-10}$  m cuando esta en equilibrio con Aluminio, densidad 2,600 Kg / m<sup>3</sup>, dureza Vickers 8,700 - - 1,350 Kg / mm<sup>2</sup>, constante arriba de 327°C, luego decrece a 300 KG / mm<sup>2</sup> 627°C. Existe una pequeña deformación en el Silicio abajo de 627°C -- en la cual tiene la fractura en los límites entre el Aluminio y las -- más grandes partículas de Silicio.

Presiones del orden de 306 Kg / mm<sup>2</sup> cambia la posición del eutéctico y la temperatura aproximadamente 25% de Si y 1,027°C, aumenta la solubilidad sólida de 7% de Si.

La estructura de las aleaciones próximas a la composición eutéctica dependen más del rango de enfriamiento que de el contenido del - - Silicio, enfriamientos rápidos favorecen la formación de Silicio primario; enfriamientos lentos aumentan la cantidad de eutéctico.

Epitaxiales de Silicio en los planos del Aluminio (110) y (111) pero no en plano (100) son reportado.

El parámetro de rejilla disminuye linealmente, al alcanzar un valor de  $a = 4.0478 \times 10^{-10}$  m al 1% de Si  $a = 4.0365 \times 10^{-10}$  m 11% de Si. La densidad aumenta un poco arriba de  $2,705 \text{ Kg/m}^3$  al 1.2% de Si, si el Silicio esta en solución sólida y luego disminuye a un valor de  $2,670 \text{ Kg/m}^3$  al 10% de Si.

En aleaciones templadas la disminución es lineal, hacia un valor de  $2,655 \text{ Kg/m}^3$  al 10% de Si y  $2,630 \text{ Kg/m}^3$  al 15% de Si.

La expansión térmica es reducida apreciablemente, la disminución es más lineal y el coeficiente por el rango de 300-700 °K, el cual es de  $25 \times 10^{-6} \text{ m/m/}^\circ\text{K}$  para Aluminio puro, resulta  $20 \times 10^{-6}$  al 10% de Si y  $12 \times 10^{-6}$  al 40% de Si. Dismuniciones similares son mostradas por los coeficientes para otros rangos de temperatura.

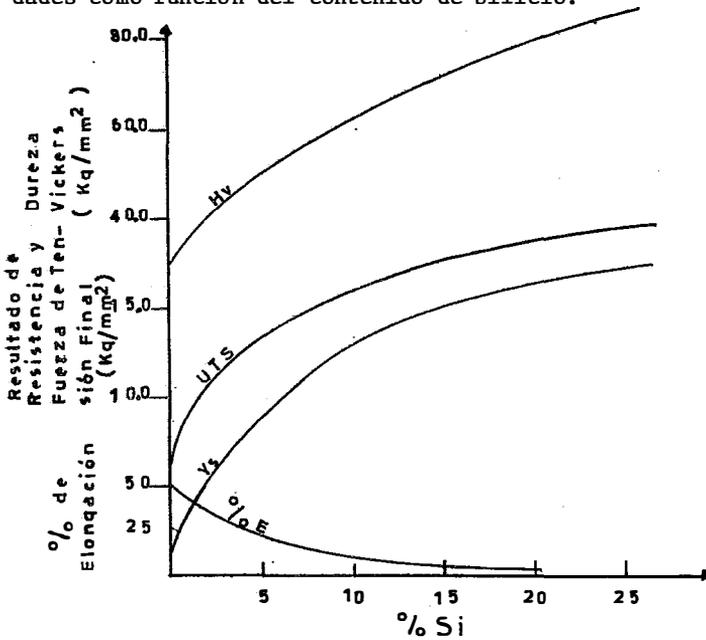
El cambio en volumen en la solidificación disminuye linealmente, al alcanzar el valor de cero al 25% de Si.

La viscosidad a temperatura constante alcanza un máximo en el límite de solubilidad (1.65% de Si), y luego disminuye, igual más alla de la composición eutéctica, a pesar del hecho de esos levantamientos a la temperatura del líquido. Aleaciones conteniendo Sodio muestran el mismo comportamiento, pero tiene viscosidades arriba de 40 veces más altas, con la máxima correspondiente a la modificación perfecta.

Las adiciones de Silicio no afectan apreciablemente la tensión de superficie de el Aluminio, la conductividad térmica disminuye de 20 al 30%.

La dureza Vickers aumenta linealmente, a alcanzar un valor de 50 - 70 Kg / mm<sup>2</sup>, al 15% de Si y 100 Kg / mm<sup>2</sup> al 60% de Si.

Las propiedades mecánicas de las aleaciones binarias dependen menos de la composición que en la distribución y forma de las partículas de Silicio. Pequeñas, redondeadas, partículas igualmente distribuidas, eutéctico o primario, resultan con alta ductilidad con relativamente alta tensión; esferados, cristales de Silicio acicular pueden producir más altas tensiones, pero mucho menor ductilidad, -- resistencia a la fatiga e impacto. Presenta fractura en las partículas de Silicio, pero sólo después que la matriz se deforma. Fusión rayo electrón, rápidos (enfriamiento) pueden producir tensiones 60 - 70% más altas que la normal. La figura muestra el cambio de propiedades como función del contenido de Silicio.



Propiedades Mecánicas de Aleaciones Aluminio - Silicio como función del contenido de Silicio.

El tratamiento térmico tiene un efecto limitado en propiedades: hay algún aumento en tensión que puede ser llevado a cabo por trabajos en frío. La tensión en las aleaciones Aluminio - Silicio declina muy rápidamente con aumento de temperatura. La elongación alcanza un máximo aproximadamente a la temperatura de sólidos y luego declina rápidamente. El aumento en el módulo de elasticidad es lineal, a alcanzar  $9,180 \text{ Kg /mm}^2$  al 30% de Si, con ninguna diferencia entre las aleaciones modificadas y las no modificadas.

El aumento en resistencia en la línea de deslizamiento (creep) no es substancial; estructura original y pureza, en otro extremo son importantes.

La resistencia a la fatiga es baja, especialmente cuando cristales de Silicio primario están presentes, o el Silicio está en la forma no modificada. En aleaciones con 1% de Si o menos, mayor resistencia a la fatiga corresponde a la condición solución tratada; envejecimiento artificial aumenta la fuerza de tensión, pero reduce la resistencia a la fatiga.

El Silicio no tiene efecto sobre la refinación del grano, durante la solidificación del Aluminio pero influye apreciablemente, el calor a cortas distancias en piezas fundidas y soldaduras.

El calor a bajos intervalos alcanza un máximo en el límite de solubilidad sólida, donde el intervalo entre el sólido y el líquido es máximo. Por ello disminuye a alcanzar una mínima composición eutéctica.

El Silicio disminuye la plasticidad del Aluminio. Desde los  $427^\circ\text{C}$  las aleaciones exhiben super plasticidad. Este efecto está probablemente relacionado con la esferización y coagulación del Silicio que tiene lugar a altas temperaturas. El efecto del Silicio en la recristalización es reportado variable, probablemente a causa de la interacción del Silicio con otros elementos.

La solubilidad del Silicio en el Aluminio es muy baja  $527^\circ\text{C}$ . El magnesio baja apreciablemente la difusión pero otras adiciones tienen poco o ningún efecto.

## METALES ALEANTES Y SUS EFECTOS SOBRESALIENTES.

Cobre . - Este elemento hace a las aleaciones tratables térmicamente debido a la diferencia de solubilidades a diferentes temperaturas. Incrementa la dureza y la resistencia a las piezas de Aluminio, ya sean -- tratadas o no térmicamente.

Tiene como ventaja preveer contracciones internas, además mejora -- la maquinabilidad de las piezas.

Como desventajas el Cobre reduce la resistencia a la corrosión debido al par galvánico formado entre la matriz del Aluminio y las partículas constituyentes del Cobre. La corrosión se incrementa con cantidades de 0.3 a 1% de Cobre.

Otra desventaja hace difícil es el vaciado por la falta de fluidez.

Magnesio . - Este elemento como el anterior posee la solubilidad requerida para responder a los tratamientos térmicos en la aleación; sobre todo cuando se encuentra arriba de un 8%. Cuando se encuentra en -- menor cantidad no responde satisfactoriamente, excepto si se encuentran presentes otros elementos tales como Cobre y Silicio.

En general el Magnesio incrementa la resistencia a la tensión, la resistencia a la corrosión en atmósferas marinas, la dureza, la maquina bilidad y la facilidad para soldarse.

Manganeso . - Actúa como refinador de grano, reduce los rechupes incrementa los esfuerzos naturales y la resistencia a la corrosión. Este elemento en presencia del Cobre y del Silicio mejora la resistencia en -- piezas que son sometidas a altas temperaturas.

Hierro . - En ocasiones se emplea para reducir contracciones en las aleaciones de Aluminio. También puede actuar como refinador de gra no, pero en aleaciones de Aluminio - Silicio el Hierro en porcentajes -- de un 5% origina estructuras gruesas y quebradizas. Nunca debe exeder el (%) porcentaje de 0.15 a 1.2% ya que afecta las propiedades mecánicas.

Silicio . - Hace descender el punto de fusión, incrementa la facilidad para fundirse y en combinación con el Magnesio, produce aleaciones tratables térmicamente, con una buena ductilidad y resistencia a la corrosión.

Zinc . - Tiende a aumentar la dureza y en combinación con reducidos porcentajes de Magnesio, produce aleaciones tratables térmicamente, con un alto grado de resistencia.

Cromo . - Mejora la resistencia a altas temperaturas, reduce las fracturas por esfuerzos o corrosión adicionando el Cromo con Titanio -- actúa como refinador de grano.

Titanio . - Este elemento se adiciona como refinador de grano en un porcentaje de 0.1 a 1.2%, lo que mejora la resistencia a la tensión y la ductilidad. Este elemento se adiciona junto con el Boro. Además -- resta conductividad térmica a las aleaciones de Aluminio.

Boro . - También este elemento proporciona refinamiento de grano combinado con Titanio. No debe exeder un porcentaje de 0.1% en las aleaciones de Aluminio. Mejora la resistencia a la tensión y ductilidad -- además ayuda a incrementar la conductividad eléctrica.

Bismuto Plomo y Estaño . - Imparten una mejor maquinabilidad.

Berilio . - Mejora las características de soldadura y vaciado.

Niquel . - Imparte una mayor fuerza a elevadas temperaturas.

Zirconio y Vanadio . - Se utilizan para producir efectos especiales parecidos a los del Cromo.

## CONSIDERACIONES TECNICAS DE LAS ALEACIONES DE ALUMINIO SILICIO.

Las aleaciones más comúnmente usadas son las que contienen de 10 a 13% de Silicio, el cual proporciona excepcionales características de fusión y piezas de excelente resistencia y ductilidad.

Las propiedades que ofrecen son alcanzadas por el tratamiento al metal líquido llamado " Modificación ", que fué descrito anteriormente.

Una de sus muchas cualidades de estas aleaciones es su excelente fluidez, razón por la cual son vaciadas a gravedad (molde de permanente), y también a presión. Hace que el diseño de piezas complicadas o de - - secciones delgadas sean fabricadas con relativa facilidad.

La aleación LM-6 tiene muy alta resistencia a la corrosión, por esta razón se usa en tuberías abajo del mar. No así la aleación LM-20 pero ambas aleaciones dan excelente servicio en condiciones atmosféricas húmedas en tierra.

Dado el contenido de cobre de la aleación LM-20 es más maquinable que la aleación LM-6 ya que en ambas la maquinabilidad no es buena.

En el maquinado de ambas aleaciones la LM-20 y LM-6, se debe -- hacer con herramientas con puntas de diamante o insertos de carburo de tungsteno, así como también un refrigerante de corte para tener un - - excelente acabado superficial.

COMPOSICION QUIMICA.

Elemento	Inglaterra	Inglaterra	Francia	Alemania
	B.S. 1490 L . M . 6	B.S. 1490 L . M . 20	A - S13	DIN 1725 G -AlSi
COBRE	0.1	0.4	0.1	0.05
MAGNESIO	-0.1	0.15	0.1	0.05
SILICIO	10.0 - 13.0	10.0 - 13.0	12.0 -13.7	11.0 - 13.5
FIERRO	0.6	0.7	0.75	.06
MANGANESO	0.5	0.5	0.3	0.5
NIQUEL	0.1	0.1	0.05	--
ZINC	0.1	0.2	0.1	0.1
PLOMO	0.1	0.1	(Pb + Sn)	--
ESTAÑO	0.05	0.05	( 0.2 )	--
TITANIO	0.2	0.2	0.05	0.15
ALUMINIO	Balance	Balance	Balance	Balance

PROPIEDADES MECANICAS.

L. M. 6	MOLDE ARENA	MOLDE PERMANENTE	MOLDE A PRESION
0.2% P.T (N/mm <sup>2</sup> )	60	70	- o -
0.1% P.T (Ton/in <sup>2</sup> )	3.5 - 4	4 - 4.5	4 - 4.4
(Kg/mm <sup>2</sup> )	5.4 - 6.3	6.3 - 7.0	6.3 - 7.0
U. T.S. (N/mm <sup>2</sup> )	160	190	- o -
(Ton/in <sup>2</sup> )	10.5 -12	12.0 -15	16 - 18
(Kg/mm <sup>2</sup> )	16.4 -18.9	18.9 -23.6	25.2 -28.3
Elongación (% en 2 pul- gadas)	5 -10	7 - 15	2 - 5
Dza. Brinell	50 -55	55 - 60	55 -65
(% en 5 cm)	5 -10	7 - 15	2 - 5

L. M. 20	MOLDE ARENA	MOLDE PERMANENTE	MOLDE A PRESION
0.2% P.T (N/mm <sup>2</sup> )	- o -	70 - 80	120
0.1% P.T (Ton/in <sup>2</sup> )	3.5 -4	4 - 4.5	- o -
(Kg/mm <sup>2</sup> )	5.4 -6.3	6.3- 7.0	- o -
U.T.S. (N/mm <sup>2</sup> )	- o -	190 -230	280
(Ton/in <sup>2</sup> )	10.5-12	12.0-15	- o -
(Kg/mm <sup>2</sup> )	16.4-18.9	18.9-23.6	- o -
Elongación (% en 2 pul- gadas )	3.5- 6	5 -10	1 - 3
(% en 5 cm)	3.5- 6	5 -10	- o -
Dureza Brinell	50 -60	55 -65	65 - 75

P.T. Prueba de Tensión

CLASIFICACION DE LAS ALEACIONES Al-Si (10-13%) D. G. N. MEX.  
 COMPOSICION QUIMICA DEL ALUMINIO EN PRIMERA FUSION ALEADO  
 PARA FUNDICION ( ALEACIONES STANDAR CLASE I )

		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Sn	Ti	Otros Al
A-332	Mínimo	11.0	- o -	0.50	- o -	0.20	- o -	2.0	- o -	- o -	- o -	0.15 Resto
	Máximo	12.0	0.9	1.50	0.10	1.30	- o -	3.0	0.10	- o -	0.2-	
F-332	Mínimo	8.5	- o -	2.0	- o -	0.9	- o -	- o -	- o -	- o -	- o -	0.30 Resto
	Máximo	10.0	0.6	4.0	0.10	1.30	- o -	0.10	0.10	- o -	0.20	
A-360	Mínimo	9.0	- o -	- o -	- o -	- o -	0.45	- o -	- o -	- o -	- o -	0.15 Resto
	Máximo	10.0	0.6	1.0	0.05	0.60	- o -	- o -	0.05	- o -	- o -	
384	Mínimo	10.5	0.6	3.0	- o -	- o -	- o -	- o -	- o -	- o -		0.20 Resto
	Máximo	12.0	1.0	4.5	0.10	0.10	- o -	0.10	0.10	0.10	- o -	
413	Mínimo	11.0	0.7	- o -	- o -	- o -	- o -	- o -	- o -	- o -		0.20 Resto
	Máximo	13.0	1.1	0.10	0.10	0.07	- o -	0.10	0.10	0.10	- o -	
A-413	Mínimo	11.0	- o -	- o -	- o -	- o -	- o -	- o -	- o -	- o -	- o -	0.10 Resto
	Máximo	13.0	0.6	0.10	0.05	0.05	- o -	0.05	0.05	0.05	- o -	

COMPOSICION QUIMICA DEL ALUMINIO DE PRIMERA FUSION ALEADO PARA FUNDICION

( ALEACIONES ESPECIALES CLASE II )

		Si	Fe	Cm	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ca	Sn	Ti	Otros	Al
CJ-15	Mínimo	8.50	- o -	2.00	- o -	0.50	- o -	0.50	- o -	- o -	- o -	- o -	0.50	Resto
	Máximo	10.50	1.00	4.00	0.50	1.50	- o -	1.50	0.50	- o -	- o -	0.20		
CM-15	Mínimo	8.0	0.45	2.50	0.35	1.40	- o -	- o -	- o -	- o -	- o -	- o -	0.15	Resto
	Máximo	10.0	0.55	3.50	0.45	1.60	0.10	0.10	0.010	- o -	0.20			
CM-89	Mínimo	8.0	0.7	3.00	- o -	- o -	- o -	2.0	- o -	- o -	- o -		0.50	Resto
	Máximo	10.0	1.00	4.00	0.35	0.10	0.12	0.50	2.9	- o -	0.20	- o -		
CP-50	Mínimo	11.0	- o -	0.80	- o -	0.8	- o -	0.80	- o -	- o -	- o -	- o -	- o -	Resto
	Máximo	12.0	0.70	1.50	0.20	1.30	- o -	1.30	0.20	0.010	- o -	0.20	- o -	Resto

COMPOSICION QUIMICA DEL ALUMINIO DE PRIMERA FUSION ALEADO PARA FUNDICION

( ALEACIONES MAESTRAS CLASE III )

		Si	Fe	Cm	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Sa	Ti	Otros	Al
H 2312	Mínimo	11.0	- o -	- o -	- o -	- o -	- o -						- o -
(2312)	Máximo	13.0	0.35	0.10	- o -	- o -	- o -	- o -	- o -	- o -	- o -	0.05	- o -

RESISTENCIA A ELEVADAS TEMPERATURAS.

La tensión decrece con el aumento de la temperatura ambiente.

La resistencia y dureza baja a 250°C con el correspondiente aumento en elongación.

Otras propiedades físicas de la aleación IM-6 son:

Gravedad específica . . . . .	2.65
Peso por Pulgada Cubica . . . . .	0.096
Rango de Solidificación . . . . .	575 - 565°C

Contracción Sólida . . . . . 1.3% o 1/75

La modificación de estas aleaciones se hace de acuerdo con los métodos explicados en el capítulo de la Modificación, como son las adiciones de fluoruros alcalinos, sodio metálico o sodio tratado al vacío.

El efecto de la Modificación en todas las propiedades mecánicas de la aleación es muy marcado, pero en mayor proporción en ductilidad y tenacidad.

La siguiente tabla proporciona datos de lingotes antes y después de la Modificación ( Unidades Inglesas ).

Propiedades Mecánicas	Aleación sin modificar.		Aleación Modificada.	
	Molde de Arena	Molde de Permanente	Molde de Arena	Molde de Permanente
Máxima Resistencia a la Tensión (Ton/pulg. <sup>2</sup> )				
Mínima - - - - -	6.0	9.0	10.5	13.0
Promedio - - - - -	7.0	10.0	11.5	14.5
Elongación (% en 2 pulgs)				
Mínima - - - - -	1.0	2.0	5.0	7.0
Promedio - - - - -	3.0	4.0	8.0	14.0
Resistencia al impacto, Izod (ft/lb)				
Mínima - - - - -	—	--	4.0	6.0
Promedio - - - - -	0.5	1.0	5.0	7.0

## CONTAMINACION CON FIERRO.

Cuando las aleaciones IM-6 y IM-20 no responden al tratamiento de Modificación con la cantidad requerida de Sodio, en este caso con frecuencia la fractura se ve afectada por Fierro Beta en forma de -- platos quebradizos, cuando el Fierro se encuentra en exceso.

Para suprimir la formación de Fierro Beta, ha sido estipulado que suficiente Manganeso debe estar disponible a satisfacer la ecuación siguiente:

$$\text{Mn}\% = 2 \times (\text{Fe}\% - 0.5)$$

Para asegurarse que el Fierro no ocurra en forma nociva, un -- exceso de Manganeso que el indicao por la ecuación debe estar pre -- sente.

Como todas las aleaciones de Aluminio las IM-6 y IM-20 tienen la habilidad de formar óxidos en cantidades considerables y absorber Hidrógeno cuanel el metal se encuentra en estado líquido. El uso de fundentes y desgasificantes son esenciales en el proceso -- de fusión.

## PROCESO DE LA FUSION.

- a.) Calentar el crisol al rojo y cargar lingote, chatarra, -- retorno, etc.
- b.) Cuando la carga ha sido añadida, espolvorear en la super -- ficie del metal un fundente sales alcalinas a razón de -- 250 gr., por cada 50 Kgs., de carga.
- c.) Detenga el calentamiento o remueva el crisol del horno, cuando la temperatura ~~de fusión~~ llegue a 760°C. La -- fusión retendrá su calor o simplemente se equilibrará.
- d.) Espere hasta que la temperatura empiece a descender y -- entonces refine usando 0.10 a 0.20 % del peso de la car -- ga.

NÓTA: Las tabletas son sumergidas al baño por medio de una campana perforada, orille el fundente antes de intro -- ducir la tableta. Separe la campana hasta que la -- acción haya cesado.

· **IMPORTANTE:** Todas las herramientas que son introducidas al baño deben ser pintadas con materiales refractarios, no solamente para prolongar su vida, sino también para evitar la contaminación de la aleación por el Hierro.

- e.) Terminada la refinación del grano, se procede a desgasificar usando de 0.10 a 0.20% del peso de la carga.
- f.) Después de desgasificar y con el baño a una temperatura de 720 - 740°C sumerja la cantidad correcta de Sodio usando la campana perforada señalada con anterioridad, asegurándose - de que este limpia y no tenga trazas de Sodio de previos -- tratamientos, agite con movimientos de sube y baja varias - veces, sin rebasar la superficie del baño hasta que cese la reacción y retire la campana.
- g.) Aplique más fundente espolvoreandolo en la carga usando - - 250 grs. por cada 50 Kgs., de carga, permitiendo que repose de 5 a 10 minutos. Este proceso es necesario para permitir que la modificación llegue a su máximo.

El tiempo que debe de permanecer depende de el volúmen de la - carga, pero este no deberá exceder de 5 minutos para fusiones menores de 50 Kgs., las cuales deberán vigilarse cuidadosamente.

- h.) Finalmente remueva la capa fundente superficialmente hasta obtener una escoria rojiza. Esta será una escoria polvo - riente y fácil de eliminar.
- j.) Elimine la escoria y vacie a la mayor brevedad posible.

#### TEMPERATURAS DE VACIADO.

Las siguientes temperaturas de vaciado son regularmente usadas para piezas de diferente sección en moldes de arena.

<u>PIEZAS</u>	<u>S E C C I O N</u>	<u>TEMPERATURA</u>
Ligeras	Menor de 1/2 Pulg. (12.5mm)	730°C
Medianas	1/2 a 1/2 pulg. (12.5 a 37.5 mm)	710°C
Pesadas	Más de 1 1/2 pulg. (37.5 mm)	690°C

<u>ARENAS DE MOLDEO</u>	<u>ARENA NATURAL</u>	<u>ARENA SINTETICA</u>
Finura de Grano No.- AFS	<u>100 - 120</u>	80 - 100
Contenido de Arcilla	8 - 10%	4% agregado (por ejemplo de Bentonita)
Contenido de Humedad	4 - 7 %	3 - 4%
Permeabilidad en Verde	20 - 30	40 - 50
Comprensión en Verde	7 lb./in <sup>2</sup>	51b./in <sup>2</sup>
En estandars AFS Pruebas de corazón	(0.005 Kgs./mm <sup>2</sup> )	(0.003 Kgs./mm <sup>2</sup> )

Para obtener la más uniforme superficie de la pieza, la aplicación de un material de revestimiento a molde a corazones es esencial.

#### USO DE LAS ALEACIONES Al - Si ( 10 - 13 % Si )

En general las piezas fabricadas con este tipo de aleaciones -- son tales como:

Tapas de motores eléctricos, Cajas de interruptores de luz, -- Colectores de aceite para máquinas de combustión interna, Pistones, etc., en ocasiones se han utilizado satisfactoriamente en piezas muy grandes tales como tapas de escotillas en barcos.

Las aleaciones de Aluminio - Silicio - Hiper - Eutécticas son esas aleaciones de Aluminio las cuales contienen más de la cantidad eutéctica 12.6% de Silicio, pero más específicamente de 18 O 26% de Silicio.

Este tipo de aleaciones tienen como ventaja un bajo coeficiente de expansión térmico. Esta aleación en la fabricación de pistones para máquinas de combustión interna en la última década ha sido considerable.

Probablemente la más importante ventaja que ha hecho posible el uso de las aleaciones hipereutécticas para pistones, ha sido el desarrollo de una técnica satisfactoria para producir una fina aleación de estructura homogénea.

En la solidificación de las aleaciones no tratadas, el Silicio es depositado en cualquiera de las dos formas, ya sea como un eutéctico con Aluminio, o como un constituyente primario junto con el Aluminio - Silicio eutéctico; las cuales caracterizan a las aleaciones de las series hipereutécticas. En cualquier caso el Silicio toma la forma de gruesas placas y agujas y este inherente tipo débil de estructura da a las aleaciones no tratadas sus pobres propiedades mecánicas.

Aleaciones conteniendo más del 13% de Silicio a saber el tipo hipereutéctico, presenta gruesas placas inmóviles de Silicio, -- igualmente después de intentar la Modificación con Sodio. Estas -- aleaciones generalmente son vaciadas en moldes de metal y consecuentemente debido al rápido rango de enfriamiento, la aleación no modificada exhibe antes una fina estructura eutéctica y esta es de alguna extensión refinada por el tratamiento modificación con Sodio.

La fase primaria, sin embargo, residuos relativamente inafectados irrespectivos desea que el Sodio este adicionado o no. Esta es la fase gruesa primaria no refinada la cual da a las aleaciones hipereutécticas las pobres propiedades físicas y mecánicas.

La modificación de estas aleaciones para tener mejores propiedades mecánicas fué llevado a cabo primeramente con enfriamientos rápidos (temples) pero no dieron las estructuras adecuadas.

Otra técnica utilizada es la adición de Sodio o haluros de Sodio (NaF). Al efectuar la adición en las condiciones favorables o adecuadas se produce un cambio de estructura, hay dendritas de Aluminio primario repartidas en una matriz fina de eutéctico, en la que el Silicio es ya globular y no acicular.

El resultado es una estructura globular de mejores características mecánicas.

Desgraciadamente, este efecto (Modificación) con Sodio no es permanente y se desvanece por sobrecalentamiento o por sucesivas refusiones.

El Fósforo es el elemento más efectivo en las aleaciones Hipereutécticas de Al-Si, permaneciendo su efecto hasta la tercera refusión. El Fósforo añadido a las aleaciones Hipereutécticas de Al-Si, produce una sobresaliente refinación del Silicio primario.

Esta mostrado que el Fósforo y el Aluminio formados en -- núcleos de AlP (Fosforo de Aluminio), y que este compuesto posee todas las cualidades las cuales favorecen la nucleación del Silicio, tal como una idéntica estructura de regilla y muy similar -- parámetro de regilla.

Esta considerado que esta introducción de nucleante (AlP) el cual causa el refinamiento de la fase del Silicio primario y retarda la modificación del eutéctico cuando esta aleación es vacía da en moldes fríos o moldes permanentes.

Técnicas metalúrgicas usando estos agentes refinadores de grano son ahora una parte aceptada de la producción de pistones de Aluminio - Silicio Hipereutéctico a producir estructuras homogéneas de extrema finura.

No sólo es la fina estructura esencial de llevar a cabo, - las requeridas propiedades físicas, pero la distribución uniforme de finos cristales de Silicio mejora apreciablemente las propiedades mecánicas de la aleación.

Una fina estructura homogénea, como quiera, es capaz de producir una muy suave superficie con pistones consecuentemente mejorados en -- propiedades de funcionamiento y una reducción de consumo de aceite.

Para obtener una Modificación permanente se consideran los si -- guientes elementos : mezclas de Fósforo rojo y haluros alcalinos a -- las aleaciones de Al-Si hipereutéticas se consigue un afino de grano, si bien este efecto desaparece a la tercera refusión, un calentamien -- to de la coquilla afina el grano.

El Sodio afina el grano. El borbotado de  $Cl_2$  reduce las dendri -- tas. El Fósforo rojo no afina el Silicio. Un sobrecalentamiento a --  $900^{\circ}C.$ , modifica el Silicio primario. La adición de AlP reduce el -- Silicio primario. El  $Mn_3P$  y el  $Mg_3P$  son eficaces. El ZnS y MnS son menos eficaces.

El Hierro en proporción baja de (0.13%) prolonga la duración de la estructura fina del grano, si bien no debe utilizarse por sus efectos perniciosos sobre las propiedades mecánicas.

La influencia del Sodio solo dura 3 horas siendo necesario -- adicionar sales cada 30 minutos.

La presencia de AlP en aleaciones Al-Si, favorece la cristali -- zación previa del Silicio primario pues hace de germen de cristaliza -- ción. El Sodio anula esta influencia perniciosa haciendo que crista -- lice primero el Aluminio en forma de dendritas. Un enfriamiento rapi -- do afina el grano.

Otros elementos tales como el telurio en adiciones de 0.04 a -- 0.4% modifica perdurablemente la estructura de la aleación A-S 13, -- si bien esta modificación no va acompañada de mejoras en las caracte -- rísticas mecánicas.

El Estroncio tiene efecto análogo al Sodio, como él desapare -- ce a las dos horas de fundirse la carga. La adición de 0.4 a 1% mo -- difica la estructura y su acción sobre las características mecánicas dura más de una hora. Sin embargo el afinado es menos eficaz que con sodio.

El Calcio es menos eficaz que el Sodio. Por encima del 0.02% comunica un aspecto característico a la superficie de los lingotes y provoca contracciones externas importantes en las piezas. Disminuye el alargamiento de probetas coladas en arena; es indeseable en las --

aleaciones Al-Si y se elimina lentamente después de un mantenimiento en estado líquido.

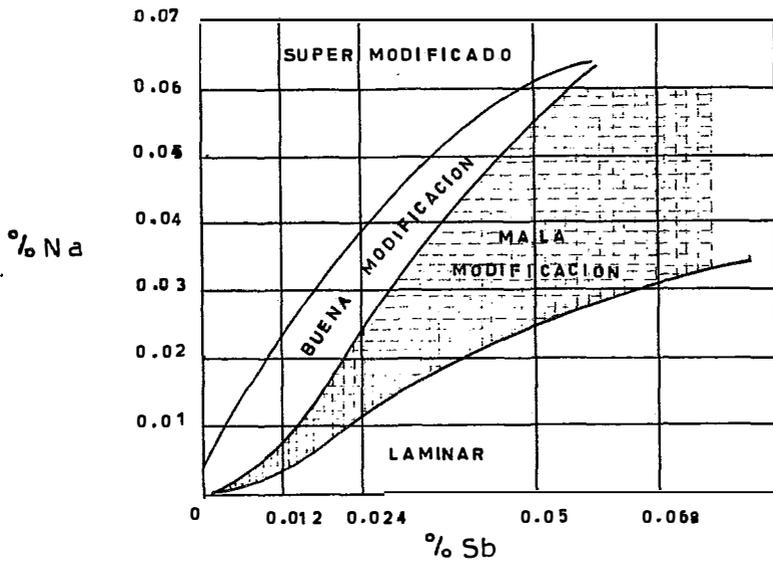
INCOMPATIBILIDAD DEL SODIO Y DEL ANTIMONIO EN EL TRATAMIENTO DE LAS  
ALEACIONES Al - Si.

Partiendo de una aleación A-Si<sub>3</sub> a estructura granular, se --  
obtienen diferentes estructuras por medio de adiciones de Sodio y --  
Antimonio vaciándolos en arena y moldes permanentes. Una dosis de --  
0.6% de Antimonio, es posible llegar a las estructuras modificadas  
aumentado la dosis de Sodio hasta que el antimonio se eleve.

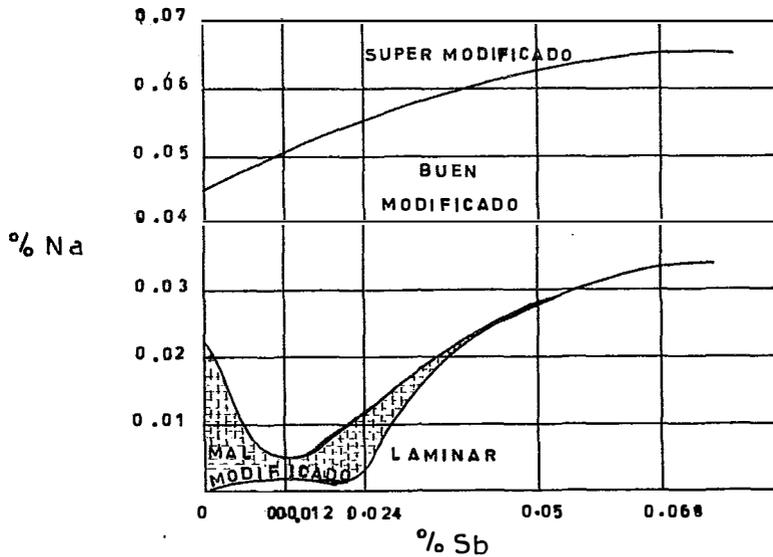
En efecto el tratamiento por el Sodio ( o los flujos sólidos  
" Sodes "), elimina una parte del Antimonio de la aleación. Así co  
mo la adición máxima de 0.20 % ha conducido después del tratamiento  
con Sodio, a un cuerpo conteniendo 0.065 %.

Comparando los dos diagramas, se ve el límite de la estructu-  
ra laminar es poco sensible a la velocidad del enfriamiento. Por el  
contrario, la propiedad de la " Buena Modificación ", es muy reduci-  
da por el vaciado en arena. También se ven o se observan curiosas -  
microestructuras donde las señales tradicionales de la baja modifi -  
cación y de la sobre modificación son practicamente sobrepuestas.

El Antimonio tiene un efecto modificante inferior al del Sodio,  
solo influye en las características mecánicas si el Silicio es menor  
de 11.5% y si el enfriamiento es rapido. Su efecto perdura más de -  
4 horas en estado líquido o después de una refusión.



Estructura del  $A-Sl_3$  vaciada en arena en función de los cuerpos conteniendo una substancia dosificada de Sodio y Antimonio.



Estructura del  $A-Sl_3$  vaciada en molde permanente en función de los cuerpos conteniendo una substancia de Sodio y Antimonio.

Hay que tener precaución de no mezclar chatarras que hayan -- sido tratadas con Sodio y Antimonio ya que se ve que se neutralizan sus efectos.

#### CARACTERISTICAS DE FUNDICION.

Las características de las piezas de estas aleaciones hacen a ellas algo dificultoso a manejarlas en la fundición.

Cuidadosamente controladas técnicas de fundición son requeridas con especial atención hacia el tratamiento refinación de grano.

Más de estas aleaciones tienen excelente fluidez pero están sujetas a series defectos de contracción si las piezas no son alimentadas con aumentos adecuados.

Son raramente usadas para producción de piezas en arena, pero satisfactoriamente piezas han sido producidas usando el molde y técnicas de funcionamiento las cuales aplicadas a las más comunes aleaciones de Aluminio - Silicio.

Las temperaturas de fusión para las aleaciones hipereutécticas son significativamente más altas que para otras aleaciones de Aluminio. Un cuidado extra debe por tanto ser tomado a evitar indebida oxidación y el levantamiento de gas. Debido a que las aleaciones - contienen algo de Magnesio y las temperaturas son altas, extensiva desgasificación puede ser necesaria a producir un nivel satisfactorio de gas en la fusión.

#### PROCEDIMIENTO DE FUSION.

Más de estas aleaciones contienen entre 0.5 y 2.0% de Magnesio y ellas por tanto presentan una fuerte tendencia hacia la formación de inclusión de óxidos. Estas inclusiones son a menudo detectadas durante el proceso de maquinado y es muy fácil identificarlas como espacios negros duros. Por lo tanto es esencial que estas aleaciones deben ser tratadas con una técnica de fusión la cual reducirá la tendencia a la formación de inclusiones de óxidos

y también algún fracaso total el cual pasa a ser producido durante el proceso de fusión.

Es también más esencial el uso de fundentes los cuales no contengan Sodio, porque la presencia de este elemento causa la formación de fósforo de sodio ( $\text{Na}_3\text{P}$ ), el cual levanta como una escoria, con lo cual evita la formación de núcleos de fósforo de aluminio. (AIP).

PROCESO DE FUSION RECOMENDADO.

- 1.) Cargue con lingotes y retornos o pedazos devueltos (desperdicios) de corredores o levantamientos.

Esta recomendado que para altas calidades de trabajo la cantidad de lingote virgen debe ser por lo menos el 50% esto asegurará que una excesiva contribución de Fósforo (de tratamientos previos con agentes modificadores) no suceda y también asegurar que la aleación se conserve dentro de especificación.

- 2.) Tan pronto como (parte de la carga) llegue a una condición pastosa, espolvorear sobre la superficie fundente a formar una capa.

(Regularmente 250 gr. por 50 Kg. de carga)

- 3.) Añada el resto de la carga y funda rápidamente conservando la capa del fundente intacto lo más que sea posible.
- 4.) Cuando una temperatura de casi  $780^{\circ}\text{C}$ . ha sido alcanzada, detenga el calentamiento o remueva el crisol del horno. Allí debe haber suficiente calor en el crisol y las paredes del horno a conservar la temperatura del metal fundido (fusión constante).
- 5.) Con la temperatura de aproximadamente  $780^{\circ}\text{C}$  sumerja agentes refinadores (nucleantes) en el rango de por lo menos 0.25%. Experiencias han mostrado que es generalmente necesario a usar aproximadamente 150 gr. de esos materiales refinadores de grano por cada 50 Kgs. de meta.

- 6.) Por este tiempo la temperatura del metal estará ligeramente baja y la fusión debe ser desgaseada, por el método que sea más conveniente.
- 7.) Escorie la fusión limpiando y aplicando otra capa de fundente. Bañe el fundente debidamente dentro de la fusión por agitación o por sumergido.
- 8.) Escorifique y vacie sin demora.

Las temperaturas de colada para todas las aleaciones Hipereutécticas de Aluminio - Silicio son más altas que para las piezas de las aleaciones de Aluminio convencional.

#### TRATAMIENTO TERMICO.

Estas aleaciones reponen bien al tratamiento térmico y se mejoran tensiones y propiedades de dureza son obtenidas después de tratamientos de solución y estabilización. Un típico ejemplo de tratamiento térmico Solución a una temperatura de 510°C, por 6 horas a templar en agua 85°C donde un período de 20 horas a 227°C y finalmente al aire frío.

#### APLICACION DE ALEACIONES HIPEREUTECTICAS DE ALUMINIO - SILICIO

Este tipo de aleaciones son aplicadas en la industria automotriz, como en pistones, brazos soportes, cilindros para vapor, tambores, cabezas para cilindros, tapas, etc.

Generalmente hablando, estas aleaciones son hechas o vaciadas en moldes permanentes vaciadas por gravedad.

Las siguientes tablas de aleaciones hipereutécticas son las más típicas usadas para máquinas de combustión interna en Europa, America y Asia.

ALEACIONES TÍPICAS DE ALUMINIO - SILICIO HIPEREUTÉTICAS.

	Si	Cu	Mg	Fe	Mn	Ni	Zn	Cr	Ti	Co
Americana	20.0	2.0	1.0	- o -	0.5	- o -	- o -	- o -	- o -	- o -
Americana	21.0	1.6	0.7	- o -	0.5	0.4	- o -	- o -	- o -	- o -
Americana	21.3	1.37	0.38	1.28	0.02	0.01	0.09	- o -	0.03	- o -
Americana	21.4	1.32	1.9	0.3	0.3	0.3	- o -	- o -	- o -	- o -
Francesa (A-520-U)	20.0	2.0	0.1	0.8	0.1	0.1	0.05	- o -	0.1	- o -
Alemana (Nural)	17.0	1.0	1.0	0.8	0.5	0.5	0.2	0.5	0.2	- o -
Alemana (Nural)	23.5	1.0	1.0	0.8	0.2	0.9	0.2	0.5	0.2	- o -
Alemana (K.S.280)	21.0	1.5	0.5	0.7	0.7	1.5	0.2	0.8	0.2	- o -
Alemana (K.S.281)	20.0	1.5	1.5	0.7	0.5	0.5	0.2	- o -	- o -	- o -
Alemana (K.S.245)	14.0	1.5	0.7	- o -	1.0	1.5	- o -	- o -	- o -	- o -
Alemana (K.S.Alusil)	20.0	1.5	- o -	- o -	- o -	0.5	- o -	- o -	- o -	- o -
Japonesa	22.0	2.8	0.5	- o -	- o -	0.9	- o -	1.1	0.2	- o -
Británica LM 28	17-20	1.3-1.8	0.8-1.5	0.7	0.6	0.8-1.5	0.2	0.6	0.2	0.5
Británica LM 29	22-25	0.8-1.3	0.8-1.3	0.7	0.6	9.8-1.3	0.2	0.6	0.2	0.5
Británica LM 30	16-18	4.0-5.0	0.4-0.7	1.1	0.3	0.1	0.2	- o -	0.2	- o -

PROPIEDADES MECANICAS MINIMAS DE LAS SERIES L M

BS 1490	MOLDE DE ARENA			MOLDE PERMANENTE			
	0.2% Prueba de Resistencia $\frac{N}{MM^2}$	Resistencia a la Tensión	% Elongación	0.2% Prueba de Resistencia N / MM <sup>2</sup>	Resistencia a la Tensión	% Elongación	
LM 28 - TE	- o -	- o -	- o -	170	170	- o -	90 - 130
LM 28 - TF	- o -	120	- o -	160	190	- o -	100 - 140
LM 29 - TE	120	120	- o -	170	190	- o -	100 - 140
LM 29 - TF	120	120	- o -	170	190	- o -	100 - 140
LM 30 - M	- o -	- o -	- o -	150	150	- o -	- + o - -
LM 30 - TS	- o -	- o -	- o -	160	160	- o -	- + o - -

T E - TRATADAS TERMICAMENTE ( PRECIPITACION )  
 T F - TRATADAS TERMICAMENTE SOLUCION Y PRECIPITACION  
 M - COMO PIEZA FUNDIDA  
 T S - ESFUERZOS (RELEVADOS)



ASUNTO: Norma Oficial de Método de Prueba para la Determinación de " Silicio en Aleaciones de Aluminio " . - DGN-W-75-1971.

1. ALCANCE

La presente Norma establece dos métodos para la Determinación de Silicio en Aleaciones de Aluminio.

1.1. Método A.

Se utiliza cuando se tienen concentraciones de Silicio menores de 0.25%.

1.2. Método B.

Se utiliza cuando se tienen concentraciones de Silicio mayores de 0.25%

2. APARATOS Y EQUIPO.

Cápsula de porcelana.  
Vaso de cobre.  
Crisol de porcelana.  
Crisol de platino de 20 ml.  
Vidrio de reloj de 12 cm. de diámetro.  
Embudo de filtración rápida.  
Papel filtro (porosidad media).  
Papel tornasol.  
Vaso de precipitados de 250 ml.  
Vaso de precipitados de 400 ml.  
Material común de laboratorio.

3. MATERIALES Y REACTIVOS.

Los reactivos que a continuación se mencionan deben ser reactivos analíticos, a menos que se indique otra cosa. Cuando se hable de agua, se debe entender agua destilada.

Mezcla ácida Núm. 1.

Se colocan en un matraz de 1000 ml. 350 ml. de agua y se mezclan con 250 - ml. de solución de ácido sulfúrico 1:1, 200 ml. de ácido nítrico concentrado

t 200 ml. de ácido clorhídrico concentrado.

Solución de ácido clorhídrico 1N.  
 Solución saturada de ácido sulfhídrico.  
 Solución de ácido nítrico 3N.  
 Solución de ácido perclórico al 70%.  
 Solución de agua oxigenada al 3%.  
 Solución ácido sulfúrico 9N.  
 Solución de hidróxido de sodio al 30%.  
 Solución de ácido sulfúrico 1:10.  
 Solución de acetato de amonio.

Se pesan 300 g de acetato de amonio, se colocan en un matraz volumétrico de 1000 ml. y se afora.

Solución lavadora de acetato de amonio.

Se toman 25 ml. de solución de acetato de amonio, se colocan en un vaso de precipitados de 200 ml., se agregan 100 ml. de agua caliente y se añade — rojo de metilo suficiente para que de reacción ácida con el ácido acético.

#### 4. PROCEDIMIENTO.

##### 4.1. Método A.

4.1.1. Se pesa 1.000 g de la muestra por analizar, se coloca en una cápsula de porcelana y se cubre con vidrio de reloj.

4.1.2. Se agregan 30 ml. de la mezcla ácida Núm. 1 y se disuelve la muestra. Se calienta a ebullición hasta la aparición de humos blancos y se deja enfriar.

4.1.3. Se añaden 10 ml. de solución de ácido sulfúrico 9N y 75 ml. de agua caliente. Se calienta a ebullición, hasta disolución de las sales y en caso de turbiedad se agregan 3 gotas de solución de agua oxigenada al 3%.

4.1.4. Se pasa una corriente de ácido sulfhídrico hasta la total precipitación, y se filtra la solución a través de papel filtro (ver 6.1.1.). Se lava con pequeñas porciones de agua caliente (ver 6.1.2.).

4.1.5. Se agregan sobre el filtro 10 ml. de solución de ácido nítrico 9N, el residuo se lava con pequeñas porciones de agua caliente, hasta eliminar la acidez (papel tornasol).

4.1.6. El filtro y su contenido se colocan en un crisol de porcelana y se calcinan a una temperatura de  $100 \pm 50^\circ\text{C}$  hasta peso constante. Se sacan de la mufla, se colocan en un desecador y se pesan.

#### 4.2 Método B.

4.2.1. Se pesan 0.500 g. de la muestra por analizar, se colocan en un vaso de cobre 125 ml. y se añaden 3 g de hidróxido de sodio.

4.2.2. Se agregan 2 ml. de agua y se tapa el vaso. Cuando la reacción ha cesado, se añaden 12 ml. de agua, y se calienta a una temperatura de  $100 \pm 20^\circ\text{C}$  hasta sequedad.

4.2.3. Se deja enfriar, se añaden cuidadosamente 10 ml. de solución de agua oxigenada al 3% se mezcla y se evapora. Se agregan 15 ml. de agua y se agita hasta que el residuo se disuelva. Se deja enfriar.

4.2.4. Se transfiere la mezcla a un vaso de precipitados de 400 ml. y se lava el vaso de cobre con 7 ml. de solución de ácido clorhídrico 1N y enseguida con pequeñas porciones de agua caliente; los lavados se vierten al vaso de precipitados.

4.2.5. Se añaden 5 gotas de solución de ácido nítrico 3N y 17 ml. de solución de ácido perclórico (ver 6.1.3.). Se calienta a ebullición hasta la aparición de humos blancos y se cubre con un vidrio de reloj; se calienta durante 15 minutos más.

4.2.6. Se deja enfriar y se agregan 70 ml. de solución de ácido clorhídrico 1N caliente y se agita.

4.2.7. Se filtra la solución rápidamente a través de papel filtro (ver 6.1.1.), y se lava cuidadosamente con agua caliente y con 15 ml. de solución de ácido sulfúrico 1:10 que contengan 5 ml. de solución de agua oxigenada al 3%, procurando que el papel quede totalmente húmedo. Finalmente se lava con pequeñas porciones de agua caliente hasta la eliminación de sales solubles.

4.2.8. Se coloca el papel filtro con su contenido en un crisol de porcelana (ver 6.1.4.), y se calcina a una temperatura de  $1000 \pm 50^\circ\text{C}$  hasta peso constante. Se saca de la mufla el crisol, se coloca en un desecador y se pesa el residuo.

#### 5. CÁLCULOS Y RESULTADOS.

La cantidad de Silicio en tanto por ciento, se calcula con la siguiente expresión :

$$\text{Si } \% = \frac{G_1 \times 45.72}{G}$$

Donde :

$G_1$  = Gramos de residuo obtenidos.

G = Gramos de muestra.

## 6. APENDICE .

### 6.1. Observaciones .

6.1.1. Se recomienda usar papel filtro Watlman No. 40, o similar.

6.1.2. En caso de encontrarse plomo en la solución, el lavado se hace con una solución lavadora de acetato de amonio y agua caliente.

6.1.3. Cuando se encuentra estaño en la muestra, se substituye el ácido nítrico por ácido bromhídrico y gotas de solución de agua oxigenada.

6.1.4. La muestra se debe evaporar cuantas veces sea necesario hasta la ausencia total de sílice.

6.1.5. La sílice calcinada debe estar blanca, en caso contrario debe hacerse un nuevo análisis siguiendo el método con el ácido perclórico.

6.1.6. Cuando la muestra contenga cantidades apreciables de plomo, cobre, antimonio o estaño, conviene consultar el método " Standard " Núm. 101 de " Aluminium Laboratoried Limited "

México, D. F. a 9 de Septiembre de 1971.

El estudio de las características tecnológicas de las aleaciones es, a juicio de muchos el camino que ha proporcionado a la fundición - más conocimientos teóricos. Si la fundición de aluminio se va convirtiendo con el paso del tiempo en una ciencia, ello es debido a las bases proporcionadas por el análisis de las propiedades de las aleaciones. Por eso la determinación, estudio y aplicación de estas propiedades, tiene una gran importancia especial en el desarrollo tecnológico.

La tecnología metalúrgica siempre ha estado fundamentada en experiencias, en este sentido, se han ideado todo tipo de ensayos, y se han sometido los materiales a las más variadas pruebas.

La propia producción en las fabricas es una fuente continua de datos empíricos, y da ocasión a múltiples experiencias. Cuando la - continuidad propia de las fabricaciones rutinarias, se rompe esporádicamente rota por hechos inesperados, se muestra en cierta forma el dominio de la tecnología, y la necesidad de su continuo perfeccionamiento. Esto invita a los técnicos a un mayor control de proceso.

Bajo el criterio económico de la industria, por lo que respecta a las fundiciones, las dificultades técnicas suelen ser siempre - defectos en las piezas moldeadas. El estudio de estos defectos es - algo complicado, pero a veces la realidad permite ciertas simplificaciones por las cuales puede aparecer responsable de tales problemas, el metal utilizado en el moldeo.

Tal vez lo que se precise sea el concepto de una sola propiedad moldeabilidad, que comprende a todo. Un solo ensayo que ponga a -- prueba todo y en condiciones de producción como es el moldeo de una pieza, y la medida única posible, la de los defectos que aparezcan, todos con igual probabilidad de aparecer, pero sólo presentes los críticos en cada caso concreto.

## CARACTERISTICAS TECNOLOGICAS.

Las propiedades de fundición de las aleaciones dependen de una reunión o mezcla de distintas características físicas y químicas que se manifiestan en las condiciones prácticas. De esta definición se deduce la necesidad de analizar, además de los resultados prácticos obtenidos, las condiciones tecnológicas reales de la colada.

Se ha definido el concepto de moldeabilidad como propiedad en la que se encuentra una justificación científica a los diferentes fenómenos presentes en el moldeo de las piezas, y que se pueda aplicar a todos los casos. Por lo que respecta al metal, con él se quiere expresar:

- a.) Las características de un material para que con él se -- puedan obtener piezas moldeadas (en este caso a partir del aluminio fundido).
- b.) Una característica que quiere indicar la bondad de un -- material o un proceso para obtener piezas por moldeo.
- c.) Un conjunto de características tecnológicas de fundición.

En la moldeabilidad de las aleaciones diferenciamos una serie de conceptos que ayudan a comprender y estudiar el problema, dándonos la base científica de análisis. La moldeabilidad de las aleaciones consideramos que es el conjunto de las siguientes características :

- a.) Colabilidad
- b.) Contracción Volumétrica
- c.) Características de Tensión
- d.) Solubilidad de Gas
- e.) Sensibilidad al Espesor
- f.) Estructura Metalográfica, etc.

Solo serán de valor práctico estas características cuando sus valores estén asociados a los factores reales de fundición.

## A. INTRINSECOS

A.1 Características del Metal mismo.

A.2 Influencia de las propiedades introducidas en el metal.

## B. EXTRINSECOS

B.1 Los valores de las variables del metal en estado líquido

B.2 La influencia de las condiciones de colada y solidificación

B.3 Las condiciones térmicas y mecánicas de enfriamiento.

Estudiando estos factores es posible conocer la calidad, las características de una pieza y su producción.

COLABILIDAD.- Es la aptitud de un metal para llenar y reimprimir la cavidad de un molde. La finalidad de su estudio tiene un doble objetivo. El estudio de los moldes y el conocimiento de las aleaciones.

Un análisis completo de la colabilidad se compone de los siguientes datos:

A.- Mecanismo de fluir del metal en el molde (ver tabla I)

B.- Intensidades de las corrientes

C.- Lugar donde las masas fundidas se localizan en el molde

D.- Los efectos generales de la forma del molde y de las condiciones de vertido.

Sobre la colabilidad de las aleaciones influyen los conceptos que a continuación se exponen, como consecuencia de estudios realizados sobre esta propiedad.

A.- Composición Química

B.- Mecanismo de Solidificación

B<sub>1</sub> Mecanismo base o por obstrucción

B<sub>2</sub> Mecanismo punta o por detención

B<sub>3</sub> Mecanismo mixto o detención por obstrucción y detención

- C.- Tensión superficial en las partes de poco espesor
- D.- Contenido de gas, óxidos o inclusiones
- E.- Intervalo de solidificación y proporción de masa solidificada en cada parte del mismo.
- F.- Temperatura de metal
- G.- Constitución metalográfica de la aleación y tamaño, forma y distribución de la misma.
- H.- Calor específico y de fusión del metal.

Respecto al molde nos interesa considerar las siguientes variables:

- A. Temperatura del molde.
- B. Forma, diseño y dimensiones del molde
- C. Material del molde
- D. Difusividad, conductividad y capacidad térmica.

Para simplificar y comprender la colabilidad de un metal se hace necesario distinguir en él todavía otras propiedades como son:

**Fluidez** Es la distancia máxima que alcanza el metal en un canal de sección constante.

**Capacidad de Vertido** : Es la cantidad de metal que puede pasar por una sección y longitud predeterminada llenando un volumen.

**Líquidez** Es un concepto relacionado con los anteriores, se define como la longitud máxima de un canal con la cual el metal no pierde sus cualidades del fluido con el tiempo.

**Tiempo Crítico** ■ Es el que tarda en detenerse el metal al fluir por un canal de longitud algo mayor que la crítica.

Con el objeto de ver la aptitud de los metales se estudia esta característica de una forma general según los siguientes métodos ver tabla II.

Los moldes usados en fundición presentan frecuentemente grandes variaciones de sección transversal a lo largo de las distintas partes que integran la cavidad. Como consecuencia de la irregularidad apuntada, el fluido sufre variaciones de dirección y del régimen de movimiento. La solubilidad de gas en el metal en sus diversas formas adquiere más importancia.

Existe la posibilidad de que las características especiales -- del diseño intervengan sobre el mecanismo de la solidificación, lo cual puede reflejarse en la sensibilidad al espesor. De todo esto se desprende que el valor de las pruebas está restringido por sus condiciones ( ver tablas III, IV y V ).

#### CONTRACCION VOLUMETRICA.

El enfriamiento del metal va acompañado de un cambio de volumen de origen térmico, estructural y del cambio de estado. La importancia de esta característica es enorme respecto a la obtención de piezas sanas. El comportamiento del metal a este respecto depende de :

- A. La presencia de gas en el metal
- B. La composición química
- C. La temperatura del metal
- D. El intervalo de solidificación
- E. La constitución de la aleación
- F. El módulo de enfriamiento
- G. El método de moldeo
- H. El diseño del molde

La contracción volumétrica es el origen de diversos fenómenos estructurales en las piezas moldeadas, que dependen de la aplicación de las reglas de los módulos y de las zonas de acción, las contra -

cciones y presión exterior. Distinguimos dentro de la contracción volumétrica el origen tecnológico los siguientes conceptos:

Rechupe . - Es la mayor manifestación de la contracción que se localiza en una zona interna o externa de la pieza.

Microrrechupe . - La contracción a escala microscópica es -- otro componente que se debe tener en cuenta, sobre todo a efectos de compacidad del material. Se localiza en los límites de los granos.

Porosidad . - Parte de la contracción se reparte en zonas más o menos amplias del interior de la pieza o de su superficie. El -- aspecto es esponjoso cuando no existe contenido de gas que interfiera en el fenómeno, distribuyendolo principalmente.

Disminución de volumen . - El volumen ocupado realmente por -- el metal ha disminuido por la contracción. Este dato es suma de todos los componentes que la condicionan, combinados en las proporciones que las condiciones reales han fijado.

La contracción lineal. -- Interesa para muchos cálculos conocer los componentes lineales de la contracción.

Características de tensión. -- La aparición de las primeras estructuras del metal sólido y de enfriamiento posterior vienen acompañados por la contracción correspondiente. Si el metal no tiene suficiente resistencia para soportar la tensión creada, se originará una grieta.

Puesto que, durante el enfriamiento de la pieza, la temperatura no es la misma en todas las partes, y existen cambios de constituyentes metalográficos, se sigue originando en el metal un estado de tensiones y su estado de deformaciones equivalente. Esta aptitud intrínseca o extrínseca de crear tensiones y deformaciones depende de:

- A. La composición química del metal.
- B. La constitución de la aleación
- C. La relación metal solidificado - tiempo solidificación

- D. El contenido del gas
- E. El intervalo de solidificación
- F. La forma y tamaño del molde
- G. El tamaño y forma del grano y los constituyentes
- I.- El tiempo de desmoldeo
- J. El coeficiente de dilatación térmica

Las tensiones creadas en el interior de un material están en general relacionadas con su solidificación, contracción volumétrica y -- enfriamiento térmico. Las deformaciones creadas son en general elásticas, plásticas roturas y grietas. Una aleación afectada por un estado de tensiones ve modificada su maquinabilidad, soldabilidad, compacidad, resistencia mecánica, resistencia a la corrosión, estabilidad y tratadicidad.

Debemos distinguir como características componentes:

Agrietamientos en caliente . - La anisotermia en la solidificación conduce a esfuerzos en las estructuras del metal primeramente -- formado. Si tales estructuras se rompen, el metal se agrieta, pudiendo persistir esta grieta si no se rellena de nuevo. Ciertas aleaciones o condiciones de colada tienen especial facilidad para rellenar con nuevo metal líquido las grietas producidas, obteniéndose piezas sanas.

Susceptibilidad a tensiones internas . - Estas tensiones no tienen manifestación exterior en las primeras etapas de la vida de la pieza. Durante su manufactura en los siguientes pasos de la fabricación o en la utilización, dichas tensiones se pueden manifestar de diversas formas.

Deformación. - El estado de tensiones se manifiesta por los desplazamientos relativos de unas partes de la pieza con relación a otras. Tales desplazamientos pueden ser permanentes o transitorios, dependiendo de la plasticidad del material.

Agrietamientos Térmicos. Es la tendencia del metal a romperse bajo las tensiones creadas en su enfriamiento cuando todo el metal ya está solidificado.

### SOLUBILIDAD DEL GAS.

Entre las características intrínsecas del material conviene destacar por su importancia el contenido de gas en el mismo. El gas puede ser tomado en solución y puede estar en forma de burbujas. El origen está en la reacción metal - molde, la atmósfera y el vertido en el molde. La cuantía depende principalmente de:

- A. La composición química
- B. La temperatura
- C. Las características del molde
- D. Las condiciones de colada
- E. La humedad atmosférica
- F. La tensión superficial real

El contenido de hidrógeno en el metal tiene efectos favorables y desfavorables en cuanto a la compacidad de las piezas, la contracción volumétrica, la segregación inversa, el tamaño del grano, la resistencia mecánica, la resistencia a la corrosión, la conductividad térmica y eléctrica, la maquinabilidad, la densidad, el agrietamiento en caliente, la colabilidad, la soldabilidad, el anodizado y la facilidad para responder a tratamientos térmicos:

Conviene distinguir entre dos tipos de gas:

Contenido de hidrógeno .- Es el gas que más nos interesa controlar. Esta uniformemente distribuido en toda la masa, excepto el que procede de la reacción metal - molde, que es un caso que no se debe considerar por lo especial que es.

Contenido de aire . - Sus efectos son siempre negativos, pues suponen burbujas de tamaño grande, atrapadas en el interior de la pieza, cuando las condiciones de llenado del molde no han sido correctas, o el metal tiene gran cantidad de óxidos o natas que facilitan esta -- tendencia.

## SENSIBILIDAD AL ESPESOR.

Las distintas aleaciones se comportan de forma diferente al --aumentar su velocidad de solidificación. Las estructuras de las piezas dependen de esta velocidad de enfriamiento. El conocimiento de esta característica tiene importancia en el estudio de la resistencia mecánica, el tratamiento térmico, el anodizado, etc.

Asimismo el metal puede reaccionar de distinta manera cuando al fluir dentro del molde encuentra diferentes secciones y cambios de dirección, o en su enfriamiento la inercia técnica de unas partes es superior a la de otras. La sensibilidad al espesor de naturaleza hidrodinámica, térmica, mecánica, etc., y se ha diferenciado en dos propiedades:

Sensibilidad al espesor estructural. - Es la determinada por la naturaleza extrínseca de las variaciones de espesor a que se somete el metal, y que se refleja macroscópicamente y exteriormente en las piezas.

ESTRUCTURA METALOGRAFICA Una de las características más importantes de una aleación de Aluminio es su estructura metalográfica, la cual debe estudiarse en todo análisis del material.

Esta característica no es como otras (composición química, densidad, conductividad, resistencia, etc.), que, o no tiene influencia sobre la moldeabilidad, o bien su valor es una función perfectamente conocida de ciertas variables. La estructura metalográfica en cuanto a característica tecnológica se refiere a que tiene un sentido distinto al que corrientemente se entiende por esta propiedad.

Distinguimos los siguientes factores determinantes: -

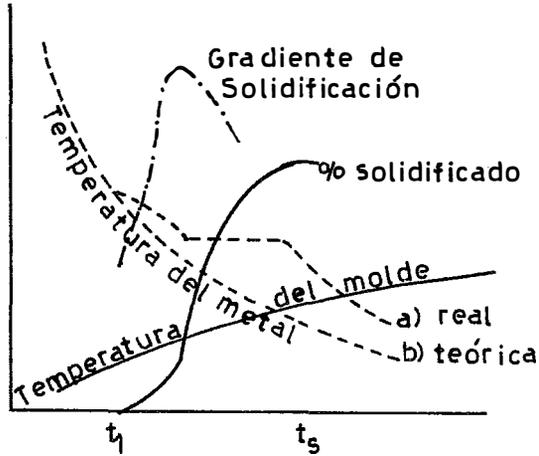
Tamaño de grano El tamaño de grano de cristalización, la distancia entre los brazos de las dendritas y el espesor de las células elementales tienen gran importancia para la moldeabilidad de las aleaciones a través de las distintas características.

La forma de cristalización . - La forma, agrupación y distribución de los cristales y constituyentes de la aleación puede variar de unas condiciones a otras, condicionado las propiedades del metal.

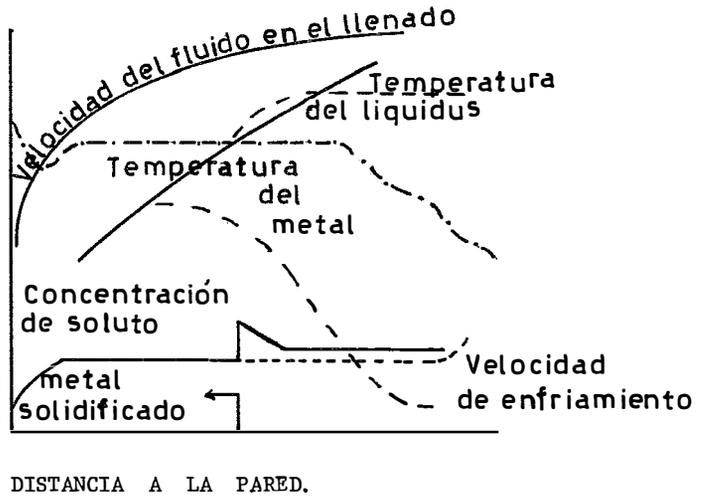
La porosidad, las inclusiones y otros elementos internos extraños Aunque no existe una relación directa entre estos huecos o inclusiones de materia, su efecto guarda una relación continua.

La segregación. - La creación de un gradiente de concentración en la propia materia es el origen de diferencias en su comportamiento.

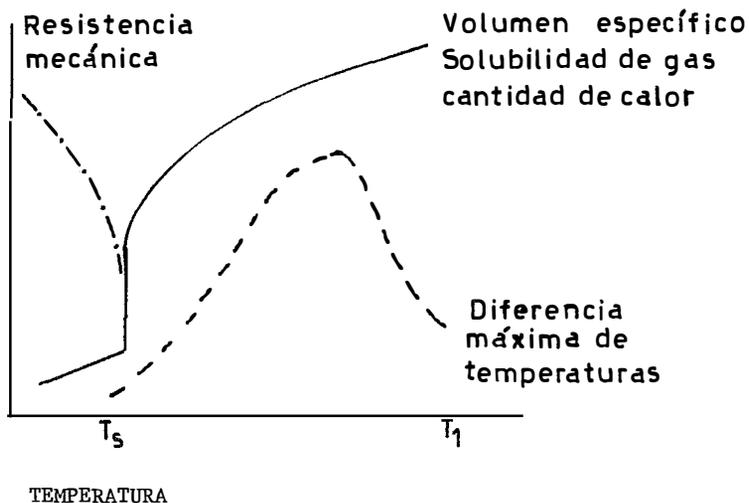
En las siguientes figuras en función de las cuatro dimensiones fundamentales ( masa, tiempo, longitud y temperatura ), se representan algunas de las variables interesantes en el estudio.



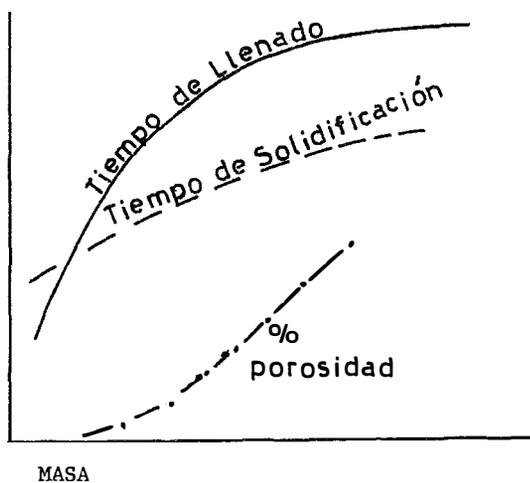
Variaciones de ciertas características en función del tiempo.



Variación de las características dependientes de la dimensión longitudinal.



Forma de variación de algunas características. Funciones de la temperatura.



Características que dependen de la masa.

TABLA 1.- MOLDEABILIDAD DE LAS ALEACIONES CONCEPTOS PRINCIPALES.

	COLABILIDAD	CONTRACCION VOLUMETRICA.	CARACTERISTICAS DE TENSION.	CONTENIDO DE GAS	SENSIBILIDAD AL ESPESOR	ESTRUCTURA METALOGRAFICA.
Mecanismos Determinantes.	Detención por frente sólido:	Solidificación direccional.	Coexistencia de sólido y líquido.	Movimiento turbulento.	De naturaleza: Hidrodinámica.	En los constituyentes y granos su:
	a)Obstrucción pura.	Fase en que se forman los distintos constituyentes.	Tipo cristalización	Solubilidad de gas.	Térmica	Tipo.
	B)Obtención por afluencia de cristales.		Fase en que se forman los distintos constituyentes.	Grado de vacío del del moldeo.	Mecánica.	Forma.
	Detención por solidificación pastosa.		Gradiente de temperatura.		Geométrica	Tamaño.
	Tensión superficial elevada.					Asociación.
Conceptos fundamentales Fundamentales	Esesor crítico- elevado.					Distribución.
	Fluidez.	Contracción en el líquido.	Agrietabilidad en caliente.	Contenido de gas por:	Sensibilidad intrínseca o estructural.	Tamaño del grano.
	Capacidad de flujo o vertido.	Contracción en la solidificación.	Tensiones internas.	a) Disolución b) Difusión.	Sensibilidad física.	Porosidad, inclusiones o elementos extraños.
	Liquidez o longitud crítica.	Contracción en el sólido.	Deformidad	Contenido en aire		La forma de cristalización.
Tiempo crítico.	Localización de las Contracciones	Agrietabilidad térmica			La segregación.	

TABLA 2.- MOLDEABILIDAD DE LAS ALEACIONES METODOS DE MEDIDA

	<u>COLABILIDAD</u>	<u>CONTRACCION VOLUMETRICA</u>	<u>CARACTERISTICAS DE TENSION</u>	<u>CONTENIDO DE GAS</u>	<u>SENSIBILIDAD AL ESPESOR</u>	<u>ESTRUCTURA METALOGRAFICA</u>
Características del metal	Canal rectilíneo	Moldes de:	Probetas rectilíneas	Metal líquido duran-	Efecto coquilla	Moldeado de:
	Canal en espiral	a) Tatur	Probetas anulares	te el ensayo	Probetas en cuña	Cilindros.
	Moldes en forma de:	b) Brizón-	Espesor constante y	Metal solidificado		Troncos de cono
	a) U invertida	c) Bultmann	variable.	durante el ensayo	Ensayo Jominy	
	b) Estrella				Sensibilidad espesor	Placas planas o
	c) Cono	d) Amer Bur Stand	Probetas en estrella		Probeta escalonada	escalonadas.
	d) Bola	e) Sifón	Probetas en U		Plana anular o cua-	Cuñas
	e) Arpa	f) Otros	Probetas cuadradas		dradas	Otras formas espe-
	f) Sifón		Probetas en arpa			ciales para ensayos
	Ensayo en vacío ver-	Ensayo punto caliente				múltiples.
tical u horizontal	Ensayo microrrechupe					
	Probetas en arpa.					
Características metal molde	Analogías eléctricas	Molde sin mazarote	Estudio tensiones	En piezas:	Capacidad de re-	Estudio destructi-
	hidráulicas		Solidificación	a) Destructivo	producir la super-	vo o no destructivo
	Moldes de cristal	Solidificación a pre-	Moldes especiales	b) No destructivo	ficie física.	de las piezas.
	Moldes con alambres	sión	Análisis extensomé-	En probetas:		
	Moldes abiertos		tricos	a) Densidad	Probeta en dientes	Variación del dise-
	Rayos X		Solidificación con	b) Estructura	de sierra.	ño de las piezas en
	Colada interrumpida		temple	c) Fusión	Contenido inclusio-	cuanto a diferencia
	Materias coloreadas			d) Perforación	nes( estructural):	en el molde.
				f) Rayos X.	Ensayos con pinturas	
	Pour- out- test.				o calent, especiales	

TABLA 3.- MOLDEABILIDAD DE LAS ALEACIONES FACTORES DETERMINANTES.

	COLABILIDAD	CONTRACCION VOLUMETRICA	CARACTERISTICAS DE TENSION	CONTENIDO DE GAS	SENSIBILIDAD AL ESPESOR	ESTRUCTURA METALOGRAFICA
Intrínsecos.	Composición química Densidad. Intervalo de solidificación. Tensión superficial. Contenido de gas. Constitución de la aleación. Calor específico de fusión.	Composición química Intervalo solidificación. Constitución de la aleación.	Composición química Intervalo solidificación. Constitución de la aleación Contenido del gas. Tamaño de grano. Coeficiente de dilatación.	Composición química Tratamiento del metal. Historia térmica. Solubilidad de $II_2$	Composición química Tratamiento del metal. Contenido del gas.	Composición química Tratamiento del metal. Historia térmica. Calor específico. Conductividad térmica.
Extrínsecos.	Temperatura metal y molde. Diseño del molde. Presión y contrapresión. Anisotermia. Módulo de enfriamiento. Tiempo de vertido.	Temperatura metal Módulo de enfriamiento. Diseño del molde. Método de moldeo Presión externa. Anisotermia.	Forma y tamaño del molde Velocidad de solidificación. Anisotermia. Temperatura	Velocidad de solidificación. Método de moldeo. Temperatura. Tipo de molde. Presión externa. Velocidad de llenado.	Temperatura Velocidad de enfriamiento	Temperatura. Velocidad de enfriamiento.

**TABLA 4.- MOLDEABILIDAD DE LAS ALEACIONES DEFECTOS POSIBLES EN LAS PIEZAS.**

	<u>COLEABILIDAD</u>	<u>CONTRACCION VOLUMETRICA.</u>	<u>CARACTERISTICAS DE TENSION</u>	<u>CONTENIDO DEGAS</u>	<u>SENSIBILIDAD AL ESPESOR</u>	<u>ESTRUCTURA METALOGRAFICA.</u>
EXTERNAS .	Piezas incompletas	Variación de volumen	Roturas	Porosidad externa.	Mala reproducción de los detalles.	Fragilidad
	Rechupes y contracciones anormales.	Rechupes superficiales.	Grietas	Huecos externos	Uniones frías.	Heterogeneidad superficial.
	Uniones frías.	Porosidad superficial	Deformaciones.	Problemas de llenado.	Rechupes en los cambios de espesor o grietas.	Rechupes especiales.
	Mala reproducción de detalles.	Hundimientos superficiales.				
INTERNAS	Falta de resistencia	Rechupes internos	Tensiones internas.	Porosidad interna.	Tensiones internas.	Por inclusiones:
	Inclusiones internas.	Porosidad interna.	Heterogeneidad metalográfica.	Huecos internos.	Heterogeneidad estructural.	Falta de resistencia y maleabilidad.
		Falta de resistencia.	Porosidad.	Falta de resistencia.	Porosidad de contracción.	Segregaciones.
		Mala maquinabilidad.	Grietas internas.	No tratable térmicamente.		Porosidad.
		No anodizable.	Falta de resistencia.	Mala maquinabilidad.		Estructura incorrecta.
		Sin compacidad.	Mala maquinabilidad,	No anodizable.		
			Sin compacidad.	Sin compacidad.		
			No tratable térmicamente.			



## TEORIAS DE LOS TRATAMIENTOS TERMICOS: TEMPLE, MADURACION REVENIDO.

### OBSERVACION PRELIMINAR IMPORTANTE :

El tratamiento térmico de temple se practica habitualmente para aumentar las características mecánicas de la aleación. La experiencia indica que únicamente ciertas aleaciones aumentan sus características -- (aleaciones Al-Cu, Al-CuMg, Al-SiMg, Al-ZnMg).

Si no se comprueban estos aumentos de las características en otras aleaciones (al-Si, Al-Mg), no puede decirse por ello que no se produzcan modificaciones estructurales que tengan acción sobre **otras** propiedades físicas : por ejemplo, la resistividad, el aspecto **después** de anodización, el aspecto micrográfico, la densidad etc.

### DESCRIPCION DEL FENOMENO :

Tomemos como ejemplo la aleación Al-Cu, las conclusiones que se pueden sacar se aplican en principio a todas las aleaciones.

Cuando se calienta una aleación Al-Cu, hasta la temperatura T, - (figura 8) y se deja enfriar muy lentamente hasta la Temperatura 0, próxima a la ambiente se obtiene como se espera, un metal constituido de fase a y fase B Al<sub>2</sub>Cu. Se dice entonces que el metal está en estado estable.

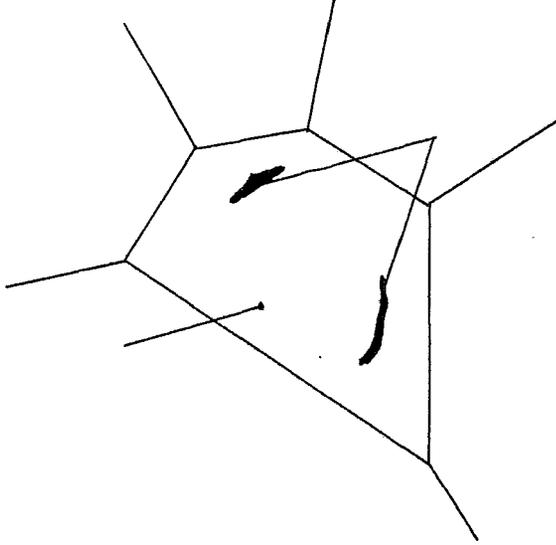
Sus características mecánicas son relativamente bajas.

Una micrografía (figura 15a) muestra la fase B Al<sub>2</sub>Cu repartida principalmente en los bordes de grano e igualmente en los granos.

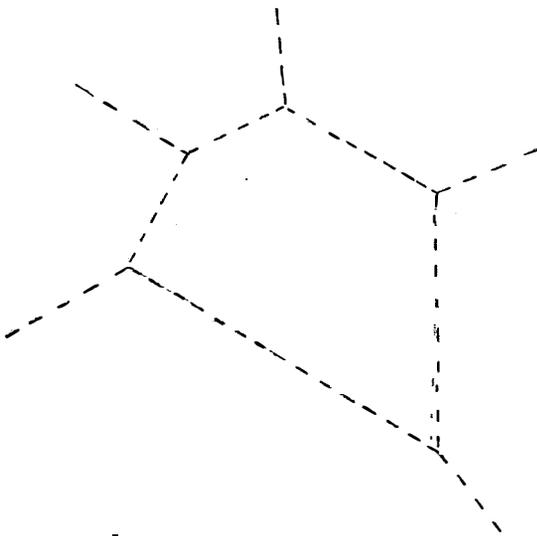
### TEMPLE :

Si , por el contrario, se enfría rápidamente esta aleación, por ejemplo por inmersión en agua fría, se comprueba que se obtiene una solución sólida homogénea en la que el compuesto Al<sub>2</sub>Cu ha desaparecido (figura 15b). Las características mecánicas son ligeramente superiores a las precedentes.

En este estado de sobresaturación se designa con el término de -- temple fresco fraiche.



15 a



15 b

# T E M P L E

## GENERALIDADES.

El objetivo del tratamiento térmico del temple es conservar tanto como sea posible la solución sólida que se forma a la temperatura de solubilización. Para ello se enfría desde dicha temperatura en forma brusca hasta una temperatura baja, normalmente próxima a la ambiente. Este tratamiento es, en muchos aspectos, el paso más crítico en la secuencia de operaciones de tratamiento térmico.

Si lo que se requiere es garantizar la solución sólida, parece lógico que se piense en buscar la velocidad más rápida posible.

Esto no es siempre válido, ya que hay que tener en cuenta que -- para determinadas secciones o formas, un enfriamiento muy brusco puede introducir demasiadas tensiones, e incluso romper el material. Sin embargo, las velocidades de enfriamiento grandes son buenas también para otras características, como resistencia a la corrosión bajo tensión.

## INTEVARLO CRITICO DE TEMPERATURA.

Si se da el temple para evitar que los constituyentes de la aleación que están en solución sólida precipiten, es necesario tener en cuenta que la velocidad de difusión que regula la precipitación es mayor a medida que lo es la temperatura. Por otra parte a medida que crece la temperatura es mayor la cantidad de soluto que permanece en solución sólida y por lo tanto, es menor la tendencia a precipitar.

Estos dos factores, velocidad de difusión y límite de solubilidad, contraponen y dan como resultado que la velocidad de precipitación es máxima para un intervalo de temperatura, lo que este es el denominador.

La velocidad de temple . - El temple y la velocidad del temple vienen condicionados por 3 factores fundamentales :

Características de la aleación forma y dimensiones del producto, y medio templante.

En piezas de forma sencilla se aplica la siguiente fórmula :

$$\log r \quad \log r \quad \log t$$

# T E M P L E

## GENERALIDADES.

El objetivo del tratamiento térmico del temple es conservar tanto como sea posible la solución sólida que se forma a la temperatura de solubilización. Para ello se enfría desde dicha temperatura en forma brusca hasta una temperatura baja, normalmente próxima a la ambiente. Este tratamiento es, en muchos aspectos, el paso más crítico en la secuencia de operaciones de tratamiento térmico.

Si lo que se requiere es garantizar la solución sólida, parece lógico que se piense en buscar la velocidad más rápida posible.

Esto no es siempre válido, ya que hay que tener en cuenta que -- para determinadas secciones o formas, un enfriamiento muy brusco puede introducir demasiadas tensiones, e incluso romper el material. Sin embargo, las velocidades de enfriamiento grandes son buenas también para otras características, como resistencia a la corrosión bajo tensión.

## INTEVARLO CRITICO DE TEMPERATURA.

Si se da el temple para evitar que los constituyentes de la aleación que están en solución sólida precipiten, es necesario tener en -- cuenta que la velocidad de difusión que regula la precipitación es mayor a medida que lo es la temperatura. Por otra parte a medida que crece la temperatura es mayor la cantidad de soluto que permanece en solución sólida y por lo tanto, es menor la tendencia a precipitar.

Estos dos factores, velocidad de difusión y límite de solubilidad, contraponen y dan como resultado que la velocidad de precipitación es máxima para un intervalo de temperatura, lo que este es el denominador.

La velocidad de temple . - El temple y la velocidad del temple vienen condicionados por 3 factores fundamentales :

Características de la aleación forma y dimensiones del producto, y medio templante.

En piezas de forma sencilla se aplica la siguiente fórmula ■

$$\log r \quad \log r \quad - K \quad \log t$$

En donde  $t$  es el espesor,  $r$  la velocidad de enfriamiento a media correspondiente a un espesor  $t$ . Y  $K$  es una constante.

La velocidad esta determinada por un medio templante. El medio que permite mayores velocidades es el agua, y dependiendo de la temperatura de está varia la velocidad. Dado que en el temple se forma una barrera de vapor alrededor de la pieza que hace el factor retardante en el temple.

El aire como medio templante solo se utiliza por razones económicas. La resistencia a la corrosión varia también con la velocidad del temple.

Se aconseja utilizar velocidades de temple superiores a las -- mínimas aconsejables para obtener las características mecánicas y la resistencia a la corrosión deseada.

VELOCIDADES DE TEMPLE = = = = =

ALEACION	DESIGNACION	TIEMPO - HORA
Al-3MgSi	L-2341	4 - 8
Al-12Si2Ni	L-2550	4 - 8
Al-12SiNi	L-2551	4 - 8
Al-10SiMg	L-2560	4 - 8
Al-5SiMg	L-2570	4 - 8
Al-5SiCuMg	L-2571	8 - 12
Al-5Si3Cu	L-2610	6 - 10
Al-7SiMg	L-2651	8 - 10

## MADURACION :

Si ahora se deja este metal a temperatura ordinaria ( o a una temperatura inferior de 75°C ), se comprueba después de un tiempo variable - ( en general varios días ), que las características mecánicas han aumentado considerablemente. Desde el punto de vista metalográfico no se ve, -- por observación micrográfica, la aparición de fase alguna distinta de la solución sólida, se observa simplemente por rayos X que los átomos de -- cobre, que en el estado de temple fresco estaban repartidos en forma desordenada, están ahora agrupados a lo largo de determinados planos cristalográficos del retículo del Aluminio.

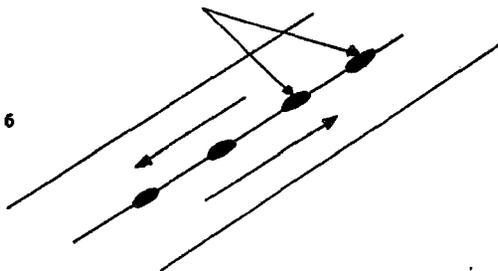
Se explica el endurecimiento diciendo que estos átomos de cobre - llegan a " anclar " los planos reticulares, impidiendo el deslizamiento de estos planos unos sobre otros (figura No. 16 ).

Se dice que, en este caso, el metal está en estado de temple maduro o también normal.

La evolución de las características mecánicas es, por ejemplo, para la aleación L-2140, la siguiente:

	$R_2$ Kg/mm <sup>2</sup>	A %	H Brinell
Bruto de colada	20-23	4-6	60
Temple fresco	25-31	12-16	80
Temple maduro	37	8,5	105

FIG. 16



REVENIDO :

Si la aleación que acaba de templarse se lleva durante algunas horas a una temperatura comprendida entre 75 y 225°C y si después - - de haberla enfriado bruscamente se determinan las variaciones de una característica mecánica ( la dureza, por ejemplo ), en función del — tiempo, se puede descomponer la curva obtenida en cierto número de par tes (figura No. 17 ).

- Un período inicial horizontal tanto más breve cuanto más elevada sea la temperatura;
- Una parte ascendente;
- Un tramo recto Ab tanto más elevado cuanto más alta sea - la temperatura ■
- Una rama de la curva que empieza creciendo (BC) para descen der después (CD)

A la temperatura superior de los 225°C no se puede distinguir la rama que lleva al tramo recto. Unicamente subsiste la parte BCD, cuyo máximo se alcanza con mayor rapidez, y es menos marcado cuanto más elevada es la temperatura, a temperaturas superiores de 400°C, la curva es decreciente.

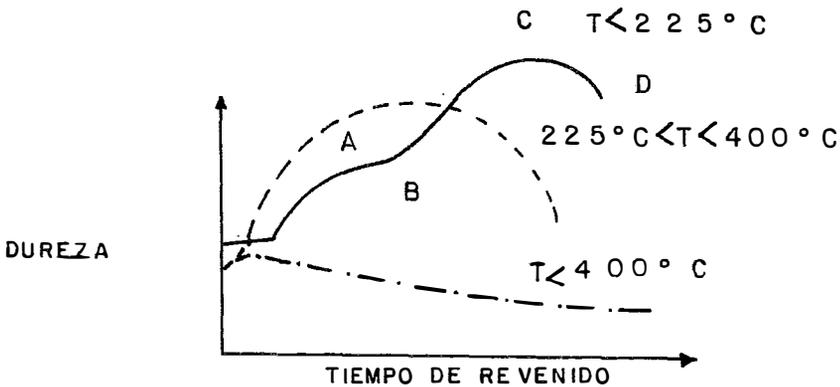


FIG. 17

Diversas determinaciones permiten atribuir a la maduración de la rama de la curva comprendida entre el origen de tiempos y el punto, A.

Hasta que este punto se alcanza no hay precipitación, sino agrupación de átomos de cobre a lo largo de ciertos planos.

El tramo recto AB corresponde al origen de otro fenómeno, que es la precipitación propiamente dicha, que tiene lugar a partir de las zonas enriquecidas en átomos de cobre. El precipitado, que se le designa con el término  $Al_2Cu$ , se forma inicialmente en un estado de división, tal que no se puede detectar ni con microscopio, ni por medio de análisis espectrográfico X. La presencia de este precipitado, muy dividido, aumenta considerablemente la dureza. Pero al mismo tiempo que se forma el precipitado, hay tendencia a agruparse en el estado de montones visibles, cuyas dimensiones crecen con el tiempo, y que se alojan a lo largo de determinados planos cristalográficos de Al, el retículo de la nueva fase se orienta en relación al del Aluminio. Este fenómeno de coalescencia tiene por efecto disminuir la dureza.

Se observa que la dureza es máxima, cuando se completa la precipitación; el avance de la precipitación puede seguirse mediante la medida del parámetro reticular. Pero el valor de este máximo está influido por la amplitud que toma la coalescencia en el momento en que se alcanza la precipitación. El valor más elevado se observa en la práctica -- para una temperatura de revenido de  $130^\circ$  después de una dureza tal que -- la precipitación sea total cuando la fase precipitada no sea todavía -- detectada.

A temperaturas inferiores a  $225^\circ C$  no se observan otros fenómenos.

A temperaturas superiores a  $225^\circ C$  la precipitación se produce a tal velocidad que el estado preliminar de la maduración no se puede detectar.

## ENVEJECIMIENTO NATURAL Y ARTIFICIAL

Envejecimiento Natural . - Tan pronto como la aleación es templada, se inicia la precipitación del compuesto Mg-Si. El procedimiento es lento a la temperatura ambiente y requiere de muchos días.

Envejecimiento Artificial . - Cuando la precipitación se realiza en un horno se le da el término del envejecimiento artificial.

El símbolo T4 que se emplea después del número de aleación indica un envejecimiento natural de esa aleación. Y se emplea el símbolo T6 para designar a las aleaciones que han tenido un envejecimiento artificial.

Y se utiliza el símbolo T5 cuando la aleación se efectúa sin tratamiento térmico de disolución, de esas aleaciones.

Se puede tener una mezcla de estos tratamientos para obtener mejores condiciones en dichas aleaciones. Ya sea un envejecimiento natural combinado con un envejecimiento artificial u otras combinaciones dependiendo de las características deseadas.

### SUPERENVEJECIMIENTO.

Es un envejecimiento demasiado prolongado a una temperatura demasiado elevada, o ambas cosas al mismo tiempo, en el cual se obtiene una --caída de las características mecánicas. Y se designa con el signo T7 - para este tipo de tratamientos térmicos.

Que se hacen con el fin de obtener algún restablecimiento del alargamiento, junto con la estabilización, las condiciones de calentamiento de precipitación se acrecientan para causar una coalescencia moderada y reablandar así parcialmente la aleación.

En algunas aleaciones con red, tales como las aleaciones con 5 al 12% de Si, no puede producirse ningún cambio apreciable con el tratamiento térmico. Sin embargo, en algunos casos, son obtenibles propiedades especiales por una combinación del refuerzo debido a la red con el endurecimiento de precipitación de los granos.

## EL TRATAMIENTO DE SOLUBILIZACION.

El objeto de este tratamiento es poner en solución sólida la mayor cantidad de los solutos endurecedores tales como Cu, Mg, Si y ZN. En base a las diagramas de equilibrio, cuanto más alta es la temperatura mayor es la cantidad de soluto que admite el solvente en solución sólida. Por ello, la temperatura de solubilización ha de estar muy próxima a la de fusión del eutéctico.

Cuanto más alta es la temperatura de solubilización, mayor es la resistencia mecánica y límite de elasticidad que se pueden alcanzar posteriormente en los tratamientos de envejecimiento.

Para alcanzar estas temperaturas de solubilización se necesitan hornos que tengan una uniformidad de temperatura y con un control tal que permitan mantener la temperatura  $\pm 5$  grados  $^{\circ}\text{C}$ , debido a que estas temperaturas están cercanas al punto de fusión del eutéctico, ya que si se sube la temperatura hasta este punto se produce un fenómeno llamado de quemado. Una vez fijada la temperatura la solubilización es necesario fijar el tiempo que es función del tipo de producto, de la aleación y del proceso de fabricación, utilizado, es decir de las condiciones en que se encuentra el material antes del tratamiento.

Como la homogenización es tanto mejor cuando menor sean los granos, las piezas coladas en arena requieren tiempo de solubilización más elevado que las coladas en coquilla. Las piezas forjadas requieren tiempos de solubilización inferiores a las coladas y dentro de ellas, los productos de secciones gruesas que precisan mayores tiempos que los de secciones delgadas como chapas.

El tiempo de solubilización no depende de la temperatura de solubilización, se puede ver la influencia del tiempo de solubilización en las características mecánicas, para diferentes temperaturas de solubilización. Ya que las mejores características se alcanzan al cabo de un mismo tiempo y no tiene caso prolongar el mismo ya que puede presentarse problemas de recristalización.

Se tiene que tomar en cuenta la velocidad de calentamiento cuando se va a dar un tratamiento de solubilización ya que se puede provocar crecimiento excesivo del grano, siempre indeseable, -- cuando el calentamiento es demasiado lento. La velocidad de calentamiento debe ser lo mayor posible.

En realidad, los fenómenos que intervienen son más complejos. Se puede actuar sobre cierto número de factores tales como la velocidad de enfriamiento, las temperaturas a las que se efectúan la solubilización y la precipitación, hacer aparecer el elemento de adición bajo formas muy diferentes, que se manifiesta, para la aleación considerada, por características mecánicas y físico químicas igualmente muy diferentes. Esta posibilidad se utiliza industrialmente para sacar un mejor partido de las aleaciones conteniendo diversos metales o compuestos metálicos.

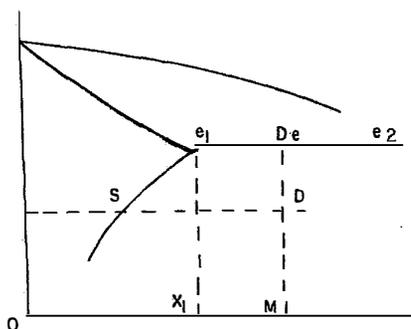


Fig. 14

TABLA DE LOS LIMITES DE SOLUBILIDAD A LA TEMPERATURA ORDINARIA Y A LA TEMPERATURA EUTECTICA DE LAS PRINCIPALES FAMILIAS DE ALEACIONES.

Aleación	Elemento precipitante por debajo de la temperatura de saturación	Contenido en elementos de adición (%)		Temperatura eutética $T_c$
		Temperatura eutética	Temperatura ambiente	
		$X_1$	$X_0$	
Al-Si	Solución sólida rica en Si (comúnmente llamada Silicio)	1,7	0,1	575°
Al-Cu	$Al_2Cu$	5,65	0,3	548°
Al-Mg	Solución sólida próxima a la composición $Al_3Mg_2$ (comúnmente confundido con $AlMg_2$ )	14,7	2,0	451°
Al-Zn	Solución sólida	65	10	443°
Al-Mg <sub>2</sub> -Si	$Mg_2Si$	1,85	0,27	595°

## C O N C L U S I O N E S .

En base al estudio de este tema se encontraron las siguientes conclusiones como los principales cuidados a seguir para una buena - - - fundición.

- 1º El control del gas, vigilar principalmente las condiciones de operación de los hornos así como los combustibles y los hidrocarburos contenidos en materia prima utilizadas, la-- humedad no excede la temperatura del metal fundido y conocer los elementos de aleación para cada caso.
- 2º La importancia del refinamiento de grano es para obtener una estructura fina y uniforme de grano y reducir agrietamientos.
- 3º El fin de la modificación es el cambio de estructura de una forma dendritica a una forma más fina y globular del elemento aleante para darle mejores propiedades mecánicas.
- 4º Es importante también las características y el comportamiento del metal para obtener una mejor moldeabilidad.
- 5º Estas aleaciones responden bien a los tratamientos térmicos.

B I B L I O G R A F I A . =

- 1.- Aluminum Alloys & Structure & Properties L.F. Mondolfo.
- 2.- Enciclopedia del Aluminio Tomo II; Grupo de Ingenieros Pechiney.
- 3.- Química Inorgánica Gregory R Choppin y Cotton and G. Wilkinson.
- 4.- Metals H. and Boo ( American Society for Metal); Volumen 1 y 8
- 5.- El Metal más Abundante del Mundo; ( ALUMSA)
- 6.- Technical Report, Article Reprint. K.B.I; Kawecki Berylco Industries, Inc.
- 7.- Revista Técnica Metalúrgica; Bilbao, Dr. Ignacio Alfarø: Moldeabilidad de las Aleaciones de Aluminio.
- 8.- Information Sheets, Foseco Limited Great Britain; Número 16 y 61
- 9.- Notas Técnicas; J.F. Enriques, L. Luis Martin (España)
- 10.- Fondeur D'Aujourd'Hui ( Francia )
- 11.- Rev. Metal - Cenim Vol. 9; 1973 -5 ( España )