

2 ej. No. 6



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE QUIMICA**

**EL ALUMINIO Y SUS ALEACIONES**

**TRABAJO MONOGRAFICO**

**JOSE LUIS DEYTHA DIAZ**

**INGENIERO QUIMICO METALURGICO**

**1 9 8 4**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

## C O N T E N I D O

INTRODUCCION

CAPITULO I  
MINERALES DE ALUMINIO

CAPITULO II  
METALURGIA DEL ALUMINIO

CAPITULO III  
ALEACIONES DE ALUMINIO  
Propiedades y Aplicaciones

CAPITULO IV  
UTILIZACION DE LAS ALEACIONES

CAPITULO V  
IMPORTANCIA A NIVEL NACIONAL Y MUNDIAL

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

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

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

El estudio de la naturaleza de un metal ó aleación nos permite definir teóricamente las propiedades que de él podemos alcanzar, pero en realidad su obtención, elaboración y transformaciones posteriores son quienes definen su condición y calidad tecnológica. Aún así, no pueden establecerse las propiedades de una forma fija e invariable, ya que las posibilidades de modificación de su estructura en las condiciones de servicio son ampliamente extensas; ellas dependen en buena parte del proceso de solidificación del metal, así como las transformaciones posteriores que puedan desarrollarse en el enfriamiento hasta la temperatura ambiente.

Las condiciones de enfriamiento producen múltiples variaciones en la distribución y cantidad de los constituyentes estructurales y ello hace que varíen también las propiedades del metal ó aleación. Por regla general estas transformaciones que tienen lugar durante el enfriamiento son reversibles y el estado alcanzado puede ser modificado y controlado por procesos térmicos de calentamiento y enfriamiento, dando lugar a las condiciones de equilibrio.

El Aluminio y sus aleaciones pueden ser trabajados con gran facilidad en frío ó en caliente, mediante los procesos de estirado, laminación, rolado, extrusión, embutido, doblado ó forjado para darle una gran variedad de formas y aplicaciones, esto debido a que el aluminio es el más versátil de todos los metales comunes.

Así mismo, el Aluminio y sus aleaciones se cueban fácilmente en piezas y componentes esenciales mediante el proceso de fundición como el de arena, cáscara, centrifugación, cera perdida molde permanente, por gravedad ó bajo presión.

El Aluminio y sus aleaciones, admiten una amplia variedad de acabados mediante procesos mecánicos, químicos, recubrimientos electroquímicos y de pinturas, con el objeto de mejorar la apariencia y darle mayor resistencia a la corrosión.

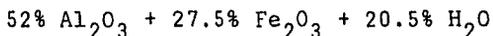
Las técnicas empleadas para el formado mecánico y la fundición del aluminio y sus aleaciones, son menos complicadas que otros métodos empleados para metales ferrosos, por su baja densidad, - baja temperatura para trabajo en caliente, facilidad para trabajo en frío, baja temperatura de fusión, manejo del metal más fácil, moldes y matrices más simples. Es realmente difícil establecer una clasificación clara y precisa de todas las aleaciones de aluminio, debido a las muchas variantes que pueden presentarse, por ésta razón y basandonos en el hecho de que ca da día existen muchas aplicaciones, nos es imposible abarcar - en la presente monografía todas y cada una de ellas sin recurrir en una forma muy general, por ello, nos limitaremos a pre sentar las características, tipos de trabajo, tipo de aleación y aplicaciones más importantes.

CAPITULO I  
MINERALES DE ALUMINIO.

El Aluminio es uno de los elementos más abundantes de la corteza terrestre, que abarca alrededor de 8.1%(15% de  $Al_2O_3$ ), en comparación con el 5% para el hierro que es actualmente el metal industrial básico; los únicos elementos más extendidos son el Oxígeno(47%) y el Silicio(28%).

El óxido  $Al_2O_3$  ó sus hidratos, son poco comunes en estado libre. El Corindón, alúmina anhidra cristalizada, se encuentra en las rocas igneas y metamórfica, esta poca extendido; los diversos óxidos hidratados de aluminio se encuentran en las rocas sedimentarias, pero no forman más que aglomeraciones locales, que en ocasiones constituyen los yacimientos importantes. Ahora bien, por las razones que veremos a continuación, únicamente los óxidos de aluminio son prácticamente utilizados para la extracción de este metal. El problema de los minerales de aluminio reside pues esencialmente en encontrar rocas ricas en alúmina más ó menos hidratada, que para su utilización han sido agrupadas bajo la denominación de Bauxitas.

La primera bauxita fué descubierta en 1821 por el Químico --- Berthier, del laboratorio de Química de la Escuela de Minas de París, que según examinaba una roca supuesta de mineral de hierro, que provenía de los alrededores de la ciudad de Baux, encontró que tenía aproximadamente la composición siguiente:



Estas bauxitas pertenecen al tipo de origen calcáreo; se admite que proceden de la alteración y de la disolución por el intemperismo de las masas calcáreas en rocas sedimentarias y lutíticas y de la sílice de las arcillas que contienen como impurezas, para no dejar más que los óxidos de hierro y aluminio. Mientras que ciertas condiciones, que se encuentran frecuentemente en clima tropical (variación de estaciones secas y húmedas, superficies en mesetas ligeramente inclinadas, posibilidad de mucho contacto con las aguas etc.) las rocas de silicatos se descomponen, se disuelve la mayor parte de la sílice y se forman capas superficiales de una roca compuesta principalmente de óxido de hierro y de alúmina hidratada, en proporció--

es muy variables.

Cuando son ricas en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , pueden constituir un mineral de hierro, si predomina la alúmina, forman un mineral de aluminio en el lenguaje corriente y se les llama igualmente bauxitas.

#### COMPOSICION MINERALOGICA DE LAS BAUXITAS.

La bauxita no es por tanto, una especie mineralógica definida y éste término designa un mineral ó una mezcla de sustancias minerales, esencialmente constituidas de hidratos de alúmina, de óxido de hierro, de silicato de alúmina y óxido de titanio. En la composición de las bauxitas entran diversas especies naturales de hidrato de alúmina:

El Monohidrato  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , del cual existen 2 variedades cristalográficas: el tipo  $\alpha$  ó Diasporo y el tipo  $\delta$  ó Bohemita.

El Trihidrato  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , variedad denominada hidrargilita --  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , ó más generalmente Gibbsita.

La distinción de estos 3 hidratos tiene una gran importancia para definir la calidad comercial de una bauxita; difieren esencialmente en su comportamiento al disolverse en las lejías de sosa caústica, la cual es la base del procedimiento industrial de extracción de la alumina. El trihidrato es muy soluble desde una temperatura próxima a  $100^\circ\text{C}$ .

El monohidrato Bohemita no es realmente soluble más que a temperaturas superiores; es preciso alcanzar  $180^\circ\text{C}$  y más para obtener una solubilidad suficiente.

El monohidrato Diasporo es muy poco soluble a temperaturas inferiores a  $250^\circ\text{C}$  y en general no es atacado por vía húmeda.

Las Bauxitas de las regiones templadas, pertenecen al tipo monohidratado Bohemita, mientras que las bauxitas de regiones -- tropicales son del tipo Gibbsita.

Esto no es absoluto ya que en zonas europeas como Yugoslavia y Hungría se encuentra la bauxita Gibbsita, como algunos yacimientos de Jamaica; pero predomina el tipo en cada región, en cuanto al Diasporo, se halla mucho menos extendido y no existe en cantidades apreciables.

En las bauxitas, los hidratos de alúmina a veces existen en estado de cristales, identificables al microscópio, íntimamente unidos al óxido de hierro, en un aglomerado que se llama "GEL-ALUMINIO-FERRICO".

En general el óxido de hierro se encuentra bajo la forma anhidra  $Fe_2O_3$  y a veces en pequeña cantidad en el estado hidratado  $FeOH$  con menos frecuencia, en ciertas bauxitas se da el hierro en el estado  $FeS_2$  e incluso de silicato  $Fe_2O_3 \cdot 3SiO_2$ .

Se encuentra siempre sílice en forma de silicato de aluminio, pero ciertas bauxitas encierran igualmente cantidades importantes de sílice bajo la forma de cuarzo. La caolinita está en general muy repartida en la bauxita, en cambio el cuarzo puede existir en cristales de espesor bastante variables. En las bauxitas para la fabricación de alúmina se desea, esté bajo el contenido de  $SiO_2$ .

El caolín se disuelve fácilmente en las lejías alcalinas, para dar un sílico-aluminato de sodio insoluble que ocasiona pérdidas sensibles de alúmina y sosa.

El óxido de titanio ( $TiO_2$ ) está presente siempre en cantidades apreciables (2 a 4 % en general) en forma de polvos de cristales, excesivamente dispersos que no pueden ser observados más que bajo grandes aumentos.

Esta gran dispersión explica que sea imposible separar por medios físicos el  $TiO_2$  concentrado en los residuos de tratamiento.

#### COMPOSICION QUIMICA.

Es muy variable según el tipo de hidrato base, la proporción de óxido de hierro y silicato de alúmina, a veces sirve de base para una cierta clasificación dirigida sobre el aspecto, el color, el contenido de sílice etc.; bauxitas más ó menos siliceas bauxitas blancas, jaspeadas.

Las bauxitas menos silicosas se reservan a la industria del aluminio; las que son más ricas en sílice encuentran las aplicaciones en los productos refractarios, cementos aluminosos.

La composición de las bauxitas para la alúmina varia en los lí

mites siguientes:

H <sub>2</sub> O de constitución . . . . .	12 a 30 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	40 a 60 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	5 a 30 %
SiO <sub>2</sub> . . . . .	1 a 8 %
TiO <sub>2</sub> . . . . .	2 a 4 %

Además de los constituyentes principales arriba indicados, se encuentran en las bauxitas impurezas en gran número, en cantidades variables, pero generalmente muy débiles.

El calcio se encuentra en forma de carbonato, en general del orden de algunas milésimas, salvo en ciertas bauxitas de origen calcáreo donde pueden haber importantes inclusiones de éste mineral.

Las impurezas secundarias existen en todas las bauxitas en dosis de algunas diezmilésimas F,P,As,Ga,Zn.

Igualmente en ciertas bauxitas se encuentran en gran número -- aunque en pequeña cantidad, otros elementos: S, Mg, Cr, Mn, Ni Co, Zr, etc.

Por último, toda las bauxitas contienen algo de materias orgánicas ó húmicas que se caracterizan por el contenido de carbón orgánico. La cantidad es muy variable en general más elevada -- en las bauxitas tropicales. Esta materia se extrae parcialmente en el tratamiento de la lejía de sosa y también tiene cierta -- influencia sobre las condiciones de utilización del mineral.

#### OTROS MINERALES DE ALUMINIO

Entre los numerosos minerales de aluminio cuya utilización ha sido propuesta y estudiada, comprenden toda la gama de silicatos que contienen la alúmina más o menos asociada a otros elementos como:

Las Bauxitas muy silicosas a base de trihidrato y de arcilla, con cantidades apreciables de carbonato de hierro. Las nefelinas, silicato doble de aluminio y de metales alcalinos (N,K), asociadas a yacimientos de fosfatos de cal, sirven para la extracción de la alúmina con carbonatos alcalinos y cemento como

subproducto.

### PROPIEDADES

El aluminio es un elemento del grupo III de la tabla periódica de Mendelejeff, su símbolo Al, su número atómico 13, su peso atómico 26.97.

### CARACTERISTICAS

Densidad a 20°C al 99.5% . . . . . 2.705 g/cc.

Densidad a 20°C al 99.96% . . . . . 2.699 g/cc.

En el punto de fusión:

Densidad del aluminio sólido a 660°C . . . . . 2.55 g/cc.

Densidad del aluminio líquido a 660°C . . . . . 2.382 g/cc.

que corresponde a una contracción volumétrica del 6.6% durante la solidificación. La densidad del aluminio líquido en función de la temperatura viene dada por:

$$d_t = 2.382 - 0.000273(t - 660^\circ\text{C})$$

Punto de fusión . . . . . 660.2°C

Coefficiente de expansión 20-100°C . . . . .  $23.86 \times 10^{-6}$  por°C

Calor específico a 100°C . . . . . 0.2226 cal/g°C

Calor latente de fusión . . . . . 94.6 cal/g

Conductividad térmica a 20°C . . . . . 0.53 cal/cm<sup>2</sup>/cm/°C/s

Conductividad eléctrica . . . . . 61.94% del cobre

Resistividad eléctrica a 20°C . . . . . 2.654 micro ohm.

Reflectividad a  $\lambda = 5000 \text{ \AA}$  . . . . . 90.0%

Susceptibilidad magnética . . . . .  $0.6 \times 10^{-6}$  cgs

Resistencia a la tensión . . . . . 4.83 Kg/mm<sup>2</sup>

Elongación . . . . . 48.8%

Dureza a la penetración . . . . . 17.0 Brinell

Debido a sus propiedades físicas, químicas y mecánicas, que -- proporciona el aluminio nos da amplias posibilidades de aplicación en diferentes industrias tales como la del transporte, -- eléctrica, fabricación de utensilios, de maquinaria, construcción, química, alimenticia, bebidas etc.

## USOS GENERALES EN FUNCION DE SUS CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES

### DENSIDAD

Esta característica es una de las más importantes del aluminio puesto que exceptuando al magnesio, comparativamente igual volumen, su peso es la tercera parte de otros metales comunmente usados, como el hierro, el cobre y el cinc.

El poco peso del aluminio le da una gran ventaja para ser usado en la industria del transporte ya que al disminuir el peso de un vehículo, se ahorra energía para ponerlo en movimiento, se requiere menor tiempo para alcanzar una velocidad determinada; se disminuye la energía y el tiempo necesario para detenerlo, a la vez que se aumenta la capacidad de carga útil del vehículo.

Por estas razones se ha venido incrementando cada vez más el uso de partes de aluminio en la fabricación de bicicletas, motocicletas, automóviles, camiones, carros de ferrocarril, barcos, aviones, cohetes y vehículos espaciales.

### CONDUCTIVIDAD TERMICA

El aluminio es un excelente conductor del calor, por lo que uno de los primeros usos fué en la fabricación de utensilios para cocina y aprovechando la rapidez y uniformidad con que se transmite el calor es muy empleado también en la construcción de intercambiadores de calor de variados tamaños.

### CONDUCTIVIDAD ELECTRICA

El aluminio es un excelente conductor de la electricidad y aún cuando su conductividad es del 61% con relación al cobre debe tenerse presente que su densidad es la tercera parte de la del cobre, por lo que kilo a kilo del aluminio es dos veces más efectivo como conductor eléctrico. Por esta razón se han producido y se siguen produciendo millones de kilometros de cable de aluminio para ser usados en las líneas de alto voltaje.

### RESISTENCIA A LA CORROSION

El aluminio es altamente resistente a la corrosión atmosférica y resiste también a la acción corrosiva de sustancias químicas como los ácidos nítrico, acético, cítrico y grasos, peróxido de hidrógeno, formaldehído y aceites, además no es tóxico. Por ello es ampliamente usado en las industrias manufactureras de productos químicos, alimentos y bebidas.

### RESISTENCIA MECANICA

El aluminio puro tiene una resistencia a la tensión de solo -- 4.83 Kg/mm<sup>2</sup>; sin embargo, esta puede aumentar al doble cuando se le trabaja en frío, pero cuando se le agregan elementos de aleación y se le recurre a los tratamientos térmicos, se lo--- gran alcanzar resistencias hasta de 49.21 Kg/mm<sup>2</sup>.

La amplia gama de resistencia mecánica que el aluminio y sus a leaciones pueden alcanzar, hace posible su uso en cualquier ti po de industria donde una o más de las otras propiedades resul ten ventajosas.

### MAGNETISMO

El aluminio es antimagnético y no produce chispa añ choque, ca racterísticas que lo hacen muy útil e indispensable para gabi- netes de conductores eléctricos, equipos automáticos, herra--- mientas, equipoa a pruebas de explosión e instalaciones eléc- tricas de refinerías de petróleo y fabricación de pinturas.

### REFLECTIVIDAD

El aluminio es un magnífico reflector de la luz y del calor ra diante. Comparativamente con el espejo de plata, refleja el - 90% de la luz con longitud de onda de 5000 Å y llega a ser el 95% para longitudes de onda de 10 000 Å. Esta propiedad es a-- provechada para la fabricación de elementos aislantes y protec- tores contra las ondas de luz y calor, una de las aplicaciones más avanzadas la encontramos en los trajes espaciales.

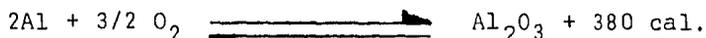
## ACABADO

El aluminio posee una excelente apariencia natural, sin embargo, si se desea mejorarla puede lograrse fácilmente puesto que responde muy bien a los recubrimientos electrolíticos y mediante el anodizado se le puede dar una amplia gama de coloraciones, además que es muy resistente al intemperismo. Estas características son ampliamente aprovechadas en la industria de la construcción, en la fabricación de utensilios y aparatos domésticos y se ha ampliado incluso en la fabricación de bisutería.

## PROPIEDADES QUIMICAS DEL ALUMINIO

### Reacción de Oxidación del Aluminio.

El aluminio es un metal eminentemente oxidable



por calentamiento en aire seco, se llega a una oxidación más rápida a 500°C.

Sobre aluminio de 99.99% la capa reciente de 0.01  $\mu$  alcanza 0.07  $\mu$  en 12 hrs. para estabilizarse hacia 0.90  $\mu$  después de 48 horas.

Sobre aluminio de 99.5% la capa de óxido alcanza 0.6  $\mu$  de espesor después de 250 horas a 500°C y continua creciendo para obtener la combustión del aluminio (empleado en pirotécnia) es necesario inflamarle en una llama bajo la forma de polvo o de hilo fino.

## EL ALUMINIO REDUCTOR

A alta temperatura, el aluminio reduce la mayor parte de los óxidos metálicos.

La aluminotermia es conocida desde hace largo tiempo, por la soldadura a la termita, mezcla de  $2\text{Al} + \text{Fe}_2\text{O}_3$  cebandose la reacción mediante la inflamación de una mezcla de polvo de magnesio y bióxido de bario. La aluminotermia se utiliza industrialmente para la preparación de diversos metales exentos carbono, manganeso, cromo, ferro-titanio, ferro-vanadio.

## ACCION DEL AGUA SOBRE EL ALUMINIO

Entre 0-100°C el agua pura no ataca el aluminio, simplemente - hay un aumento de espesor en la capa de óxido; por encima de la capa natural de  $Al_2O_3$  anhira, se constituye una capa de  $Al_2O_3 \cdot H_2O$  cristalizada (bohemita); de esta forma se obtiene, por ebullición en agua destilada, una capa total de  $0.4\mu$  al cabo de - una hora, que puede alcanzar más  $\mu$  si se prolonga la ebullición.

Si se amalgama el aluminio, el mercurio impide la formación de la capa protectora de  $Al_2O_3$  ; el metal es entonces rápido atacado por el agua con formación de largas arborescencias de -- alúminas hidratada.,

El agua bajo presión, a temperatura superior a 100°C, ataca un poco al aluminio de 99.5% y mucho más rápidamente al aluminio refinado de 99.99%. La capa de bohemita crece rápidamente llegando a ser de  $10\mu$  en 15 hrs. a 165°C, además hay un rápido ataque intercrystalino y la formación de  $Al_2O_3 \cdot H_2O$  en los límites de grano provoca una expansión de la probeta, cuya superficie llega a duplicarse en unas horas; después hay una disgregación por adelgazamiento de los granos.

Se puede corregir este fenómeno por adición de hierro y níquel al aluminio refinado; una aleación con 0.5% de Fe + 0.5% de Ni resiste muchas milis de horas en el agua a 350°C.

## ACCION DEL ALUMINIO SOBRE LOS METALOIDES

El aluminio se combina con todos los metaloides, (salvo el hidrógeno) por reacción directa a temperatura más o menos elevada. Se obtiene así el cloruro ( $AlCl_3$ ) por encima de 250°C; el fluoruro ( $AlF_3$ ) por encima de 450°C; el fosfuro ( $AlP$ ); el sulfuro ( $Al_2S_3$ ); el carburo ( $Al_4C_3$ ) por encima de 550°C; el nitruro ( $AlN$ ) por encima de 200°C; el boruro ( $AlB_2$ ) por encima de - 1 000°C .

## ACCION DE LOS ACIDOS Y LAS BASES SOBRE EL ALUMINIO

Específicamente, el aluminio puro, protegido por su capa de --

alúmina, es poco o nada atacado por los ácidos oxácidos ( $\text{HNO}_3$ ) que no disuelven la capa de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y pueden eventualmente reformarla. Por el contrario el aluminio es atacado violentamente por los hidrácidos ( $\text{HCl}$ ), que disuelven el  $\text{Al}_2\text{O}_3$  así como los álcalis caústicos.

#### ACIDO CLORHIDRICO

El  $\text{HCl}$  es el disolvente normal del aluminio; el  $\text{Al}$  de 99.5% se disuelve en él rápidamente, con desprendimientos de calor y de hidrógeno de manera violenta, el aluminio de 99.999% es prácticamente inatacable por el  $\text{HCl}$  en todas las concentraciones.

#### ACIDO SULFURICO

El ataque es mucho menos violento que con el  $\text{HCl}$ ; resulta tanto más fuerte a medida que aumenta la concentración del ácido.

#### ACIDO NITRICO

El ataque del aluminio en cualquier pureza es muy débil en el  $\text{HNO}_3$  diluído; aumenta hasta un máximo para una disolución de  $-20^\circ$  Baumé (94% de  $\text{HNO}_3$ ) que, por otra parte se transporta en cisternas de aluminio. Con el ataque mayor, después de 60 días en nítrico a  $20^\circ$  Baumé y a  $20^\circ\text{C}$  se han medido las pérdidas de peso siguientes :

11,4  $\text{g/m}^2/\text{día}$  para aluminio de 99.99%

12.7  $\text{g/m}^2/\text{día}$  para aluminio de 99.90%

15.6  $\text{g/m}^2/\text{día}$  para aluminio de 99.50%

#### SOSA CAUSTICA

Para la sosa caústica en solución, se han encontrado que el ataque mayor se alcanza con una disolución de concentración de 50 g/l de  $\text{NaOH}$  aproximadamente.

#### INORGANICA DEL ALUMINIO

Estructuras electrónicas y valencias

Las estructuras electrónicas y algunas otras propiedades impor

tantes de los elementos del grupo III tanto el aluminio, como sus congéneres Ga, In y Tl, son considerablemente más grandes que el boro ( el radio atómico del aluminio es  $1.26 \text{ \AA}$ , mientras que el del boro es  $0.88 \text{ \AA}$  ), lo que hace que presenten un carácter iónico y metálico mucho más pronunciado. El aluminio elemental es claramente metálico, pero desde el punto de vista del carácter de sus enlaces debe ser considerado como intermedio entre covalente e iónico. En este sentido, el comportamiento del Ga, In, y Tl es similar al del aluminio. Aunque las electronegatividades no son particularmente útiles a efecto de interpretar la química de estos elementos bastante metálicos.

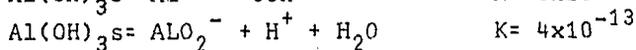
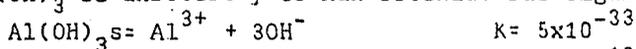
El estado trivalente es importante para los cuatro elementos, mientras que en cambio, el estado univalente se hace progresivamente más estable a medida que aumenta el peso atómico dentro del grupo, es a veces atribuida al denominado efecto del par inerte, este efecto se relaciona con la resistencia que presenta un par de electrones a la ionización ó a participar en la formación de un enlace covalente.

Al aluminio se le encuentra en la naturaleza formando silicatos, tales como micas y feldspatos, e hidroxidos como la bauxita y la criolita ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ). El aluminio es soluble en ácidos minerales diluidos, pero se vuelve pasivo por la acción del  $\text{HNO}_3$  concentrado. La capa protectora de óxido puede eliminarse por ejemplo por raspado ó amalgamación.

En estas condiciones, el metal reacciona ordinariamente con hidroxidos alcalinos en caliente, halógenos y con numerosos no metales. El aluminio muy puro es bastante resistente a los ácidos pero puede disolverse con facilidad en una solución de  $\text{HCl}$  que contenga un poco de  $\text{CuCl}_2$  o en contacto con platino, también se agrega  $\text{H}_2\text{O}_2$  durante la disolución.

#### QUIMICA EN MEDIO ACUOSO

El  $\text{Al}(\text{OH})_3$  es anfótero y se han obtenido las siguientes ctes.:



El aluminio se disuelve en medio ácido para formar el ión  $Al^{3+}$  mientras que en medio básico forma el ión aluminato. Este se formula como  $MO_2^-$ , pero esta especie no posee existencia real, ni en solución ni en aluminato sólido. Los aluminatos son generalmente sólidos iónicos, mientras que las especies en solución poseen indudablemente números de coordinación altos, pero se desconocen sus estructuras en detalle.

Las sales de los oxoácidos más fuertes son bien conocidas y se obtienen como hidratos de soluciones acuosas acidificadas. Es probable que estas sales contengan, en todos los casos, iones hexa aquo. Los alumbres constituyen una importante clase de compuestos del aluminio, ya que son prototipos estructurales y dan su nombre a un grupo numeroso de compuestos análogos formados por otros elementos. Los alumbres poseen la fórmula general  $MAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ , donde M es un catión monoatómico univalente. Los cristales están formados por los iones  $M(H_2O)_6^{+1}$ ,  $Al(H_2O)_6^{3+}$  y dos  $SO_4^{2-}$ .

El conocimiento actual sobre la formación de complejos por parte de los iones trivalentes en solución acuosa es bastante limitado, la fácil hidrólisis de los iones hidratados hace que no se formen complejos con el  $NH_3$  o con las aminas. Los aluminatos pueden ser considerados como hidroxocomplejos. Los halocomplejos más importantes son los fluorocomplejos del aluminio que son singularmente sensibles, se forman las seis especies desde el  $AlF^{2+}$  al  $AlF^{3-}$ .

#### COMPUESTOS OXIGENADOS

Desde el punto de vista estequiométrico existe un solo óxido de aluminio, el  $Al_2O_3$ . Sin embargo, este existe en varias formas polimórficas, especies hidratadas, etc., cuya formación depende de las condiciones de preparación.

Hay dos formas de  $Al_2O_3$ , la  $\alpha$ - $Al_2O_3$  y  $\gamma$ - $Al_2O_3$  (el  $\beta$ - $Al_2O_3$  es realmente  $Na_2O \cdot 6Al_2O_3$ ). En el  $\alpha$ - $Al_2O_3$  los iones óxido forman un ordenamiento hexagonal compacto, mientras que los iones  $Al^{3+}$  se encuentran distribuidos en forma simétrica entre los intersti-

cios octaédricos. La estructura  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  es considerada a veces como una estructura espinela (defectuosa), es decir que posee una estructura con menos cationes que los requeridos.

El  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  es estable a temperaturas altas e indefinidamente metaestable a temperaturas bajas. Esta forma existe en la naturaleza ( mineral corindón ) y puede ser preparada por calentamiento a más de  $1000^\circ\text{C}$  a partir del  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  o de cualquiera de los óxidos hidratados. El  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  se obtiene por deshidratación de los óxidos hidratados a temperaturas más bajas ( $\sim 450^\circ\text{C}$ ).

El  $\text{Al}_2\text{O}_3$  es muy duro y resistente a la hidratación y al ataque por los ácidos. Por otro lado, el  $\text{Al}_2\text{O}_3$  que se forma sobre la superficie del metal posee otro tipo de estructura: tipo --NaCl "defectuoso", en la cual los iones  $\text{Al}^{3+}$  y  $\text{O}^{2-}$  se encuentran ordenados en igual forma que los iones de la sal de roca, pero con sólo dos de cada tres  $\text{Al}^{3+}$  ubicados en posiciones ---"catiónicas".

Existen varias formas hidratadas importantes de la alúmina que corresponden a las estequiometrías,  $\text{AlO}\cdot\text{OH}$  y  $\text{Al}(\text{OH})_3$ . El agregado de amoníaco a una solución calentada a ebullición de una sal de aluminio conduce a la formación de una forma  $\text{AlO}\cdot\text{OH}$  conocida como bohemita, que también puede ser preparada por otros métodos. En la naturaleza existe una segunda forma de  $\text{AlO}\cdot\text{OH}$ , denominada diaspora.

El verdadero hidróxido,  $\text{Al}(\text{OH})_3$  se obtiene como precipitado --blanco cristalino cuando se hace pasar dióxido de carbono por una solución de un aluminato.

CAPITULO II

METALURGIA DEL ALUMINIO

## OBTENCION

La metalúrgia de extracción del aluminio en general se desarrolla principalmente en tres etapas.

La primera etapa tiene por objeto formar la bauxita en alúmina lo más pura posible, para ello es utilizado el método Bayer, - por via húmeda a partir de las menas ricas que contengan del - 50 al 60% de bauxita.

La segunda etapa consiste en una electrólisis de la alúmina - disuelta en criolita fundida, mediante la cual se obtiene el - aluminio de pureza comercial de 99.0% a 99.6%, conteniendo como impurezas principales al siliceo y al hierro.

La tercera etapa se aplica cuando se desea obtener aluminio de alta pureza y se logra mediante una refinación electrolítica - para eliminar casi completamente y obtener un aluminio de ---- 99.995%.

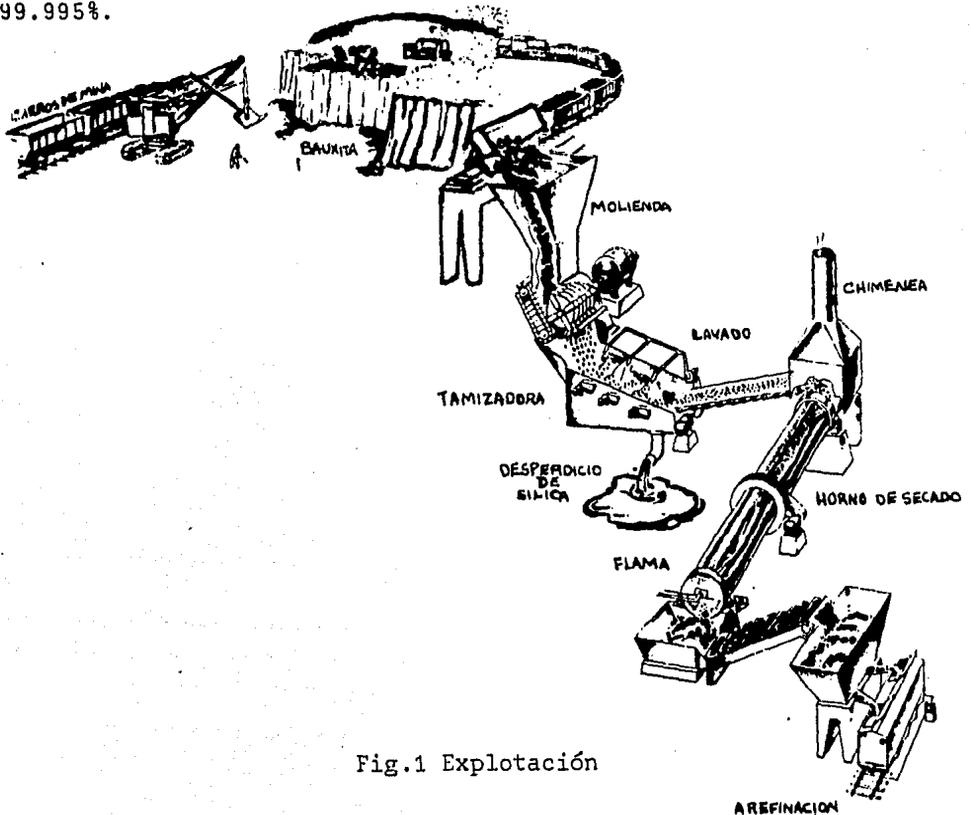
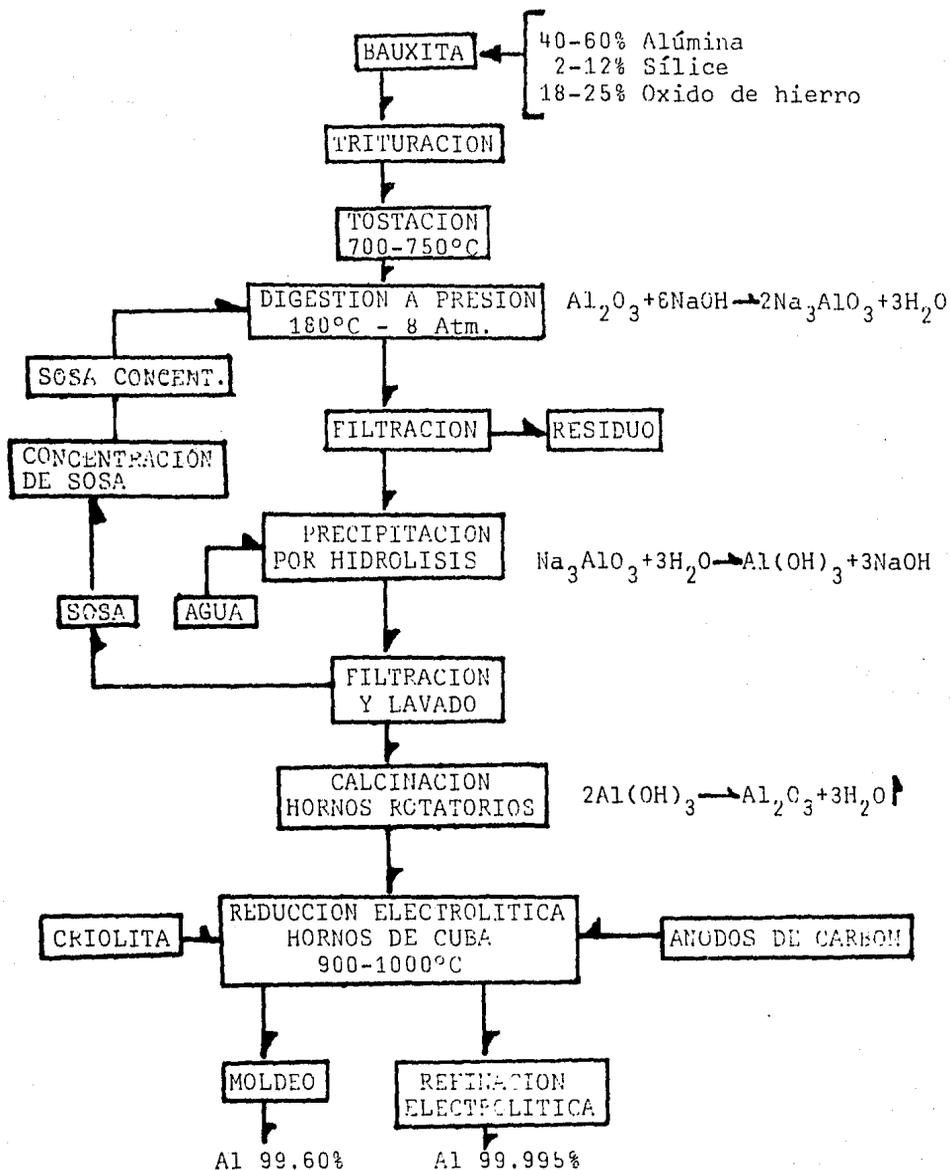


Fig.1 Explotación

## DIAGRAMA DE OBTENCION DEL ALUMINIO



La obtención del aluminio a partir de las bauxitas asociadas - con sílice y óxido de hierro, se representan esquemáticamente en la figura 1 y 2, se lleva a cabo triturando primero el mineral para someterlo enseguida a una tostación a 750°C que elimina la mayor parte del agua asociada.

Se trata con una solución de sosa caústica en auto clave a --- 180°C y 1 Atm., para disolver la alúmina y transformarla a aluminio sódico soluble. Se filtra para eliminar las impurezas insolubles y se obtiene una solución de aluminato sódico, se disuelve con agua para hidrolizar, se agita, formandose los cristales de hidróxido de aluminio, se filtra y se recupera del líquido el hidróxido sódico por concentración al vacío. El hidróxido de aluminio se somete a una calcinación a 1200°C en hornos rotatorios y se obtiene alúmina anhidra con una pureza de 90.0% a 96.6% en forma de cristales blancos muy duros.

La alúmina u óxido de aluminio así obtenida, se somete a un proceso electrolítico para separar el oxígeno del aluminio. Se lleva a cabo en un horno eléctrico de reducción, el cual se -- llena parcialmente con criolita (fluoruro sódico de aluminio) fundida que sirve para disolver la alúmina y constituir el --- electrolito. Se hace pasar corriente através del baño fundido mediante ánodos de carbón, constituyendo el electrodo negativo el fondo de la cuba; el oxígeno se combina entonces con el carbón y la alúmina se reduce a aluminio puro que se deposita en el fondo de la cuba. Este aluminio puro se extrae periódicamente del baño fundido mediante sifón y se vacía en moldes para formar lingotes con una pureza de 99.6% fig. 3, o en su caso, continuar a celdas electrolíticas para su refinación y obtener el aluminio con una pureza de 99.995%.

El consumo de energía eléctrica durante el proceso es bastante alto, llegando a ser de 18 a 20 Kw-hr por Kg. de aluminio obtenido. El proceso dura de 2 a 3 hrs. y el rendimiento aproximado se obtiene al final 1Kg. de aluminio por cada 2Kg. de alúmina. La alúmina posee propiedades químicas para moldes internos así mismo es químicamente inerte y mecánicamente resistente.

FIG. 2 REFINACION

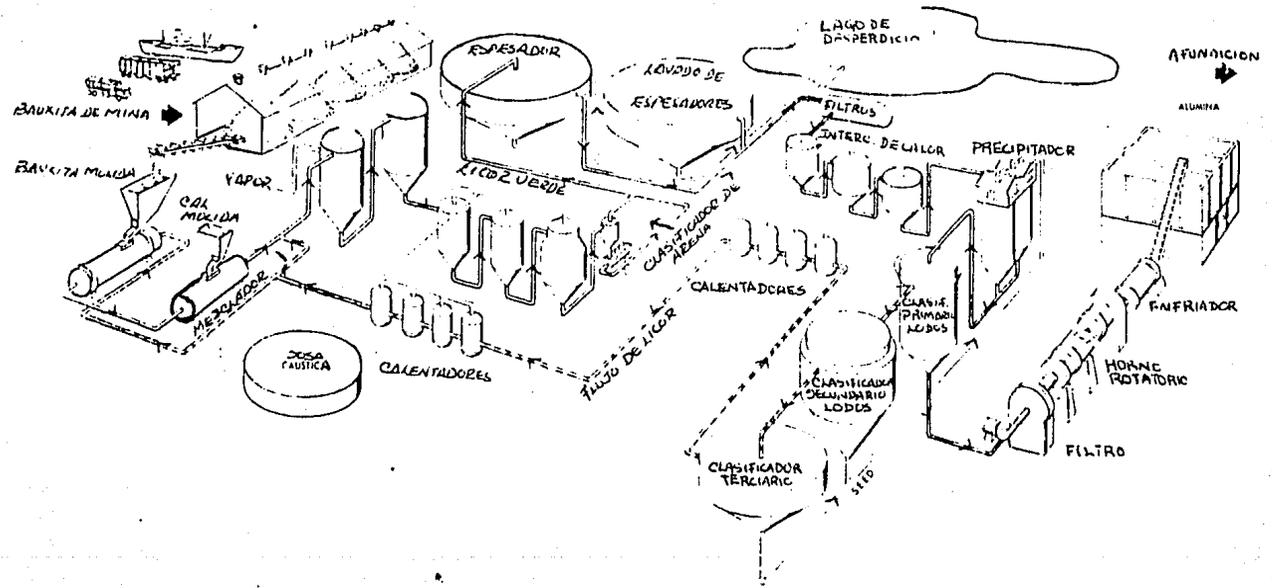
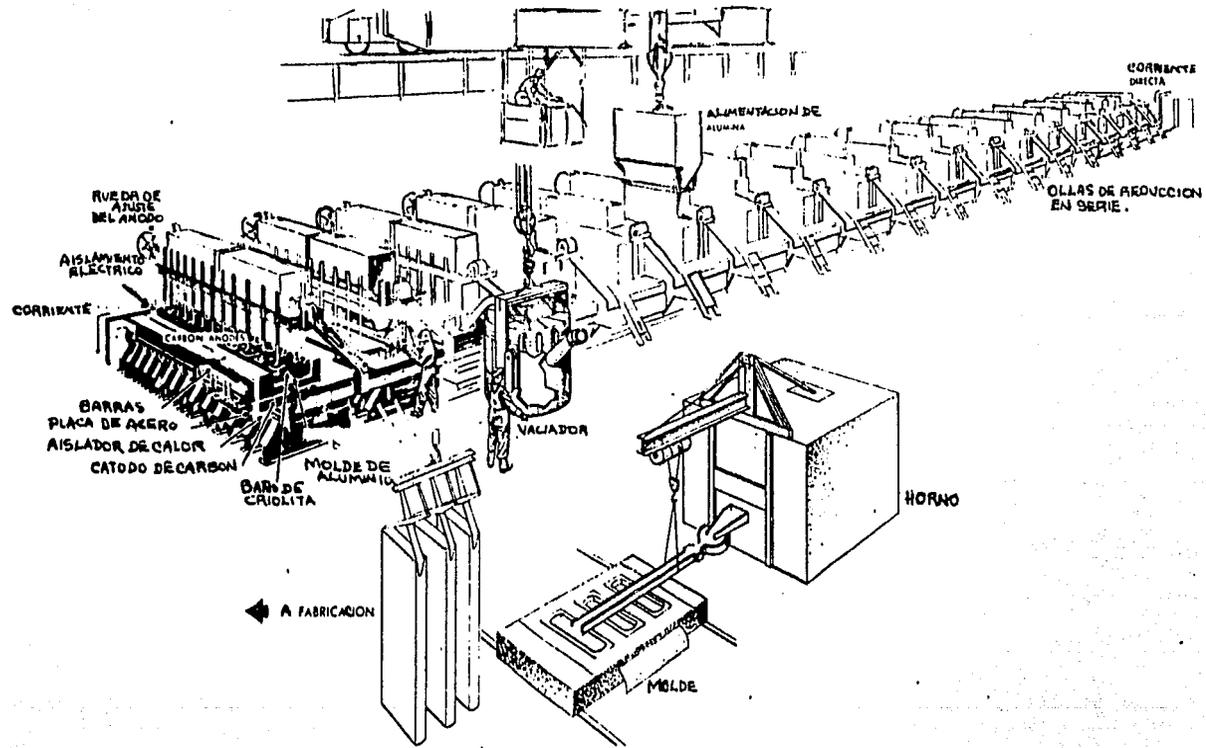


Fig. 3 FUNDICION



CAPITULO III

ALEACIONES DE ALUMINIO

## HISTORIA DE LAS ALEACIONES DE ALUMINIO

Las investigaciones que han provocado el desarrollo del aluminio, presentan las influencias respectivas de la composición y los tratamientos térmicos sobre las propiedades de los metales y aleaciones.

Ciertamente Davy, en 1807, obtuvo una aleación aluminio-hierro pero el mal funcionamiento del proceso y la pequeña cantidad de aleación obtenida no permiten determinar las propiedades del aluminio.

En 1825 Oersted prepara una amalgama, de la que se retira una pequeña masa de aluminio impuro y en Alemania Woehler, obtiene aluminio en forma de polvo gris. Es en 1854, cuando Saint-Claire Deville fabrica un aluminio suficientemente puro para que se puedan conocer las propiedades fundamentales del metal. Una vez obtenido el metal relativamente puro, los estudios de las aleaciones comienzan a dar resultados interesantes. En 1856 Deville produce una aleación Al-Si.

## PRECURSORES

En 1905 se anuncia el primer fenómeno de temple de las aleaciones de aluminio, en 1907 una sociedad alemana saca una patente sobre las aleaciones de aluminio, cobre y magnesio, se hace una mención de una aleación de 4% de cobre, cuyo contenido en Mg debe estar comprendido entre 0.25 y 0.50%. No se menciona en esta patente ningún tratamiento térmico; son los trabajos de Alfred Wilm desde 1906, concretado por sus patentes y publicaciones de 1910 y 1911, los que evidencian el interés del tratamiento térmico de ciertas aleaciones de aluminio.

Esta patente trata de procedimientos para las aleaciones metálicas, en particular el aluminio que contiene magnesio caracterizándose por someterse las aleaciones, después de finalizado el tratamiento calorífico, a un nuevo calentamiento a temperatura superior a 120°C y después de haber sufrido, si fuera necesario, algunas ligeras deformaciones se les deja durante un cierto tiempo para producir un mejor producto.

El origen de las aleaciones de aluminio con tratamiento térmico se encuentra, dentro de la familia de las aleaciones Al-Mg que no es prácticamente sensible en estos tratamientos y que los primeros resultados obtenidos por Wilm sobre el temple y la maduración natural sean debidos a la presencia de silicio como impureza, no se menciona la presencia del cobre.

En 1911 Wilm precisa la influencia del temple sobre la aleación de 3.5% de cobre y 0.5% de magnesio en la cual observa que la aleación se ablanda despues del temple y al cabo de unas horas aumenta la dureza rápidamente al principio y después lentamente.

La temperatura de temple de 500°C está indicada, así como el aumento de resistencia y de alargamiento por maduración natural; la prescencia de Mn aumenta la dureza; el Ni aumenta la tenacidad; por lo tanto concluye: "La gran resistencia que se puede dar por este tratamiento a las aleaciones, les da la posibilidad de múltiples aplicaciones militares y aeronáuticas. Una de estas aleaciones es la conocida en el comercio con el nombre de duraluminio y parece que esta llamada a tener gran perspectiva."

Este temple es efectuado en la aleación de 4% Cu+0.7%Mg+0.5%Si+0.5%Mn, que se endurece considerablemente por temple al agua después de un calentamiento entre 495-500°C y posterior maduración a temperatura ambiente.

Para las aleaciones de fundición se obtiene un perfeccionamiento importante en 1920, aportado por Aldar Paez que mejora notablemente la aleación de aluminio al 13% de Si (ALPAX) afinando el grano por adición de sodio metálico. El alpax viene a ser, desde entonces, la más importante de las aleaciones de fundición.

#### TRABAJOS SOBRE LAS ALEACIONES DE LAMINACION

Los trabajos sobre el temple de las aleaciones Al-Mg-Cu tratan de la temperatura de temple y maduración artificial, estudian la solubilidad de los compuestos  $Al_2Cu$  y  $Mg_3Al_2$  de las aleacio-

nes Al-Cu y Al-Mg<sub>2</sub> muestran que un temple mantiene Al<sub>2</sub>Cu en solución pasando a un estado de precipitación finamente dividida a temperatura ordinaria, que consideran como la causa de endurecimiento.

Los efectos de la maduración artificial y la presencia simultanea de Mg y de Si, al ajustar los porcentajes de estos elementos y la proporción de Mg<sub>2</sub>Si se pueden añadir a la aleación otros elementos, como el cobre. De esta manera se definen -- dos de las grandes familias de las aleaciones de aluminio; la familia de duralumonio y la familia de aluminio-magnesio-silicio. Debido a las teorías de maduración se precisan la solubilidad del Mg<sub>2</sub>Si y Al<sub>2</sub>Cu, posteriormente se estudia el fenómeno por dilatometría y aplicando los rayos X permiten aclarar de -- manera más completa los fenómenos de maduración natural, centrada sobre los agrupamientos de átomos en los planos de la -- red cristalina.

Las atrayentes características de las aleaciones con fuertes -- porcentajes de Mg, las hace ser tomadas en consideración, pero las dificultades de elaboración, así como la inestabilidad de las aleaciones con contenidos en Mg superior al 7%, limitan el desarrollo de esta familia a contenidos inferiores, caracterizándose por una excelente resistencia a la corrosión y por la -- ausencia de tratamientos térmicos.

Las aleaciones que contienen cinc con objeto de estudios que -- utilizan elevados contenidos, debido a la gran solubilidad de este elemento en el aluminio.

Las aleaciones Al-Zn-Mg sin cobre constituyen por sus propiedades un grupo intermedio, entre las aleaciones del tipo Al-Mg -- de contenido inferior al 7% de Mg y las aleaciones con tratamiento térmico de fuerte resistencia.

Estas aleaciones, tratadas térmicamente, tienen características mecánicas más elevadas que las de Al-Mg, una resistencia a la corrosión y una actitud a la soldadura mala, pero muy superiores a las de las aleaciones de elevada resistencia como la Al-Zn-Mg-Cu. Tiene además la ventaja de no necesitar un tem-

ple fuerte para alcanzar por maduración natural características elevadas.

#### ALEACIONES DE MOLDEO

Las aleaciones de moldeo sufren una evolución paralela a la de las aleaciones de laminación y algunas de ellas marcan el comienzo de etapas importantes en el desarrollo de la industria del aluminio, debido a la aparición de aleaciones y tratamientos particulares en la fundición.

La aleación eutéctica Al-Si se desarrolla de una manera muy rápida debido a los procedimientos de afino mediante el sodio y las sales alcalinas. Esta técnica de afino se aplica a las aleaciones más complejas de la familia Al-Si, que se desarrollan posteriormente, tratables térmicamente por la adición de Mg. Las adiciones de Cu, Co y Mn dan lugar a muchos tipos de aleación de propiedades poco diferentes; estas adiciones tienen por objeto mejorar las características mecánicas y la maquinabilidad.

Se obtienen otras variantes de las mismas aleaciones bien sea disminuyendo el contenido de silicio por debajo del porcentaje eutéctico, lo cual mejora la maquinabilidad y contribuye a que las aleaciones sean más plásticas o bien aumentando este contenido para corregir las aleaciones hipereutécticas, utilizadas especialmente para la fabricación de pistones, debido al pequeño coeficiente de dilatación que le da el elevado contenido de silicio.

Las aleaciones conteniendo Cu y Si, se definen para las necesidades de la fundición inyectada.

Las aleaciones Al-Mg de moldeo son utilizadas en la práctica hasta contenidos de Mg (10%) más elevados que en las aleaciones de transformación.

Han sido también las aleaciones con Cu tratadas térmicamente - las que han dado lugar, en fundición, a las primeras aleaciones de características mecánicas elevadas.

Estas aleaciones son mejoradas notablemente por la adición de

de Ti, que afina el grano del metal moldeado, alguna aleación que contenga solamente Cu y Ti y cuyas características más elevadas no pueden ser obtenidas más que por temple, seguido de maduración artificial.

La composición de las aleaciones ha dado lugar a variantes adaptadas a las aplicaciones precisas tales como la resistencia a la fluencia a temperaturas medias que ha sido mejorada recientemente por adición de Li a las aleaciones al Cu resistentes en caliente.

Han sido estudiadas fórmulas de aleaciones para su aptitud a la soldadura (influencia de los contenidos de Si o Cr sobre la soldabilidad de las Al-Mg, presencia del Zr en las Al-Zn-Mg) y la resistencia a la corrosión para obtener películas coloreadas por anodizado.

Ha sido estudiada la resistencia en frío y puesta en evidencia la calidad de las soldaduras de las aleaciones de aluminio que no sufren fragilización, sino que por el contrario, sus características mejoran a muy bajas temperaturas.

#### ALEACIONES DE ALUMINIO

El aluminio de alta pureza tiene una extraordinaria resistencia a la corrosión y su conductividad térmica y eléctrica son excelentes. Sin embargo, para poder utilizarlo industrialmente es necesario aprovechar su capacidad para formar aleaciones con otros elementos, con el objeto de mejorar sus propiedades físicas y mecánicas y producir aleaciones cuyas características es posible regular.

El aluminio en estado líquido disuelve elementos como el Cu, Si, Mg, Ni, Zn, formando al enfriar las soluciones sólidas de acuerdo con sus límites de solubilidad, dando origen a las aleaciones binarias y ternarias, de las cuales las más comerciales son del tipo hipoeutéctico. Durante el enfriamiento de las aleaciones ocurre una cristalización selectiva con separación de Al y soluciones sólidas ricas en aluminio que van ramificando en forma de dendritas primarias, quedando al final los cons

tituyentes intermedios a lo largo de los bordes de grano y entre las dendritas. En la microestructura de las piezas moldeadas es característico el moldeo dendrítico con una malla continua o discontinua de los microconstituyentes y en la condición forjada los constituyentes están distribuidos en toda la ma---triz del material.

En general, los constituyentes de las aleaciones de aluminio constan de: elementos como el Si, que no se combina con el aluminio para formar compuestos y por tanto están presentes en estado elemental. Fases intermedias formadas por uno o más elementos de aleación, como el  $Al_2Cu$  y  $Al_3Fe$ . Fases intermedias formadas por combinación de 2 ó más elementos que son solubles en el aluminio, como el  $Mg_2Si$ . Finalmente algunos constituyentes ternarios como el  $AlFeSi$ .

Las dos aleaciones binarias de moldeo más importantes, contienen una Cu y la otra Si. La adición del cobre al aluminio, aumenta la resistencia a la tracción a expensas de la ductilidad y en perjuicio de la resistencia a la corrosión. El cobre forma con el aluminio un eutéctico a  $547^{\circ}C$  que tienen un 33% de Cu y está integrada por el aluminio alfa y una fase tetragonal centrada con 52.5% de Cu.

El aluminio retiene un 4.1% de cobre en solución sólida a --- $500^{\circ}C$  y solamente 0.45% a  $300^{\circ}C$  y debido a que la difusión del Cu en el Al es muy lenta a temperaturas inferiores al punto de solidificación, el cobre tiende a segregarse, por lo que las aleaciones de alto contenido de cobre son frágiles.

Las aleaciones de aluminio y silicio son muy usuales por sus magníficas propiedades de moldeo, resistencia a la corrosión y resistencia al impacto. El aluminio y el silicio forman un sencillo diagrama eutéctico sin fases intermedias y con una pequeña solubilidad sólida. El eutéctico aparece a  $577^{\circ}C$  con un 11.70% de Si y está formado por cristales relativamente grandes de la solución sólida rica en silicio, el cual se precipita en forma de agujas o láminas relativamente grandes.

La aleación ternaria de Al-Cu-Si, es muy importante en todos

los tipos de moldeo, ya que se combinan las características de ambas, resultando con excelentes propiedades físicas y muy buena facilidad de moldeo.

Las aleaciones de aluminio son también muy importantes, son -- más ligeras que el aluminio, poseen buenas propiedades físicas una excelente resistencia a la corrosión y se mecanizan con facilidad. Hasta un 17.4% de magnesio la solidificación ocurre -- con la formación de una solución sólida de magnesio en alumi-- nio y al descender la temperatura se separa el constituyente -- estructural beta que se supone que es  $Mg_5Al_8$ , que da las pro-- piedades de endurecimiento a estas aleaciones. El constituyen-- te eutéctico contiene un 33% de magnesio.

La adición de otros elementos de aleación como el Cu, Si, Zn y Ni, a las aleaciones de Al-Mg, forman compuestos intermetáli-- cos binarios dando como resultado una gran producción de alea-- ciones ternarias y cuaternarias para una gran variedad de apli-- caciones.

Con el objeto de ampliar el conocimiento de las aleaciones pa-- ra moldeo, a continuación se dan algunas de las principales ca-- racterísticas que los elementos proporcionan al aluminio ó a -- su aleación previa con otro.

El Si imparte fluidez al aluminio fundido, reduce contraccio-- nes externas y grietas en la pieza terminada; reduce el coefi-- ciente de expansión y ayuda a la solubilidad. Combinando con -- el magnesio imparte capacidad para el tratamiento térmico, a-- fecta la maquinabilidad arriba del 4%, haciendo necesario el -- uso de herramientas de corte de carburo de tungsteno ó carbo-- loy.

El cobre incrementa la fortaleza de la aleación, ya sea con ó sin tratamiento térmico; reduce contracciones internas e impar-- te maquinabilidad, tiende a reducir la fluidez e incrementa -- las grietas en caliente. En general el cobre afecta la resis-- tencia a la corrosión, siendo ésta mínima, en porcentajes del 0.3 al 1.0% y en mayores cantidades la aleación tiende a una -- severa corrosión por reacciones galvánicas, sobre todo en pie--

zas expuestas a sales atmosféricas, humedad y óxidos.

El magnesio dadas sus características de solubilidad en estado sólido, hace a las aleaciones de aluminio susceptibles al tratamiento térmico. En porcentajes menores del 8% reacciona al tratamiento térmico, siempre y cuando se encuentre en combinación con el silicio y el cobre ó la combinación de ambos elementos, supresencia en las aleaciones de aluminio tiende a -- aumentar la resistencia a la corrosión y ayuda a la maquinabilidad.

El titanio se usa como refinador de grano (0.05-0.2%).

En los métodos por arena y molde permanente el grano fino ayuda a impartir propiedades mecánicas a las piezas fundidas.

El boro es un afinador de grano y usado en combinación con el titanio, ayuda a que la refinación no se vea muy afectada en -- subsecuentes fusiones de las aleaciones de aluminio se debe -- controlar su contenido en un máximo de 0.01%.

Existe otro grupo de elementos empleados en las aleaciones de aluminio para vaciado, cuya influencia en el trabajo de fundición y características de la pieza obtenida, debe ser estudiada para cada caso desde luego, en combinación con los elementos básicos antes mencionados.

El fierro es aveces usado para reducir contracción ya que puede actuar como afinador de grano; pero arriba del 0.8% en aleaciones con silicio tiende a aumentar tamaño de grano, dando -- una estructura cristalina que afecta gravemente las propiedades mecánicas de las piezas. Del 0.15 al 1.0% es deseable en -- algunas aleaciones yq que reduce las tendencias de éstas a sol darse en el molde, sobre todo en fundición a presión.

El manganeso actua como afinador de grano para reducir contracciones. Cuando se adicionen en aleaciones que contienen cobre y silicio, imparte a las piezas resistencia mecánica a elevadas temperaturas. Debe ser controlado en su combinación con el fierro, ya que puede formar partículas o cristales grandes de los componentes primarios que afectarían la resistencia mecánica o fortaleza de aleación.

El cromo es un afinador de grano, refuerza la resistencia a la corrosión y evita las rajaduras en caliente, aumenta la resistencia mecánica en piezas sometidas a elevadas temperaturas, su uso más común es en proporciones del 0.5 al 3.0%.

El cinc tiende a crear una muy alta contracción en las aleaciones de aluminio cuando se usa a elevados porcentajes. Su buena resistencia al impacto. Agregando en pequeñas proporciones en las aleaciones con cobre ayuda a la maquinabilidad. Se usan porcentajes del 4.0 al 8.0% en algunas aleaciones, ya que no obstante sus defectos, proporciona una gran estabilidad dimensional y buena resistencia a la tensión sin necesidad de tratamiento térmico.

El níquel imparte estabilidad dimensional y fortaleza a la aleación para piezas que trabajarán a elevadas temperaturas; se usa siempre una combinación con otros elementos y en un porcentaje no mayor del 5%, porque igual o mayor cantidad produce una elevada tendencia a la contracción al solidificar.

El berilio se usa muy controlado, en menos del 0.01% para reducir la oxidación durante la fusión de aleaciones de aluminio que contengan arriba del 4% de Mg, así mismo, ayuda a evitar en parte la pérdida de magnesio que tiende a quemarse durante la operación de fusión.

## SIGNIFICADO DE LAS PROPIEDADES MECANICAS EN LAS DESIGNACIONES Y APLICACIONES

Un entendimiento de las propiedades mecánicas de las aleaciones de aluminio, es necesario para las designaciones, también como los procesos de fabricación.

Aunque el control de calidad esta usualmente basado en la temperatura ambiente, las propiedades de tensión, especificaciones y designaciones deben incluir el complemento de valores de fatiga admisible incluyendo compresión, fuerza cortante y carga para varias condiciones ambientales, par la obtención de un buen producto.

## NATURALEZA DE LAS PROPIEDADES MECANICAS

La variación de los resultados de las pruebas hechas a los productos terminados son esperadas, porque las producciones de varios lotes no son exactamente iguales y porque la evaluación de las propiedades de un procedimiento estadístico. Al obtener información significativa para el control de calidad de las aleaciones de aluminio, las pruebas estandar son hechas en muestras tipo, tomadas desde lugares específicos en la producción de lotes sucesivos. La experiencia ha presentado que los datos obtenidos en ésta forma bajan los rechazos en un análisis estadístico. Las propiedades de todos los lotes virtualmente deben ser mejores como el valor mínimo especificado, en base a las propiedades mecánicas requeridas, ya que esto nos dará un rango de aceptación entre los requerimientos especificados de las propiedades típicas y cerca de la media de los valores de prueba, es decir, que tomando esta base tendremos productos aceptables de todos los valores de las pruebas hechas. La ASTM describe el procedimiento para la avaluación de una variedad de propiedades, estos métodos deberán ser seguidos de cerca y presentados en forma de datos.

## MUESTREO PARA PRUEBAS

Como las propiedades varían en diferentes partes de las piezas

los procedimientos para muestreo para definir la localización y orientación de la muestra a ser probada. Generalmente las especificaciones para los productos elaborados de las aleaciones de aluminio requieren muestras tomadas al eje paralelo y longitudinal en las direcciones del flujo máximo de vaciado durante el proceso de fabricación (con grano o dirección longitudinal). Para la placa y lámina de 229 mm (9"), la dirección de la muestra es transversal a la dirección del laminado y paralelo a la superficie laminada (dirección transversal-longitudinal). Para piezas forjadas, las muestras son tomadas desde las tres direcciones principales.

Cualesquiera que sean los requerimientos especificados para lotes sucesivos aseguran la composición, procedimiento de fabricación y tratamiento térmico que ha sido controlado dentro de límites satisfactorios.

El tipo de muestreo y procedimiento de pruebas son básicos para determinar ciertas regiones críticas en fundición y forjado.

#### EFFECTOS DE LA ORIENTACION DE LA MUESTRA

En comparación con otros metales, las diferencias en las propiedades asociadas con el flujo del metal son usualmente mínimas tal que las aleaciones de aluminio pueden ser consideradas esencialmente isotrópicas. Cualquiera que sea, en espesor de placa, forjado y extruido, las propiedades en la dirección transversal en algunos casos debe ser apreciablemente baja que aquellos en la dirección longitudinal.

La variación en las propiedades a través de la sección transversal de un producto no es generalmente de mucha consecuencia, - pero para componentes estructurales obtenidos por maquinado de un producto, esta variación debe considerarse. La sección crítica de una pieza maquinada deberá ser el punto mínimo de esfuerzo en el producto.

#### TAMAÑO DE LA MUESTRA PARA PRUEBA

La muestra para tensión es de 1.27 cm. de diámetro, para muestra tipo lámina es pequeña la diferencia de valores de elongación y esfuerzo de tensión con respecto a la muestra redonda, pero es más fácil y práctico obtener la muestra redonda.

#### CURVAS DE ESFUERZO-DEFORMACION

Estas nos proveen información considerable para comparar aleaciones y para su designación. Ellas son desarrolladas para determinar la tensión y compresión y la fuerza cortante (torsión) y son records continuos de la relación de esfuerzo-deformación.

#### LIMITES PROPORCIONALES Y ELASTICOS

El límite elástico es el límite de acción elástica y debe ser tan grande como el límite proporcional, el cual es el límite de proporcionalidad de esfuerzo a deformación. La determinación con las curvas es generalente impráctica, porque el perfil de las mismas es afectada por sensibilidad del trazo y la medida de la deformación. En adición, la deformación es afectada por las escalas empleadas, estas propiedades deben variar considerablemente dependiendo del esfuerzo residual, el cual debe variar excesivamente entre piezas y lotes de la misma aleación y producto, por estas razones, el límite proporcional y elástico son de poco interés práctico y el esfuerzo dado a ser definido subsecuentemente, es una propiedad más importante.

#### MODULO DE ELASTICIDAD Y RELACION DE POISSON

El módulo de elasticidad de las aleaciones de aluminio es mayormente dependiente de la composición, allí son virtualmente independientes de la liga, producto y dirección del trabajo. El módulo de elasticidad de la aleación seleccionada bajo tensión y compresión (módulo de YOUNG) y bajo carga de corte (módulo de corte) son presentados en la tabla 1. Donde el módulo

en tensión es mayor casi un 2% que el módulo de compresión.

Tabla 4. Módulo de elasticidad

Aleación	Módulos, millones psi		Corte G
	Tensión E	Compresión E <sub>c</sub>	
1100	9.9	10.0	3.8
2020	11.1	11.4	4.2
2024	10.5	10.7	4.0
5052	10.1	10.2	3.8
6061	9.9	10.1	3.8

Los módulos de tensión y corte son relacionados como sigue:

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)}$$

G = Módulo de elasticidad en corte (psi)

E = Módulo de elasticidad en tensión (psi)

$\mu$  = Relación de POISSON

Para aleaciones de aluminio, el valor de la relación de POISSON es cerca de 1/3, de aquí, el módulo de elasticidad en corte es cerca de 3/8 del módulo de elasticidad en tensión.

El módulo de elasticidad es usado en la ecuación para flexión elástica, para esfuerzo cerca del rango elástico, la tangente del módulo algunas veces es utilizada como el módulo efectivo especialmente en problemas de flexión. La fig. 1 muestra, como esas dos propiedades son determinadas desde la curva de esfuerzo-deformación cerca del rango elástico.

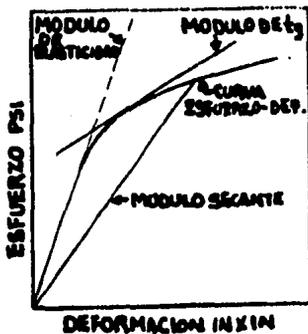


Fig. 1 Determinación del módulo de tangente y módulo de la secante para la curva de esfuerzo-deformación.

### CURVAS TÍPICAS Y CURVAS DE ESFUERZO-DEFORMACION MINIMA

La aplicación de las curvas de esfuerzo-deformación en la designación y selección de la aleación, demanda que las curvas sean representativas de todos los lotes de un producto específico. Ya que la naturaleza variable de los lotes producidos, la curva de esfuerzo-deformación determinada por un lote no es representativa de otros lotes a producirse y por tanto curvas típicas y con mínimo esfuerzo de deformación son empleadas. Estas curvas son desarrolladas desde datos de pruebas de muchos lotes, típicos esfuerzos y deformaciones representan datos esperados de comportamiento, donde el mínimo esfuerzo y curvas presenta el nivel de comportamiento esperado en los lotes.

### CURVAS DE ESFUERZO-DEFORMACION DE VALORES NOMINALES Y REALES

En la formación de curvas de esfuerzo-deformación para consideraciones de las propiedades mecánicas, el esfuerzo está basado bajo el área transversal de la sección, así mismo el área actualmente cambia como los procedimientos de prueba. Similarmente la deformación esta basada bajo una norma original de longitud.

Las curvas desarrolladas con esas definiciones usualmente son referidas como curvas nominales o curvas ingenieriles de esfuerzo-deformación, de ahí sus aplicaciones, cualquiera que sean, este tipo de curvas se representa en la fig.2.

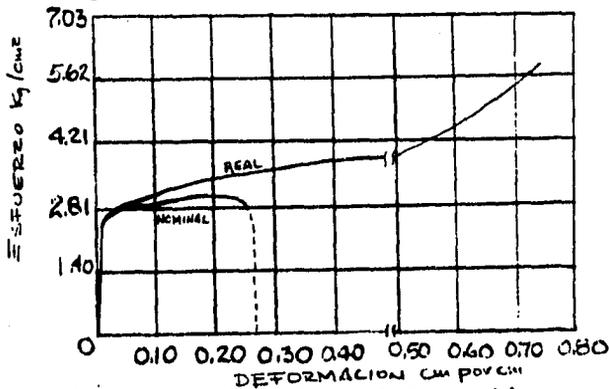


Fig.2 Curva de Esfuerzo-Deformación.

Para tensiones en el rango de acción elástica y aún arriba del esfuerzo producido, ahí no hay diferencia entre la curva nominal y real del esfuerzo-deformación. Para grandes tensiones mayores que el esfuerzo producido, la diferencia entre las dos curvas gradualmente se incrementa esto es en el rango máximo y más allá donde ocurre la carga máxima.

En la curva nominal de esfuerzo-deformación, la carga máxima determina la máxima tensión. Para muchas aleaciones de aluminio, la fractura toma el lugar a una subsecuente pequeña carga donde la máxima carga depende del equipo de prueba y el procedimiento.

La curva real de esfuerzo-deformación, la carga máxima determina solo otro punto en la curva, del incremento en la tensión con el incremento en la deformación y la fractura ocurre a grandes esfuerzos. Esas fuerzas son asociadas con 2 factores:

- a) La deformación longitudinal y la contracción lateral son -- aproximadamente uniformes a lo largo de la longitud normal hasta que la máxima carga es desarrollada.

- b) La deformación adicional y contracción son concentradas en una porción corta de la longitud normal y un anillo es formado.

#### COEFICIENTE DE DEFORMACION-DUREZA

El coeficiente de deformación-dureza a veces es considerado a ser un índice de la formabilidad y de la resistencia de un material.

#### PROPIEDADES DE LA TENSION

Para aleaciones de aluminio, la carga es generalmente definida por una compensación en la curva de esfuerzo-deformación igual a 0.2%. La designación debe deducirse através de los valores de tensión y la fuerza de carga determinada por los procedimientos de prueba.

La tensión es una de las principales propiedades que se utilizan en la industria del aluminio como control de calidad, los resultados de continuos análisis son usados como base para la

revisión de valores específicos y para el establecimiento de nuevos valores.

#### PROPIEDADES DE CORTE

El esfuerzo al corte tiene diversas interpretaciones, tales como la fuerza requerida de cortes en partes cilíndricas en secciones transversales. El esfuerzo al corte puede ser determinado por diferentes métodos como:

- a) El material cortado en un plano (corte simple) o dos planos (corte doble).
- b) El material es perforado.
- c) Una fuerza de torsión es aplicada.

Estos métodos nos proveen datos de diferentes magnitud y no son los mismos ya que los valores no representan un corte puro. Los valores de esfuerzo al corte están en función de las dimensiones de la pieza. El esfuerzo al corte de las aleaciones de aluminio son cercanas al 60% del esfuerzo de tensión, el rango está entre el 55 y 80%. Los bajos porcentajes son aplicables a un gran esfuerzo en aleaciones forjadas, especialmente en extrusiones y los grandes porcentajes a algunas aleaciones fundidas. Por ejemplo para placas, el esfuerzo de corte en planos paralelos a la superficie nos da un 15% menos que en planos normales a la superficie.

Para palnos normales a la superficie el esfuerzo al corte es cercano al 10% más cuando la fuerza es aplicada paralela a la superficie que cuando son alicadas a la superficie normal.

#### DUREZA

Los valores de dureza son usualmente pequeños respecto al valor designado, pero algunas veces son usados para control de calidad particularmente para partes semiterminadas.

La dureza de las aleaciones de aluminio generalmente es medida como resistencia a endiduras bajo una fuerza estática, para pruebas tales como la BRINELL, ROCKWELL y VICKERS.

En pruebas de Brinell de las aleaciones de aluminio, una combi

nación de carga y balín (500Kg. de carga 10 mm de diam. de balín ó un equivalente) debe ser usada. Los valores no son comparativos como para aceros. Cuando esta prueba es hecha a diferentes aleaciones de aluminio forjadas y templadas, son comparables y está generalmente dividida la relación lineal entre la dureza y el esfuerzo de tensión fig.3

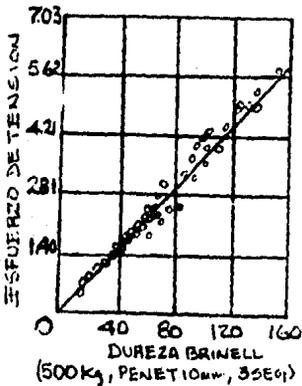


Fig.3 Dureza Brinell v.s. Esfuerzo de Tensión para diferentes Aleaciones de Aluminio

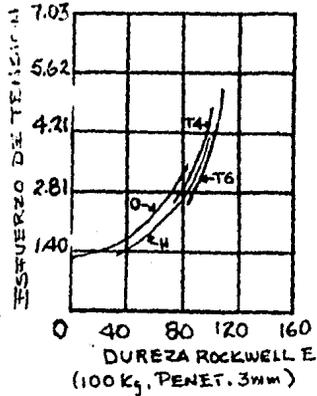
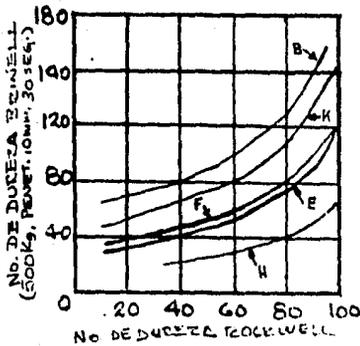


Fig.4 Dureza Rockwell E v.s. Esfuerzo de Tensión en placas de Aluminio.

La dureza Rockwell es empleada frecuentemente y usada para procesos de control. No se tiene ninguna relación lineal con otra propiedad mecánica y no puede simplemente ser usada para otras aleaciones según se muestra en la fig. 4 donde se presenta la dureza Rockwell E contra el esfuerzo de tensión, valores para diferentes templados. La fig. 5 presenta aproximadamente la relación entre las escalas Rockwell y Brinell.

Las pruebas de dureza en las aleaciones de aluminio deben ser usadas satisfactoriamente para varios propósitos, los resultados son fácilmente interpretados si la composición de la aleación es conocida, también las pruebas de dureza son usadas para separar lotes mezclados de aleaciones con suficiente dife--

rencia en la composición y templado.



Escala Fockwell	Penetrador mm	Carga Kg
B	1.5	100
F	1.5	60
K	3.0	150
E	3.0	100
H	3.0	60

Fig.5 Correlación aproximada entre la Dureza Brinell Y la Dureza Rockwell de diferentes Aleaciones de Aluminio.

Las pruebas de dureza de las aleaciones de aluminio nos dan me nos información que las pruebas de tensión. La dureza puede dar alguna indicación del esfuerzo de tensión, a pesar de que la dureza puede proveer falsas relaciones. La dureza no es usada como una inspección final para la calidad de los productos de las aleaciones de aluminio' para este propósito las pruebas de tensión son preferidas. Debido a grandes variedades de composición, templado, esfuerzos de tensión, elongación trabajo en frío, por estas razones no es posible obtener un factor de conversión simple o gráficas que relacionen esos factores a las durezas.

#### PROPIEDADES DE CARGA

Las propiedades de carga en las aleaciones de aluminio son usa das en la designación de remachado, tornillos, juntas etc.. La relación entre la carga y la deformación de una perforación tiene muchas de las características de las curvas de tensión de esfuerzo-deformación. Los esfuerzos de soporte y esfuerzos producidos están basados en el área de la pryeción de la superficie de contacto (diámetro de la perforación multiplicado por el grosor del espécimen).

## FORMABILIDAD

La formabilidad está definida como el relativo y fácil conformado que se le da a un metal a través de la deformación plástica Prueba de tensión.

La elongación en la prueba de tensión es una de las más comunmente usadas y precisas de formabilidad.

Los valores están basados por dos factores:

- La elongación uniforme la cual es independiente de la long.
- La elongación localizada al rededor de la fractura.

Prueba de doblez

Son algunas veces evaluadas para la formabilidad y las cuales según la muestra podemos observar si existe fractura.

## PROPIEDADES DE DESLIZAMIENTO Y RUPTURA AL DESLIZAMIENTO (CREEP)

El esfuerzo del deslizamiento no puede ser expresado por un número, pero esto debe ser relacionado al tiempo, suma de deformaciones y temperatura fig. 6. Similarmente la ruptura al deslizamiento, el esfuerzo debe ser relacionado al tiempo y la temperatura. Los esfuerzos son bajos para largos tiempos y temperaturas altas fig. 7. La deformación de deslizamiento generalmente esta acompañada por cambios en el grano de la estructura y en las propiedades mecánicas.

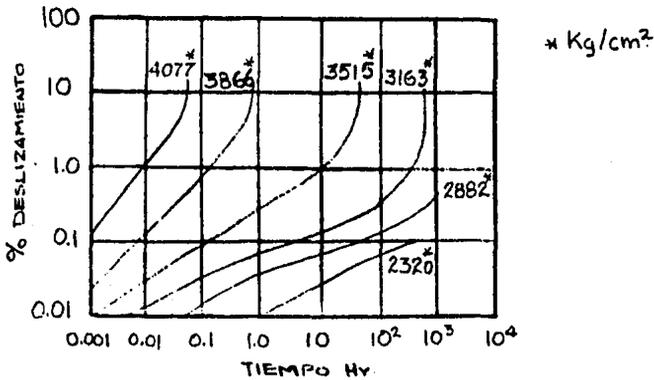


Fig. 6 Curva tiempo deslizamiento en dirección longitudinal.

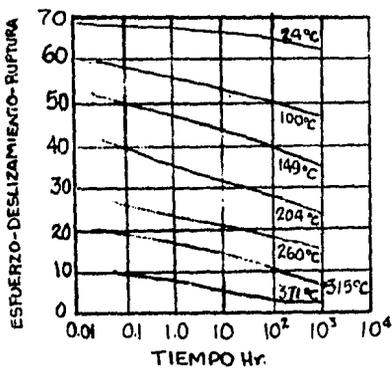


Fig. 7 Esfuerzo-Deslizamiento-Ruptura v.s. Tiempo para placas de Aluminio de 2.54 cm. en dirección longitudinal.

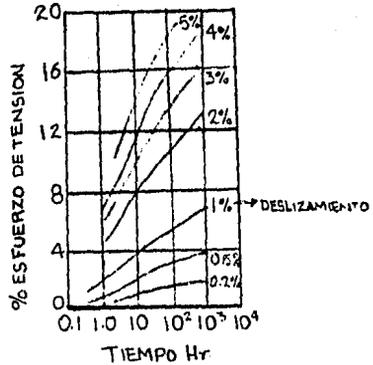


Fig. 8 Esfuerzo de Tensión v.s. tiempo a varios % de deslizamiento.

#### PROPIEDADES DE FATIGA

Los ciclos de carga y servicio deben ser un esfuerzo máximo - constante o una deformación máxima constante, como usualmente ocurre y esto refleja un amplio rango de condiciones de carga. Las variaciones las caondiciones de carga deben ser solamente el resultado de condiciones mecánicas.

Los esfuerzos cíclicos deben estar en tensión, compresión, cor te o una combinación de los mismos. En realidad los esfuerzos de concentración obtenidos son más importantes que el esfuezo de fatiga básico de una aleación.

El esfuerzo de fatiga no puede ser expresado por un número sim ple, el número de ciclos debe ser establecido y el ciclo de es fuerzo debe ser descrito en términos de máximo y mínimo esfuer zo y la relación o diferencia de los esfuerzos. La propiedad - más comunmente usada en las aleaciones de aluminio es el lími- te de fatiga, definida como el esfuerzo a 500 millones de ci- clos.

Esto es determinado por la curva de ciclos contra esfuerzos hecha por una ó más serie de pruebas a varios esfuerzos fig. 9 Como puede ser visto en la tabla número 3, donde se relaciona

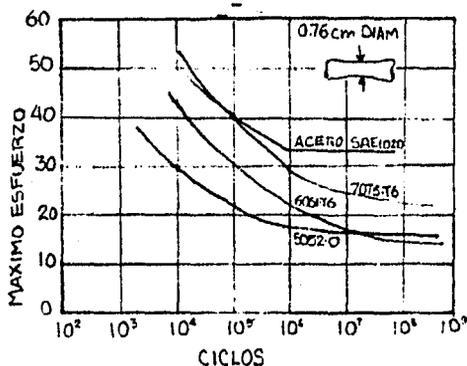


Fig. 9 Curvas de fatiga para algunas Aleaciones de Aluminio y Acero.

el límite de fatiga y el esfuerzo de tensión aquí se muestra - que la relación entre estas dos propiedades es 0.3 veces para aleaciones tratadas térmicamente y 0.5 veces para recocidos no tratados térmicamente. Ahí las diferencias en las propiedades de fatiga de lotes nominales idénticos de una aleación, como - por ejemplo lo que se presenta en la fig. 10 que son los resultados de pruebas de varios productos. Las diferencias en las propiedades de fatiga pueden raramente ser relacionadas a la - variación en operación de la producción o a otras característi- cas del material tal como esfuerzo de tensión, elongación, tamaño de grano y dirección del flujo metálico.

Tabla 3. Relación entre límite de fatiga y esfuerzo a la tensión para algunas aleaciones de aluminio.

Aleación y Temple	Fatiga Kg/cm <sup>2</sup>	Tensión Kg/cm <sup>2</sup>	Relación entre F y T
1100-0	350	910	0.38
3003-0	490	1120	0.44
3004-0	980	1820	0.54
5050-0	910	1410	0.62
5052-0	1120	1960	0.57
2014-T6	1260	4900	0.26
2024-T4	1400	4760	0.29
7178-T6	1540	6160	0.25
5052-H34	1260	2660	0.47

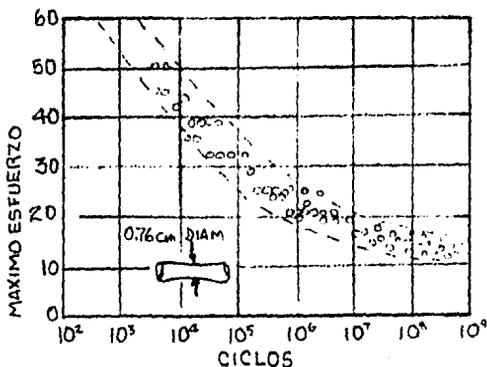


Fig. 10 Bänder de Fuga para varios productos de diferentes lotes de una misma aleación.

#### CARACTERISTICAS DE FRACTURA

Las características de fractura envuelven las propiedades por las cuales la aleación pone resistencia a una propagación rápida de ruptura y teniendo baja ductilidad sin apreciable deformación plástica. Información concerniente a la fractura nos es de mucha utilidad para el desarrollo de estructuras o componentes ya que esto nos evitará fallas catastróficas en el material deseado. La elongación y reducción de área obtenidas en pruebas como desarrollo de ductilidad nos da un índice característico de fractura, la relación del esfuerzo producido por tensión también sirve para éste propósito. Dos bases que nos pueden servir para detectar la fractura son ;

- a) La apropiada capacidad de absorción de energía.
- b) Indices de corte firme (firmeza de corte)

#### CAPACIDAD DE AMORTIGUACION

Es la capacidad de un material para absorber energía vibracional y resistir fricciones internas, la capacidad de amortiguación puede ser medida por una variedad de pruebas y los resultados dependen del método de prueba y el máximo esfuerzo desarrollado. Es importante reconocer que las vibraciones características de muchas de las estructuras son menos dependientes en la capacidad de amortiguación de la aleación, que del aspecto en la designación en las uniones.

## EFFECTOS DEL PORCIENTO DE DEFORMACION

Las pruebas de tensión para propósitos de evaluación del material son usualmente hechas en porciento de deformación en el rango desde .00254 cm. a .254 cm.x2.54 cm.x min., en tanto que la fractura ocurre de 1 a 3 min. de la aplicación de la carga aunque este rango es considerado como estandar, esto representa un rango estrecho dentro del porciento de deformación en el cual son encontrados los resultados, donde la fractura puede desarrollarse en ciento de miles de horas. Así mismo, esto puede discutirse en dos formas:

a) Los efectos en bajos porcentos de deformación.

En las pruebas de tensión a la temperatura ambiente, las aleaciones de aluminio no son sensitivas a un porciento de deformación menores de .00254 cm.x 2.54 cm.x min.

b) Los efectos en altos porcentos de deformación.

El término impacto como aplicación al porcentaje de deformación no esta claramente definido, una prueba hecha a un porcentaje de impacto, actualmente es hecha a un porciento de deformación específico, representado por algún punto en el espectro de porcentaje. Para rangos de deformación arriba de .00254 cm x 2.54 cm.x min., el efecto es pequeño, el incremento en las propiedades de las aleaciones de aluminio con el incremento en el porciento de deformación son más pronunciadas a temperaturas elevadas que a temperatura ambiente; en general, los efectos se incrementan con la temperatura.

## EFFECTOS DEL MEDIO AMBIENTE

Muchas de las aplicaciones de las aleaciones de aluminio en servicio, envuelven derivaciones desde las condiciones de temperatura ambiente y atmósfera normal. La temperatura ambiente representa solamente un punto (o un pequeño rango) en la escala entre el cero absoluto y el rango de fusión de un metal, las propiedades de un metal a temperatura ambiente se pueden representar en gráficas como se muestra en la figura 11.

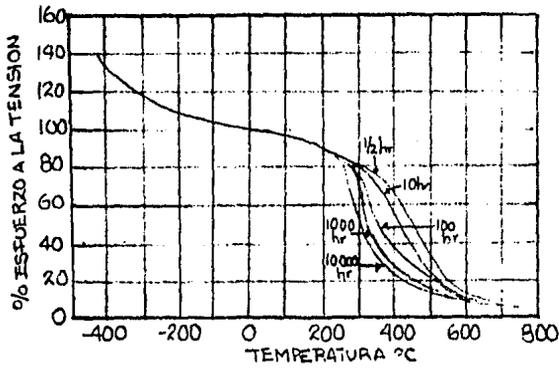


Fig. 11 Esfuerzo a la tensión a varias temperaturas.

#### TEMPERATURAS ABAJO DE LA TEMPERATURA AMBIENTE

Los esfuerzos de las aleaciones de aluminio incrementadas con el decremento de la temperatura son casi insignificantes, (de  $-45.5^{\circ}\text{C}$  a  $-73.3^{\circ}\text{C}$ ) no son influenciados por la longitud de exposición a esas temperaturas.

El módulo de elasticidad también incrementa con el decremento en la temperatura como se presenta en la fig.12 .

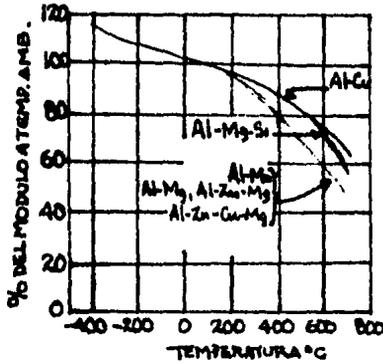


Fig. 12 Módulo de elasticidad de Aleaciones de Aluminio a varias temperaturas.

### TEMPERATURAS ARRIBA DE LA TEMPERATURA AMBIENTE

Los esfuerzos de las aleaciones de aluminio generalmente decrecen con incrementos cercanos a la temperatura ambiente, excepto que en algunos casos los efectos de endurecimiento equivalen a otros efectos de exposición dentro de un estrecho rango de temperatura. La ductilidad de las aleaciones de aluminio, medida por elongación y reducción de área, generalmente se incrementa con el incremento de la temperatura y con la longitud de exposición, el módulo de elasticidad no es afectado permanentemente a temperatura elevada a la cual se encuentra expuesto; esto regresando al valor de la temperatura ambiente después de la exposición como se presenta en la fig. 13

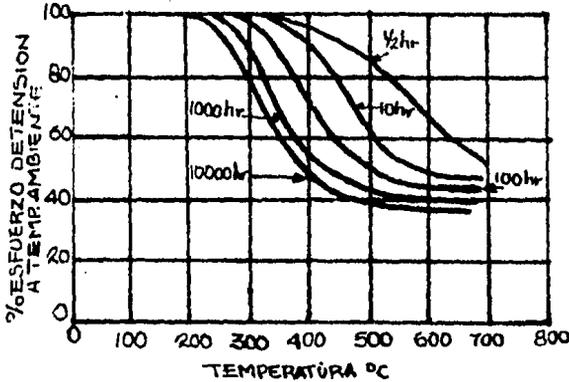


Fig. 13 Esfuerzo de tensión de una aleación de Aluminio a T amb. después de ser expuesta a alta temperatura.

### MEDIO AMBIENTE

Representa otro factor como el de la temperatura, que esta basado en los efectos atmosféricos tales como, contaminación y humedad. Si el medio ambiente es diferente a la atmósfera normal, los efectos pueden ser significativos. Así tenemos variaciones básicas que son de importancia en la práctica tal como; vacío, gases y líquidos del medio ambiente.

El esfuerzo y la ductilidad son inafectados por el vacío, presumiblemente porque hay completa exclusión de mezcla de elementos corrosivos, también los esfuerzos de fatiga son reportados con un valor mayor en comparación a una atmósfera normal.

Los gases y líquidos en el medio ambiente han sido evaluados con la observación de sus efectos en las propiedades de las aleaciones de aluminio, los resultados indican que la exposición en esos medios son conocidos como inductores a la corrosión porque se encuentra una reducción en el esfuerzo y la ductilidad en las aleaciones de aluminio. Esto es significativo si la pieza es expuesta a una substancia en un período antes de la prueba, similarmente la exposición de esos medios deberá decrementar el esfuerzo de fatiga y el esfuerzo de ruptura.

### PROCESOS DE FUNDICION

Es necesario conocer íntimamente cada proceso de fundición que se va a aplicar para obtener las piezas deseadas, ya que esto nos ayudará a tener conocimiento de las limitaciones en las dimensiones y las tolerancias críticas y así poder obtener una fundición de gran calidad como se presenta en la fig.14, las tolerancias críticas se presentan en las tablas 4,5,6 y 7.

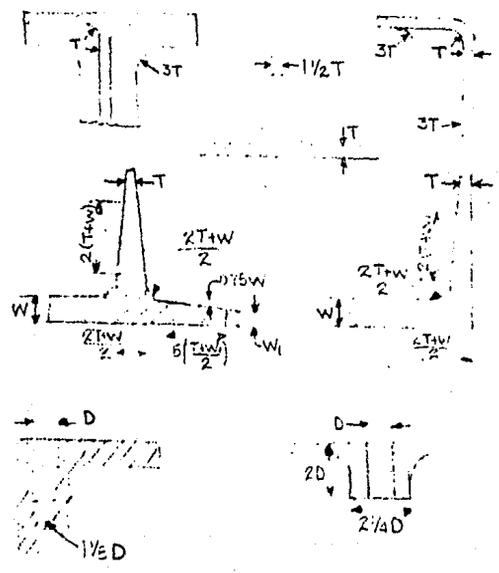


Fig.14 Designación de detalles sugeridos.

Tabla 4. Tolerancias dimensionales para fundición en matriz

Dimensión tipo A: Entre dos puntos en la misma parte del dado no afectada por la línea de partición ó partes en movimiento.

Dimensión en cm.	Tolerancia $\pm$ mm	
	crítica	no crítica
Cercano a 2.54 . . . . .	0.1016	0.254
De 2.54 a 30.48 . . . . .	0.1016 + 0.0015mm/mm	0.254+0.002mm/mm
De 12 . . . . .	0.5207 + 0.2540mm/mm	0.812+0.001mm/mm

Dimensión tipo B: Cerca del plano de partición.

Area proyectada $A_1 \times A_3$ en $(cm^2)$	Tolerancia de línea de part. (mm)
Cercano a 322 . . . . .	0.12
De 322 a 645 . . . . .	0.20
De 645 a 1290 . . . . .	0.30
De 1290 a 1935 . . . . .	0.38

Dimensión tipo C: Afectada por las partes en movimiento.

Area proyectada $A_2 \times G$ en $(cm^2)$	Tolerancia para movim. (mm)
Cercano a 64.5 . . . . .	0.12
De 64.5 a 129 . . . . .	0.20
De 129 a 322 . . . . .	0.30
De 322 a 645 . . . . .	0.38

Dimensión D: Angulo de salida. Profundidad de ángulo en cm.

Profundidad de ángulo en cm.	Angulo, grados	
	crítico	no crítico
Cerca de .254 . . . . .	6	18
De .254 a 1.27 . . . . .	3	6
De 1.27 a 2.54 . . . . .	2	3
De 2.54 a 7.62 . . . . .	1	1.5
De 7.62 a 22.86 . . . . .	0.75	1

Dimensión E: Mínimo espesor de pared 2.28 mm.

Dimensión F: Tolerancia de acabado	Toler. nominal
Dimensión máx. cm.	mm.
Cerca de 12.7 . . . . .	0.0508
De 12.7 a 30.48 . . . . .	0.0762
De 30.48 a 45.72 . . . . .	0.1016

Mínimo diámetro de alimentación 3.55mm.

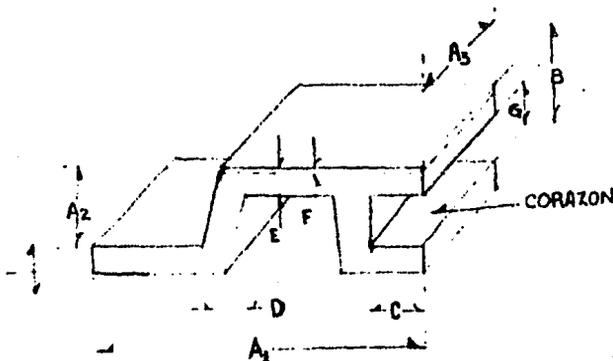


Tabla 5. Tolerancias dimensionales para fundición en Yeso.

Dimensión tipo A: Entre dos puntos en la misma parte del molde no afectada por la línea de partición o corazón.

Dimensión especificada (cm)	Tolerancia $\pm$ mm	
	crítica	no crítica
Cercano a 2.54 . . . . .	0.1270	0.254
De 2.54 . . . . .	0.12 + 0.001mm/mm	0.254 + 0.002mm/mm

Dimensión tipo B: Cerca de la línea de partición.  
 Area proyectada  $A_1 \times A_3$  en  $cm^2$ . Tolerancia de línea de partición

Cerca de 64.51 . . . . .	.0.12 mm
De 64.51 a 322 . . . . .	.0.254 mm
De 322 a 645 . . . . .	.0.0508mm
De 645 . . . . .	.0.0762mm

Dimensión tipo C: Afectada por el corazón  
 Area proyectada de fundición afectada por el corazón  $A_3 \times G$  ( $cm^2$ ) Tolerancia adicional para el corazón (mm)

Cercano a 64.51 . . . . .	.0.12
De 64.51 a 322 . . . . .	.0.0508
De 322 a 645 . . . . .	.0.0762
De 645 . . . . .	.0.1143

Dimensión tipo D: Angulo

Localización	Angulo en grados	
	Crítico	no crítico
Fuera de la superficie	0	2
Huecos	0	2
Corazones	0	2

Dimensión E: Mínimo espesor de pared 0.1524cm.

Dimensión F: Tolerancia de acabado.

Máxima dimensión cm.	Tolerancia nominal mm.
Cercano a 12.7 . . . . .	0.0508
De 12.7 a 30.48 . . . . .	0.0762
De 30.42 a 645 . . . . .	0.1016

Mínimo diámetro de alimentación 6.35 mm

Tabla 6. Tolerancias dimensionales para fundición en molde permanente y semipermanente

Dimensión tipo A: Entre dos puntos en la misma parte del molde no afectado por la línea de partición o movimiento de las pzas

Dimensión en cm	Tolerancia $\pm$ mm	
	Crítica	No crítica
Cercano a 2,54 . . . . .	0.254	0.38
De 2.54 . . . . .	0.254 + 0.0015mm/mm	0.254+0.002mm/mm

Dimensión tipo B: Cercano a la línea de partición.

Area proyectada de fundición $A_1 \times A_3$ dado en $cm^2$	Tolerancia adicional para la línea de partición dado en mm
Cercano a 64.5 . . . . .	0.254
De 64.5 a 322 . . . . .	0.38
De 322 a 645 . . . . .	0.508
De 645 a 1610 . . . . .	0.635
De 1610 a 3220 . . . . .	0.762

Dimensión tipo C: Afectada por el movimiento de las piezas.

Area proyectada de fundición afectada por el movimiento $A_3 \times G$ $cm^2$ .	Tolerancia adicional mm Corazon del metal o molde	Corazón de arena
Cercano a 64.5 . . . . .	0.254	0.38
De 64.5 a 322 . . . . .	0.38	0.635
De 322 a 645 . . . . .	0.380	0.663
De 645 a 3225 . . . . .	0.558	1.016
De 3225 a 6450 . . . . .	0.812	1.52

Dimensión D : Angulo de salida

Localización	Angulo en grados	
	Crítico	No crítico
Fuera de la superficie . . . . .	2	3
Huecos . . . . .	2	5
Corazones . . . . .	1	2

Dimensión E: Mínimo espesor de pared.

Dimensión máxima cm.	Mínimo espesor de pared mm
Cercano a 7.62 . . . . .	3.55
De 7.62 a 15.24 . . . . .	4.06
De 15.24 . . . . .	4.77

Dimensión F: Tolerancia de acabado

Máxima dimensión cm.	Corazón del metal	Corazón arena
Cerca de 15.24 . . . . .	0.762	1.52
De 15.24 a 30.18 . . . . .	1.143	2.28
De 30.48 a 45.72 . . . . .	1.520	3.04
De 45.72 a 60.96 . . . . .	2.28	4.57

Mínimo diámetro de alimentación 9.52 mm.

Tabla 7. Tolerancias dimensionales para fundición en arena

Dimensión tipo A: Entre dos puntos de la misma parte del molde no afectado por la línea de partición o corazón.

Dimensiones especificadas (cm)	Tolerancia $\pm$ mm	
	Crítica	No crítica
Cercano a 15.24 . . . . .	0.762	1.01
De 15.24 a 30.48. . . . .	0.762+ 0.003mm/mm	1.01 +0.004mm/mm
De 30.48 . . . . .	1.119+ 0.002mm/mm	1.625+0.002mm/mm

Dimensión tipo B: Cerca de la línea de partición.

Area de fundición proyectando $A_1 \times A_3$ (cm <sup>2</sup> )	Tolerancia adicional para la línea de partición (mm)
Cercano a 64.5 . . . . .	0.508
De 64.5 a 322 . . . . .	0.789
De 322 a 645 . . . . .	1.140
De 645 a 1610 . . . . .	1.520
De 1610 a 3220 . . . . .	2.28

Dimensión tipo C: Afectada por corazones.

Area proyectada por la fundición afectada por corazones $A_2 \times G$ cm <sup>2</sup>	Tolerancias adicionales para corazones mm.
Cercano a 64.5 . . . . .	0.508
De 64.5 a 322 . . . . .	0.789
De 322 a 645 . . . . .	1.140
De 645 a 3225 . . . . .	1.520
De 3225 a 6450 . . . . .	2.280

Dimensión D: Angulo de salida

Localización	Crítico	No crítico
Fuera de la pared	2°	3°
Huecos	3°	5°
Corazones	2°	3°

Dimensión E: Mínimo espesor de pared 3.81 mm

Dimensión F: Tolerancia de acabado.

Máxima dimensión cm	Tolerancia nominal mm
Cerca de 15.24 . . . . .	1.52
De 15.24 a 30.48 . . . . .	2.28
De 30.48 a 45.72 . . . . .	3.04
De 45.72 a 60.96 . . . . .	4.57

Mínimo diámetro de alimentación 6.35 mm.

CAPITULO IV

UTILIZACION DE LAS ALEACIONES DE  
ALUMINIO

## FUNDICION EN ARENA

Es el más sencillo y versátil de los procesos usados para fundir aluminio, los moldes se fabrican con relativa facilidad y - bajos costos. Usualmente el proceso de fundir en arena se escoge para producir:

Pequeñas cantidades de piezas iguales.

Piezas muy grandes.

Piezas estructurales.

Existen fundiciones automáticas para fundir aluminio en arena debido a que se presentan elevados volúmenes de piezas iguales ya sean pequeñas o medianas cuyas características mecánicas o físicas no son críticas y que puedan ser susceptibles de variar en algunos detalles de su diseño, lo que representa en lo económico (costos) una gran ventaja que en ningún otro proceso se puede obtener.

Un aspecto importante en este proceso lo constituye la arena y sus diferentes tipos, así como los elementos para darle consistencia.

Los cinco puntos más importantes que debe cubrir la arena para moldear son:

### A) Fluidéz

Nos sirve para llenar perfectamente el molde al cual vamos a vaciar el metal fundido en todos sus detalles y ésta fluidéz la proporciona el silicio.

### B) Resistencia en verde

Una vez formado el molde de arena, que este pueda ser manejado sin que se desgrane, raje o deforme y que al colarse no sufra colapsos y desmoronamientos.

### C) Acabado

Las piezas deben tener superficies tersas, esto lo proporciona la forma y tamaño de grano de la arena (redonda o angular) y los aglutinantes como la bentonita y el caolín.

### D) Permeabilidad

La estructura del molde debe ser porosa para que permita la salida de los gases al momento de colar, este punto está relacio-

nado íntimamente con el acabado; pero al recircularse la arena se deberá tener cuidado con el contenido de impurezas que se adquieren en cada ciclo, ya que estas son las que afectan la permeabilidad.

#### E) Compresión en seco

La temperatura del metal colado va secando y calentando al molde de arena; mismo que libera esfuerzos y sufre deformaciones junto con la pieza que esta solidificando y se puede presentar la ruptura en caliente. Este problema está ligado principalmente al tamaño y forma de grano de la arena así como el diseño de coladas y corredores de llenado.

#### FUNDICION EN MOLDE PERMANENTE

También llamado colado por gravedad en el que se emplean moldes en fierro colado o acero, hechos de tal forma que el espesor de las paredes provean una suficiente capacidad térmica para asegurar un rápido enfriamiento del metal vaciado.

En el molde semipermanente, corazones de arena o arcilla son adaptados al molde de acero o fierro colado para producir piezas de diseño o forma complicada. Básicamente la secuencia general de operación de este proceso es el siguiente:

- a) El molde se recubre con una capa refractaria que está en contacto directo con el aluminio.
- b) Inserción de corazones (si son necesarios)
- c) La aleación de aluminio debe colarse a la temperatura adecuada y bajo estrictas normas de preparación.
- d) Quitar corazones antes de que termine el ciclo de solidificación y finalmente abrir el molde para sacar las piezas sin dificultades.
- e) Un adecuado diseño de coladas y corredores de llenado que aseguran un rápido abastecimiento del metal fundido.

La producción que es posible obtener en la vida de un molde permanente varía de 100 000 a 120 000 piezas.

## FUNDICION A PRESION

Este es un proceso costoso ya que requiere de máquinas y mol--des de alta precisión, consiste en introducir metal fundido en las cavidades de un molde de acero a altas presiones, las piezas obtenidas, son de muy buenos acabados y dentro de excelentes tolerancias dimensionales (del orden de 0.076 mm a 0.127mm) así mismo, su producción es elevada, ya que los ciclos de soli--dificación son muy cortos permitiendo una frecuencia muy eleva--da de moldeo o inyección. La producción que es posible obtener en la vida del molde, es elevada de 20 000 a 150 000 piezas.

Entre algunas ventajas del proceso de fundición tenemos:

1. Las piezas que se obtienen requieren de un mínimo de acaba--do y maquinado, algunas no lo requieren y con una muy elevada productividad, rendimiento pieza-hora es el más elevado en la industria de la fundición.
2. Las tolerancias dimensionales son muy cerradas así como la homogeneidad entre las piezas producidas, cada es una el dupli--cado exacto de la anterior, lo que facilita maquinados y ensam--bles.
3. Cuando las cantidades de piezas que se requieren son muy --grandes, la fundición a presión presenta los costos más bajos que cualquier otro proceso.
4. Piezas complicadas de pared delgada y de tolerancias dimen--sionales muy cerradas se pueden obtener por este proceso.
5. Las pérdidas de metal son muy bajas ya que las coladas, ma--zarotas, rebabs y piezas defectuosas pueden ser refundidas con muy pequeñas pérdidas.
6. Las propiedades mecánicas de las piezas son generalmente --elevadas en comparación con otros procesos de fundición.
7. Una muy amplia variedad de aleaciones de aluminio pueden --ser empleadas en fundición a presión, ya sea para impartir pro--piedades mecánicas y/o químicas como la resistencia a la corro--sión.

Muy pocas son las desventajas en fundición a presión y son las siguientes:

- a) El aire o gases en la cavidad del molde y cámara pueden que dar atrapados en la pieza con el consiguiente detrimento mecánico y de apariencia de la pieza.
- b) La modificación de herramienta y moldes es costosa.
- c) A medida que aumentan los espesores de las paredes o secciones de la pieza, baja su calidad haciendo el uso de vacío.
- d) El manejo de operación de corazones en el molde es complicado.

#### CENTRIFUGADO

Consiste en un molde que se hace girar o rotar sobre un eje -- una vez que se ha llenado de metal fundido. La fuerza centrífuga fuerza al metal con una presión constante al llenar todas las cavidades del molde. Piezas cilíndricas o placas circulares son las más recomendadas para fundirse por centrifugado. Se emplean tres diferentes procedimientos de centrifugado:

##### Centrifugado Directo

El molde gira sobre su propio eje y no se unen corazones centrales, tampoco se necesitan coladas y mazarotas, la cantidad de metal colado debe ser cuidadosamente medido para que llene al 100% la pieza.

La dirección de solidificación es de afuera hacia adentro o sea hacia el centro de la rotación, piezas tubulares son las indicadas para este proceso, el eje de rotación puede ser vertical u horizontal.

##### Semicentrifugado

Se requieren corazones centrales para piezas de contornos irregulares en el interior de la cavidad central, el eje de rotación y la posición del molde siempre es vertical se puede hacer necesario el uso de coladas, corredores y enfriamientos.

Las piezas más indicadas para fundir en este proceso son ruedas de secciones muy variadas. Por ejemplo rhines automotrices

##### Centrifugado

Es el más versátil de estos tres procesos para piezas que no pueden ser rotadas o giradas en un propio eje. Se acomodan los

moldes alrededor de un eje central en forma radial unidos por corredores a una colada o vertidero central. Un ejemplo característico de piezas fundidas en centrifugado son los rotores de motor eléctrico.

#### INVESMENT

Este método está basado en el proceso de cera perdida, combina lo intrincado del diseño en arena con la precisión de fundición a presión. El molde se hace de alguna arcilla refractaria sobre un patrón de material calcinable; este molde sirve para una sola vaciada ya que debe ser destruido para sacar la pieza. Normalmente se usa de cierta presión sobre el metal fundido o de un centrifugado para lograr la máxima precisión en el copiado de los detalles.

Básicamente el proceso de investment se compone de los siguientes pasos:

1. Una réplica de la pieza a fundir hecha en material calcinable o plástico es recubierta dentro de un molde con arcilla líquida que posteriormente solidificará.
2. El molde es calentado hasta calcinar o derretir el patrón o matriz de material calcinable plástico.
3. Por el empleo de gravedad, presión, vacío o centrifugado el metal es vaciado en el molde caliente de material refractario. Después de enfriada la pieza, ésta es sacada rompiendo el molde, coladas y mazarotas se quitan y la superficie de la pieza se puede limpiar.

#### SELECCION DE LAS ALEACIONES DE ALUMINIO

Seleccionar las aleaciones de aluminio es uno de los aspectos más importantes para la fabricación de una pieza; porque la naturaleza individual de cada aleación, el proceso de fundición, las características mecánicas, físicas y químicas que deba tener la pieza terminada, así como la determinación del proceso y costo de la aleación más económica, hacen de este aspecto al

go complicado que debe estudiarse muy detenidamente.

Entre algunas de las recomendaciones par seleccionar una aleación para fundir una pieza, tenemos las siguientes que son las más usuales:

- a) Buenas características de fundición para el proceso de colado que se piensa usar.
- b) Si debe ó no responder al tratamiento térmico.
- c) Propiedades mecánicas estables através de toda la vida de servicio de la pieza.
- d) Adecuadas características de resistencia a la corrosión para su aplicación en particular.
- e) Facilidad de maquinado.
- f) Adecuado balance de las propiedades mecánicas y otras propiedades para el servicio deseado como la elongación, resistencia a la tracción etc..

El pobre diseño de un molde nunca se corrige usando aleaciones fáciles; el buen diseño de un molde permite el uso de aleaciones de menor costo.

El costo final de una pieza se ve directamente afectado por las siguientes consideraciones:

1. La aleación escogida y sus inherentes problemas técnicos para fundirla.
2. La cantidad de piezas que se desean producir.
3. El proceso de colado especificado.
4. Lo complejo del diseño de la pieza
5. Las tolerancias dimensionales requeridas
6. La relación entre la pieza fundida y terminada con maquinados, dimensiones, tolerancias y acabados.
7. Las prácticas de fundición y la buena técnica para fundir la aleación seleccionada por el proceso especificado.

#### CLASIFICACION DE LAS ALEACIONES DE ALUMINIO

Se clasifican en dos series:

- A) Designaciones de aleaciones de aluminio forjadas.

B) Designaciones de aleaciones de aluminio fundidas.

Los principales elementos usados para las aleaciones de aluminio son el silicio, hierro, cobre, manganeso, magnesio, níquel y cinc. Ninguno de estos elementos es usado en grandes porcentajes; otros elementos no mencionados aquí son adicionados en pequeñas cantidades.

Por conveniencia, dos series similares de sistema de numeración (una para forjado y otra para aleaciones fundidas) han sido establecidas para identificar los elementos principales en una aleación dada. Las serie para forjado y su mayor elemento aleante son las siguientes:

A) Designaciones de aluminio forjadas

MAYOR ELEMENTO ALEANTE	ALEACION No.
Aluminio 99.00% mín-máx	1 XXX
Cobre	2 XXX
Manganeso	3 XXX
Silicio	4 XXX
Magnesio	5 XXX
Magnesio-Silicio	6 XXX
Cinc	7 XXX
Otros elementos	8 XXX
Series nuevas	9 XXX

El primer dígito indica en la serie 1 XXX la pureza del aluminio, de la serie 2 XXX a la 8 XXX indica el mayor elemento aleante.

Los siguientes dos dígitos identifican la aleación de aluminio o indican la pureza del aluminio. El segundo dígito indica las modificaciones de la aleación original o límites de impureza. En el grupo 1 XXX para aluminio 99.00% mín-máx de pureza, los siguientes dos dígitos indican la designación el mínimo porcentaje de aluminio ejemplo, la aleación 1060 tiene un 99.60% mín. de aluminio. El segundo dígito indica en la designación modificación en los límites de impureza. Si el segundo dígito en la designación es 0, esto indica que no hay control especial en las impurezas.

## ALEACIONES DE ALUMINIO

En el grupo 2 XXX al 8 XXX los siguientes dos de los cuatro dígitos en la designación no tienen especial significado pero - sirven solo para identificar la diferente aleación de aluminio en el grupo. El segundo dígito en la aleación designada indica las modificaciones en la aleación, si el segundo dígito en la designación es cero, esto indica que la aleación es original; números enteros del 1 al 9, los cuales son asignados consecutivamente, indican las modificaciones en las aleaciones.

### Aleaciones experimentales

Las aleaciones experimentales también son designadas de acuerdo con este sistema, pero ellas están indicadas por el prefijo X. Este prefijo es quitado cuando la aleación deja de ser experimental. Durante el desarrollo de la nueva aleación son identificadas por una serie de números asignadas por sus inventores.

### B) Designaciones de aleaciones de aluminio fundidas

MAYOR ELEMENTO ALEANTE	ALEACION No.
Aluminio 99.0% mín-máx	1XX.X
Cobre	2XX.X
Silicio con adición de Cu y/o Mg	3XX.X
Silicio	4XX.X
Magnesio	5XX.X
Cinc	7XX.X
Estaño	8XX.X
Serie nuevas	6XX.X
Otros elementos aleantes	9XX.X

Este estandar provee un sistema para la designación del aluminio y las aleaciones de aluminio en la forma de fundición y lingote. El sistema básico consiste de cuatro dígitos, el primero identifica el grupo de la aleación y los siguientes identifican la forma por ejemplo; fundición o lingote. Las fundiciones son designadas por el sufijo 0 y el cual es separado de los primeros tres dígitos por un punto decimal.

## Aluminio, Fundición y Lingote

La serie 1XX.X indica que el aluminio se encuentra en forma de lingote o fundición teniendo un mínimo porcentaje de aluminio de 99.00%. El segundo dígito indica el mínimo contenido de aluminio cuando esto es expresado lo más cercano al 0.01%. Un control especial de uno o más elementos individuales es indicado por la letra como prefijo a los cuatro dígitos básicos. El lingote es designado por el sufijo "L" el cual es separado por los primeros tres dígitos por un punto decimal.

Aleaciones de aluminio en fundición y lingote.

El primer dígito de los cuatro básicos identifican el grupo de aleación, los segundos dos dígitos son asignados cuando en la aleación se registra una modificación de la aleación original, que es indicada por una letra como prefijo antes de la designación numérica. El lingote, el cual tiene límites de composición química casi idéntica a aquellas asignadas para fundición, es identificada por el cuarto dígito (1 ó 2) el cual es separado de los primeros tres dígitos por un punto decimal.

## DESIGNACION DE ALEACIONES DE ALUMINIO TEMPLADAS NO TRATABLES TERMICAMENTE.

F (DE FABRICACION)

Aplicado a productos de proceso de moldeado en el cual no hay un control especial sobre las condiciones térmicas.

O (RECOCIDO)

Aplicado a productos forjados los cuales son completamente recocidos para obtener condiciones de baja dureza.

H (DUREZA-RESISTENCIA)

Aplicado a productos los cuales tienen incremento en la dureza con o sin tratamiento térmico suplementario para producir alguna reducción en la dureza.

## DESIGNACION DE ALEACIONES DE ALUMINIO TEMPLADAS TRATADAS TERMICAMENTE.

F (DE FABRICACION)

O (RECOCIDO)

H (DUREZA-RESISTENCIA)

W (TRATAMIENTO TERMICO DE SOLUCION)

Aplicada a aleaciones las cuales son envejecidas naturalmente a temperatura ambiente por un largo período de tiempo antes de un tratamiento térmico de solución.

T (TRATADA TERMICAMENTE)

Aplicada a productos los cuales son tratados térmicamente, para producir temples estables.

SUBDIVISIONES DE "T"

T1 Enfriado desde temperaturas elevadas y envejecido naturalmente.

T2 Recocido, productos fundidos los cuales son recocidos para mejorar la ductilidad y estabilidad dimensional.

T3 Tratamiento térmico de solución y luego trabajado en frío

T4 Tratamiento térmico de solución y envejecido naturalmente a condiciones substancialmente estables.

T5 Enfriado desde una temperatura elevada y después envejecido artificialmente.

T6 Tratamiento térmico de solución y después envejecido artificialmente.

T7 Tratamiento térmico de solución y después estabilizado.

T8 Tratamiento térmico de solución, trabajado en frío y después envejecido artificialmente.

T9 Tratamiento térmico de solución, envejecido artificialmente y después trabajado en frío.

T10 Enfriado desde una temperatura elevada, envejecido artificialmente y después trabajado en frío.

#### TRATAMIENTOS TERMICOS DE LAS ALEACIONES DE ALUMINIO

El principal propósito de los tratamientos térmicos en las aleaciones de aluminio es lograr la mejor combinación de propiedades mecánicas en el metal, tratando de proporcionar a las piezas características como las siguientes:

- A) Obtener una estructura uniforme en toda la pieza.
- B) Eliminar tensiones internas causadas por las contracciones del metal durante la solidificación.
- C) Lograr estabilidad dimensional.
- D) Mejorar la resistencia a la corrosión.

Las aleaciones de aluminio que contienen cobre y magnesio son susceptibles de mejorar sus propiedades mecánicas mediante los tratamientos térmicos, en cambio las que no los contienen no responden a ellos y comunmente solo se les aplica un tratamiento para eliminar tensiones internas ó las piezas se usan tal como salen del molde, sin tratamiento térmico. Así mismo, a las piezas fundidas en matriz a presión no se les aplica tratamiento térmico de solución porque generalmente tienen una estructura interna porosa, solamente se les puede tratar a bajas temperaturas para relevar esfuerzos.

El tratamiento térmico de las aleaciones de aluminio está basado en un calentamiento y enfriamiento controlado de las piezas sin llegar a la fusión y manteniendo el estado sólido, afectando solamente la estructura cristalina del metal, con cambios en el tamaño, la forma y la localización de los constituyentes de la estructura. Para comprender los tratamientos térmicos es conveniente familiarizarse primero con la naturaleza cristalina.

#### SOLIDIFICACION DEL ALUMINIO PURO

Cuando el aluminio fundido solidifica, lo hace dentro de un esquema geométrico definido, iniciándose con un pequeño núcleo unitario con una configuración de un cubo centrado en las caras, ver fig. 1, donde los círculos representan átomos de aluminio, uno en cada esquina de un cubo imaginario y uno centrado en cada cara. Al continuar la solidificación, se forman los granos cristalinos constituidos por multitud de núcleos unitarios orientados en la misma dirección y el conjunto de granos integra la estructura final ó red atómica característica, ver fig. 2.

La solidificación del aluminio puro ocurre a una temperatura constante de  $660^{\circ}\text{C}$ , por arriba de esta temperatura el metal es completamente líquido, mientras que por abajo de ella se encuentra totalmente sólido, como se muestra en la curva de enfriamiento bajo condiciones de equilibrio ver fig. 3. Cuando el metal se enfría hasta el punto de solidificación, la temperatura permanece constante mientras se pierde el calor latente de fusión y el enfriamiento continua solo hasta que se ha completado la solidificación.

#### SOLIDIFICACION DE LAS ALEACIONES DE ALUMINIO

Los elementos de aleación agregados al aluminio para formar la aleación, generalmente bajan el punto de fusión y alteran su mecanismo de solidificación, ver fig 4 de modo que la solidificación no ocurre a una temperatura constante, sino dentro de un rango. Así que para cada aleación en particular hay una temperatura llamada líquidus por arriba de la cual todo el metal se encuentra líquido y una temperatura inferior llamada sólidus por debajo de la cual todo es sólido. Entre estas dos temperaturas hay una zona en la que una parte del metal se encuentra en estado líquido y la otra en estado sólido. Cuando una aleación fundida se enfría lentamente, la solidificación comienza a la temperatura del líquidus y termina hasta que se llega a la temperatura del sólidus.

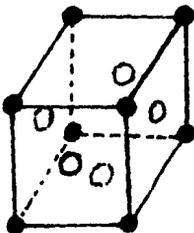


Fig.1 Núcleo unitario del Al caras centradas

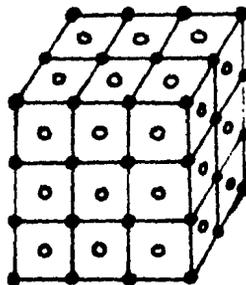


Fig.2 Red atómica muestra los núcleos unitarios en un grano cristalino.



Fig.3 Curva de enfriamiento del aluminio puro bajo condiciones de equilibrio.

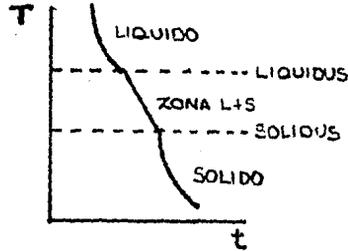


Fig.4 Efecto de los elementos de aleación en la curva de enfriamiento de una aleación de aluminio.

### SOLUBILIDAD SOLIDA DE LOS ELEMENTOS DE ALEACION

Cuando solidifican las aleaciones de aluminio, los elementos de aleación e incluso las impurezas, tienen otros esquemas de red atómica. Si un segundo metal es soluble en el aluminio, unos cuantos átomos del segundo metal sustituyen a los átomos de aluminio en algunos lugares de su red atómica, como se indica en la fig.5 donde los puntos negros representan los átomos del metal disuelto. La sustitución cambia ligeramente las dimensiones de la red, pero no cambia el esquema geométrico fundamental. A la absorción del segundo elemento por sustitución en la red atómica del aluminio se le llama disolución sólida.

Estos átomos de metal disuelto pueden difundirse por toda la red atómica y precipitarse en la solución generalmente como un compuesto intermetálico, a medida que disminuye la temperatura ó viceversa, pueden volver a la solución sólida a medida que la temperatura aumenta. La relación de estos cambios, así como la solubilidad total varían ampliamente con la temperatura y la realización de los resultados deseados se logran mediante el tratamiento térmico con un control preciso de la temperatura, el tiempo y las relaciones de enfriamiento. Las solubilidades sólidas de los elementos que usualmente se agregan a las aleaciones de aluminio para hacerlas capaces de responder al tratamiento térmico y que son el cobre, el magnesio y una combinación de silicio y magnesio formando el siliciuro de magne-

sio que tiene el efecto de un solo elemento, se dan en la siguiente tabla.

SOLUBILIDAD SOLIDA DE LOS ELEMENTOS ENDURECEDORES EN LAS ALEACIONES DE ALUMINIO

ELEMENTO	COBRE	MAGNESIO	SILICIURO DE Mg.
Temperatura eutéctica	548°C	450°C	595°C
% de solubilidad a la temperatura eutéctica	5.70	14.9	1.85
% de solubilidad a:			
538°C	5.35	----	1.27
510°C	4.48	----	1.08
482°C	3.58	----	0.92
427°C	2.03	13.2	0.64
371°C	1.08	9.9	0.45
316°C	0.55	7.1	0.32
260°C	0.35	4.7	0.27
204°C	0.24	3.1	0.25
149°C	0.20	2.1	0.24

EFFECTOS DEL TRATAMIENTO TERMICO

La resistencia de una aleación y el tratamiento térmico para mejorar esta propiedad, se explican considerando el mecanismo interno de la deformación, la cual ocurre a lo largo de los planos en la estructura del núcleo unitario, llamados planos de deslizamiento, ver fig.6. Estos planos se ubican de tal manera que el número más grande de átomos ocurre en ese plano. Así mismo, la deformación de los granos cristalinos ocurre a lo largo de los planos de deslizamiento, ver fig.7.

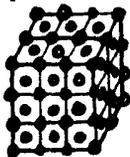


Fig.5 Los puntos negros representan átomos del metal disuelto según podrían aparecer cuando otro elemento es aleado con aluminio.



Fig.6 Planos de deslizamiento en un núcleo de aluminio.

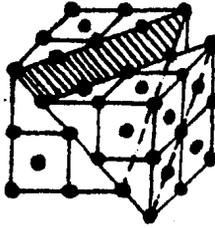


Fig.7 La deformación de los granos de aluminio ocurre a lo largo de planos diagonales.

La ductilidad del aluminio depende de su capacidad para deslizarse a lo largo de los planos y la resistencia depende de la oposición al deslizamiento, de modo que si se desea aumentar la resistencia del aluminio, se deberá incrementar la resistencia al movimiento relativo a lo largo de sus planos de deslizamiento. El incremento de la resistencia se logra mediante el tratamiento térmico haciendo que se depositen partículas de compuestos intercrystalinos relativamente grandes a lo largo de los planos de deslizamiento, con el objeto de que funcionen como claves para resistir el movimiento relativo de las capas de la red atómica. Esto se logra produciendo, primero por calentamiento, una disolución sólida sobresaturada de los elementos de aleación y manteniéndolos en solución sólida mediante un enfriamiento rápido. Calentando enseguida a una baja temperatura, se provoca la precipitación de los constituyentes de la estructura en forma de partículas con tamaño y distribución controladas, lograndose de este modo un efecto de robustecimiento máximo del aluminio aleado, ver fig.8.

El cobre presente en las aleaciones de aluminio, al volver a precipitarse lo hace en forma de partículas del compuesto  $CuAl_2$ , el magnesio en partículas de  $Mg_4Al_3$  y cuando tanto el magnesio como el silicio se hallan presentes, vuelven a precipitarse como partículas del compuesto  $Mg_2Si$ .

#### TRATAMIENTO TERMICO DE SOLUCION

El tratamiento térmico en la partícula común, puede ilustrarse mediante la aleación para fundición 195 que contiene 4.5% de cobre, a la que se le aplica primero el tratamiento térmico de

solución que consiste en calentar las piezas a 516°C para que los átomos de cobre puedan difundirse en toda la estructura y se mantiene a esa temperatura durante 8 a 12 horas hasta que la distribución del cobre es casi homogénea, ver fig.8. Si las piezas son pequeñas o si han sido coladas en molde permanente, se podrá usar el tiempo mínimo especificado; en cambio si las piezas son grandes o fueron coladas en arena, la tendencia es usar el tiempo máximo.

En cuanto a la temperatura, si se eleva más a la indicada, existe el peligro de una fusión incipiente del constituyente eutético de la estructura que debilitaría a las piezas, además de la posible deformación que pudieran sufrir. Si por el contrario, la temperatura es más baja de la indicada, entonces la disolución y la distribución no se completarán y obtendría una estructura heterogénea. Por estas razones, el control de la temperatura debe ser estrictamente durante el tratamiento y las variaciones máximas permisibles son de 2.8°C en más o menos de la temperatura especificada.

#### TEMPLE

Consiste en enfriar las piezas rápidamente en agua desde la temperatura de 516°C para mantener los constituyentes de la estructura en solución sólida.

La transferencia de las piezas desde el horno al tanque del agua debe hacerse rápidamente en un tiempo no mayor de 30 seg. para evitar precipitaciones prematuras por descenso de la temperatura y que darían como consecuencia una pérdida del efecto de endurecimiento y resistencia máxima. El agua para el temple debe precalentarse a una temperatura mínima de 65°C, ya que el agua fría provocaría tensiones residuales y deformación en las piezas. Además es necesario evitar la formación de bolsas de vapor en contacto con las piezas ya que retardarían el temple en esas zonas y que finalmente serían zonas de resistencia deficiente. Por ello se recomienda mantener una circulación forzada del agua o mantener en movimiento las piezas mientras en-

frian.

#### ENVEJECIMIENTO NATURAL Y ARTIFICIAL

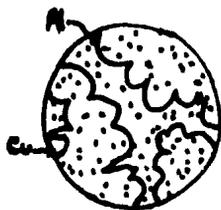
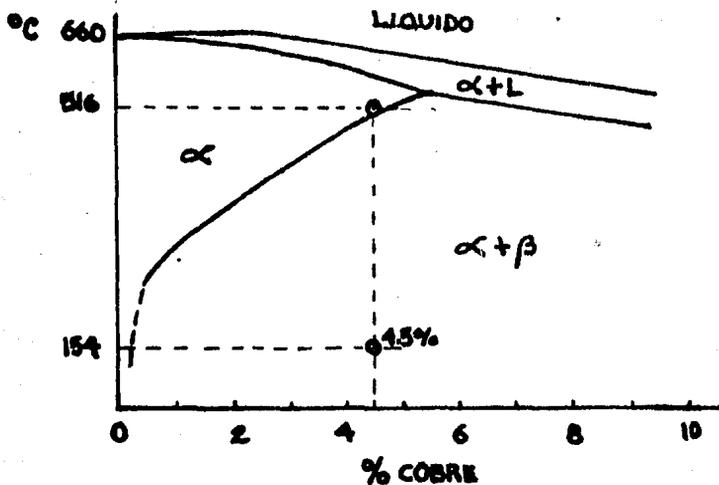
Inmediatamente después del temple, se inicia naturalmente la precipitación de los compuestos Cu-Al, Mg-Al y Mg-Si. Esta precipitación natural a temperatura ambiente necesita de muchos días para completarse y es lo que se conoce como envejecimiento natural. El endurecimiento por precipitación puede ser acelerado elevando la temperatura y entonces se le conoce como envejecimiento artificial.

Mediante el envejecimiento artificial pueden obtenerse varias combinaciones de propiedades variando la temperatura y el tiempo, teniendo presente que en general, el alargamiento disminuye a medida que la resistencia y la dureza aumentan.

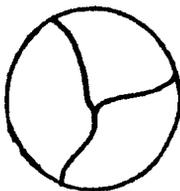
Es importante considerar que si durante el envejecimiento artificial la temperatura es muy alta o el tiempo demasiado largo, la resistencia puede pasar por un máximo y decrecer nuevamente en este caso, para el restablecimiento de la resistencia será necesario entonces la repetición del tratamiento de solución y el temple seguido por el envejecimiento artificial en las condiciones especificadas. La variación máxima permitida en los hornos para el envejecimiento artificial es de  $5.6^{\circ}\text{C}$  en más o menos.

#### TRATAMIENTO SUBCERO

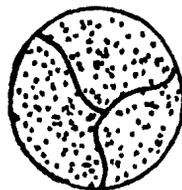
Es un tratamiento a temperaturas inferiores a  $0^{\circ}\text{C}$ , aplicable a algunas piezas de aluminio que requieren una alta precisión dimensional, como en las partes componentes de instrumentos que deben mantener su estabilidad dimensional durante el maquinado y en servicio. El tratamiento subcero consiste en enfriar las piezas a  $-100^{\circ}\text{C}$  y calentar nuevamente a  $232^{\circ}$  ó  $246^{\circ}\text{C}$  para eliminar por completo las tensiones internas y lograr la máxima estabilidad dimensional que normalmente no se alcanza con los tratamientos T6 y T7.



(A) COLADA



(B) TRATAMIENTO DE SOLUCION.



(C) ENVEJECIDA

ESTRUCTURA:

SOLUCION  $\alpha$   
 + EUTECTICA  
 + SOLUCIOB  $\beta$

SOLUCION  $\alpha$

SOLUCION  $\alpha$   
 + SOLUCION  $\beta$

RESIST. A

LA TRACCION:

16.9 Kg/cm<sup>2</sup>

22.5 Kg/cm<sup>2</sup>

25.3 Kg/cm<sup>2</sup>

ALARGAMIENTO:

5.0%

8.5%

5.0%

DIREZA BRINELL:

5.5

60.0

75.0

Fig.8 Efectos del tratamiento térmico de solución y envejecimiento sobre la estructura y propiedades de una Aleación de Aluminio con 4.5% de cobre.

## APLICACIONES AUTOMOTRICES

El uso del aluminio en época anterior al comienzo del uso del automovil, tuvo y ha tenido a la fecha diversas aplicaciones. El aluminio fundido en arena era usado comunmente para volantes, ejes traseros, transmisiones, cajas, carter de cigüeñal, componentes de clutch y otras partes.

En 1903, una carrocería de aluminio fué adaptada y las razones para el uso del aluminio en este prematuro período fué la relación de peso a potencia, limitaciones de fatiga y evitar problemas de manufactura ya que es fácilmente manejable.

El uso del aluminio comenzó a decrecer cuando la producción de automóviles aumentó ya que la competencia estableció cambios de manufactura y se abatieron los precios en las ferroaleaciones, aún con esta base hoy en día con el avance en tecnología de las aleaciones de aluminio, cada día es más extensa las aplicaciones tanto en la industria automotriz como la industria en general.

Por lo tanto varios métodos de producción disponibles hoy en día han contribuido al decremento en el costo y al incremento en su uso. Debido al alto costo de energéticos y para tener una buena economía de los mismos, la relación de peso-potencia hace inevitable el uso del aluminio y sus aleaciones, la buena conductividad térmica de las aleaciones de aluminio es favorable para la fabricación de motores con enfriamiento de aire, la fabricación de partes automotrices se lleva a cabo principalmente en los procesos de fundición en matriz y fundición en molde permanente.

Muchos de los pistones para motor son ahora fabricados con la aleación F132, aunque algunos pistones son fabricados con la aleación D132 y éstas son tratadas térmicamente (T51) con 90 a 115 de dureza Brinell, proveyendole estabilidad dimensional, para el maquinado final se le hace un estañado para resistir las rayaduras.

A continuación se presenta una lista parcial representativa de partes automotrices fabricadas con aleaciones de aluminio, sus

principales características y obtención.

PARTE AUTOMOTRIZ	ALEACION	OBTENCION
Evaporador de aire acondicionado	3003 , 4043	3
Freno de tambor	355 , 356	2
Carburador	360 , 380	1
Compresor	360 , 380	1
Pistones de compresor	360 , 380	1
Motor de cigüeñal	360 , 380	1
Cables de distribuidor	1100 , EC	4
Base del distribuidor	360 , 380	1
Adornos exteriores	5357 , 5457 δ	
	6063 , 6463	3
Líneas de gasolina	3003	3
Bomba de gasolina	360 , 380	1
Múltiple de admisión	355	2
Adornos interiores	1100 , 3003	3
Cuerpo de cilindros	360	1
Base de filtro de aceite	360 , 380	1
Cuerpo del filtro de aceite	1100	3
Bomba de aceite	360 , 380	1
Cuerpo de la bomba de frenos	360 , 380	1
Tubos de bujía de encendido	1100	3
Distribuidor de encendido	360 , 380	1
Transmisión	360 , 380	1
Carter de transmisión y clutch	360 , 380 δ	
	355 , 356	1
Caja de transmisión	355 , 356	2
Cuerpo de válvula de transm.	A13 , 380	1
Palánca de válvula	360 , 380	1
Conexión de agua	360	1
Cuerpo de la bomba de agua	360	1
Pistones	F132 , D132	1

1. FUNDICION EN MATRIZ
2. FUNDICION EN MOLDE PERMANENTE
3. EXTRUIDO
4. TREFILADO

ALEACIONES DE ALUMINIO NO BONIFICABLES

Aluminio-Hierro.

El lado del aluminio de este diagrama tiene la forma eutéctica. Las dos fases del eutéctico son del aluminio y un compuesto intermetálico de fórmula  $FeAl_3$ .

El eutéctico contiene 1.8% de hierro y funde a 655°C. A esta -

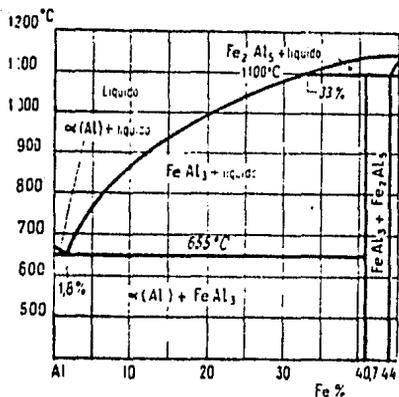


Fig. 8 Diagrama Al-Fe

temperatura la solubilidad máxima del hierro en aluminio es de 0.52% cayendo rápidamente a 0.025% para 600°C y a 0.006% para 500°C .

Aluminio-Silicio

Después del hierro, el silicio es la impureza principal del aluminio, pero no es solo éste interés del diagrama Al-Si; las aleaciones Al-Si forman el grupo más importante de las aleaciones de fundición.

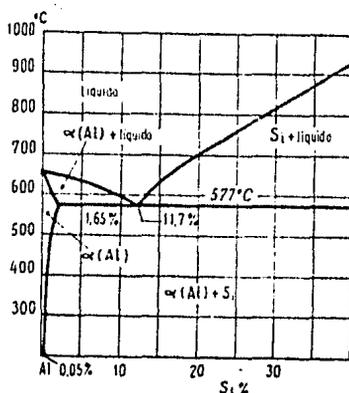
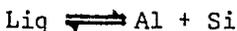


Fig. 9 Diagrama Al-Si



que funde a 577°C y contiene 11.7% de Si. La solubilidad del silicio en el aluminio varia con la temperatura de la manera siguiente:

T °C	577	550	500	450	400	350	300	250
Si % peso	1.65	1.30	0.80	0.48	0.29	0.17	0.06	0.008

El silicio es la segunda mayor impureza del aluminio, originario de la silica o silicatos de la bauxita, éste es también una de las más comunes adiciones a las aleaciones de aluminio, la cual imparte fluidez a la fundición, grandes propiedades mecánicas, así mismo la formación de componentes que hacen a la aleación tratable térmicamente, el sistema es un simple eutectico en el cual las dos fases en equilibrio son Al<sub>2</sub>Si, un rápido enfriamiento desde la temperatura eutéctica es aceptado a -

577°C pero la composición es reportada como 11.70% de silicio, a 14.5% de silicio con el valor más probable de 12.5% de silicio. El Si es cúbico, 8 átomos por celda unitaria el parámetro es  $5.4285 \times 10^{-10} \text{ m}$   $\rho = 2600 \text{ Kg/m}^3$   $H_V = 8700 - 13500 \text{ Nm/m}^2$ . Las estructuras de las aleaciones cercanas a la composición eutética dependen más del rango de enfriamiento que del contenido de silicio, un rápido enfriamiento favorece la formación de silicio primario, un lento enfriamiento incrementa la suma de eutético. El parámetro de la celda decrece linealmente a un valor de  $a = 4.0478 \times 10^{-10} \text{ m}$  a 1% de Si y de  $a = 4.0365 \times 10^{-10} \text{ m}$  a 11% de Si. La densidad se incrementa ligeramente arriba de  $2705 \text{ Kg/m}^3$  a 1.2% de Si, si el silicio esta en solución sólida y cuando se decrecienta al valor de  $2670 \text{ Kg/m}^3$  a 10% de Si. Las adiciones de silicio no afectan apreciablemente la tensión superficial del aluminio, la transferencia de calor depende más de las condiciones de superficie que de la composición misma, debido a la formación de la capa de óxido en la superficie.

Afino de las aleaciones Al-Si

La A-S13 llamada también Alpax, colada sin tratamiento alguno, contiene cristales primarios de silicio relativamente grandes, sus características mecánicas son débiles.

Se llegó a demostrar que se podía afinar el grano del silicio añadiendo a ésta aleación antes de la colada, 0.5% de peso de sodio o una mezcla de sales de sodio tal como NaCl + NaF capaz de dar sodio naciente por reacción del Al sobre el NaF, de hecho no se encuentra prácticamente sodio en la aleación después de la colada. La resistencia se mejora en un 20%, al mismo tiempo que el alargamiento se duplica. Se discute todavía el modo como actúa el sodio, pero se ha podido establecer claramente dos hechos:

- a) El sodio baja la temperatura del eutético.
- b) Empuja la composición del eutético hacia los fuertes porcentajes en silicio.

### ALUMINIO-HIERRO-SILICIO

Además de las fases Al, Si y  $Al_3Fe$ , se encuentran dos compuestos intermetálicos ternarios en las aleaciones ricas en aluminio.

FORMULA APROXIMADA	COMPOSICION	
	Fe%	Si%
$\alpha(Al_{12}Fe_3Si)$	32.12-32.45	8.41-10.32
$\beta(Al_9Fe_2Si_2)$	26.65-27.18	13.82-14.93

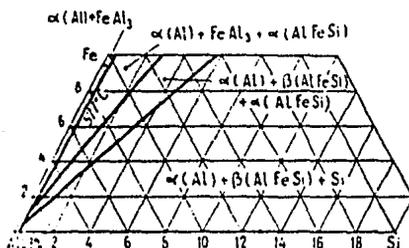


Fig.10 Reparto de las fases sólidas en equilibrio en el lado del aluminio.

Existe un solo punto eutéctico ternario, vecino además del eutéctico binario Al-Si.



para 0.75% de Fe y 11.6% de Si.

Según los trabajos recientes, el dominio estará de hecho dividido en tres regiones, correspondientes a tres fases  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  y  $\alpha_3$  de composición siguiente:

	Fe%	Si%
$\alpha_1$ . . . . .	27.3	7.0
$\alpha_2$ . . . . .	29.2	11.3
$\alpha_3$ . . . . .	35.3	12.8

Estos resultados todavía son inciertos. El diagrama de la fig. 10 da las fases presentes en estado sólido en las condiciones de equilibrio. Se puede comprobar que una débil adición de hierro reduce notablemente la solubilidad del silicio en el aluminio. Las condiciones de equilibrio se alcanzan rara vez; es posible encontrar al mismo tiempo las cuatro fases:

Al,  $\alpha$  (Al-Fe-Si),  $\beta$  (Al-Fe-Si) y Si Fig.11.

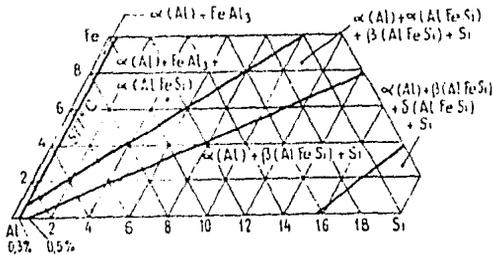


Fig.11 Reparto de las fases sólidas fuera de equilibrio en el lado del aluminio.

Este diagrama es poco modificado por la presencia del cobre - en débiles porcentajes. Por el contrario el manganeso, el cobalto, el níquel, el magnesio y el cromo quitan todo interés a este sistema, ya que el hierro y el silicio presentan entonces tendencia a alearse con estos elementos antes que uno con el otro.

#### ALUMINIO-MANGANESO

Del lado del aluminio, el diagrama Al-Mn se parece al diagrama Al-Fe, se forma un eutéctico entre las fases (Al) y  $Al_6Mn$  -- que funde a 658.5°C y que contiene 2% de Mn.

La solubilidad del manganeso en el aluminio a esta temperatura es de 1.4%, pudiendo llegar a 9.2% por enfriamiento rápido a partir del estado líquido.

#### ALUMINIO-MAGNESIO

El magnesio es el mayor constituyente en la aleación Al-Mg del cual se obtiene gran esfuerzo con buena ductilidad a través del trabajo en frío, ambos con excelente resistencia a la corrosión y soldabilidad. La aleación del silisuro de aluminio magnesio imparte tratabilidad térmica, aún reteniendo buena resistencia a la corrosión, la aleación Al-Zn-Mg puede impartir buena resistencia a la corrosión, soldabilidad o un excesivo es-

fuerzo. El eutéctico se presenta de 17.4% a 34% de Mg. En el diagrama (fig.12) y a 723°K donde:



La fase en equilibrio con aluminio ( $\beta$ ) es usualmente dada como  $\text{Mg}_2\text{Al}_3$  (37.3%Mg) puesto que por la fórmula  $\text{Mg}_5\text{Al}_8$  (36%Mg), - han sido propuestas muchas estructuras como se presenta en la tabla siguiente :

TIPO	PARAMETRO	
	a	c
F C C	28.2 (Al)	- - - - -
	28.6 (Mg)	- - - - -
F C C	4.71=28.26/6	- - - - -
F C C	12.419	- - - - -
H E X A G O N A L	11.2-11.38	16.0-17.88

La densidad del componente es de 2.230 Kg/m<sup>3</sup>, el  $\text{Mg}_5\text{Al}_8$  es muy frágil abajo de 600°K pero presenta plasticidad a grandes temperaturas. La fase  $\epsilon$  o  $\beta'$  ( $\text{Mg}_{23}\text{Al}_3$ ) 40.6% Mg tiene un rango reducido de existencia pero no se forma desde el líquido esto tiene una red romboedral probablemente 53 átomos de celda unitaria con parámetros  $a = 12.82 \times 10^{-10}$  m  $\alpha = 76^\circ 27'$ ; con parámetro hexagonal  $a = 12.82 \times 10^{-10}$  m y  $c = 21.75 \times 10^{-10}$  m. El  $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$  -- 55.7%Mg, tiene un amplio rango de existencia 45-60% de Mg esta es cúbica, 58 átomos por celda unitaria  $a = 10.56 \times 10^{-10}$  m.

La difusión del magnesio es afectada por otros elementos presentes Cu, Zn, Si, el Fe, Mn y Ni tienen poco efecto o ninguno. La difusión del Mg para endurecer la superficie del aluminio es impráctica, conforme al La y Nbio aceleran la difusión del Mn en el aluminio pero la evidencia de esto es dudosa.

En la fig.13 se reproduce el diagrama completo Al-Mg. Del lado del aluminio, existe un eutéctico entre las fases  $\alpha$ (Al) y  $\beta$ ( $\text{Al}_3\text{Mg}_2$ ). Este eutéctico contiene 35% de Mg y funde a 450°C. A esta temperatura la solubilidad máxima del magnesio en el Al es de 17.4% y decrece con la temperatura de la manera siguiente:

T °C	450°	400°	350°	250°	200°	150°	100°
% Mg	17.4	13.5	9.9	4.4	3.1	2.3	1.9

Las aleaciones con porcentajes en magnesio inferiores o iguales al 5% son insensibles a los tratamientos térmicos, en lo que concierne a las características mecánicas y siempre que no contengan silicio.

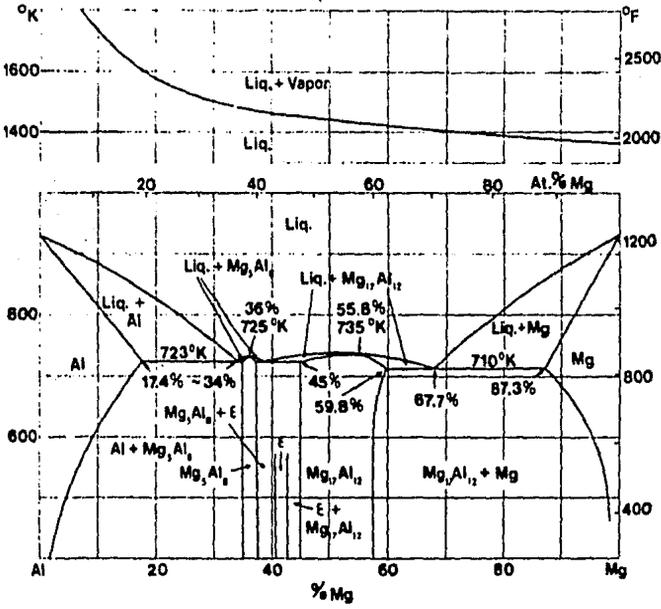


Fig.12 Diagrama de equilibrio Aluminio-Magnesio

ALEACIONES CON ENDURECIMIENTO ESTRUCTURAL  
ALUMINIO-COBRE

Constitución Química. El lado del diagrama de equilibrio Al-Cu fig.14 rico en aluminio, es un diagrama simple con eutéctico, estando formadas las dos fases sólidas por solución sólida de aluminio ( ) y el compuesto intermetálico de fórmula aproximada  $CuAl_2$ . El eutéctico funde a 548°C para 33% en peso de cobre. A esta temperatura, la solubilidad máxima del cobre en la fase es de 5.65%, el límite de la solución sólida es muy bien cono-

cido hasta los 200°C, pero quedan todavía dudas para las temperaturas inferiores. Se tiene de esta manera, en función de la temperatura :

T °C	548°	500°	450°	400°	350°	300°	250°
Cu % peso	5.65	4.05	2.50	1.40	0.85	0.45	0.1-0.2

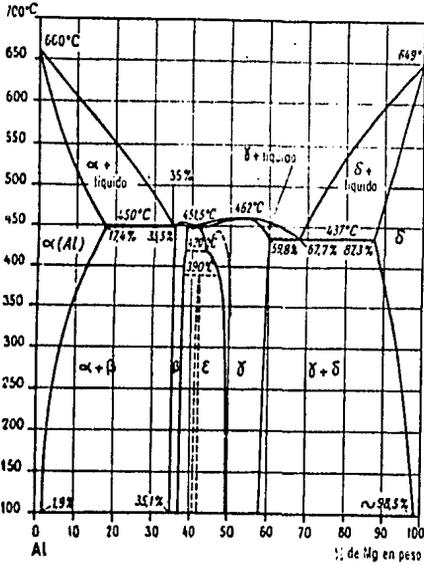


Fig.13 Diagrama Al-Mg

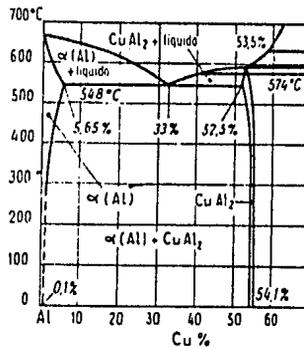


Fig.14 Diagrama Al-Cu

Estado metaestable. Una aleación aluminio-cobre de alta pureza conteniendo entre 2 y 5% de cobre, templada desde el dominio de la solución sólida, ve variar sus propiedades con el tiempo tanto más rápidamente cuanto la temperatura es más elevada. El fenómeno cuando se produce a la temperatura ambiente, recibe el nombre de maduración natural y el nombre de maduración artificial cuando se realiza a temperaturas superiores (entre 100 y 200°C aproximadamente).

Al comienzo de la maduración natural, aparecen en la solución sólida, gérmenes de una segunda fase rica en cobre bajo la forma de plaquetas planas paralelas a los planos base de la red cúbica de caras centradas de la matriz. Estas plaquetas tienen un diámetro de unos 100 Å y un espesor de algunas distancias--

reticulares. A pesar de las investigaciones, la estructura de estas plaquetas no ha podido ser determinada de una manera exacta. Son conocidas bajo el nombre de apilamientos planos. Cuando la temperatura de maduración pasa de los 100°C estas plaquetas llegan a ser espesas conservando, sin embargo, la misma orientación con relación a la red de la matriz, se les llama de segunda especie. Después de un cierto tiempo de maduración función esencialmente de la temperatura, aparece una segunda fase intermedia cuadrática. Se presentan igualmente bajo la forma de plaquetas de 0.1 a 1  $\mu$  de diámetro sobre los planos de la red cúbica centrada en las caras. Según con esta fase concluye el endurecimiento de la aleación mientras que para otros su aparición entraña un ablandamiento local de la matriz frenando así el endurecimiento general.

Al final de la evolución, precipita la fase de equilibrio, que provoca un ablandamiento general de la aleación.

Reversión. Una aleación con 4% de cobre, templada a partir del dominio de la solución sólida ve aumentar su dureza con el tiempo, si se abandona a la temperatura ambiente. Si esta aleación, madurada naturalmente algunas horas es llevada a 205°C durante 5 min. vuelve a recobrar una dureza próxima a la que tenía antes del temple. Más tarde vuelve a iniciarse la maduración natural pero es mucho más lenta. Este fenómeno es conocido bajo el nombre de reversión.

Influencia de débiles aleaciones. Pequeñas cantidades de hierro y manganeso frenan prácticamente toda maduración a temperatura ambiente; por el contrario, el magnesio acentúa y acelera el fenómeno. En las aleaciones industriales se añade un poco de magnesio (0.25%) para contrapesar la acción del hierro.

#### ALUMINIO-CINC

Aunque las aleaciones Al-Zn puramente binarias no sean muy utilizadas (aleaciones de plaqueado) el diagrama Al-Zn reviste una cierta importancia especialmente para la comprensión del diagrama ternario Al-Mg-Zn.

a) Un amplio dominio de solución sólida, que se extiende hasta el 84% en peso de cinc a 382°C.

b) Un dominio de inmiscibilidad entre dos fases que contienen porcentajes diferentes de cinc.

Conocida la extensión del dominio de la solución sólida, vemos que estas aleaciones se prestan bien a los tratamientos térmicos. El endurecimiento estructural de las aleaciones Al-Zn se producen solamente si los metales son muy puros. La maduración que tiene lugar a temperatura ambiente, es tanto más rápida y la dureza final tanto mayor, cuanto el contenido de cinc es -- más elevado. Esta velocidad y esta dureza pasan por un máximo para una temperatura de temple próxima a los 450°C.

El endurecimiento estructural resulta muy influenciado por la presencia de impurezas. El hierro y el silicio la hacen desaparecer prácticamente; no hacen más que frenarlo en caso de metales puros y restablecerlo en caso de aleaciones industriales el endurecimiento se debería a la formación de apilamientos esferoidales de cinc.

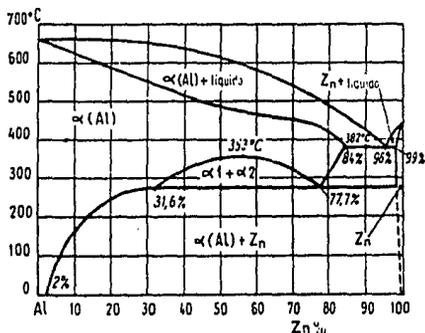


Fig.15 Diagrama Al-Zn.

### ALUMINIO-CINC-MAGNESIO

Constitución química. Las superficies del líquidus fig.35 dan una idea del conjunto del diagrama Al-Zn-Mg. Además de las composiciones intermetálicas binarias  $\beta$  ( $Al_3Mg_2$ ),  $\gamma$  ( $Al_{12}Mg_{17}$ ),  $\delta$  ( $MgZn_5$ ),  $\eta$  ( $MgZn_2$ ) y  $\xi$  ( $MgZn$ ), existe un compuesto ternario

T", de fórmula  $(AlZn)_{49}Mg_{32}$ , a la que se le da la fórmula corriente de  $Al_2Mg_3Zn_3$ .

El conjunto de líquidos contiene numerosos puntos eutécticos y peritéticos ternarios. Los dos puntos invariantes ternarios - que interesan en las aleaciones de base aluminio son:

ET<sub>1</sub> Eutéctico ternario a 477°C:

Liq  $\rightleftharpoons$   $\alpha$  (Al) + T +  $\beta$  ( $Al_3Mg_2$ ) para 30% Mg + 12% Zn

S<sub>2</sub> a 475°C para 11.3% Mg + 60.4% Zn

Peritético ternario:

Liq + T  $\rightarrow$  (Al) +  $MgZn_2$

ó Eutéctico ternario:

Liq  $\rightleftharpoons$  (Al) + T +  $MgZn_2$

En el ángulo del aluminio existe una vasta solución sólida (Al) cuyos límites varían representados en las figs.16, 17, 18.

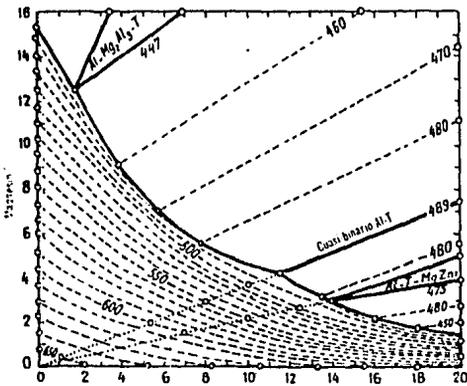


Fig.16 Diagrama Al-Zn-Mg solidus del lado del Al.

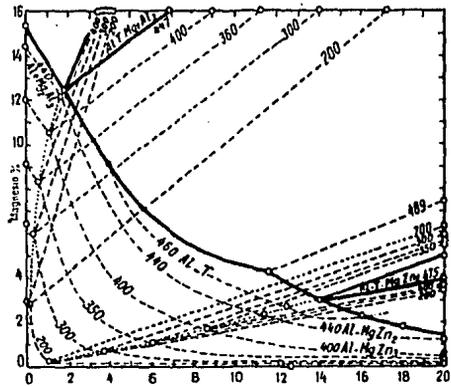


Fig.17 Diagrama Al-Zn-Mg límites de las sols. sólidas

Estado metaestable. El amplio dominio de la solución sólida de aluminio permite preveer que una aleación que contenga algunos porcentajes de cinc y de magnesio es susceptible de evolucionar en el curso de un tratamiento térmico de temple, seguido de una maduración a temperatura ambiente o una maduración artificial más elevada.

Los numerosos estudios realizados sobre la variación de las --

propiedades mecánicas con el tiempo para diversas temperaturas de permanencia y sobre los fenómenos estructurales que acompañan estas variaciones, permiten deducir la existencia de tres estados en la evolución de la solución sólida.

En un primer estado, inmediato al temple y a temperatura ambiente los átomos de cinc y de magnesio se reúnen en apilamientos esferoidales de muy pequeño diámetro aproximadamente 40 Å, estos apilamientos endurecen fuertemente la aleación.

En un segundo estado, para temperaturas de maduración próximas a los 100°C precipitará una fase metaestable ( $MgZn_2$ )  $\eta'$  o M' en forma de plaquetas muy pequeñas, paralelas a los planos de la matriz. Esta fase sería de estructura hexagonal ligeramente distinta de la fase de equilibrio. Los átomos de cinc y de mag

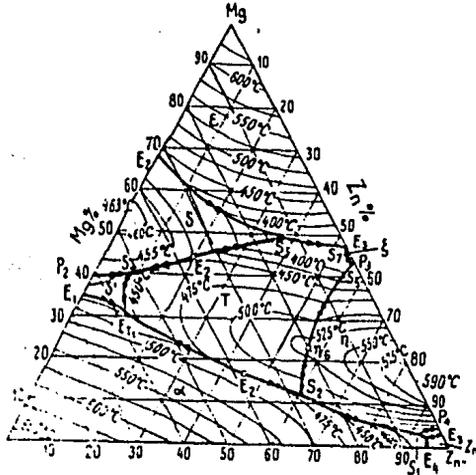


Fig.18 Diagrama Al-Zn-Mg liquidus

nesio estarán ordenados. El aumento de tamaño de estas plaquetas darían lugar a un ablandamiento de las aleaciones.

Por fin con maduraciones realizadas a temperaturas más elevadas (200°C) precipita la fase de equilibrio  $MgZn_2$  en forma de gruesas plaquetas más o menos desorientadas que traen consigo el derrumbamiento de la dureza. Para ciertas aleaciones ricas en magnesio, la fase T aparece hacia 250-300°C. Estas aleaciones con maduración natural, pueden sufrir un tratamiento de reversión de algunos minutos a 200°C.

### ALUMINIO-MAGNESIO-SILICIO

La característica esencial de este diagrama reside en que el aluminio y el compuesto definido  $Mg_2Si$  forman un sistema cuasi binario que separa el diagrama ternario en dos partes. Cada una de estas partes contiene un eutéctico definido como sigue:

	EUTECTICO	T°C	Mg%	Si%
Liq $\rightleftharpoons$	(Al) + $Mg_2Si$ + Si	556	4.97	14.0
Liq $\rightleftharpoons$	(Al) + $Mg_2Si$ + $Al_3Mg_2$	450	33.5	0.2

No existe compuesto ternario alguno. El compuesto  $Mg_2Si$  considerado durante largo tiempo como un compuesto iónico parece -- que es , según las investigaciones recientes, un semiconductor. La solubilidad del compuesto  $Mg_2Si$  en el aluminio varía de una manera muy importante, en función de la temperatura por un lado y el exceso de magnesio por otro vease cuadro:

T°C	EXCESO DE MAGNESIO				
	0.00%	0.20%	0.40%	0.80%	1.00%
595	1.85				
535	1.20	1.15	0.97	0.67	0.55
500	1.05	0.85	0.69	0.45	0.36
400	0.53	0.35	0.20	0.00	0.00
300	0.30	0.15	0.02	0.00	0.00
200	0.25	0.05	0.00	0.00	0.00

Por el contrario el silicio no tiene efecto apreciable sobre esta solubilidad. Sin embargo, las aleaciones industriales tienen siempre un exceso de silicio, con objeto de evitar todo exceso de magnesio y asegurar de esta manera la puesta en solución máxima de  $Mg_2Si$ .

Estado metaestable. Las aleaciones  $AlMg_2Si$  admiten el temple y maduración natural o artificial.

Al comienzo de la maduración natural permaneciendo a temperatura ambiente los átomos de magnesio y silicio se agrupan en partículas filiformes de unos cuantos átomos de espesor orientados según el eje 100 de la matriz. Al cabo de algunas horas a

150°C, estos "hilos", sin estructura aparente alguna se agrupan y toman la periodicidad de 4.04 Å del aluminio según el eje [100]. Después a 200°C estos hilos se reúnen probablemente en agrupamientos planos paralelos a los planos {100}. Por fin a 300°C precipita el compuesto  $Mg_6Si$  de estructura bien definida (cúbica de caras centradas  $a=6.35\text{Å}$ ).

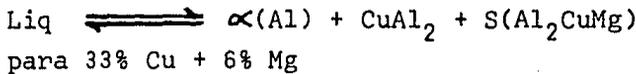
Los duraluminios (A-U4G, A-U4G1, A-U4SG)

Dejando aparte la A-U4G1 que puede considerarse aleación ternaria Al-Cu-Mg, las otras dos, A-U4G y A-U4SG, son esencialmente aleaciones cuaternarias Al-Cu-Mg-Si, teniendo el Mg un papel secundario.

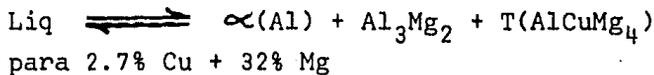
Al-Cu-Mg.

El diagrama ternario es relativamente complejo, a los numerosos compuestos intermetálicos ternarios, de hecho, las aleaciones ricas en aluminio a temperaturas inferiores o iguales a la del sólido, no se encuentran en estado de equilibrio más que los constituyentes  $CuAl_2$ ,  $Al_3Mg_2$ ;  $S(Al_2CuMg)$  y  $T(Al_6CuMg_4)$ . A partir de estas fases, pueden formarse con la solución sólida de aluminio, dos eutécticos ternarios:

a 507°C:



a 451°C:

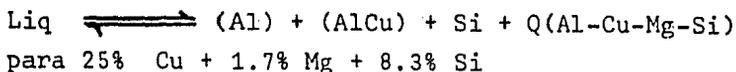


El dominio de la solución sólida  $\alpha(\text{Al})$  es relativamente estrecho y decrece rápidamente con la temperatura. El diagrama de la fig.19 muestra un corte aproximado a 510°C y 4% de cobre del lado del aluminio en el diagrama cuaternario.

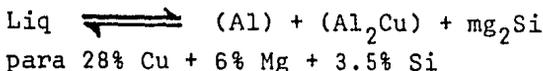
Al-Cu-Mg-Si

Además del compuesto binario  $Mg_2Si$ , el silicio introduce en esas aleaciones una fase cuaternaria Q de fórmula  $Al_5Cu_2Mg_8Si_6$  ó  $Al_4CuMg_5Si_4$ . Estas dos nuevas fases tienen como consecuencia dos puntos eutécticos cuaternarios:

a 509°C:



a 514°C:



### ALUMINIO-CINC-MAGNESIO-COBRE

Constitución química. El diagrama cuaternario es extraordinariamente complejo. No existe ningún compuesto cuaternario propiamente dicho. Por el contrario, de las fases isomorfas resultan tres soluciones sólidas cuaternarias:

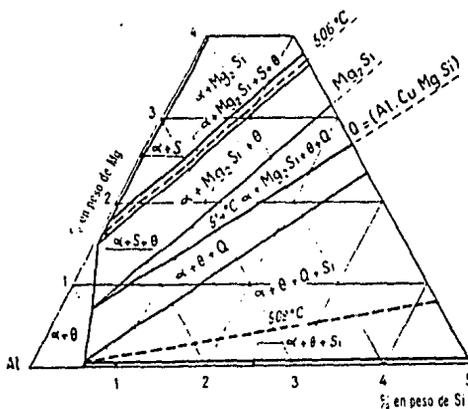
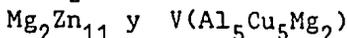
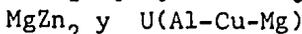
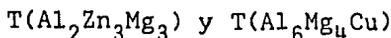


Fig.19 Solidus para 1% de Cu Corte aprox. a 510°C.

La fase S( $\text{Al}_2\text{CuMg}$ ) no disuelve prácticamente nada de cinc.

Estado metaestable. Las aleaciones ricas en aluminio son sensibles a los tratamientos térmicos de temple y maduración artificial. Su evolución estructural es todavía mal conocida. Durante las maduraciones artificiales por debajo de los 125°C precipitarían una fase S( $\text{Al}_2\text{CuMg}$ ) y  $\theta$ ( $\text{Al}_2\text{Cu}$ ). Para temperaturas superiores hasta 180°C la fase S desaparecería para dejar paso a la fases  $\theta$  y  $\eta$  ( $\text{MgZn}_2$ ). Por encima de 180°C, se tendría una precipitación abundante de fase .

CAPITULO V

IMPORTANCIA A NIVEL NACIONAL Y  
MUNDIAL

## IMPORTANCIA A NIVEL NACIONAL Y MUNDIAL

### EL MERCADO DEL ALUMINIO

La producción nacional de aluminio para efectos de análisis de be separarse en dos grupos en función de su origen; primario y secundario.

#### Aluminio primario

Es el que procede de plantas que inician el proceso a partir - del mineral (BAUXITA), que por medio de procesos fisicoquímicos se transforma en alúmina (OXIDO DE ALUMINIO) y posteriormente por medios electrolíticos se reduce hasta formar el aluminio metálico.

#### Aluminio secundario

Es el que se obtiene en forma de lingote a partir de chatarra y escoria por medio de fusión.

### PRODUCCION DE ALUMINIO PRIMARIO

La única empresa productora de aluminio primario en el país es Aluminio SA de CV cuya planta se encuentra ubicada en las inmediaciones del puerto de Veracruz. La capacidad inicial fué de 20 000 ton. la cual fué ampliada en 1968 a 38 000 ton. En el año de 1970 se realizó la última ampliación que dejó una capacidad instalada de 44 500 ton., ya que Jamaica es el principal productor mundial de Bauxita se iban a realizar coconversiones orientadas a la construcción de una planta productora superior a la de Aluminio SA ya que el estudio no era factible desde el punto de vista económico no se llevó a cabo.

Por lo tanto el incremento de la producción nacional de aluminio primario está sujeto a las inversiones que Aluminio SA realice para ampliar su capacidad instalada.

### PRODUCCION DE ALUMINIO SECUNDARIO

La producción de aluminio secundario se ha venido realizando - en el país por medio de pequeñas instalaciones dispersas en diferentes lugares. La mayor parte de ellas han adolecido de --- grandes deficiencias tecnológicas que les impide ejercer un --

buen control sobre el análisis químico de sus productos. Los mayores esfuerzos para producir aluminio secundario de calidad comercial adecuada se han realizado en el curso de los dos últimos años periodo en el cual han surgido dos plantas de regular capacidad una en la Cd. de México y la otra en la Cd. de Mexicali B.C.. Existen planes concretos para poner en marcha otras plantas con capacidad superior a las antes citadas. una en la Cd. de Monterrey y otra en la Cd. de Saltillo. Por lo disperso de la planta y la escasa información disponible resulta difícil estimar la producción nacional pero existen bases para suponer que esta se ubica entre las 6 500 ton y las 7 500 ton, cuyo valor esta en constante ascenso debido a los aumentos que registra el aluminio primario como consecuencia del aumento en el costo de la energía eléctrica. La materia prima empleada en este proceso consiste fundamentalmente de chatarra de pistón automotriz tanto nacional como importado aunque también se aprovecha otro tipo de chatarra.

#### La industria del aluminio en México

En México se usa el metal en todas sus formas desde el papel de aluminio hasta el uso industrial, con 22 compañías de 2.5 - billones de pesos en capital mixto con un crecimiento del 12% anual y un incremento en la producción doméstica del material de aluminio, esta marcada para 1984 un crecimiento sustancial. Aluminio SA de CV produce solamente materia prima y seis Cías. más dedicadas exclusivamente a la extrusión de aluminio y el remanente produce una combinación de extrusión, laminación, hoja de papel, pastas y fundentes. En la segunda fusión de lingotes, empaque, productos embotellados y enlatados, sistemas y accesorios de irrigación, conductores eléctricos, productos para la construcción, partes automotrices y evaporadores que hace de la competición una lucha sin descenso.

Hasta 1963 cuando Aluminio SA de CV construyó un crisol para producir aluminio en Veracruz, todas las materias primas eran importadas ahora las manufacturas nacionales pueden comprar y

y vender la presente.

#### PRODUCCION-DEMANDA

Según el Instituto del Aluminio, en México se tiene un consumo de 169 000 ton métricas para 1980 y un incremento de 22 000ton con respecto a 1979 o sea un 15% cuando este incremento en consumo no era esperado, alrededor de 63 500 ton del consumo fué importada en forma acabada ó semiacabada.

Una mayor porción de los lingotes producidos localmente son -- destinados para la extrusión, adornos en elevadores accesorios en casas o para soportes camioneros, usados en manufactura de construcción.

Alumex esta dentro de la industria de la construcción, la firma tuvo una de las mayores facilidades manufactureras en Naucalpan y dos en Puebla para laminados de aluminio y extrusión con una fuerza total de trabajo de aproximadamente 500 gentes, se estima que la compañía tiene un crecimiento alrededor del 10% anual operando a su capacidad total de 400 ton métricas por -- mes. Alumex es 49% propiedad americana, los precios en México son altos sin embargo Alumex y su dirección los disminuyen sin disminuir la calidad del producto y esto es fabricado habitualmente, cada producto es terminado a mano.

Reynolds Aluminio SA fabrica laminados y hojas así como extrusiones y evaporadores, produce aluminio para uso industrial y doméstico. Reynolds ha operado en México con el mínimo de 50% de participación extranjera por 35 años y emplea a más de 1000 trabajadores, su crecimiento se estima alrededor del 8% anual.

#### MERCADO ACTUAL

El mercado ha tenido sus problemas, debido a los precios comparativamente altos con los de Estados Unidos ya que ellos con equipo sofisticado y mayor volumen en ventas.

Alcan es el principal fabricante de aluminio semielaborado en México, Alcan comenzó en 1944 con un capital de 1.8 millones y en 1968 fué reorganizada con 51% de accionistas mexica--

nos, con 48.7% de capital canadiense, en 1971 se elevó a 100 millones de pesos y aumentó a 125 millones, Alcan aumentó su volumen en un 6% en 1980 y ventas del 30 al 40%. La producción de aluminio en México como lingote es de 45 000 ton al año, en 1980 importó 63 500 ton y en el año de 1981 se importaron alrededor de 72 000 ton.

La industria del aluminio ha ido más allá de la capacidad de la industria de la fundición. La producción de lingotes de aluminio se ha incrementado considerablemente en esta década.

Aluminio Atlas Tamaulipas SA esta planeando tener un nuevo crisol para el año de 1984 con capacidad inicial de 80 000 ton al año proyectando una capacidad en sus plantas para 1985 de 220 000 ton la cual es cinco veces la producción fundida en el presente. La mayoría de la demanda eléctrica y los altos costos de operación son dos razones que previamente planea el gobierno para nuevos crisoles, por ejemplo cuando pensó fusionarse con Jamaica en 1970 que tendría un giro de 145 000 ton de aluminio al año, pero eliminado el proyecto en 1978 cuando los requerimientos de inversión por ton eran del orden de 70 000 pesos no siendo rentable.

#### PEQUEÑA EXPORTACION

La exportación se ve restringida debido al consumo nacional, Alcomex esta exportando menos del 1% del total de ventas a Guatemala. Alumex a diseñado y ha hecho una sede de negocios en el Salvador y Jamaica, en el pasado había tenido una fase dura de competición con el acero pero los precios aún no son competitivos lo que sucede es que el aluminio esta reemplazando a otros metales. Las extrusiones y manufacturas de piezas estan siempre en competición con el acero.

El principal competidor del aluminio es el acero, madera y plástico en la industria de la construcción y el hierro, el aluminio es el principal competidor del cobre en forma de conductor ya que hay más cables de aluminio que de cobre debido a que es más ligero, anticorrosivo y fácil mantenimiento.

La principal razón para mantener el precio alto del aluminio se basa en los requerimientos de energía eléctrica para la fusión, ya que para producir 1 Kg. de aluminio es necesario aproximadamente 17 kw/hr, por ejemplo para producir 43 000 ton/año es como consumir casi la misma energía eléctrica de la ciudad de Guadalajara.

Cuprum de Monterrey extruye ángulos y tobos de aluminio y planea invertir 180 millones de pesos para una prensa extrusora y una planta anodizadora, adiconando a una fluctuación que va desde los 20 a 30 millones de pesos cada año desde 1982 a 1985. Incrementando la capacidad instalada solamente parte del futuro del aluminio, en México nuevas líneas de productos son realidades, pinturas e impresiones en aluminio han ganado popularidad y más aluminio será usado para empaque, en diseños de automoviles y la industria del transporte en general.

Para tener una mayor claridad de este análisis se presenta a continuación un estado general de la balanza comercial en México de los productos de importación y exportación hasta el mes de agosto de 1983 y productos de aluminio.

#### COMERCIO EXTERIOR EN EL PRIMER SEMESTRE DE 1983

##### BALANZA COMERCIAL

Durante el primer semestre del presente año, la balanza comercial del país arrojó un superavit de 6470 millones de dólares frente a un saldo positivo de 180 millones registrado en igual periodo de 1982, lo que significó una corrección de 6290 millones. Este resultado fué originado por un decremento en las importaciones de 5525 millones (60%), así como por un aumento en las exportaciones de 765 millones (8.2%).

Como resultado de la fuerte caída que experimentaron las importaciones, la corrección de la balanza comercial se concentró en el notable descenso observado en el saldo deficitario del sector no petrolero, sobre todo el de productos de las industrias manufactureras, el cual paso de 5965 millones de dólares en enero-junio de 1982 a solo 767 millones en igual lapso de -

1983; en cambio, el saldo superavitario del sector petrolero - aumentó de 6 145 a 7 237 millones respectivamente.

MEXICO: BALANZA COMERCIAL 1981-1983  
(Millones de dólares)

Concepto	Enero-Junio			Variación %	
	1981	1982	1983	82/81	83/82
TOTAL <sup>1</sup>					
Exportación	10525	9383	10148	-10.9	8.2
Importación	12051	9203	3678	-23.6	-60.0
Saldo	-1526	180	6470	----	3494.4
Sector Petrolero <sup>2</sup>					
Exportación	7928	7173	7831	-9.5	9.2
Importación	1488	1028	594	-30.9	-42.2
Superavit	6440	6145	7237	-4.6	17.8
Sector no Petrolero					
Exportación	2597	2210	2317	-14.9	4.8
Importación	10536	8175	3084	-22.6	-62.3
Déficit	7966	5965	767	-25.1	-87.1

1. Importaciones y esportaciones en terminos FOB(excluidos seguros y fletes).

2. Incluye importaciones y exportaciones de petróleo crudo, gas natural, derivados del petróleo y petroquímicos así como la importación de insumos y vienes de capital de Pemex.

#### EXPORTACION DE MERCANCIAS

Las divisas generadas por las exportaciones de mercancías ascendieron a 10 148 millones de dólares, lo que representó un aumento de 765 millones (8.2%) en relación con el nivel registrado en el primer semestre de 1982. Este resultado estuvo determinado por el efecto combinado de un incremento en el volumen de 20.2% y de un decremento en los precios de exportación de un 10%.

Durante el periodo a que se refiere este informe, las ventas al exterior al sector petrolero fueron de 7 831 millones de dólares, cifra que significó, por una parte, un crecimiento de 9.2% (658 millones) y, por la otra, una proporción de 77.2% -- respecto de los ingresos totales generados por la exportación de mercancías. Dentro de este sector, las ventas externas de

petróleo crudo alcanzaron un valor de 7 426 millones de dólares y un volumen de 280.4 millones de barriles (equivalente a un promedio diario de 1 millón 459 mil barriles), representando tasas de crecimiento de 9.9 y 19.9% respectivamente. Es importante mencionar que el precio por barril exportado experimento una reducción de 2.40 dólares (8.3%), al pasar de 28.88 dólares en Enero-Junio de 1982 a 26.48 dólares en igual periodo de 1983, lo que implicó una baja en los ingresos de divisas por 673 millones.

A pesar de las tendencias depresivas que continuaron manifestandose en los mercados internacionales durante la primera mitad del presente año, las medidas adoptadas para restaurar la competitividad e impulsar las exportaciones no petroleras han comenzado a tener un impacto favorable, particularmente en las ventas externas de productos manufacturados. Así, el valor de las exportaciones no petroleras creció 4.8% (107 millones) respecto al nivel del primer semestre de 1982; el incremento estuvo determinado por un aumento en el volumen físico de 26.7% y un decremento en el índice de precios de 17.3%.

Dentro de este sector, las exportaciones de productos manufacturados se incrementaron 192 millones de dólares (15.8%) en -- cambio, las correspondientes a productos primarios de origen agropecuario bajaron 33 millones (4.4%) y de las minerales metálicos y otros minerales, 53 millones (22.2%).

El aumento en el valor de las exportaciones de productos manufacturados, tanto en términos absolutos (192 millones) como relativos (15.8%), sugiere una mejoría mayor, ya que se observa un apreciable crecimiento en el volumen exportado de 52% mientras que los precios de venta muestran una disminución de 23.7 por ciento. Entre las manufacturas que registraron aumentos importantes deben destacarse los motores para automóviles con 88 millones (126.5%); productos siderúrgicos, 89 millones (346.9%) productos mineralometalúrgicos, 27 millones (86.7%); y productos minerales no metálicos, 29 millones (49.1%).

En cuanto a la contracción observada en los ingresos por expor

tación de productos primarios, tanto el volumen como los precios de exportación disminuyeron ligeramente. La caída en el valor de minerales metálicos y otros minerales (53 millones) se explica por las menores ventas de cobre en bruto o en concentrados (46 millones).

Ante la situación que confronta el país, la actual administración ha considerado necesario mantener un margen adecuado de competitividad internacional de la economía mexicana (en función principalmente del tipo de cambio controlado) que aliente en forma sostenida las exportaciones no petroleras y la captación de divisas necesarias para el funcionamiento eficiente de el aparato productivo del país. El mantenimiento de un tipo de cambio controlado realista constituye uno de los elementos esenciales para la determinación de la competitividad de las exportaciones mexicanas. La política de estímulos fiscales, crediticios y promocionales que involucra medidas y acciones inmediatas en favor de la comunidad exportadora, debe conformarse a partir de ese importante elemento de apoyo.

#### IMPORTACION DE MERCANCIAS

Debido a la escasez de divisas y al periodo de maduración necesario de los programas encaminados a racionalizar las compras de mercancías provenientes del exterior, el valor total de la importación experimentó, una disminución de 5 525 millones. Esta evolución estuvo originada por decrementos registrados en el volumen y en los precios de importación.

Cabe destacar que a partir de Marzo del presente año, como reflejo de una mayor disponibilidad de divisas, se incrementó el valor de las importaciones básicas de los sectores público y privado.

Para los próximos meses se espera un gradual repunte de este tipo de importaciones básicas de acuerdo con el ingreso de divisas previsto y las medidas cambiarias y de política comercial adoptadas para facilitar las importaciones necesarias para mantener la planta productiva y el empleo, lo que permitirá

atenuar el decremento experimentado durante la primera mitad de 1983.

ante la fuerte contracción de la inversión pública y privada, las importaciones de productos manufacturados mostraron una -- disminución de 5 527 millones de dólares (66.5%), dicho resultado se explica por un fuerte decremento en el volumen importado 65.2%, así como por la caída en los precios de compra(8.2%). Entre los productos manufacturados que registraron una mayor -- disminución cabe mencionar los siguientes: maquinaria y equi-- pos para transportes y comunicaciones (884 millones); maquina-- ría y equipos especiales para las industrias diversas (1 970 -- millones); equipos y aparatos eléctricos y electrónicos(495 -- millones); productos siderúrgicos (508 millones); y químicos -- (442 millones).

Las compras externas de productos de las industrias extracti-- vas alcanzaron 54 millones de dólares, cifra que representó -- una disminución de 100 millones(64.9%) sobre el nivel registra-- do en el período Enero-Junio de 1982.

Ante la imperiosa necesidad de hacer frente a la demanda inter-- na y al mantenimiento de inventarios, las mayores compras ex-- ternas correspondieron a productos alimenticios básicos, las -- cuales fueron financiadas con un crédito otorgado por la Como-- dity Credit Corporation.

MEXICO: EXPORTACION E IMPORTACION DE MERCANCIAS 1981-1983  
(Millones de dólares)

Concepto	Enero-Junio			Variacion %	
	1981	1982	1983	82/81	83/82
EXPORTACION TOTAL	1634	1453	1593	-10.9	+8.2
Minerales	344	239	186	-30.5	-22.2
Manufacturas	1288	1212	1404	- 5.9	+15.8
Otros prods.	2	2	3	0.0	+50.0
IMPORTACION TOTAL	10707	8592	2841	-23.6	-60.0
Minerales	150	151	53	+ 0.7	-64.9
Manufacturas	10412	8313	2786	-20.2	-66.5
Otros	145	128	2	-11.7	-98.4

A continuación se presentan estadísticas del consumo nacional aparente, así como las importaciones y exportaciones de los productos de aluminio.

ESTADISTICAS DE FACTURACION MENSUAL Y ACUMULADA  
DEL AÑO Y MISMO PERIODO DE AGOSTO

<u>EXTRUSION</u>	AGOSTO DE 1983 MES	ACUM.	AGOSTO DE 1982 MES	ACUM.	AGOSTO DE 1981 MES	ACUM.
CONSTRUCCION	273	3200	1117	8402	660	6481
TRANSPORTE	36	519	123	847	140	1240
I. ELECTRICA	18	288	101	748	292	1704
IRRIGACION	14	171	31	311	27	358
LINEA BLANCA	18	498	109	1191	109	1020
MUEBLES	21	169	47	425	41	436
IND. VARIAS	242	2600	553	3135	459	3323
DISTRIB. CONST.	331	3888	917	7413	928	8444
DISTRIB. IND.	145	1491	270	2079	291	1867
T O T A L E S	1098	12824	3268	24551	2847	24873
<u>LAMINA</u>	MES	ACUM	MES	ACUM	MES	ACUM
CONSTRUCCION	34	121	2	86	16	104
TRANSPORTE	91	988	125	1541	230	1601
I. ELECTRICA	168	1198	113	1504	167	1390
CORRUGADO	9	71	16	127	39	217
LITOGRAFIA	28	441	32	530	96	573
LINEA BLANCA	43	642	65	1033	163	1029
IND. VARIAS	541	5352	495	6759	1022	7689
DISTRIBUIDORES	235	2251	292	3050	447	3357
T O T A L E S	1149	11074	1140	14630	2180	15970
<u>PAPEL</u>	MES	ACUM	MES	ACUM	MES	ACUM
CIGARROS	91	817	114	1128	102	951
CONDENSADORES	14	113	14	89	9	50
EMPAQUE	179	1383	191	1483	150	1517
CHOCOLATES y D.	96	635	113	723	103	530
IND. VARIAS	108	870	154	803	71	843
DISTRIBUIDORES	240	1739	237	1450	364	1466
T O T A L E S	728	5557	823	5676	799	5357
<u>LINGOTE 1a.FUSION</u>	MES	ACUM	MES	ACUM	MES	ACUM
PARA EXTRUSION	798	11539	278	7963	1529	10502
PARA LAMINACION	934	8013	155	7190	1075	8975
PARA FUNDICION	1647	15012	664	8617	1179	8636
T O T A L E S	3379	34564	1097	23770	3498	27506

IMPORTACIONES CORRESPONDIENTES AL MES DE JULIO DE 83 Y ACUM.

<u>PRODUCTO</u>	<u>MES</u>	<u>KGS.</u>	<u>ACUMULADO</u>
ALUMINIO BRUTO SIN ALEAR	704,654		3'267,698
LINGOTE ALEADO	12,880		573,187
LINGOTE ALEADO PARA EXTRUSION			3,751
CHATARRA	1'010,485		2'929,941
BARRAS PARA CONDUCTORES ELEC.			1'123,354
BARRAS PARA OTROS USOS	29,629		95,123
PERFILES	18,354		35,397
ALAMBRES	13,048		29,089
LAMINA PARA ABREFACIL	178,698		178,698
LAMINA OTROS USOS	197,425		542,630
PAPEL(foil)	26,477		240,925
POLVO	17,058		121,992
TUBOS	11,439		21,419
ACCESORIOS PARA RIEGO	26,381		123,453
ELEMENTOS PARA CONSTRUCCION	16,783		175,687
CABLE			2,347
PRODUCTOS DOMESTICOS	29		510
OTROS PRODUCTOS	87,139		138,991
<b>TOTAL IMPORTACIONES:</b>	<b>2'350,449</b>		<b>9'604,192</b>

EXPORTACIONES CORRESPONDIENTES AL MES DE JULIO DE 83 Y ACUM.

<u>PRODUCTO</u>	<u>MES</u>	<u>KGS.</u>	<u>ACUMULADO</u>
ALUMINIO EN BRUTO	45,568		166,232
DESPERDICIO EN LAMINA			75,609
BARRAS	1,607		51,507
PERFILES	95		4,411
ALAMBRES			7,300
CHAPA Y LAMINA			21,285
PAPEL (foil)	267		10,774
POLVO	520		54,202
TUBOS	895		4,070
ACCESORIOS PARA RIEGO	7,001		7,031
ENVASES	2,220		4,795
PRODUCTOS DOMESTICOS	22,505		99,431
OTROS PRODUCTOS	5,268		24,116
<b>TOTAL EXPORTACIONES:</b>	<b>85,946</b>		<b>525,760</b>

-----  
**CONSUMO NACIONAL APARENTE DE LA INDUSTRIA**  
**DEL ALUMINIO POR SECTOR**  
 -----

	1982	1981	1980	1979	1978
<b>FACTURACION NACIONAL</b>					
LAMINA Y CHAPA	19,336	22,941	25,140	23,713	20,915
PAPEL (FOIL)	8,639	8,214	8,574	7,763	5,945
EXTRUSION	32,093	36,284	34,413	31,111	23,993
POLVO Y PASTA	583	1,285	1,088	586	515
BARRAS PARA CONDS. ELECT.	6,250	12,400	12,742	12,900	13,000
FUNDICION (EN GENERAL)	34,995	50,690	47,837	47,600	32,903
<b>TOTAL NACIONAL</b>	<b>101,626</b>	<b>131,814</b>	<b>129,767</b>	<b>123,673</b>	<b>97,271</b>
MENOS EXPORTACIONES	1,122	3,156	3,398	3,046	3,699
<b>TOTAL CONSUMO NACIONAL</b>	<b>100,504</b>	<b>128,661</b>	<b>126,369</b>	<b>120,627</b>	<b>93,572</b>

<b>IMPORTACIONES</b>					
LAMINA	24,803	18,072	13,588	13,992	12,277
PAPEL (FOIL)	2,679	3,015	3,151	2,446	1,764
EXTRUSION (BARRAS, PERFILES, ETC)	2,387	3,618	2,642	1,468	1,268
POLVO Y PASTA	299	428	264	232	197
BARRAS PARA COND. ELECTRICOS	15,610	31,704	13,064	6,572	8,580
OTROS (EXCEPTO LINGOTE Y CHAT)	4,962	14,118	9,733	2,436	3,434
<b>TOTAL IMPORTACIONES</b>	<b>50,730</b>	<b>70,995</b>	<b>42,442</b>	<b>27,164</b>	<b>27,538</b>

<b>RESUMEN</b>					
TOTAL FACTURACION NACIONAL	100,504	128,661	126,369	120,627	93,572
TOTAL IMPORTADO	50,730	70955	42,442	27,164	27,538
<b>CONSUMO NACIONAL APARENTE</b>	<b>151,234</b>	<b>199,616</b>	<b>168,811</b>	<b>147,791</b>	<b>121,110</b>

-----  
**IMPORTACIONES DE PRODUCTOS DE ALUMINIO**  
 -----

	1982	1981	1980	1979	1978
LINGOTE SIN ALEA	13,778	29,147	37,527	38,559	27,106
LINGOTE ALEADO 1a. FUSION	17,401	20,154	17,668	11,922	8,731
LINGOTE ALEADO 2a. FUSION	1,162	9,484	8,315	5,611	3,939
CHATARRA	11,467	8,786	6,997	9,193	3,697
BARRAS PARA COND. ELEC.	15,610	31,704	13,064	6,572	8,580
BARRAS OTROS USOS	469	3,785	1,451	731	953
PERFILES	317	1,078	494	199	72
ALAMBRES	407	972	847	592	385
LAMINA PARA ABREFACIL	23,660	16,187	11,523	11,479	11,246
LAMINA OTROS USOS	1,143	1,885	2,065	2,513	1,031
PAPEL (FOIL)	2,679	3,015	3,151	2,446	1,764
POLVO	299	428	264	232	197
TUBOS	1,019	904	1,049	863	685
ACCESORIOS PARA RIEGO	838	421	525	79	62
ELEMENTOS PARA CONSTRUCCION	582	561	373	59	52
CABLE	421	2,934	173	33	150
PRODUCTOS DOMESTICOS	265	632	409	239	182
OTROS PRODUCTOS	3,031	9,602	7,054	1,127	616
<b>TOTAL IMPORTACIONES</b>	<b>94,548</b>	<b>141,679</b>	<b>112,949</b>	<b>92,449</b>	<b>68,651</b>

EXPORTACIONES DE PRODUCTOS DE ALUMINIO		Kilogramos				
	1982	1981	1980	1979	1978	
ALUMINIO EN BRUTO	214,824	23,834	18,061	-----	-----	
DESPERDICIO DE LAMINA	14,000	402,151	5,576	1,019	3,573	
BARRAS	62,523	160	384	2,304	-----	
PERFILES	16,893	10,557	49,491	98,414	1,979	
ALAMBRES	2,660	13	1,608	1,504	1,145	
CHAPA Y LAMINA	3,536	5,496	101,544	350,349	946,682	
PAPEL (FOIL)	5,949	18,179	168,518	466,045	529,556	
POLVO	114,927	55,492	-----	-----	-----	
TUBOS	76,451	94,151	58,049	89,370	50,785	
ACCESORIOS PARA RIEGO	9,114	30,446	95,674	157,296	103,602	
ENVASES	45,706	171,732	186,416	247,015	174,780	
ARTICULOS DOMESTICOS	131,504	850,878	835,836	700,700	463,706	
OTROS PRODUCTOS	638,864	1'490,427	1'876,481	931,918	1'422,550	
<b>TOTAL EXPORTACIONES</b>	<b>1'336,951</b>	<b>3'153,058</b>	<b>3'397,638</b>	<b>3045,934</b>	<b>3'698,538</b>	

CONSUMO NACIONAL DE LINGOTE DE ALUMINIO		Ton métricas				
	1982	1981	1980	1979	1978	
<b>LINGOTE DE ALUMINIO PRIMARIO</b>						
<b>FACTURACION NACIONAL:</b>						
PARA EXTRUSION	10,206	14,651	15,629	17,011	16,300	
PARA LAMINACION	8,177	12,997	12,245	13,240	10,557	
PARA FUNDICION	13,880	13,101	14,275	13,216	17,010	
<b>TOTAL LINGOTE NACIONAL</b>	<b>32,263</b>	<b>40,749</b>	<b>42,149</b>	<b>43,467</b>	<b>43,867</b>	
<b>IMPORTACIONES:</b>						
LINGOTE SIN ALEAR	13,778	29,147	37,527	38,559	27,106	
LINGOTE ALEADO	17,401	20,154	17,668	11,922	8,371	
<b>TOTAL LINGOTE IMPORTADO</b>	<b>31,179</b>	<b>49,301</b>	<b>55,195</b>	<b>50,481</b>	<b>35,477</b>	
<b>TOTAL CONSUMO LING. PRIMARIO</b>	<b>63,442</b>	<b>90,050</b>	<b>97,344</b>	<b>93,948</b>	<b>79,344</b>	

<b>LINGOTE ALUMINIO SECUNDARIO</b>					
<b>FACTURACION NACIONAL</b>					
IMPORTACIONES	37,237	29,127	24,108	24,114	15,988
<b>TOTAL CONSUMO LING. SECUNDARIO</b>	<b>38,399</b>	<b>38,611</b>	<b>32,423</b>	<b>29,725</b>	<b>19,927</b>

**RESUMEN:**

TOTAL LINGOTE ALUM. PRIMARIO	63,442	90,050	97,344	93,948	79,344
TOTAL LINGOTE ALUM. SECUNDARIO	38,399	38,611	32,423	29,725	19,927
<b>CONSUMO NACIONAL DE LINGOTE</b>	<b>101,841</b>	<b>128,661</b>	<b>129,767</b>	<b>123,673</b>	<b>99,271</b>

ESTRUCTURA DEL CONSUMO DEL ALUMINIO EN 1982

	TONS. METRICAS	%	IMPORTACION* %
CONSTRUCCION	22,780	15	3.79
TRANSPORTE	31,879	21	20.84
INDUSTRIA ELECTRICA	21,659	19	14.05
BIENES DE CONSUMO	12,101	8	5.25
ENVASE Y EMBALAJE	32,129	21	13.05
MAQUINARIA Y EQUIPO	10,574	6	5.86
OTRAS INDUSTRIAS	14,614	10	5.50
	<u>151,234</u>	<u>100</u>	<u>68.34</u>

\* Es el consumo de aluminio de importación por cada sector dando un total de 68.34% con referencia al 100% del consumo nacional.

## CONCLUSIONES

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

La primera conclusión a la que se llega, es la limitante de no tener BAUXITA en el país, ya que esta se da en zonas tropicales como en Jamaica, por ser importadores de esta materia prima esto eleva en gran medida el costo del metal de aluminio para la elaboración de productos diversos, aunado a la inestabilidad de la balanza comercial por la que atraviesa el país y - sumando el alto costo de la energía eléctrica, teniendo una relación de obtención de aluminio de 18-20 Kw-hr/Kg de aluminio, durando el proceso aproximadamente de 2 a 3 horas para obtener 1 Kg de metal base, con 2 Kg de alúmina iniciales, este costo de obtención se vería abatido y por lo tanto los productos manufacturados si tuvieramos un precio menor en la energía eléctrica en nuestro país, pero esto no es factible debido a la relación de demanda-producción de la misma. A esto le sumamos el freno de las inversiones por la inestabilidad económica y falta de tecnología, por lo tanto, el crecimiento de la planta -- productora es mínimo y no permite un desarrollo pleno de la industria del aluminio en general.

Como se observa se tenía un proyecto nuevo, pero esto no se pudo llevar a cabo por la inversión tan elevada y no siendo rentable en momentos de no devaluación, ahora con mucho mayor razón.

En lo que respecta al aluminio y sus aleaciones como se observa se tienen diferentes tipos de proceso de obtención de los mismos y su control através de una adecuada fusión y tratamiento térmico específico para cada aleación según su uso, de aleaciones comunes y de aleaciones especiales para productos muy - específicos, saber que un satisfactor de aluminio no es suficiente, es necesario saber que tipo de aleación se requiere, - si lleva tratamiento térmico que resistencia debe tener, cuales son sus dimensiones y cual es la condición de acabado que va a llevar. Es conveniente saber a que uso se destinará y las especificaciones que es necesario cubrir, para seleccionar el-

método de fundición más adecuado, siendo importante conocer el tamaño de las piezas, el volumen de producción, la precisión - en las dimensiones y el acabado deseado, ya que esto no definirá el capital necesario para la producción de las piezas, a esto es necesario definir el equipo adecuado y control de calidad para cumplir con las especificaciones establecidas. Por lo tanto podemos tener un buen control de todo nuestro proceso de finiendo de antemano claramente lo que se desea y para que función lo requerimos.

En una fundición concurren varios factores que nos ayudan a -- ubicarnos de la función que se desempeña ya que están íntimamente relacionados desde el inicio del proceso hasta el final del mismo, con esto se contará con el mejor aprovechamiento de los recursos humanos de los cuales teniendo una mayor claridad de que es lo que se separa de los mismos nos llevará a un buen aprovechamiento de los medios y así obtener productos de muy buena calidad, a esto se debe aunar un trabajo constante de capacitación y concientización del personal ya que es el factor más valioso de una empresa.

Indudablemente otro factor importante para la existencia de productos es el mercado donde pueden colocarse las piezas producidas. Estas piezas estarán encaminadas a satisfacer las necesidades del hombre, estos satisfactores deben cubrir la demanda del mercado donde deberán concurrir con calidad y precios adecuados, en este aspecto sabemos que el aluminio y sus aleaciones no tienen un bajo costo, pero aún así se obtienen satisfactores, por lo cual cada día aumenta la demanda pero no se llega a cubrir el mercado por nuestras deficiencias de independencia tecnológica y de suministro de materia prima.

Ya que el capital es la base que sustenta o impulsa el desarrollo de las actividades de las empresas, es también el punto crítico que cierra el círculo para alcanzar los importantes factores de la producción y esto se ve seriamente dañado hoy en día por la inestabilidad económica por la que atravesamos. Por lo tanto se deberá aumentar la producción con una mayor calidad y a un bajo costo de operación para poder competir con el mercado internacional.

## BIBLIOGRAFIA

## B I B L I O G R A F I A

- Source Book on Selection and Fabrication of Aluminum Alloys  
A S M 1978.
- Annual Book of A S T M Std. 1977.
- Transport Phenomena in Metalurgy  
G.H. Geiger, T.R. Poirier.
- Recommended Practice for Sand Casting Aluminum and Magnesium  
Alloys, American Foundrymen's Society, Plaines Ill.
- Metalurgia Física para Ingenieros  
Fondo Educativo Interamericano, S.A. Albert.G. Guy.
- Aluminum Alloys Structure and Properties  
L.F. Mondolfo, Butterworths
- Metalurgia Estructural del Aluminio.  
Mexico American Review 1981.  
Por Laura López.
- World Aluminum Abstracts . 1983
- Fundación del Aluminio y sus Aleaciones  
Sociedad Mexicana de Fundidores A.C.  
Ing. Benjamín García Arevalo e Ing. Manuel Fregoso U. 1981
- Indicadores de Comercio Exterior  
I M C E Enero-Junio 1983
- Boletín informativo  
Instituto del Aluminio.
- Manuales de Aleaciones de Aluminio.  
American Society for Metals
- Aluminio Metalurgia  
Herenguel , Jean. Ed. URMO
- Aluminio, Enciclopedia del Aluminio.  
Barrand, Pierre
- Las aplicaciones del Aluminio en la industria Química y Aliment.  
Juniere, Paul
- Principios de Metalurgia Física.  
Red Hill
- Principios de Fisicoquímica.

- Non Ferrous

Foundry Metallurgy

The Science of Melting and Casting non-ferrous metals and Alloys

A.J. Murphy M. Sc.

Pergamon Press LTD London.

- Metallurgy and Metallurgical Engineering Series.

- Structure and Properties of Alloys

Brick and Phillips 2nd. Ed.

Mc Graw Hill Book Co. Inc.