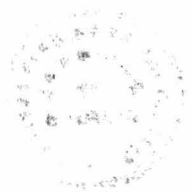


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

CONTROL METALÚRGICO
DEL PROCESO DE FABRICACION DEL
A L U M I N I O
Y SUS ALEACIONES

139



T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO METALURGICO
P R E S E N T A

HORACIO GUAJARDO TORRES



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

CLAS. Tesis
ADQ. 1974
FECHA
PROC. M-t-134 134



QUIMBO.

JURADO ASIGNADO ORIGINALMENTE

PRESIDENTE: I.Q. FERNANDO MALDONADO M.
VOCAL: KURT NADLER G.
SECRETARIO: ING. JOSE CAMPOS CAUDILLO.
1er. SUPLENTE: ING. HUMBERTO MALAGON.
2do. SUPLENTE: ING. ENRIQUE MARTINEZ M.

Sitio donde se desarrolló el tema:

BIBLIOTECA DE LA FACULTAD DE QUIMICA.

Nombre completo y firma del sustentante:

HORACIO GUAJARDO TORRES.



Nombre completo y firma del asesor del tema.

I.Q. FERNANDO MALDONADO M.



A MIS PADRES:

Sr. Rogelio J. Guajardo.

Sra. Consuelo T. de Guajardo.

por todo su apoyo y esfuerzo.

A MIS HERMANOS:

Martha Silvia, Ninfa,

Rogelio Javier, Conie,

Sara e Irma,

con cariño.

A MI ESCUELA

Agradezco el esfuerzo desinteresado
por parte del

ING. FERNANDO MALDONADO M.

ASIMISMO A LA COMPAÑIA

F O S E C O, S.A. DE C.V.

en particular a los
Ingenieros:

MARTIN BUSTAMANTE,
JUAN MANUEL DELGADO,
EDUARDO SHEPARD, y
JAIME RODRIGUEZ.

por la cooperación y
ayuda en la realización
de este trabajo.

C O N T E N I D O

INTRODUCCION.

1.0 INFLUENCIA DEL EQUIPO Y DE LA PUREZA DE
LAS MATERIAS PRIMAS EN LA CALIDAD DEL
ALUMINIO DE FUSION PRIMARIA.

2.0 EFECTOS DE ELEMENTOS ALEANTES.

✓3.0 CONSIDERACIONES TECNICAS PARA LA FUSION
DE LAS ALEACIONES:
-Aluminio-Silicio; -Aluminio-Cobre;
-Aluminio-Magnesio; -Aluminio-Silicio-
Cobre; y -Aluminio-Zinc-Magnesio.

4.0 TRATAMIENTOS TERMICOS.

CONCLUSIONES.

REFERENCIAS.

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

El tema que a continuación se presenta, es con el fin de proporcionar una ayuda al País, y en especial a la Industria del Aluminio y sus aleaciones.

Se ha puesto especial interés en que la información contenida en esta Tesis, sea lo más veraz y actualizada posible. Para ésto, en algunos casos se realizaron entrevistas con personas con experiencia en el tema, así como consultas a libros, folletos e información procedentes de otros países. Finalmente, se incluyen las experiencias realizadas por el sustentante.

Sin lugar a dudas, el aluminio es el metal más interesante de este siglo. Sus usos son muy amplios y abarcan desde simples objetos decorativos hasta la fabricación de piezas para la Industria Electrónica en la que se requiere una pureza de 99.99%; además su ligereza así como su resistencia mecánica ha desplazado a otros metales que tradicionalmente se consideraban insustituibles. (Por ejemplo: para la fabricación de conductores eléctricos, el Aluminio presenta una relación volumen - peso mayor que en el caso del Cobre, aunque sus propiedades conductoras no sean tan buenas como las de este metal).

En México la industria del Aluminio es relativamente nueva ya que fué apenas en 1963 cuando se inició la produc--ción de lingote de fusión primaria y el ritmo de crecimiento de la demanda ha sido hasta el 18% anual.

Por lo tanto se ha considerado de mucha importan--cia el desarrollar un trabajo de esta naturaleza, que sea una -fuente de consulta rápida y sencilla del control metalúrgico -del proceso de fabricación del Aluminio y sus aleaciones.

C A P I T U L O 1

INFLUENCIA DEL EQUIPO
Y DE LA PUREZA DE LAS MATERIAS PRIMAS
EN LA CALIDAD DEL
A L U M I N I O
DE FUSION PRIMARIA

Las materias primas para la obtención del Aluminio por el proceso Hall-Heroult son: Alúmina fluoruro de sodio, Aluminio, calcio y ocasionalmente de litio. Además diferentes tipos de carbón y breas que sirven para la fabricación de los electrodos.

A continuación se resumirá la importancia relativa de cada una de las materias primas mencionadas anteriormente.

1.1.1. Alúmina.

1.1.2. Carbón.

1.1.3. Composición del electrolito.

1.1.4. Tipo de Celda.

1.1.1. ALUMINA.

La materia prima para la producción del Aluminio, la cual se obtiene a su vez del mineral denominado bauxita. Este material es un hidrato de aluminio, el cual contiene como principales impurezas óxidos de hierro y tita-

nio, sílice y cantidades menores de otros elementos.

La producción de Aluminio de alta pureza, requiere de -
materias primas muy puras, por lo tanto es necesario -
obtener un óxido de Aluminio prácticamente libre de -
fierro y sílice (0.02%).

El proceso para obtener el óxido de Aluminio puro fué -
desarrollado por Bayer; dicho proceso ha sufrido modifi -
caciones para su adaptación a los diferentes tipos de -
bauxita existentes.

Hay otros procesos que permiten trabajar con minerales -
más impuros, específicamente con contenidos mayores de -
sílice.

Los análisis típicos de la alúmina usada en las celdas -
de reducción se dan en el Anexo I.

1.1.2. CARBON.

Se utilizan diferentes tipos de carbones y breas para -
la fabricación de los electrodos. Los cátodos están he -
chos de bloques de carbón cuya composición es aproxima -
damente 30% de grafito y el resto de antracita; estos -
carbones están prácticamente libres de impurezas, sin -
embargo, la brea usada como aglutinante contiene algo -

de hierro y sílice.

Los ánodos están hechos de un tipo de carbón denominado coque de petróleo y una brea de alto punto de fusión.

La composición de estos materiales se dá en el Anexo II.

1.1.3. COMPOSICION DEL ELECTROLITO.

En el baño nunca se usa criolita natural (Na_3AlF_6) sino que se usa criolita sintética a la cual se añade cantidades adicionales de Fluoruros de Aluminio, calcio y en ocasiones de litio. La pureza de estos compuestos es bastante alta, prácticamente no impurifican al Aluminio producido durante la electrólisis.

1.1.4. TIPO DE CELDA.

Existen dos tipos de celdas en lo que se refiere al tipo de ánodo usado, estos son: a) Anodo precocido y b) Anodo Soderberg o de cocimiento continuo. No es posible decir que el uno sea mejor que el otro, pero en lo que respecta a la pureza del Aluminio producido algunas personas con experiencia en la operación de las plantas de reducción afirman que es posible obtener Aluminio de mayor pureza en las celdas tipo Soderberg.

Las consideraciones hechas anteriormente indican que la

alúmina y la pasta del ánodo son los factores más importantes que controlan la pureza del aluminio de fusión primaria. En general la pureza del aluminio así obtenido varía entre 99.5 a 99.8%; con un contenido de silicio y de hierro aproximado de 0.07% de cada uno.

1.2. ELIMINACION DE GASES DISUELTOS E INCLUSIONES NO METALICAS.

El Aluminio obtenido de las celdas en el proceso Hall-Heroult tiene una pureza suficientemente alta para usarse directamente en la fabricación de piezas para los usos más comunes. Ya que las especificaciones requeridas por los fabricantes quedan por demás cubiertas, por ejemplo los niveles tolerables de hierro en la fabricación de piezas coladas varía de 0.15 a 1.2% y el Aluminio producido en las celdas tiene un contenido promedio de hierro de 0.07% lo cual es aproximadamente el 50% del mínimo permisible.

Sin embargo, para algunos usos se requiere de Aluminio con un grado de pureza superior, aproximadamente del orden de 99.5 o mayor y para ésto se le somete a un proceso el cual no se describe en este trabajo por salirse del objetivo principal del mismo, (no obstante,-

información sobre este proceso puede encontrarse en las referencias 2 y 3).

Lo anteriormente dicho demuestra que el control de la composición química del lingote de fusión primaria no es problema para las compañías fabricantes. El problema principal se reduce a la eliminación de inclusiones no metálicas y de los gases disueltos en el metal, especialmente el hidrógeno.

Estas inclusiones no metálicas que provienen directamente de la alúmina y del electrolito succionados conjuntamente con el metal de las celdas; pueden causar defectos durante el proceso de fabricación (laminación, maquinado, etc.).

Los gases disueltos en general reducen las propiedades mecánicas, haciendo al metal más susceptible a la corrosión.

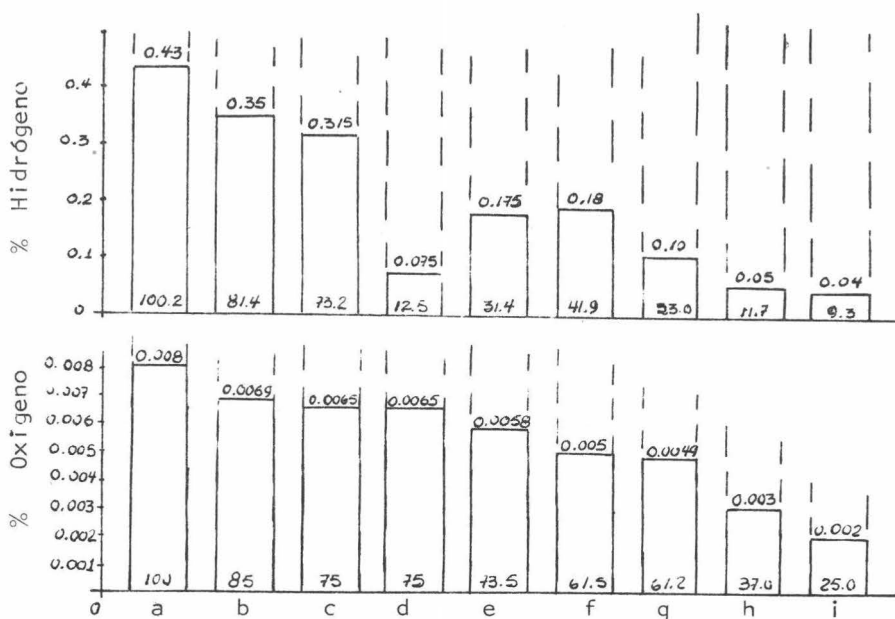
PROCESOS PARA ELIMINAR HIDROGENO E INCLUSIONES NO

METALICAS.- Existen varios procesos para la refinación del lingote de Aluminio de fusión primaria, siendo los principales los siguientes:

- a) Aluminio sin tratamiento alguno.
- b) Sedimentación a 700°C durante 60 minutos.
- c) Filtración a través de fibra de vidrio.

- d) Tratamiento con nitrógeno.
- e) Tratamiento al vacío.
- f) Tratamiento con fundentes.
- g) Tratamiento con cloruro de manganeso.
- n) Tratamiento con hexafluoroetano.
- i) Cloración.

Estos procesos no se describirán en detalle, sin embargo es interesante conocer la eficiencia de cada uno de ellos en la refinación del metal. En la Figura No. 1, se muestra en forma gráfica el contenido de hidrógeno, así como también el de óxido de Aluminio, antes y después de cada tratamiento.



Como puede verse en las gráficas, el proceso más eficaz en los dos casos, es el de cloración; sin embargo este proceso no ha sido muy popular quizás debido a que implica el manejo de un gas tóxico como lo es el cloro.

Los procesos más comunes, se basan en una combinación de filtrado y tratamiento con fundentes. La filtración se lleva a cabo a través de esferas compactas de alumina y la etapa en donde interviene este proceso va a depender del uso posterior que se le vaya a dar al lingote, esto es, en el caso de ser requerido Aluminio puro de alto grado de refinación, el tratamiento se pone en práctica inmediatamente después de ser extraído el metal de las celdas electrolíticas; o bien si las exigencias son aleaciones con base Aluminio, libres de gas, e inclusiones no metálicas; el proceso de refinación va precedido de la fusión en hornos de reverbero y de esta forma se obtiene aluminio ya sea puro o aleado, limpio de gas y al mismo tiempo de inclusiones no metálicas.

C A P I T U L O I I

E F E C T O S D E E L E M E N T O S

A L E A N T E S

En fundición, el hecho de adicionar algunos elementos al aluminio puro es por dos razones:

- a) Para mejorar las características de fusión tales como: incrementos de fluidez, reducir las contracciones o rechupes,
- b) Para proporcionar ciertas características deseadas en piezas terminadas tales como: aumentar la resistencia a la corrosión, resistencia mecánica, maquinabilidad, soldabilidad ... ó el hacer las piezas susceptibles a un tratamiento térmico.

Los elementos aleantes agregados intencionalmente - deben caer dentro de un cierto rango en la composición química.- Este rango dependerá de las propiedades requeridas de la aleación, así como del diagrama de equilibrio correspondiente.

Los elementos aleantes usados con frecuencia son: Silicio, Cobre, Magnesio, Titanio, y Boro; otros menos comunes, son: Manganeso, Zinc, Níquel, Cromo, Estaño, Hierro, Sodio y Berilio. Para producir la pieza con las características y propie-

dades mecánicas requeridas, todos y cada uno de los elementos -
agregados deben ser controlados. Cuando un elemento ofrece ven-
tajas para una aleación puede ser dañino a otra.

Las características de las piezas y el efecto del -
uso de varios elementos, se mencionan a continuación:

COBRE (Cu).-

Fué uno de los primeros elementos usados con el -
Aluminio y aún se utiliza. Proporciona dureza en las piezas de
aluminio. Incrementa la resistencia en las aleaciones tanto con
tratamientos térmicos como sin ellos. El cobre es totalmente -
soluble en el aluminio a elevadas temperaturas (5% a 526°C), y
ligeramente soluble a un porcentaje aproximado de 0.1, en alu- -
minio a temperatura ambiente. La diferencia en la solubilidad -
del cobre a diferentes temperaturas es la característica que -
hace que la aleación de aluminio sean susceptibles a tratamientos
térmicos.

La habilidad de responder a los tratamientos térmi-
cos es importante ya que proporciona grandes mejoras en las pro-
piedades mecánicas de la aleación. Para mejores resultados en
estos tratamientos, el cobre se adiciona en cantidades que son
parcial o completamente solubles a temperaturas inferiores al -

punto de fusión de la aleación (3 Al - 11%).

Con la excepción de la 355 y la C 355, las aleaciones que se tratan termicamente se dividen en dos grandes grupos; uno de estos emplea del 3 al 5 % de cobre además de otros elementos que proveen el control de la solubilidad ... el segundo grupo emplea del 7 al 11% de cobre junto con otros elementos como - la aleación 122 y la C 113. Ver clasificación y composición química en los anexos IV y V respectivamente.

En la fundición, el cobre tiene grandes ventajas, cuando se trabaja con el aluminio porque previene las contracciones internas y mejora la maquinabilidad de las piezas; sin embargo las adiciones de cobre hacen a la aleación más difícil en el vaciado que las adiciones de silicio, por la falta de fluidez, - en el metal.

El cobre en las piezas de aluminio reduce en alto grado la resistencia a la corrosión, debido a la formación de pares galvánicos que se encuentran alrededor de las partículas del cobre como constituyentes y la matriz del aluminio, esto sucede en presencia de humedad. Por lo que en lugares húmedos, atmosferas marinas, etc., esta aleación es mucho más susceptible a la corrosión. La corrosión se incrementa rápidamente con cantidades que van de 0.3 al 1%, de cobre contenido. Posteriormente si

se le adiciona más cobre, aumentará la corrosión, pero más lentamente.

Con referencia a las tablas de composición química, anexo V, revelan que el cobre se encuentra en piezas de aluminio en cantidades que varían de 0.1 a 10.5%. De hecho en adiciones superiores al 11%, aumenta progresivamente la dureza en la aleación resultante.

MAGNESIO (Mg).-

Es muy probable que el siguiente elemento en importancia sea éste, en lo que se refiere en adiciones al aluminio, ya que el magnesio como el cobre tiene grandes características de solubilidad requeridas para un tratamiento térmico de la aleación. Las aleaciones de aluminio que contienen arriba del 8% de magnesio, responden satisfactoriamente al tratamiento térmico, no así aleaciones de bajos contenidos de magnesio, a menos que otros elementos tales como el cobre o el silicio estén presentes (ver clasificación de las aleaciones en el anexo IV; así como su composición química en el anexo V).

Las adiciones de magnesio dificultan el vaciado del metal debido a su tendencia de formar escoria. Los residuos de hierro, silicio, cobre y otros elementos son muy perjudiciales en las propiedades mecánicas de las aleaciones binarias aluminio-magnesio. Este problema aumenta al incrementarse el

contenido de magnesio, por esta razón, se requiere de un cuidado especial cuando se manejan directamente en la fundición las aleaciones aluminio-magnesio.

Ciertas compañías incluyen pequeñas cantidades de berilio en sus lingotes (proceso patentado), el cual tiende a reducir la formación de escoria en las aleaciones de alto magnesio, para mejores resultados es necesario usar fundentes a base de cloro, para eliminar la formación de óxidos durante la fusión.

En general las adiciones de magnesio proporcionan incremento tanto en la resistencia como en la ductilidad, también aumenta la resistencia a la corrosión y mejora la maquinabilidad.

TITANIO (Ti).-

Este elemento generalmente se adiciona como refinador de grano (0.5-0.20%) para todas las aleaciones que se vacían en arena o en molde permanente a gravedad, esto es para cuando se desea mejorar las propiedades mecánicas de las piezas. El titanio no se agrega a piezas vaciadas fabricadas en molde permanente a presión (die-casting) debido a que el enfriamiento es muy rápido y consecuentemente proporciona un grano fino. También el metal con el grano refinado es ligeramente menos fluido y por lo tanto origina problemas en la obtención de las piezas. El Titanio res-

ta conductividad térmica a las aleaciones de aluminio, pero mejora su resistencia a la tensión y su ductilidad. Las aleaciones que se usan con más frecuencia, emplean un máximo de 0.2% de este elemento, y para mejores resultados, generalmente se adiciona junto con boro.

BORO (B).-

Proporciona un buen refinamiento de grano cuando se usa en combinación con titanio. Sin los beneficios del boro, los efectos de refinamiento de grano del titanio se reducen considerablemente. También mejora la resistencia a la tensión y la ductilidad. Mientras las cantidades requeridas sean pequeñas, el contenido de boro es cuidadosamente controlado y rara vez debe exceder del 0.01% en cualquier aleación de aluminio.

HIERRO (Fe).-

Las adiciones de hierro en ocasiones se emplean para reducir las contracciones en las aleaciones de aluminio, por otra parte también actúa como refinador de grano. Sin embargo, aleaciones de silicio conteniendo porcentajes de hierro mayores al 5% proporcionan cristales gruesos y por ende estructuras quebradizas. El hierro arriba del 0.80% es preferible que venga acompañado de un 8% o más de silicio ya que de esta forma contrastan la soldabilidad del metal con los dados en piezas fabricadas en máquinas de presión. El contenido de hierro permitido

en las aleaciones de aluminio, debe ser controlado entre los límites de 0.15 a 1.2%, de otra manera afectará directamente a las propiedades mecánicas de la aleación.

MANGANESO (Mn).-

Las adiciones de éste, actúan como refinadoras de grano y reduce los rechupes. Junto con el cobre y el silicio, el manganeso mejora la resistencia de las piezas que son sometidas a altas temperaturas. Sin embargo el control del contenido de manganeso en combinación con hierro debe ser estricto ya que de no ser así las propiedades mencionadas anteriormente se verán perjudicadas por la formación de partículas grandes de constituyentes primarios que se manifiestan en bajas resistencias y no se notarán los beneficios alcanzados por las adiciones de manganeso.

CROMO (Cr).-

Se adiciona para mejorar la resistencia a elevadas temperaturas. Se usa para reducir las fracturas por esfuerzo o de corrosión en ciertas aleaciones tales como Al-Zn-Mg y en ocasiones también actúa como refinador de grano, si se usa junto con titanio.

SILICIO (Si).-

Con límites arriba del 12% es el elemento más frecuentemente usado, mejora la fluidez en el baño permitiéndole al metal correr con más facilidad a través de las paredes delgadas del molde y llenar las cavidades de éste reproduciendo así fielmente cualquier detalle en la pieza. También reduce el rechupe externo, reduce el coeficiente de expansión y evita la soldabilidad.

Su contribución a la maquinabilidad no es muy apreciable pero sí incrementa la resistencia de la pieza, particularmente cuando está combinado con el magnesio y de esta forma hace susceptible a la pieza de ser tratada térmicamente.

Preferentemente, el silicio debe estar presente en la pieza en su forma modificada, esto es, granos redondeados. Amplia y homogéneamente distribuidos. Cuando se presenta como cristales primarios o pequeñas láminas en la estructura de la pieza, baja notablemente las propiedades mecánicas de la pieza.

La tendencia a retransformarse a cristales primarios aumenta a medida que se incrementa el contenido de silicio, o bien por mantenimiento prolongado en estado líquido. Frecuentemente es necesario modificar el silicio por medio de tratamiento con sodio.

Por lo que estas aleaciones se vacían únicamente en molde permanente a gravedad o en dado, los cuales pueden soportar altos contenidos de silicio (8 al 12%) porque solamente en este tipo de vaciado hay un enfriamiento suficientemente rápido con el cual se obtiene una estructura modificada.

Cuando una pieza conteniendo silicio es expuesta a la temperatura ambiente o se trata térmicamente, tiende a cambiar de color; lo que no sucede con piezas que no lo contienen.

Esta propiedad hace que se emplee amplia y frecuentemente en arquitectura.

Cuando el fierro se encuentra en exceso (por ejemplo 1.5%), en aleaciones de alto silicio puede ocasionar una estructura burda y quebradiza. Se usa y controla debajo de este rango para prevenir que el aluminio líquido se adhiera a los dados en las Industrias que usan el sistema de vaciado por dado (die - - casting).

Se concluye que la contaminación de hierro debe conservarse al mínimo, en aleaciones de Aluminio-Alto Silicio.

TEORIA DE LA MODIFICACION

Se han propuesto varias teorías para explicar el mecanismo de la modificación; dichas teorías proponen explicaciones en términos de los conocimientos actuales acerca del crecimiento cristalino del material puro y del modificado. Estas ideas y la evidencia experimental que las han sugerido se pueden resumir como sigue:

i) La impureza (sodio) es parcialmente soluble en el líquido; y la forma del diagrama ternario el cual involucra líquidos inmiscibles, es de alguna forma responsable de la modificación.

ii) La presencia del sodio suprime la nucleación, especialmente del silicio de tal forma que el crecimiento del eutéctico o del silicio principia a una temperatura más baja estando la estructura relacionada con el subenfriamiento en función de la naturaleza del núcleo y de su densidad.

iii) El sodio modifica el proceso de crecimiento cristalino quizás en forma diferente a como lo hace en la nucleación, ya sea por a) adsorción en la superficie con envenenamiento de los mecanismos de crecimiento del silicio. b) alterando la energía libre interfacial sólido-sólido o sólido-líquido con el consecuente cambio del perfil de la interface sólido-líquido.

c) Alterando la rapidez de difusión en el líquido de manera tal que se retarde la velocidad de la reacción.

Existe considerable discrepancia entre los diferentes autores en lo que respecta a las teorías mencionadas con anterioridad y de hecho no se ha llegado a ninguna conclusión. Sin embargo, los problemas que se presentan durante la solidificación de las aleaciones Aluminio-Silicio, es probable que estén relacionados con los mecanismos de crecimiento cristalino del Silicio en soluciones metálicas.

En la actualidad existe una gran actividad en varios centros de investigación, estudiando el mecanismo que conduzca a un mejor entendimiento de este fenómeno.

Para una discusión más amplia ver referencia No. IV.


NIQUEL (Ni).-

Mejora la estabilidad dimensional y la resistencia a elevadas temperaturas. Siempre se usa en combinación con otros elementos aleantes. Es importante la presencia del níquel en la composición química de piezas tales como: las que forman el sistema de enfriamiento en los aviones, cabezas de cilindro y pistones para motores de combustión interna. Sin embargo hay que tomar en cuenta que contenidos del 5% o más de níquel en las aleaciones de aluminio ocasionarían en la pieza grandes contracciones, ahora, generalmente en este tipo de aleaciones y con el fin de obtener óptimos resultados el contenido de níquel debe conservarse entre un 0,5 a un 3,0 % máximo.

ZINC (Zn).-

El hecho de adicionar este elemento al aluminio hace a este de fácil fusión y produce rechupes cuando se usan grandes cantidades. Es vital en cualquier aleación para obtener las mejores características, así mismo, los alimentadores y las correderas usadas en el vaciado de estas aleaciones deben ser amplios.

La adición de zinc y particularmente en combinación con magnesio produce buena resistencia al impacto, alta resistencia y excelente ductilidad. Pequeñas cantidades de zinc en las aleaciones de cobre ayuda a mejorar la maquinabilidad.



ESTAÑO (Sn).-

El estaño se adiciona facilmente en el momento que el metal empieza a fundirse, aunque es necesaria una considerable agitación debido a la densidad del material. Este elemento se usa para mejorar la maquinabilidad de las aleaciones de cobre, también sirve para proporcionar una fina resistencia a la fricción cuando se usa junto con las adiciones de cobre y níquel. Las piezas de aleaciones comunes de aluminio emplean diferentes cantidades de estaño en sus adiciones y estas dependen de la aleación de que se trate.

BERILIO (Be).-

Tiene la importante facultad de estar capacitado para reducir el contenido de magnesio en la escoria en el momento de vaciar aleaciones con 4% o más de magnesio. Este previene las pérdidas de magnesio, por el quemado durante las operaciones de fusión. Las cantidades de Berilio requeridas son pequeñas y generalmente controladas abajo del 0.01%.

PLOMO (Pb).-

El Plomo es difícil que el baño en estado líquido lo absorba, primeramente debido a su alta densidad y límite de solubilidad. El plomo se usa como un elemento aleante porque mejora la maquinabilidad de las aleaciones, especialmente cuando se usa junto con el estaño o el bismuto. Las cantidades de este elemento generalmente no deben exceder del 0.1% y debe conservarse dentro de los límites.

C A P I T U L O I I I

CONSIDERACIONES TECNICAS PARA LA FUSION DE LAS ALEACIONES MAS IMPORTANTES DEL ALUMINIO

En este capítulo se describen las técnicas_ y las recomendaciones prácticas que generalmente se siguen en la preparación de las aleaciones de Aluminio. Se hace especial énfasis en las varia_bles que deben controlarse para lograr la estruc_tura y consecuentemente las propiedades mecáni--cas requeridas.

Para mayor información consultar referencia_
No. 9.

ALEACION ALUMINIO - SILICIO

En este tipo de aleaciones el contenido de Silicio es del 10 al 13%, produciendo una aleación de características excepcionales de fusión y piezas de gran resistencia y ductilidad. Estas propiedades se obtienen por medio de un tratamiento al metal líquido, llamado "modificación". Esta modificación se realiza mediante la adición de sodio.

Su fluidez es excelente y por esta razón, esta aleación generalmente es vaciada por gravedad (molde permanente) y también por presión. Piezas de sección delgada o de difícil diseño pueden ser fabricadas con relativa facilidad. Las piezas normalmente fabricadas con las aleaciones LM-6 o la LM-20 (especificaciones británicas), son: tapas de motor eléctrico, caja del interruptor de luz, colectores de aceite para máquinas de combustión interna, pistones, etc., en ocasiones se han utilizado satisfactoriamente en piezas muy grandes tales como tapas de escotillas en barcos y piezas arquitectónicas.

La aleación LM-6 tiene una alta resistencia a la corrosión y por esta razón es frecuentemente usada en tubería bajo el mar. La aleación LM-20 no es del todo recomendable en este aspecto, - - -

sin embargo, las dos aleaciones pueden dar buen servicio bajo condiciones atmosféricas húmedas en tierra.

La maquinabilidad de estas aleaciones no es particularmente buena, aunque la aleación LM-20 es un poco más maquinable que la LM-6. Herramientas con punta de diamante o inserto de carburo de tungsteno son preferidas cuando es necesario un buen acabado superficial en piezas repetidas; también se recomienda un refrigerante para el corte.

| ELEMENTO | COMPOSICION QUIMICA | | | |
|-----------|---------------------|--------------------|-----------|---------------------|
| | INGLATERRA | INGLATERRA | FRANCIA | ALEMANIA |
| | B.S. 1490 LM-6 | B.S. 1490 LM-20 | A-S13 | DIN 1725 G AlSi* |
| COBRE | 0.1 | 0.4 | 0.1 | 0.05 |
| MAGNESIO | 0.1 | 0.15 | 0.1 | 0.05 |
| SILICIO | 10.0-13.0 | 10.0-13.0 | 12.0-13.7 | 11.0-13.5 |
| FIERRO | 0.6 | 0.7 | 0.75 | 0.6 |
| MANGANESO | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.5 |
| NIQUEL | 0.1 | 0.1 | 0.05 | -- |
| ZINC | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.1 |
| PLOMO | 0.1 | 0.1 | (Pb + Sn) | -- |
| ESTAÑO | 0.05 | 0.05 | 0.2 | -- |
| TITATIO | -- | -- | 0.05 | 0.15 |
| ALUMINIO | RESTO | RESTO | RESTO | RESTO |

* PARA VACIADOS EN ARENA

PROPIEDADES DE RESISTENCIA A LA TENSION

Las siguientes cifras se refieren a especificaciones británicas LM-6 y LM-20. Todas las cifras dadas son valores mínimos a menos que se indique lo contrario.

| <u>RESISTENCIA A LA TENSION</u> | <u>MOLDE DE ARENA</u> | <u>MOLDE PERMANENTE</u> |
|---------------------------------|-----------------------|-------------------------|
| Ton/pulg. ² | 10.5 | 12.0 |
| lb/pulg. ² | 23,520.0 | 26,880.0 |
| kg/mm. ² | 16.48 | 18.90 |

ELONGACION

| | | |
|--------------------------|------------------|-------------------|
| % en 2 pulg. (5cm.) | LM-6 = 5.0 % | LM-6 = 7.0 % |
| | LM-20= 3.5-6.0 % | LM-20= 5.0-10.0 % |

No. DZA BRINELL

| | |
|--------------|--------------|
| LM-6 = 50-55 | LM-6 = 55-60 |
| LM-20= 50-60 | LM-20= 55-65 |

RESISTENCIA A ELEVADAS TEMPERATURAS

Disminuye al aumentar la temperatura ambiente. La resistencia y también la dureza disminuyen a 250°C con el correspondiente aumento en elongación.

OTRAS PROPIEDADES FISICAS

| | |
|---|------------|
| Densidad relativa ----- | 2.65 |
| Peso específico en Lbs. por pulgada cúbica ----- | 0.096 |
| Rango de Solidificación --- | 575-565 °C |

MODIFICACION DE LA ESTRUCTURA

Aunque las aleaciones Al-Si fueron las primeras -
aleaciones de Aluminio fabricadas, no fué hasta 1921 cuando se -
estableció que sus propiedades mecánicas podrían ser mejoradas -
considerablemente con la adición de fluoruro de sodio y de esta_
manera ser de importancia industrial. El proceso de la adición de
fluoruro de sodio u otro fluoruro alcalino al metal fundido para
mejorar las propiedades mecánicas fué llamado "MODIFICACION", des_
pués de varias investigaciones, se estableció que la modificación
podía ser alcalinos y metales alcalino-térreos. De estos agentes
modificadores, dos son los más frecuentemenete usados, uno es el
Sodio metálico, puede ser peligroso y el uso de fluoruros alcali_
nos es laborioso. Estos dos métodos pueden ser substituidos por-
el proceso de Sodio tratado al vacío.

En aleaciones Aluminio-Silicio sin modificar la
microestructura, se presenta en forma de agujas burdas , -
tal como se muestra en la Figura No. 1 (100 aumentos),

aunque la modificación no refina el tamaño del grano del metal, -
si lo transforma a una estructura de apariencia de aguja y lo -
cambia a una forma fina como se muestra en la figura No. 2.

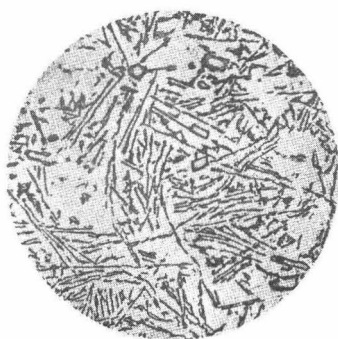


FIGURA No. 1

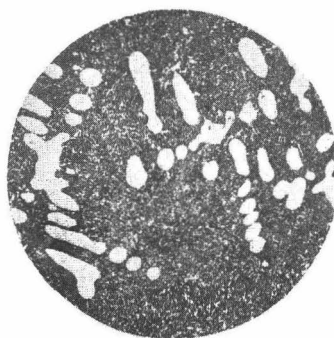


FIGURA No. 2

El efecto de la modificación en todas las propieda-
des mecánicas de la aleación es muy marcado, per éste es mayor -
posiblemente sobre la ductilidad y la tenacidad. En la tabla si
guiente se muestra información típica de las propiedades mecáni-
cas antes y después de la modificación.

| PROPIEDADES MECANICAS | ALEACION SIN MODIFICACION | | ALEACION MODIFICADA | |
|--|------------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|
| | MOLDE DE ARENA | MOLDE PERMANENTE | MOLDE DE ARENA | MOLDE PERMANENTE |
| Máxima Resistencia a la Tensión (Ton/Pulg. ²) | | | | |
| Mínimo ----- | 6.0 | 9.0 | 10.5 | 13.0 |
| Promedio ----- | 7.0 | 10.0 | 11.5 | 14.5 |
| Elongación (% en 2 pulg) | | | | |
| Mínimo ----- | 1.0 | 2.0 | 5.0 | 7.0 |
| Promedio ----- | 3.0 | 4.0 | 8.0 | 14.0 |
| Resistencia al Impacto, Izod (Ft./lb) | | | | |
| Mínimo ----- | -- | -- | 4.0 | 6.0 |
| Promedio ----- | 0.5 | 1.0 | 5.0 | 7.0 |

REVERSION:

El estado de modificación de una aleación Aluminio-Silicio es inestable y tiende a regresar a su forma original, o sea antes de la modificación, a este cambio se le llama "REVERSION", y la velocidad de cambio es proporcional al contenido de Silicio, a la temperatura de fusión, y al tiempo durante el cual ésta se utilice. Esto es, sin embargo, inversamente proporcional al volumen del metal líquido, y metales a temperaturas abajo de los -

750°C, son lentamente desmodificadas. Generalmente una carga de 50 Kgs. se puede mantener satisfactoriamente alrededor de 10 minutos antes de vaciar sin destruir el efecto de la modificación.

Se considera no obstante, que unos 20 minutos de período sostenido no deben excederse, de lo contrario se requiere de nuevas adiciones de Sodio.

CONDICIONES PARA LA FUSION

Como casi todas las aleaciones de Aluminio, la LM-6 y la LM-20, tienen la habilidad de formar una cantidad considerable de óxidos, y absorber hidrógeno cuando el metal se encuentra en estado líquido. El uso de fundentes y desgasificantes son por lo tanto esenciales en el proceso de fusión.

Además, el metal requiere un tratamiento de modificación para lo cual se introduce Sodio metálico al vacío en empaques de Aluminio.

VENTAJAS DEL USO DE SODIO TRATADO AL VACIO

La modificación puede ser hecha mediante el uso de Sodio metálico o Sodio en forma de sales. Cualquiera de las dos formas tienen ventajas y desventajas, las cuales se exponen a continuación.

El método de las sales es limpio y seguro en su manipulación, -

pero es demasiado laborioso y estas sales tienen una tendencia a producir porosidad, debido a la humedad que traen consigo. El sodio metálico es barato, pero peligroso para manejarlo. Para protegerlo de la humedad en la atmósfera, normalmente es empaquetado con parafina (Kerosene). El Sodio que ha sido almacenado de esta manera, aún contiene cierta cantidad de parafina, la cual es una fuente de Hidrógeno y consecuentemente las aleaciones de Aluminio tratadas con Sodio metálico de este tipo son generalmente gasificadas y las piezas hechas mostrarán porosidad. Un cubo de Sodio de 28 grms. puede contener tanto como 0.2 grms. de aceite, el cual producirá 350 cm.³ de gas hidrógeno. Debido a que reacciona con humedad, el Sodio metálico cuando está expuesto al aire se le forma una película de Hidróxido de Sodio, la cual se descompondrá cuando el Sodio sea sumergido en el Aluminio fundido y formará Oxido de Sodio y vapor de agua, siendo ésta una fuente de Hidrógeno que será absorbido inmediatamente por el metal.

Se han desarrollado productos envasados al alto vacío para proteger al Sodio de la humedad de la atmósfera. Está especialmente tratado para eliminar por completo el Hidrógeno, la parafina, y el Hidróxido.

VENTAJAS DEL DESGASIFICADO ANTES DE LA MODIFICACION

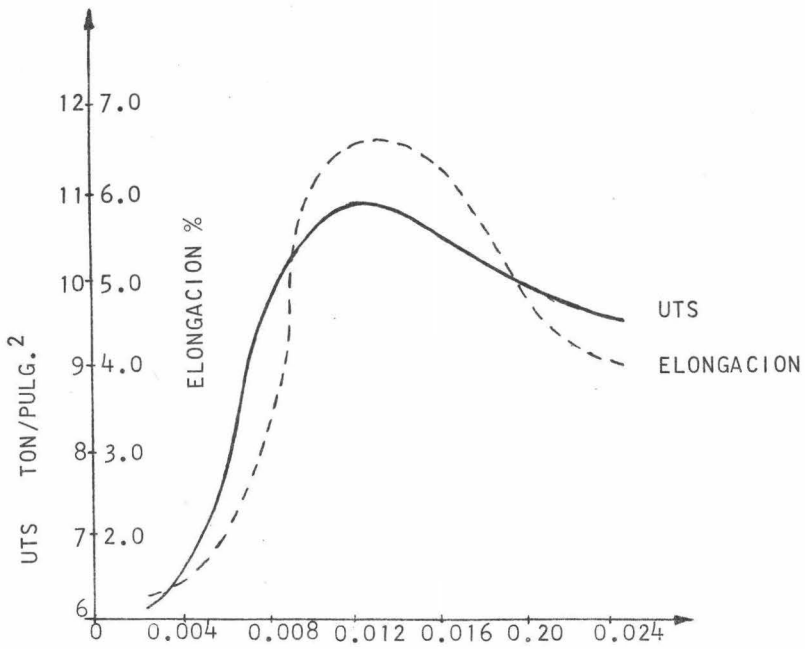
Erróneamente, en ocasiones se piensa que procesos subsecuentes

de modificación en la fundición pueden ser reducidos u omitidos con el hecho de usar lingote ya modificado por el proveedor. Sin embargo, cuando se piensa que el grado de modificación en uno de los lingotes varía considerablemente y también que la relación de chatarra-lingote en cualquiera de estas cargas también varía, vemos que la única forma satisfactoria de asegurar un grado constante de modificación, es destruir la modificación existente y modificar por un proceso conocido y controlable.

La función principal del desgasificador es remover los gases nocivos (Hidrógeno), cuando se requiere de un metal completamente libre de gases como particularmente sucede en piezas vaciadas en arena, el tratamiento de desgasificado debe ser enérgico, recomendándose el uso exclusivamente de un desgasificador. Sin embargo, esta desgasificación no sólo elimina los gases, sino también elimina al Sodio y de ahí que destruya la modificación. Es esencial por eso que la desgasificación vaya precedida de la modificación y no viceversa.

IMPORTANCIA DE MANTENER CONSTANTE EL CONTENIDO DE SODIO

Una serie de pruebas en laboratorios de investigación, mostraron la importancia de mantener un contenido de Sodio de 0.010 a 0.014%, en este nivel los valores de la resistencia a la tensión, y la elongación estarán en su máximo como puede verse en la siguiente gráfica. Nótese que el hecho de adicionar un exceso de



% CONTENIDO DE SODIO

Sodio o sobre-modificación como es llamado, reducirán considerablemente los valores de la resistencia a la tensión.

PROCESO DE LA FUSION

- a) Calentar el crisol al rojo y cargar lingote, chatarra, retorno, etc.
- b) Cuando la carga ha sido añadida, espolvorear en la superficie del metal un fundente a razón de 0.5% del peso de la carga.
- c) Apague el horno o retire el crisol del horno cuando la temperatura del baño llegue a 720°C , el calor residual aumentará la temperatura del metal líquido hasta 750°C o simplemente se equilibrará.
- d) Espere hasta que la temperatura empiece a descender y entonces refine usando agentes refinadores de 0.10 a 0.20% del peso de la carga.

Las tabletas son sumergidas al baño por medio de una campana perforada, orille el fundente antes de introducir la tableta. No retire la campana hasta el fin de la reacción.

Se recomienda que todas las herramientas que son introducidas al baño, sean pintadas con materiales refractarios, no solamente para prolongar su vida, sino también para evitar la contaminación de la aleación por el hierro.

- e) Una vez terminada la refinación del grano, se procede a des-

gasificar usando de 0.10 a 0.20% del peso de la carga.

- f) Después de desgasificar y con el baño a una temperatura entre los 720 °C y los 740 °C sumerja la cantidad correcta de Sodio, usando el sumergidor señalado con anterioridad y agite con movimiento de sube y baja, varias veces, sin rebasar la superficie del baño hasta que cese la reacción, posteriormente retire el sumergidor.
- g) Aplique nuevamente 0.5% de fundente espolvoreando en la carga y permita que éste repose de 5 a 10 minutos. Este proceso es necesario para permitir que la modificación llegue a su máximo.
El tiempo que debe permanecer depende del volúmen de la carga, pero éste no deberá exceder de 5 minutos para mezclas menores de 50 Kgs.
- h) Finalmente agite la capa de fundente superficialmente hasta obtener una escoria rojiza. Esta será una escoria polvorienta y fácil de eliminarse.
- i) Elimine la escoria y vacíe a la mayor brevedad posible.

TEMPERATURA DE VACIADO

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

| <u>PIEZAS</u> | <u>SECCION</u> | <u>TEMPERATURA</u> |
|---------------|-----------------------|--------------------|
| Ligeras | Menos de 12.5 mm. | 730° |
| Medianas | Entre 12.5 y 37.5 mm. | 710° |
| Pesadas | Más de 37.5 mm. | 690° |

REFINAMIENTO DE GRANO.

Las aleaciones Al-Si en su eutéctico alcanzan sus óptimas propiedades de tensión a través de la modificación, siendo diferente el refinamiento del grano. Este refinamiento no se considera de importancia en el caso de secciones delgadas, donde el rango de solidificación es definitivamente pequeño. Sin embargo, las piezas cuyos espesores excedan de 37.5mm. pueden beneficiarse considerablemente con un tratamiento de refinamiento de grano. El proceso de refinación se lleva a cabo mediante la adición del 0.10 a 0.20% en peso y en forma de tabletas.

ALEACION ALUMINIO - COBRE

4 - 5 % Cu

Las especificaciones que representan a estas aleaciones son: BS 1490 LM-11W (DTD 298 B) y LM-11 WP (DTD 304 B) - en Gran Bretaña. ALCOA-195 en E.U.A. ALCAN-225 en Canadá. - - A-U5GT, en Francia y en Alemania DIN 1725-AlCuM.

El cobre es el principal elemento de aleación en estas aleaciones de Aluminio, y pequeñas cantidades de silicio y magnesio están también presentes, ambos juegan un importante papel en la fabricación de piezas de alta resistencia después de un suave tratamiento térmico y dependiendo del tipo de tratamiento dado, será posible variar la relación resistencia-ductilidad dentro de una apreciable gama de valores; estos son los aspectos más notables de estas aleaciones, las cuales las hacen recomendables para la producción de piezas de alta resistencia tanto para motores como la Industria Aeronáutica. A temperaturas del orden de 250°C, la resistencia se reduce en un 50%.

Esta aleación no es fácil de obtener debido al amplio rango de solidificación. La aleación es propensa a contracciones, y de ahí que no es recomendable para la fabricación de pie-

zas que tengan que soportar altas presiones. La fluidez en el vaciado es aceptable, piezas con secciones delgadas no deberfan ser vaciadas en arena debido a la tendencia de esta aleación a la fractura en caliente; solamente las piezas de forma simple deben ser vaciadas a gravedad, evitando variaciones bruscas en las secciones. Deben usarse alimentadores grandes y enfriadores. Bajo condiciones de tratamiento térmico la aleación LM-11 tiene una excelente maquinabilidad y la superficie maquinada o pulida forma una buena base para electrodepósitos; es también fácilmente anodizable. Debe ser mencionado que como la aleación no es muy resistente a ciertas atmósferas corrosivas, se requiere de algún tratamiento superficial durante el acabado de la pieza.

COMPOSICION QUIMICA

| Elemento % | B.S. 1490 LM-11 Inglaterra | Alcan 225 (Canadá) y Alcoa B195T y federal QQ A-601 E.U.A. | DIN 1725 AlCuMg Alemania | A-U5GT Francia |
|------------|----------------------------------|--|--------------------------------|-------------------|
| Cobre | 4.0-5.0 | 4.0-5.0 | 2.5-5.0 | 4.2-5.0 |
| Magnesio | 0.10 Mx. | 0.03 Max. | 0.2-1.8 | 0.18-0.35 |
| Silicio | 0.25 Max. | 0.5-1.2 | 1.0 Max. | 0.3 Max. |
| Hierro | 0.25 Max. | 0.7 Max. | (Fe-1-Ti0.8) | 0.35 Max. |
| Manganeso | 0.10 Max. | 0.3 Max. | 0.3-1.5 | 0.1 Max. |
| Niquel | 0.10 Max. | 0.05 Max. | 0.2 Max. | 0.03 Max. |
| Zinc | 0.10 Max. | 0.05 Max. | 0.7 Max. | -- |
| Plomo | 0.05 Max. | 0.05 Max. | 0.1 Max. | -- |
| Estaño | 0.05 Max. | 0.05 Max. | -- | 0.03 Max. |
| Titanio | 0.30 Max. | 0.20 Max. | 0.3 Max. | 0.17-0.35 |
| Aluminio | Resto | Resto | Resto | Resto |

PROPIEDADES A LA TENSION

Estas propiedades no se especifican debido a que dependen fundamentalmente del tratamiento térmico aplicado. Este se indica por medio de un sufijo colocado en el número de especificación, por ejemplo, tenemos LM-11 W que indica que las piezas requieren tratamiento en solución, mientras que LM-11 WP muestra que requiere ambos, el tratamiento de solución como el tratamiento de precipitación. (Ver tratamientos térmicos).

Las siguientes propiedades a la tensión son aquellas especificadas por las aleaciones Inglesas LM-11 W y LM-11WP vaciadas en moldes de arena. Todos los valores son mínimos.

PROPIEDADES A LA TENSION

| DESCRIPCION Y TRATAMIENTO | 0.1% PRUEBA ESFUERZO | RESIST. A LA TENSION | ELONGACION % en 5cms. (2 pulg) | DUREZA BRINELL |
|--|---|--|---------------------------------|----------------|
| LM-11 W (DTD288 B) Tratamiento de solución seguido por inmersión en agua | 12.6Kg/mm. ² (8 Tons/Pulg ²) | 22 Kg/mm. ² (14 Ton/pulg ²) | 7 | 80 |
| LM-11 WP (DTD304 B) como LM-11 W seguido por un tratamiento de precipitación a baja temperatura | 18.9Kg/mm. ² (12 Ton/Pulg ²) | 28.3Kg/mm. ² (18 Ton/pulg ²) | 4 | 100 |

EFFECTO DEL HIERRO Y DEL SILICIO EN RESISTENCIA A LA TENSION

Un tratamiento térmico defectuoso es en ocasiones - la causa de que las probetas de prueba de esta aleación se rompan justo en el momento de alcanzar las especificaciones de sus propiedades. Frecuentemente se han encontrado, sin embargo, resultados inferiores, debido al exceso en el contenido de hierro y de silicio, aunque la mayoría de las especificaciones permiten el 0.25% o más de estos elementos. Algunas experiencias nos indican que los valores más altos de Resistencia a la Tensión, se alcanzan cuando no exceden del 0.20 % en cada caso.

PROPIEDADES FISICAS

Las especificaciones Británicas para esta aleación - en arena son:

1. No. de Dureza Brinell 80 (después del tratamiento de solución).
2. Gravedad específica g/cc 2.80
3. Gama de solidificación ... 6 40 - 545°C aproximadamente.
4. Contracción de solidificación ... 12mm. por metro.

TECNICA DE FUSION, DESGASIFICADO Y REFINAMIENTO DE GRANO, PARA PIEZAS VACIADAS EN ARENA.

A fin de obtener óptimas propiedades mecánicas, todos los gases deben ser eliminados, para este fin se recomiendan

una serie de desgasificantes que actualmente se encuentran en el mercado, así como para las operaciones de limpieza y eliminación de escoria del metal durante la fusión y vaciado. En investigaciones muy personales se ha encontrado que una Compañía de productos para la fundición, proporciona compuestos que nos permiten desgasificar y refinar el grano en una sola operación; para mejorar las propiedades físicas y en la producción de piezas libres de fracturas en caliente, se obtienen mediante el tratamiento individual de refinamiento de grano, y desgasificado, efectuándose esta última operación antes del vaciado.

El metal con grano refinado, produce secciones más sólidas debido a las propiedades de fluidez; mejorándose al mismo tiempo las propiedades mecánicas, debido a que los constituyentes inter-metálicos producidos por las impurezas en la aleación se encuentran más uniformemente distribuidos. La mayoría de las grandes fundiciones de aleaciones ligeras que fabrican piezas de alta resistencia sujetas a especificaciones de la Industria Aeronáutica, utilizan refinador de grano en un 0.25% del peso del metal como parte de la rutina en el tratamiento del metal, resumiendo todo lo anterior se verá que el éxito, en la técnica de cualquier fundición involucra la precaución extrema y poniéndole especial atención a todas las etapas de la fusión y vaciado. El proceso paso a paso, es el siguiente:

- a) Precalentar el crisol al rojo.
- b) Cargar el lingote y metal de retorno (correderas, alimentadores, piezas de rechazo, etc.).

No contaminar la carga con piezas de diferente análisis químico, notar la importancia de la cantidad de silicio y hierro con respecto a las propiedades mecánicas, después de los tratamientos térmicos, como ya se mencionó.

- c) Durante las primeras etapas de fusión, cúbrase el baño con un fundente de cobertura.
- d) Fundir lo más rápido posible, introduciendo más lingote hasta completar la carga. No permitir que la carga se proyecte arriba de la tapa del crisol.
- e) Cuando la carga esté completamente fundida y a una temperatura de 700°C , se apaga el horno,
- f) Efectuar el refinamiento de grano.
- g) Desgasificar, tratamiento que siempre irá precedido por el refinamiento de grano.
- h) Escoriar usando productos apropiados que, mediante una reacción exotérmica permiten la separación del metal de la escoria.
- i) Finalmente el baño deberá reposar por 5 minutos o poco más, antes del vaciado. Esto es muy importante. La temperatura del vaciado varía de acuerdo con el espesor promedio de la sección de la pieza. La lista al calce se usa como una guía.

TEMPERATURAS DE VACIADO

| <u>PIEZAS</u> | <u>SECCION</u> | <u>TEMPERATURA</u> |
|---------------|-----------------------|--------------------|
| Ligeras | Hasta 13 mm. | 710 °C |
| Medianas | De 13 a 38 mm. | 690 °C |
| Pesadas | De 38 mm. en adelante | 680 °C |

ALEACION ALUMINIO - MAGNESIO

Este tipo de aleaciones se usa primordialmente para piezas vaciadas en arena, sin embargo, para piezas de forma simples, se utiliza el vaciado en moldes permanentes, tanto a gravedad como a presión. La excelente resistencia a la corrosión que tiene esta aleación dá lugar a que se use ampliamente en piezas para barcos, envases para la industria alimenticia, y para fines decorativos, por ejemplo, en casas y en la industria automotriz, donde se desea una película anódica clara aunque posteriormente vaya a ser pintada la pieza.

Las especificaciones para estas aleaciones son: -
BS 1490 LM-5 en Gran Bretaña; ALCAN GB-B 320 en Canadá, y ALCOA 214 en E.U.A.

COMPOSICION QUIMICA

| | | |
|-----------|-------------|------|
| Cobre | 0.1 % | Max. |
| Magnesio | 3.0 - 6.0 % | |
| Silicio | 0.3 % | Max. |
| Fierro | 0.6 % | Max. |
| Manganeso | 0.3 - 0.7 % | Max. |
| Niquel | 0.1 % | Max. |
| Zinc | 0.1 % | Max. |
| Plomo | 0.05 % | Max. |
| Estaño | 0.05 % | Max. |
| Titanio | 0.2 % | Max. |
| Aluminio | Balance | |

PROPIEDADES MECANICAS

| | <u>Vaciado en arena</u> | <u>Molde Permanente</u> |
|---|-------------------------------|--------------------------------|
| Máxima resistencia a la tensión (ton/pulg. ²) | 9.0° (14 Kg/mm ²) | 11.0° (17 Kg/mm ²) |
| Elongación (% en 2") | 3.0% * | 5.0% * |

* Míñimo valor requerido.

PROBETAS PARA ENSAYOS

Estas probetas vaciadas en arena se muestran en los dibujos de la Figura No. 1 y 2. Las dimensiones se indican en la Figura No. 2.

Las probetas son generalmente hechas en moldes de arena en seco, o en arena con aceite, sillas especificaciones son hechas para un molde seco; ésto elimina la posibilidad de un templado variable, debido al contenido de humedad. La figura No. 1 ilustra la probeta de prueba según los estandars DTD mientras que la figura No. 2 dá las dimensiones de la barra yá maquinada; se puede usar un tubo de acero como caja de moldeo y éste debe estar perforado para permitir el escape de los gases formados en el molde. El tubo no debe tener menos de 8 cms. de diámetro.

Las barras deberán ser vaciadas a una temperatura de 690-700°C, si se desea obtener las propiedades físicas máximas el molde de la probeta debe estar a temperatura ambiente;

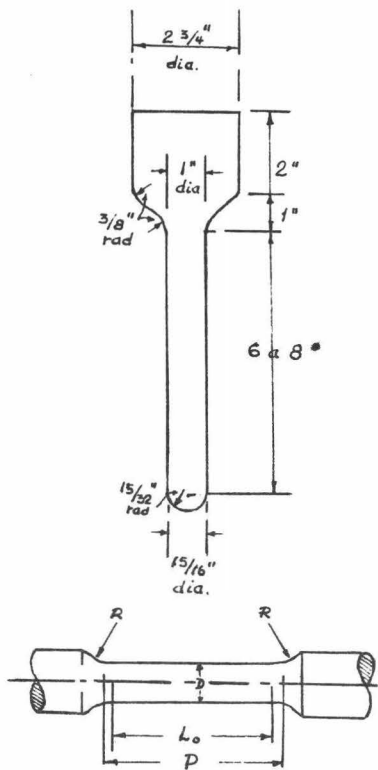


FIG 1

| Area de la Secc. Transversal en D | Diámetro D | Longitud de Prueba L ₀ | Longitud de Apoyo P. | Minimo Radio en los Hombros |
|-----------------------------------|------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------|
| 1/4 pulg. ² | 0.564" | 2.00" | 2.28" | 2.50" |

2

bajo ninguna circunstancia la aleación debe ser sobrecalentada.- Al comienzo del vaciado el molde se coloca en un ángulo de 45° de la vertical y después éste se mueve gradualmente hasta alcanzar la vertical conforme se vaya llenando la probeta. El vaciado debe ser constante y debe utilizarse un tiempo no menor de 10 segundos y tener mucha precaución para evitar cualquier turbulencia dentro del molde.

TRATAMIENTOS TERMICOS:

No se requiere ningún tratamiento térmico para alcanzar las máximas propiedades de esta aleación.

PROPIEDADES FISICAS:

| | | |
|--------------------------|----------------|--------------------------|
| Peso por cm ³ | | 2.66 grs/cm ³ |
| Conductividad Eléctrica | % IACS a 20°C | 31= Aprox. |
| Dureza Brinell | Pieza en arena | 60 Promedio |
| Gravedad específica | | 2.65 |
| Rango de solidificación | | 642-580°C |

CARACTERISTICAS DE FUSION:

| | |
|--------------------------|----------------|
| Fluidez | Buena |
| Fractura en caliente | Susceptible |
| Resistencia a la presión | Poca |
| Maquinabilidad | Buena |
| Contracción del modelo | 5/32" por pie. |

PROBLEMAS DE FUSIÓN:

(Absorción de gases)

Las aleaciones de Al-Mg del tipo LM-5 tienden a oxidarse y absorber Hidrógeno rápidamente durante la fusión. De ahí que se deba tomar toda clase de precauciones para proteger el baño con un fundente de cobertura de bajo punto de fusión que también limpie las impurezas del metal líquido. Otra propiedad que debe tener este fundente es la de disolver y aglomerar los óxidos formados, particularmente los de Magnesio.

Esta aleación es susceptible de crecimiento de grano, de aquí que, es necesario un tratamiento de refinamiento.

PROCESO DE FUSIÓN:

- a) Calentar el crisol vacío.
- b) Cargar lingote y chatarra (alimentadores y tiradores).
- c) Inmediatamente espolvorear el 0.5% del fundente adecuado.
- d) Añadir el resto de la carga y fundir rápidamente, manteniendo el baño cubierto lo mejor posible.
- e) Cuando el baño se encuentre en estado pastoso, o sea que la temperatura haya alcanzado aproximadamente los 600°C, agregar una cantidad similar a la anterior de fundente, espolvoreándola homogéneamente sobre la superficie del metal fundido.
- f) Cuando se tenga una temperatura cerca de los 720°C, se apaga

el horno o se retira el crisol, el calor residual del crisol hará que la temperatura de la carga suba hasta 750°C. Es necesario un control estricto en esta etapa, ya que la temperatura no debe pasar los 750°C.

- g) El fundente de cobertura, el cual ahora está en estado líquido, debe ser agitado en el baño usando una cuchara perforada. De tal manera que el fundente líquido está en contacto el tiempo adecuado para obtener una buena operación de lavado.
- h) Empújese la escoria que se encuentra en la superficie hacia un lado del crisol y sumerja hasta el fondo a través de la superficie limpia, un refinador, usándose de 0.10 a 0.25 % del peso de la carga.

En el caso de grandes volúmenes se recomienda que el desgasificante sea sumergido en dos etapas, usando una proporción de 50% en cada una de éstas. Mantenga el desgasificante en el fondo del crisol hasta que haya cesado el burbujeo. La cantidad a usar es de 0.10 a 0.20% del peso de la carga.

- i) Espolvorear la superficie del baño una cantidad de un fundente escoreador usando 0.5% de la carga y dejarlo reposar de 2 a 3 minutos.
- j) Ahora el fundente se agita únicamente en la parte superior del baño hasta que se forme una escoria de color rojo bri-

llante; como resultado de la reacción exotérmica tendremos una escoria pulverulenta, con esto se reduce el contenido de metal en la escoria y automáticamente aumenta la eficiencia. Esta escoria es recogida por medio de una cuchara perforada. Checar la temperatura e inmediatamente vaciar.

TEMPERATURA OPTIMA DE VACIADO

Estas varían de acuerdo al espesor de las piezas, pero generalmente caen dentro del siguiente rango:

| <u>PIEZAS</u> | <u>SECCION</u> | <u>TEMPERATURA</u> |
|---------------|-----------------------|--------------------|
| Ligeras | Abajo de 12.5mm. | 720 °C |
| Medianas | Entre 12.5 y 37.5 mm. | 700 °C |
| Pesadas | Arriba de 37.5 mm. | 680 °C |

PROPIEDADES FISICAS DE LA ARENA

Tando las arenas naturales como las sintéticas, pueden ser usadas en esta aleación, así también las aglutinadas con Silicato de Sodio y las hechas con resinas sintéticas como las usadas en moldeo tipo cáscara (tipo Shell Moulding).

Las propiedades típicas de estas arenas se indican a continuación:

ARENA SINTETICA

| | |
|---|---------|
| Grano Fino - AFS No. | 80-100 |
| Contenido de Arcilla % | 4 |
| Humedad (% verde) | 4.5-5.0 |
| Permeabilidad AFS No. | 100-120 |
| Resistencia a la Compresión en verde (lb/pulg ²) | 5-6 |

REACCION MOLDE-METAL

Debido a lo enérgico de la reacción Molde-Metal en las aleaciones con Magnesio que contienen el 10% de este elemento y en las aleaciones LM-5 de sólo 3-6% Magnesio, donde también se presenta este fenómeno, esta reacción causa lunares de óxido de magnesio en la superficie de la pieza los cuales pueden ser muy severos y profundos en secciones gruesas; el aumento en contenido de Magnesio y el tiempo de solidificación de la pieza, puede hacer que el problema aumente. Esto no podrá ser evitado, ni aún con el uso de moldes y corazones sin humedad.

Esta reacción molde-metal resulta de la acción del Magnesio sobre la humedad del molde separando a ésta de sus constituyentes Oxígeno e Hidrógeno; el Oxígeno forma óxidos con el metal, y el Hidrógeno en su estado atómico es llevado dentro del bajo. Cuando la pieza solidifica el Hidrógeno es eliminado de la solución, dando como resultado, porosidad. Esta porosidad se

concentrará en las capas superiores de las secciones de la pieza disminuyendo la porosidad hacia el centro de la misma. Aún cuando los moldes y corazones sean hechos en seco, hay la suficiente humedad en la arcilla usada para que reaccione de esta forma el Magnesio.

Se ha comprobado por medio de investigaciones efectuadas, que la reacción molde-metal en las aleaciones de aluminio con el 5% de Magnesio se reduce por medio de un fuerte apisonado y por el aumento en el contenido de humedad de las arenas en verde. Esto se debe a que aumenta la velocidad de solidificación, reduciéndose la severidad de la reacción del molde. Si se aumenta la temperatura de vaciado, aumentarán los problemas de porosidad.

INHIBIDORES DE ARENA DE CONTACTO

La reacción molde-metal puede ser prevenida con anterioridad en las aleaciones de Aluminio que contengan Magnesio, adicionándoles elementos químicos conocidos como inhibidores de arena de contacto, el inhibidor más usado es el Acido Bórico, y se adiciona en una proporción del 2%, si la sección es grande, se requiere de mayor cantidad de este ácido. Alternativamente el temple puede usarse en estos casos para incrementar el valor de enfriamiento.

El Bifloruro de Amonio añadido a la arena de contaco

to en el mismo porcentaje puede usarse en lugar del Acido Bórico. Sin embargo, este último se usa con preferencia porque no produce gases cuando el metal es vaciado, pero la desventaja que presenta es su tendencia a adherirse a la pieza causando dificultades durante el desmoldeo.

SEGREGACION DE ARENAS INHIBIDAS

Es muy importante señalar que la arena de contacto_ que contenga inhibidores tales como ácido bórico como el que se usa para piezas de la aleación Al-Mg, origina una reacción molde-metal bastante fuerte, si se usa en moldes para aleaciones de - Al-Si modificada. Por lo tanto, en tales arenas debe evitarse - su uso.

Estas precauciones no serán necesarias para arenas que han sido endurecidas por el proceso de CO₂ tales como las - aglutinadas con Silicato de Sodio.

ALEACION ALUMINIO-SILICIO-COBRE

Las especificaciones correspondientes a esta aleación son: en Gran Bretaña: BS 1490 LM-4; en E.U.A.: Alcoa-319; en Canadá, Alcan-117; en Alemania, G-Al-Si 6 Cu⁴, además - GD Al.Si 6 Cu³ DIN 1725.

Esta aleación posee muy buenas características de fusión en sus dos formas de vaciado más comunes que son: arena, y molde permanente, para vaciado por presión es también recomendable, aunque con ciertos límites.

La principal aplicación se localiza en la fabricación de una gran variedad de piezas de ingeniería capaces de soportar esfuerzos moderados tales como: cigueñales, concha de embrague, caja de velocidades, etc. Es también recomendable para la fabricación de piezas cuyas condiciones de trabajo requieren ser sometidas a elevadas presiones.

La fluidez del metal en esta aleación es aceptable, ya que permite el vaciado de secciones delgadas en piezas hechas en moldes de arena. La resistencia a la fractura en caliente también es bastante buena, aunque inferior a la de las aleaciones eutécticas de Aluminio-Silicio.

La aleación LM-4 es relativamente fácil de maquinar, pero se recomienda el uso de un refrigerante para prevenir desgarres intermitentes. La resistencia a la corrosión bajo condiciones atmosféricas es mala, pero esta aleación es susceptible de tratarse anódicamente para mejorar su resistencia a la corrosión.

Estas propiedades indican que la aleación LM-4 es extremadamente buena para usos generales, sin necesidad de ningún tratamiento. Se acepta que es posible mejorar ligeramente la estructura por medio de una modificación del Silicio, para este fin, cerca de la mitad de la cantidad de Sodio metálico que es normalmente se usa en la modificación de la aleación Al-Si, con 10% de Silicio, deberá ser añadido en este caso. La aleación es también sensible a un tratamiento de refinamiento de granos y si es necesario obtener propiedades de elevada resistencia a la tensión, puede someterse a un tratamiento térmico.

NOTAS SOBRE LA COMPOSICION QUIMICA, RELATIVAS A LA FUSION Y PROPIEDADES FISICAS.

Para obtener propiedades óptimas de fusión, esta aleación debe contener no menos del 5% Silicio, y no más del 3% Cobre. El hierro en ausencia del suficiente Manganeso, tiende a crecer el tamaño del grano en la estructura, el cual perjudica la fluidez, incrementa el rechupe y la porosidad y disminuyen también las propiedades de resistencia a la tensión. El conte-

1

nido de Hierro deben por lo tanto, ser conservado al mínimo, preferentemente que no exceda del 0.5%. El Manganeso puede ser introducido en forma de aleación endurecedora Al/Mn, para que el contenido de Manganeso alcance su límite superior de especificación. Esto evitará la formación de laminillas gruesas de Al-Fe-Si, las cuales de otra forma perjudicarían.

El contenido de Magnesio tiene una influencia importante en las propiedades físicas de las piezas vaciadas en moldes, ya sea de arena o permanente a gravedad. Si se requiere de máxima elongación, este elemento debe estar limitado entre 0.05 y 0.1% máximo, de otra manera el endurecimiento por envejecimiento se llevará a cabo a temperatura ambiente, lo cual aunque incrementa la resistencia a la tensión, reducirá los valores de elongación.

Debe recordarse por otra parte, que la respuesta de la aleación LM-4 al tratamiento térmico se incrementa conforme aumenta el contenido de Magnesio. Si la intención es mantener los valores de resistencia a la tensión elevadas por subsecuentes tratamientos térmicos, el contenido del Magnesio debe ser mantenido en el límite superior de la especificación.

COMPOSICION QUIMICA

| <u>ELEMENTO - %</u> | BS. 1490 LM.4 | ALCAN 117, CANADA ALCOA 319, U.S.A. * FEDERAL, U.S.A. | ALEMANIA G-AISI6Cu4 **GDAISI6Cu 3 DIN 1725 DIN 1725 | |
|---------------------|------------------|---|--|---------|
| COBRE | 2.0-4.0 | 2.0-4.0 | 3.0-5.0 | 2.0-4.0 |
| MAGNESIO | 0.15 | 0.15 | 0.1-0.3 | 0.5 |
| SILICIO | 4.0-6.0 | 4.0-6.0 | 5.0-7.0 | 5.0-8.0 |
| FIERRO | 0.8 | 0.7 | 0.8 | 1.0 |
| MANGANESO | 0.2-0.7 | 0.3-0.7 | 0.3-0.6 | 0.2-0.6 |
| NIQUEL | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.5 |
| ZINC | 0.5 | 0.2 | 1.2 | 0.7 |
| PLOMO | 0.1 | (Todos los otros elementos total 0.3 más). | 0.2 | 0.3 |
| ESTAÑO | 0.1 | | 0.1 | 0.3 |
| TITATIO | 0.2 | 0.2 | 0.15 | --- |
| ALUMINIO | RESTO | RESTO | RESTO | RESTO |

* Q-A-601a. Grado 18,319.

** Especificación de vaciado por gravedad y presión.

Todos los valores anotados son máximos a menos que se indique lo contrario.

Si se desea eliminar el Magnesio, se puede hacer -
agregando un fundente adecuado.

PROPIEDADES A LA TENSION (Piezas sin ningún tratamiento)

| | <u>MOLDE DE ARENA</u> | <u>MOLDE PERMANENTE</u> |
|--------------------------|-----------------------|-------------------------|
| Resistencia a la tensión | | |
| tons/pulg. ² | 9.0 | 10.0 |
| Kg./mm. ² | 14.00 | 15.50 |
| <hr/> | | |
| Elongación | | |
| % en 5 cms. (2 pulgs) | 2 | 2 |
| <hr/> | | |
| No. de dureza Brinell | 65-80 | 70-90 |
| <hr/> | | |

PROPIEDADES A LA TENSION (Piezas con tratamiento térmico)

El tratamiento térmico consiste en un calentamiento de solubilización a temperatura elevada, seguido por una precipitación a baja temperatura o tratamiento, por envejecimiento. Se obtendrá un aumento considerable en las propiedades mecánicas - cuando el tratamiento esté terminado tal como se indica en la -- tabla siguiente.

| | <u>MOLDE DE ARENA</u> | <u>MOLDE PERMANENTE</u> |
|---|-----------------------|-------------------------|
| Resistencia a la tensión tons/pulg. ² | 15 | 18 |
| Elongación | 0-2 | 1-5 |
| No. de dureza Brinell | 90-120 | 90-120 |

NOTA: Se han anotado los valores mínimos.

PROPIEDADES FISICAS

| | |
|---------------------------------------|------------------------------|
| Densidad relativa | 2.75 |
| Peso por pulg. ³ | 0.100 lb. |
| Rango por solidificación | 525-625 °C |
| Contracción durante la Solidificación | 4mm. por cada .305 de metro. |

PROPIEDADES A TEMPERATURAS ELEVADAS

La resistencia a la tensión disminuye cerca de los 200 °C y alcanza un valor de un 50% menor cuando la temperatura es de 300 °C.

GASES PERJUDICIALES

El gas que generalmente causa daños en el Aluminio es el Hidrógeno. Este se encuentra disuelto en el metal fundido y proviene -

del vapor de agua presente en la atmósfera circundante, del lingote atacado por corrosión, de herramientas no pintadas que se usen al fundir o de fundentes humedados que se apliquen con la carga. El vapor de agua y el metal fundido reaccionan entre sí, dando como resultado disociar el vapor de agua en sus dos constituyentes hidrógeno y oxígeno. El oxígeno combinado con el Aluminio formará óxido de Aluminio y el Hidrógeno se disolverá en el metal fundido, con los efectos perjudiciales correspondientes.

Puesto que el Aluminio retiene poco Hidrógeno en solución en su punto de fusión o abajo de éste, la mayor cantidad de gases disueltos se liberan de la solución a medida que la pieza solidifica. Esta liberación de gases no puede llevarse a cabo en piezas las cuales solidifiquen rápidamente, por lo que permanecerán en el metal en forma de una multitud de pequeñas burbujas o porosidad.

SOLUBILIDAD DEL HIDROGENO EN EL ALUMINIO FUNDIDO

| <u>Temperatura</u> (°C) | <u>Solubilidad</u> (ml/100 grs) |
|-------------------------|---------------------------------|
| 700 | 0.8 |
| 800 | 1.6 a 1.7 |
| 900 | 3.0 |

Es por lo tanto muy importante evitar sobre-calentamientos de la carga. Una temperatura mayor que 750°C, rara vez debe ser excedida; aparte de disolver al Hidrógeno, el exceso de calentamiento causa crecimiento de grano, la cual interfiere con

las características de la alimentación de la masa de la aleación durante la solidificación y favorecen las condiciones de rechupe.

PROCESO DE FUSION

1. Caliente el crisol al rojo.
2. Añada el lingote y metal de retorno.
3. Después de añadir la carga, espolvorear el 0.5% de un fundente protector para proteger la carga de oxidación y disolución de Hidrógeno.
4. Cuando el metal haya alcanzado la temperatura de 720°C, apague el horno o retire el crisol de éste.
5. Cuando la temperatura comienza a descender, se recomienda efectuar el tratamiento de refinamiento de grano usando de 0.10 a 0.20% del peso de la carga. Espere a que termine la reacción.
6. Inmediatamente después efectuar la desgasificación sumergiendo la cantidad de tabletas correspondientes al 0.10 ó 0.20 % del peso de la carga. Espere a que termine la reacción para retirar la campana.
7. Espolvorear el 0.5% del fundente escoriador y dejarlo reposar de 2 a 3 minutos. Después de este reposo, agite superficialmente hasta que la escoria tome un color rojizo; en este punto se procede a desescoriar con una cuchara perforada.
8. Verifique la temperatura del metal y proceda a vaciar.

TEMPERATURA DE VACIADO

La temperatura de vaciado varía de acuerdo al espesor de la sección, generalmente cae dentro de los límites siguientes:

| <u>PIEZAS</u> | <u>SECCION</u> | <u>TEMPERATURA</u> |
|---------------|-------------------|--------------------|
| Ligeras | Abajo de 13 mm. | 730 °C |
| Medianas | Entre 13 y 38 mm. | 710 °C |
| Pesadas | Arriba de 38 mm. | 690 °C |

Constantes de vaciado para arena en verde o en seco. Los requisitos principales son: alta permeabilidad y resistencia en verde ligeramente baja.

ALEACION ALUMINIO-ZINC-MAGNESIO

5 - 6 % Zn

ESPECIFICACIONES CORRESPONDIENTES:

D.T.D. 5008 (Gran Bretaña)
A.S.T.M. B 26-60T (ZG61A) (E.U.A.)
ALCOA 612 (E.U.A.)
A-Z 5G (Francia)

COMPOSICION QUIMICA Y ESPECIFICACIONES:

| ELEMENTOS % | INGLATERRA | E.U.A. | FRANCIA |
|-------------|------------|---------------------------|------------|
| | DTD 5008 | ASTM B26-60T (ZG 61 A) | A-Z 5G |
| Zinc | 4.8 - 5.7 | 5.2 - 6.0 | 4.5 - 5.5 |
| Magnesio | 0.5 - 0.7 | 0.5 - 0.65 | 0.4 - 0.65 |
| Cromo | 0.4 - 0.6 | 0.4 - 0.6 | 0.15- 0.35 |
| Titanio | 0.15- 0.25 | 0.1 - 0.25 | 0.15- 0.25 |
| Hierro | 0.50- Max. | 1.0 - Max. | 0.8 - Max. |
| Silicio | 0.25- Max. | 0.25 | 0.3 |
| Cobre | 0.10 | 0.30 | 0.15- 0.35 |
| Manganeso | 0.10- Max. | 0.30 | 0.40- Max. |
| Plomo | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| Estaño | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| Aluminio | Balance | Balance | Balance |

ZINC Y MAGNESIO

Estos elementos cuando están en exceso, aumentan la resistencia a la tensión a expensas de reducir la ductilidad. - Resultados óptimos se obtienen cuando se limita a menos de la mitad del intervalo especificado, conservando el Zinc arriba del

50% del intervalo.

CROMO

Este elemento se dice que mejora la resistencia a la corrosión, pero cuando se encuentra cerca del límite superior de las especificaciones, puede haber formación de partículas primarias en la estructura de la pieza, promoviendo la tendencia a la fractura de ahí que sea más conveniente conservar este elemento en su límite inferior dentro de las especificaciones.

TITANIO

Al igual que el cromo, este elemento forma constituyentes quebradizos en la estructura de la pieza. Las investigaciones han demostrado, que el hecho de sobrepasar el 0.15% de titanio, no representan ninguna ventaja, por otra parte se obtiene un refinamiento de grano adecuado con un aumento del 0.03% siempre y cuando se encuentra presente boro. Por lo anterior, con el uso de tabletas refinadoras de grano que se sumergen dentro del baño puede obtenerse una ventaja que tanto el titanio como el boro son reemplazados por estas tabletas.

SILICIO

Este elemento tiene un efecto dañino en las propiedades a la tensión y debe mantenerse en un porcentaje tan bajo como sea posible.

PROPIEDADES TÍPICAS

La característica más sobresaliente de esta aleación es la propiedad de envejecimiento a temperatura ambiente, y un posible sustituto puede ser un envejecimiento artificial a 180°C , por un período de 10 horas, 48 horas después de que se ha hecho el vaciado. El envejecimiento natural se logra después de un lapso de 21 días con lo cual se obtendrán propiedades mecánicas mínimas de:

| | |
|-------------------------------|---|
| Punto de cedencia | 13 Ton/Pulg ² (20.47 Kg/mm. ²) |
| Ultimo esfuerzo a la tensión: | 16 Ton/Pulg ² (25.20 Kg/mm. ²) |
| Elongación (% en 5cms) | 7 % |
| No. de dureza Brinell | 75-87 |

Las piezas hechas con esta aleación poseen buenas cualidades de resistencia tanto a la tensión como a la presión, son bastante maquinables, excepcional resistencia al impacto y a la corrosión, susceptibles de anodizarse, y son fácilmente soldables. Desde el punto de vista de resistencia a la corrosión, este tipo de aleaciones son fácilmente comparadas con las aleaciones aluminio-magnesio.

TECNICAS DE FUSION

Las siguientes recomendaciones se basan en la amplia aceptación del uso de fundentes que producen escorias secas,

sin embargo, finalmente aunque este fundente produce escorias con bajísimos contenidos de metal, no previene las pequeñas pérdidas de magnesio por oxidación, de ahí que existan fundentes líquidos que protegen las cargas pobres en magnesio.

FUSION

1. Caliente el crisol al rojo vivo y cargue el lingote así como la chatarra y el metal de retorno; teniendo presente que si toda la carga consiste en chatarra la aleación resultante puede ser deficiente en contenido de magnesio, en tales casos, las adiciones de este elemento para cubrir las especificaciones deben hacerse antes del vaciado.
2. Alcanzar condiciones de punto de fusión tan rápidamente como sea posible, evitando con esto la disolución de gases en el metal fundido, y cuando la carga se encuentre en estado pastoso, espolvoree fundentes (polvo) en la superficie, continúe usted la fusión hasta que la temperatura alcance 750°C . Apague el horno y espere que el calor residual aumente la temperatura hasta $780-800^{\circ}\text{C}$.

DESGASIFICADO Y REFINAMIENTO DE GRANO

3. Cuando el pirómetro indique una caída de temperatura en el metal, sumerja hasta el fondo del crisol tabletas refinadoras. Conserve usted las tabletas en el fondo hasta que cese el burbujeo.

4. El desgasificado debe preceder inmediatamente al refinamiento de grano.
5. Si es necesario, en esta etapa haga las adiciones de magnesio, sumergiendo barras de éste con un tenedor de acero; asegúrese que el cucharón y el magnesio sean calentados antes de sumergirse. Para evitar la contaminación con hierro de las herramientas, sumergidores, escoriadoras, etc., caliéntelas primero y pntelas con pintura refractaria.
6. Permita que la temperatura del metal baje hasta temperaturas propias de vaciado (ver temperaturas de vaciado) retire la escoria de la superficie con una cuchara perforada y proceda al vaciado.

NOTA: Conserve invariablemente una capa de fundente de cobertura en cada una de las etapas de la fusión. Si el fundente muestra señas de endurecimiento o se exponen áreas nuevas del metal en el baño, aplique una cantidad adicional de fundente.

TEMPERATURAS DE VACIADO

| PIEZAS | SECCION | TEMPERATURA |
|----------|-----------------|-------------|
| Ligeras | Hasta 13 mm. | 770 °C |
| Medianas | de 13-38 mm. | 750 °C |
| Pesadas | Arriba de 38mm. | 730 °C |

Las temperaturas de vaciado recomendadas en este tipo de aleaciones, están un poco arriba de lo normal y esto se debe a que la fluidez de estas aleaciones es baja, a las temperaturas de vaciado comunes para la mayor parte de las aleaciones de Aluminio.

C A P I T U L O I V

TRATAMIENTOS TERMICOS

ENDURECIMIENTO POR PRECIPITACION

Es un tratamiento térmico sumamente útil empleado en muchas aleaciones de Aluminio. Se denomina también tratamiento térmico de envejecimiento. Se puede aplicar a las aleaciones que ostentan en su diagrama de equilibrio una zona de solubilidad sólida parcial como lo muestra la figura No. 1, con disminución de la solubilidad sólida con el descenso de la temperatura. Esta disminución se indica con la curva MP de la figura No. 1.- Las aleaciones susceptibles de este tratamiento deben tener una composición química comprendida entre los porcentajes de la máxima y mínima solubilidad sólida, puntos J y P de la figura No. 1. Una aleación apropiada es la representada por el punto C. Su estructura metalográfica en estado de equilibrio estable se muestra en la figura 11; cristales equiaxiales de solución sólida y una segunda fase en los bordes de grano, provenientes de la segregación del material, que durante el enfriamiento al pasar por la línea MP del diagrama, se ha hecho insoluble (Figura 1). El tratamiento consta de tres pasos:

- I) Calentamiento de solubilización.
- II) Temple de retención de estructura monofásica.

III) Calentamiento de precipitación.

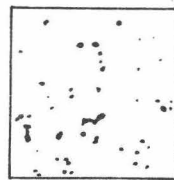
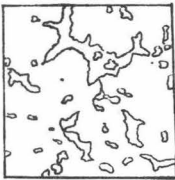
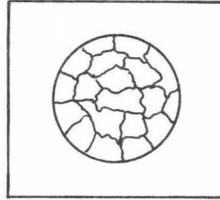
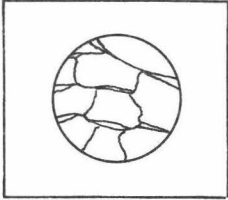
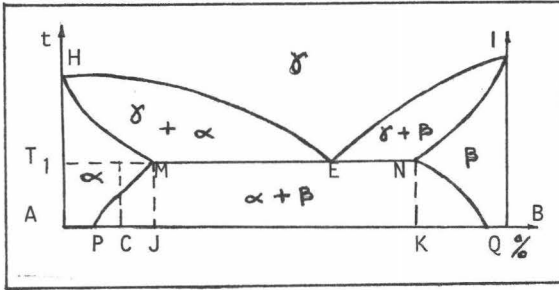
Se calienta el material hasta la temperatura de máxima solubilidad T_1 con lo cual se redissuelve la segunda fase quedando una estructura típica de solución sólida. Se temple en agua para retener la solución sólida a temperatura ambiente obteniéndose la estructura representada en la Figura No. III. En este estado, el material es maleable y maquinable y puede aprovecharse para conformar la pieza. Luego se procede a un ligero calentamiento muy crítico, llamado de precipitación. En este calentamiento se otorga a los átomos la energía necesaria para comenzar a agruparse formando gérmenes que no llegan a tener el tamaño necesario para nuclear la segunda fase, ni pueden llegar a los bordes de grano. Se denominan pre-precipitados. Se encuentran dispersos en todo el material distorsionado el retículo cristalográfico, aumentando por consiguiente, la dureza y el límite elástico sin introducir fragilidad alguna, pues al no existir la segunda fase, no hay interfase que baje los valores de resistencia. El aspecto metalográfico del material en este estado es exactamente el mismo que antes de la precipitación (figura III) Para controlar esta parte del proceso debemos, pues valer nos de los datos de dureza. Esta última parte del tratamiento es muy crítica, pues con sobrecalentamiento se puede nuclear la segunda

fase (figura No. II creándose las interfases que absorberán toda la dureza y el límite elástico, aumentando la fragilidad.

La figura No. IV representa una aleación Al-Mg con 10% Mg. La figura No. IVA es el material en estado de colada. En los bordes de grano de la solución sólida aparece la segunda fase Mg_2Al_3 . La figura No. IVB corresponde al mismo material después de un calentamiento de 10 horas a $450^{\circ}C$ seguido de un enfriamiento de aceite. La segunda fase ha desaparecido. Luego de un calentamiento de precipitación la estructura permanece igual a la de la figura No. IVB, aumentado la dureza del mismo. Solo por arriba de un calentamiento de 3 horas a $150^{\circ}C$, aparece nuevamente la estructura de la figura No. IV B.

La falla principal de este tratamiento térmico es el sobrerovenido, o sea calentamiento a temperatura o tiempo excesivo en la última parte del proceso. Como hechos indicados, aparece la segunda fase anulando los efectos del tratamiento. Esta falla no puede eliminarse por tratamiento posterior. Debe repetirse el ciclo entero del tratamiento. Otras dos fallas menos frecuentes se refieren a la primera parte del proceso; el calentamiento de solubilización. Si éste se realiza a temperatura insuficiente puede quedar algo de la segunda fase sin disolver. Si en cambio la temperatura y el tiempo de calentamiento de esta etapa se exceden de los valores convenientes, el material adopta

una estructura de grano excesivamente grande. Ambas fallas requieren para su eliminación la repetición completa del proceso, pues no son eliminables por tratamientos posteriores.



TEMPLE

PRINCIPIOS FUNDAMENTALES

Por medio del tratamiento térmico pueden mejorarse considerablemente las propiedades de toda una serie de aleaciones de aluminio y, sobre todo, su resistencia y su límite aparente de elasticidad. Este aumento de resistencia se produce, contrariamente a lo que ocurre en el endurecimiento en frío, sin una disminución de la capacidad de alargamiento, y por lo tanto de su forjabilidad o facilidad de conformación, apreciables. El prototipo de esta clase de aleaciones de aluminio, que se clasifican en aleaciones templeables en frío o en caliente, es el "Duraluminio", que pertenece al tipo AlCuMg.

PROCESO DEL TEMPLE

El temple se realiza mediante un tratamiento térmico que comprende tres fases:

- 1) Recocido de disolución a la temperatura de 500 y más grado según el tipo de aleación. La duración de este proceso depende de la aleación, del espesor de las piezas y de las circunstancias del calentamiento (baño de sales o también horno de circulación de aire).
- 2) Temple propiamente tal, producido por un enfriamiento

to rápido e inmediato de las piezas desde aquella temperatura, - por lo general mediante inmersión en agua fría y, excepcionalmente, por medio de corriente de aire, o de una niebla por pulverización de agua (AlCuMg).

3) Envejecimiento o maduración mediante un tratamiento prolongado a temperaturas relativamente bajas o sea temperatura ambiente hasta aproximadamente 200°.

Después de las fases 1 y 2, que deben efectuarse - siempre inmediatamente una tras otra, el metal sigue siendo blando y fácilmente deformable. En el curso de la etapa 3 aumentan poderosamente el límite aparente de elasticidad, la resistencia, y la dureza, quedando prácticamente sin modificar, o solamente = algo amenguado, el alargamiento. La disminución de la sección de rotura (que da una medida para la capacidad de conformación - plástica) se hace más pequeña.

RECOCIDO DE ABLANDAMIENTO

El aumento de la resistencia logrado mediante el - temple puede anularse o contrarrestarse mediante un tratamiento de recocido a la temperatura de 300 hasta 500°. Ha de recurrirse a este recocido de ablandamiento cuando es necesario seguir - trabajando algún material cuyas posibilidades de conformación o forja en frío están ya agotadas.

El recocido de ablandamiento del aluminio conforma-

do en frío se realiza a una temperatura que oscila entre los 300 y 500°, según la composición del material.

Los calentamientos a temperatura excesiva o demasiado prolongados, y los enfriamientos anormalmente largos, originan la formación del granulado grueso.

RECOCIDO DE HOMOGENEIZACION (Recocido de disolución)

El recocido de homogeneización se efectúa con el fin de lograr un granulado uniforme. Por medio de éste algunos componentes heterogéneos contenidos en los materiales pasan a constituir cristales mixtos, obteniéndose de este modo, según los materiales, una mejora de las propiedades de resistencia.

INFLUENCIA SOBRE LOS MODULOS DE CALIDAD.- En las aleaciones templables, como por ejemplo, AlCuMg, y AlZnMgCu, el recocido de homogeneización, seguido del enfriamiento y del envejecimiento, origina un gran endurecimiento en virtud del temple.

RECOCIDO DE RELAJAMIENTO

El recocido de relajamiento, denominado también de aflojamiento o recuperación, sirve para suprimir las tensiones internas que pueden producirse a causa de un tratamiento térmico, de los procesos de conformación o forja en frío, e incluso también a consecuencia de una mecanización con excesivas presiones de tensión o de corte.

HORNOS DE TEMPLE Y RECOCIDO

Para poder mantener las temperaturas de caldeo con las mínimas oscilaciones, cosa indispensable para el tratamiento térmico del aluminio, así como para obtener un calentamiento rápido y uniforme del material, se precisan instalaciones técnicamente intachables con dispositivos termostáticos de toda seguridad, con margen de $\pm 3^\circ$ a $\pm 5^\circ$, que sean apropiados al tamaño y peso de las piezas.

HORNOS DE BAÑO DE SALES

Para el tratamiento térmico son más apropiados los hornos de sales en que se mantienen, en estado líquido, y en recipientes de hierro el nitrato de potasio y de sodio (KNO_3 y NaNO_3). La gran capacidad calorífica de esta fusión salitrosa facilita la regulación de la temperatura, y en virtud de la buena y uniforme conductibilidad calorífica, el caldeo de las piezas a la temperatura prescrita en un tiempo muy corto.

Para la cubeta ha de escogerse un material resistente a la corrosión y a la oxidación (chapa de calderas, hierro Armco o alitizado). La relación entre el KNO_3 y el NaNO_3 oscila según la fluidez que se desee, de 1:4 (el punto de fusión a 220° pero la fluidez total se tiene solo al llegar a los 280°C) hasta 1:2 (mayor fluidez, pero más costoso). Para el calentamiento a

temperaturas de 160 hasta 300° se utilizan baños de sal de una mezcla de nitrato potásico y nitrito sódico (NaNO_2) en la proporción de 1:1, que da un punto de fusión de 150°.

La calefacción eléctrica interior (sistema Kärcher) con espirales de calentamiento (resistencias) empotradas en tubos inoxidable, es la más adecuada, así como la de resistencias eléctricas dispuestas en las paredes exteriores. Pueden calentarse también las paredes con gas sin que las llamas lleguen a tomar contacto con ellas. La solera puede calentarse solamente en condiciones determinadas. Debe evitarse siempre el calentamiento desigual de las paredes del horno.

HORNOS DE CIRCULACION DE AIRE

Par a el tratamiento térmico del aluminio se utilizan ampliamente los hornos de circulación de aire de diversas construcciones, con calefacción eléctrica o también indirecta de carburantes (los gases de combustión pueden originar burbujas a altas temperaturas). Estos hornos son adecuados, sobre todo para piezas de formas complicadas (piezas de fundición) que dificultan o hacen imposible la limpieza de los residuos de sales. Es de suma importancia, e incluso condición previa para el rápido calentamiento y para mantener uniformes las temperaturas en todos los puntos del horno, que sean suficiente la circulación del aire. Los hornos modernos llenan completamente esta exigencia. Asimismo -

se consigue la precisión de la temperatura de ± 3 hasta ± 5 grados. Dichos hornos son muy apropiados para trabajos a temperaturas de 100 hasta 200°, y a temperaturas superiores a 520° ofrecen una completa seguridad de trabajo, lo cual no ocurre en los hornos de baños de sales. Los semiproductos y las piezas no se deben introducir en los hornos, amontonados o apretados unos contra otros, sino con espacio suficiente entre sí, y sobre todo entre las piezas y las paredes del horno, para así garantizar la suficiente circulación del aire caliente.

El tiempo de caldeo en estos hornos es mucho más prolongado que en los de baño de sales. No existe el peligro de que los operarios sean alcanzados por las salpicaduras de las sales.

RECOCIDO Y TEMPLE

Para las mediciones de temperatura en los hornos de recocido suelen utilizarse, generalmente, elementos termoeléctricos con termopares de hierro-constantan o níquel-cromo-níquel, y a veces también platino-rodio-platino. Las mediciones se realizan, por lo general, en diversos puntos.

Tales dispositivos de medición se componen principalmente del elemento termoeléctrico con un termopar montado en el mismo aparato, de la conducción de compensación, del termos-

tato, de la conducción que va al aparato de medición, del instrumento de medición mismo (dispositivo indicador, registrador, regulador).

Para los hornos de baños de sal y para los baños de aceite se utilizan casi exclusivamente los elementos termoeléctricos angulosos de hierro-constantan (también a veces termómetros especiales). Para alcanzar la mayor sensibilidad posible se utilizan frecuentemente los llamados elementos de tubo, de hierro-constantan, en los que el tubo exterior de protección constituye un brazo del termopar, quedando soldado el segundo brazo en dicho tubo de protección.

Para el uso en los hornos de mufla y de circulación de aire puede decirse lo mismo que para los hornos de baño de sal, con la diferencia principal de que se suelen utilizar, en vez de los elementos termoeléctricos en ángulo, los rectos según referencia No. 6.

Los aparatos indicadores, termostatos, registradores y dispositivos de ajuste o regulación son los corrientes y pueden ir montados sobre el cuadro indicador o empotrados.

TRATAMIENTOS TERMICOS COMUNES PARA PIEZAS

DE ALUMINIO

MOLDEADAS EN ARENA

| Aleación y Tratamiento Térmico | Tratamiento de solución | | | Envejecimiento Artificial | |
|--------------------------------------|----------------------------|-------------------------|--------------------------------|------------------------------|---------------------|
| | Tiempo en horas I | Temperatura en °C II | Medio de En- friamiento III | Tiempo en horas | Tempera- tura °C |
| 122- T2 | -- | -- | -- | 2 - 4 | 315 |
| 122- T61 | 12 | 510 | Agua | 10 - 12 | 155 |
| 142- T21 | -- | -- | -- | 2 - 4 | 342 |
| 142- T571 | -- | -- | -- | 22 - 26 | 171 |
| 142- T77 | 6 | 515 | Aire | 1 - 3 | 342 |
| 195- T4 | 12 | 515 | Agua | --- | -- |
| 195- T6 | 12 | 515 | Agua | 3 - 5 | 155 |
| 195- T62 | 12 | 515 | Agua | 12 - 16 | 155 |
| 319- T6 | 12 | 504 | Agua | 2 - 5 | 155 |
| 355- T51 | -- | -- | -- | 7 - 9 | 226 |
| 355- T6 | 12 | 526 | Agua | 3 - 5 | 155 |
| 355- T61 | 12 | 526 | Agua | 8 - 10 | 155 |
| 355- T7 | 12 | 526 | Agua | 7 - 9 | 226 |
| 355- T71 | 12 | 526 | Agua | 4 - 6 | 245 |
| C355-T6 | 12 | 526 | Agua | 3 - 5 | 155 |
| A356-T6 | 12 | 533 | Agua | 2 - 5 | 155 |
| 356- T51 | -- | -- | Agua | 7 - 9 | 226 |
| 356- T6 | 12 | 533 | Agua | 2 - 5 | 155 |
| 356- T7 | 12 | 533 | Agua | 7 - 9 | 226 |
| 356- T71 | 12 | 533 | Agua | 2 - 4 | 245 |
| 357- T6 | 12 | 533 | Agua | 2 - 5 | 155 |

- I) El tiempo puede ser mayor o menor dependiendo en particular de cada pieza.
- II) Las variaciones permitidas en las temperaturas son más o menos 10 F
- III) La temperatura del agua empleada va de 65 a 100°C. Esta última temperatura recomendada para minimizar la distorsión.

TRATAMIENTOS TERMICOS COMUNES PARA PIEZAS

DE ALUMINIO

FABRICADAS EN MOLDE PERMANENTE

| Aleación y Tratamiento Térmico | Tratamiento de solución | | Medio de Enfriamiento III | Envejecimiento Artificial | |
|--------------------------------|-------------------------|----------------------|---------------------------|---------------------------|----------------|
| | Tiempo en horas I | Temperatura en °C II | | Tiempo en horas | Temperatura °C |
| 122- T52 | -- | -- | -- | 5 - 7 | 155 |
| 122- T551 | -- | -- | -- | 18 - 22 | 171 |
| 122- T65 | 8 | 510 | Agua | 7 - 9 | 171 |
| A132-T551 | -- | -- | -- | 14 - 18 | 171 |
| A132-T65 | 8 | 515 | Agua | 14 - 18 | 171 |
| D132-T5 | -- | -- | -- | 7 - 9 | 204 |
| 142- T571 | -- | -- | -- | 22 - 26 | 171 |
| 142- T61 | 6 | 515 | Agua | 3 - 5 | 204 |
| B195-T4 | 8 | 510 | Agua | --- | -- |
| B195-T6 | 8 | 510 | Agua | 5 - 7 | 155 |
| B195-T7 | 8 | 510 | Agua | 4 - 6 | 260 |
| 319- T6 | 8 | 504 | Agua | 2 - 5 | 155 |
| 333- T5 | -- | -- | -- | 7 - 9 | 204 |
| 333- T6 | 8 | 504 | -- | 2 - 5 | 155 |
| 333- T7 | 8 | 504 | -- | 4 - 6 | 260 |
| 355- T51 | -- | -- | -- | 7 - 9 | 226 |
| 355- T6 | 8 | 526 | Agua | 3 - 5 | 155 |
| 355- T62 | 8 | 526 | Agua | 14 - 18 | 171 |
| 355- T7 | 8 | 526 | Agua | 7 - 8 | 226 |
| 355- T71 | 8 | 526 | Agua | 4 - 6 | 245 |
| C355-T6 | 12 | 526 | Agua | 3 - 5 | 155 |
| A356-T6 | 12 | 533 | Agua | 3 - 5 | 155 |
| 356- T6 | 8 | 533 | Agua | 3 - 5 | 155 |
| 356- T7 | 8 | 533 | Agua | 7 - 9 | 226 |
| 357- T6 | 12 | 533 | Agua | 3 - 5 | 155 |

- I) El tiempo puede ser mayor o menor dependiendo en particular de cada pieza.
- II) Las variaciones permitidas en las temperaturas son más o menos 10°F
- III) La temperatura del agua empleada va de 65 a 100°C. Esta última temperatura recomendada para minimizar la distorsión.

CONCLUSIONES

Después de analizar las condiciones de operación en la producción de las diversas aleaciones de Aluminio, como los logros más importantes de este trabajo, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- 1) La extrema importancia del control de las materias primas empleadas, lo cual asegura al fundidor una operación controlable dentro de las normas operativas especificadas por cada productor de aleaciones.
- 2) El control y mantenimiento de los equipos de proceso empleados en las fundiciones visitadas es deficiente. Este factor existe debido a una economía mal entendida, carencia de elementos de control, y falta de programación y planeación en pequeñas fundiciones, y en ocasiones también en grandes plantas; lo cual se traduce en mala calidad, altos costos y baja producción.
- 3) Uno de los puntos más críticos en la obtención de una aleación de especificaciones requeridas, es la calidad y estricto control sobre las adiciones, así como el conocimiento de las propiedades impartidas por cada uno de los elementos aleantes para usos específicos.

Quiero finalmente recomendar el entendimiento del -
diagrama de equilibrio de cada una de las aleaciones de Aluminio
y por ende su uso, lo cual se manifestaría en una mayor facili--
dad para la etapa de fusión y para la aplicación de los trata- -
mientos térmicos, a los cuales tienen que ser sometidas gran nú-
mero de piezas, para proporcionar las propiedades finales, ffsi-
cas, que requiera el consumidor.

CAPITULO I

ANEXO I - ANALISIS TIPICO DE Al_2O_3

| COMPUESTO | % |
|-----------|-------|
| Al_2O_3 | 98.35 |
| Na_2O | 0.60 |
| Fe_2O_3 | 0.02 |
| SiO_2 | 0.02 |
| TiO_2 | 0.005 |

Pérdida de peso por ignición 1% distribución de tamaño de partículas.

| | |
|--------------|------|
| + 100 mallas | 1 % |
| + 200 mallas | 50 % |
| + 325 mallas | 90 % |

ANEXO II

| | BREA | COQUE DE PETROLEO |
|--|------|-------------------|
| Cenizas % | 0.1 | 0.35 |
| Fe % | 0.02 | 0.04 |
| Si % | 0.01 | 0.02 |
| S % | ---- | 1.5 |
| H_2O | ---- | 0.1 |
| Resistencia específica en pulgadas. | ---- | 0.044 |
| Densidad relativa | 1.30 | 2.05 |

| | |
|---------------------------|------|
| Insolubles en Quinolina | 5.0 |
| Insolubles en benzeno | 24.0 |
| Indice al conradson | 50.0 |
| punto de reblandecimiento | 90°C |
| Destilación a 360°C | 5 % |

CAPITULO II

ANEXO IV

CLASIFICACION DE LAS ALEACIONES

Las aleaciones de aluminio generalmente contienen - uno o más de los elementos anteriormente discutidos. Estos elementos aleantes se emplean para facilitar las operaciones de fusión y para proporcionar las características deseadas en el acabado de las piezas.

Las aleaciones de aluminio se dividen en dos grupos:

- 1) Aleaciones Binarias.- Consisten de aluminio y un elemento aleante que debe ser controlado.
- 2) Aleaciones compuestas.- Constan regularmente de aluminio y dos o más elementos aleantes sobre los cuales debe haber un cierto control.

Entre las aleaciones de aluminio binarias más usadas se encuentran: Aluminio-Cobre; Aluminio-Silicio; y las de Aluminio-Magnesio. Entre las aleaciones compuestas se localizan: Aluminio-Cobre-Silicio; Aluminio-Cobre-Silicio-Magnesio; Aluminio-Silicio-Magnesio; así como el grupo de aleaciones Aluminio Cobre-Niquel-Magnesio.

COMPOSICION QUIMICA PARA LINGOTES DE
ALEACIONES DE ALUMINIO (REYNOLDS)

| ALEACION No. | Cu | Fe | Si | Mn | Mg | Zn | Ni | Ti | OTROS | Al |
|--------------|-----------|--------------------|----------|--------------------|-----------|------|---------|------|-----------|----|
| 43 | 0.10 | 0.6 | 4.5-6 | 0.10 | 0.5 | 0.10 | -- | 0.20 | 0.05-0.15 | |
| C 113 | 6-8 | 1.2 | 3-4 | 0.5 | 0.7 | 2.5 | 0.50 | 0.20 | -- 0.50 | B |
| 122 | 9.2-10.8 | 1.2 | 1.0 | 0.5 | 0.15-0.35 | 0.50 | 0.30 | 0.20 | -- 0.30 | A |
| A 132 | 0.5-1.5 | 1.0 | 11-13 | 0.10 | 0.9-1.3 | 0.10 | 2-3 | 0.20 | 0.05-0.15 | |
| D 132 | 2-4 | 1.0 | 8.5-10.5 | 0.50 | 0.5-1.5 | 0.50 | 0.5-1.5 | 0.20 | -- 0.50 | L |
| 355 | 1.0-1.5 | 0.4 ⁽¹⁾ | 4.5-5.5 | 0.3 ⁽¹⁾ | 0.45-0.6 | 0.20 | -- | 0.20 | 0.05-0.15 | A |
| C 355 | 1. -1.5 | 0.15 | 4.5-5.5 | 0.10 | 0.45-0.6 | 0.10 | -- | 0.20 | 0.03 0.10 | |
| 356 | 0.2 | 0.4 | 6.5-7.5 | 0.10 | 0.25-0.4 | 0.10 | -- | 0.20 | 0.05-0.15 | N |
| A 612 | 0.35-0.65 | 0.4 | 0.15 | 0.5 | 0.6-48 | 6-7 | -- | 0.20 | 0.05-0.15 | C |
| C 612 | 0.35-0.65 | 1.3 | 0.30 | 0.5 | 0.25-0.45 | 6-7 | -- | 0.20 | 0.05-0.15 | E |

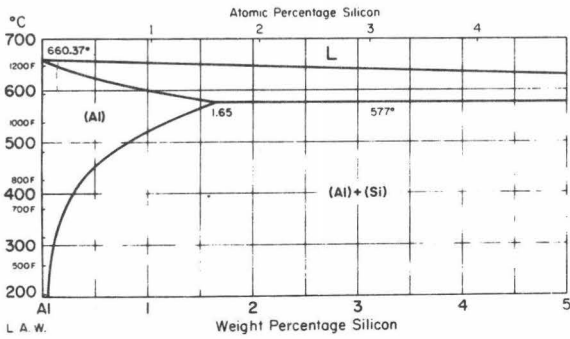
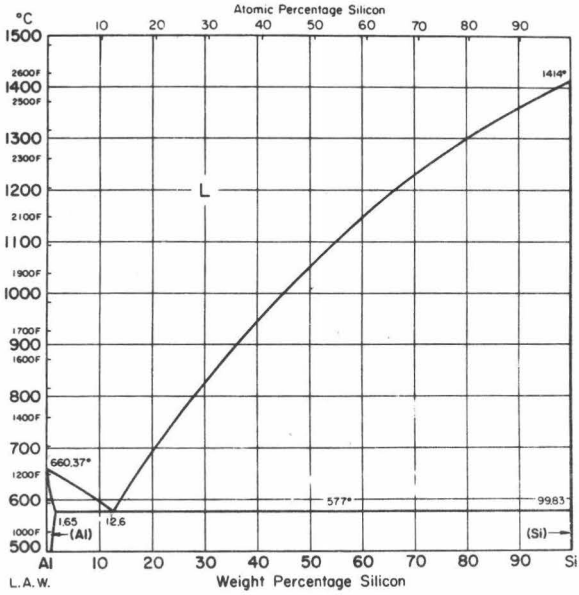
(1) Si el contenido de HIERRO excede del 0.4%, el contenido de manganeso será aproximadamente del 50% del contenido de HIERRO.

PROPIEDADES FISICAS DEL ALUMINIO

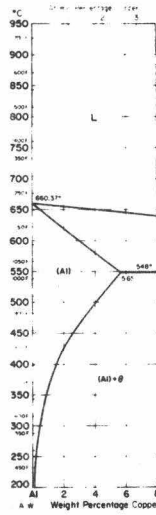
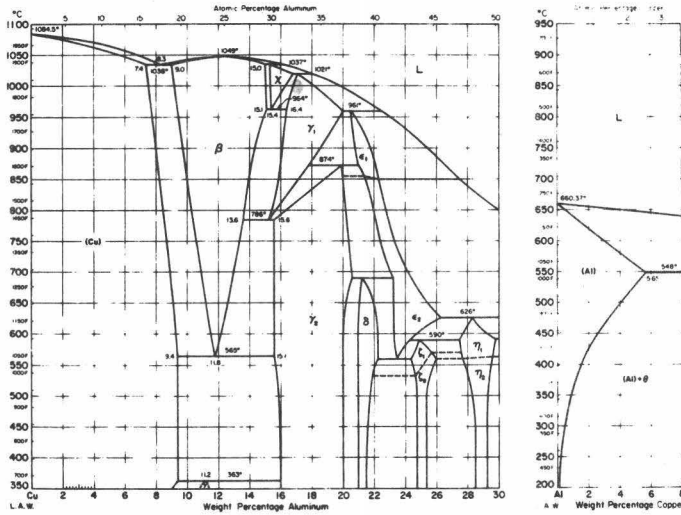
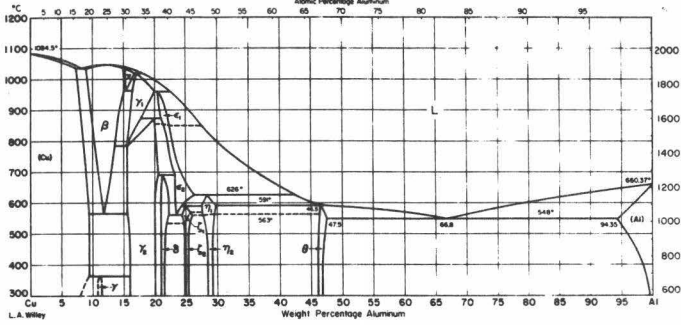
99.999 %

| | |
|---|--|
| PUNTO DE FUSION | 660.4° C |
| PUNTO DE EBULLICION | 2,060° C |
| DENSIDAD | 2,6989 a 20° C |
| CALOR DE FUSION ESPECIFICO | 94.6 Cal/g. |
| MODULO DE ELASTICIDAD | 7,250 Kg/mm ² |
| COEFICIENTE DE POISSON | 0.33 |
| CONDUCTIVIDAD ELECTRICA | 37.87 m/ mm ² |
| | (Al 99.99, reconocido a 300 C). |
| CONDUCTIVIDAD TERMICA | 0.5 Cal/cm. Seg ° C (Al 99.5 a 0 C) |
| SUSCEPTIBILIDAD MAGNETICA ESPECIFICA | $x = +0.6 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{G}$ |
| FUERZA TERMOELECTRICA FRENTE A Pt | $+ 0.41 \times 10^{-2} \text{ mv}/^\circ\text{C}.$ |

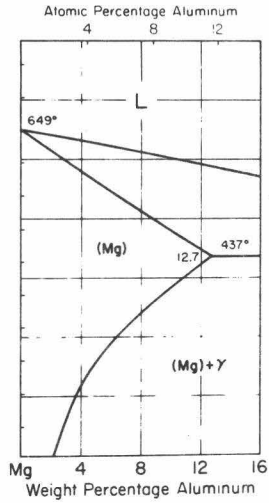
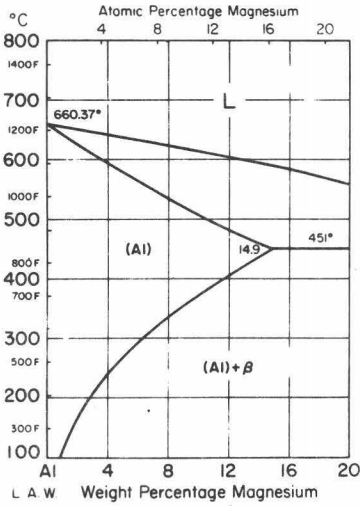
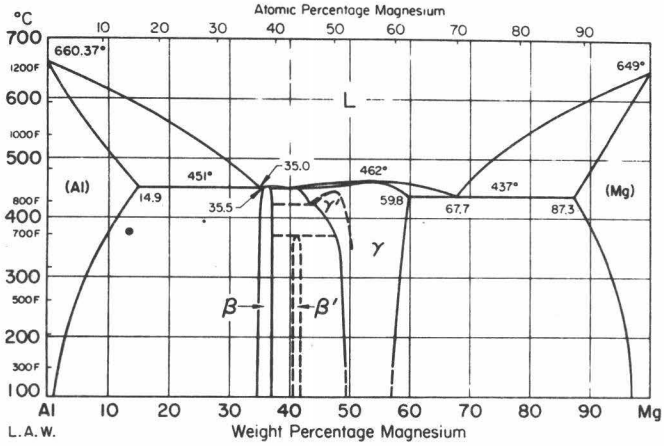
Al-Si Aluminum-Silicon



Al-Cu Aluminum-Copper

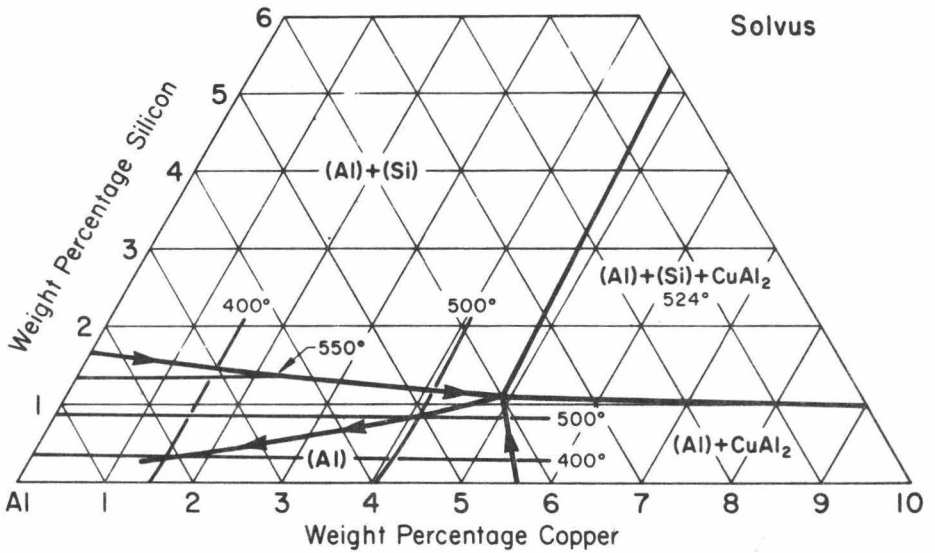
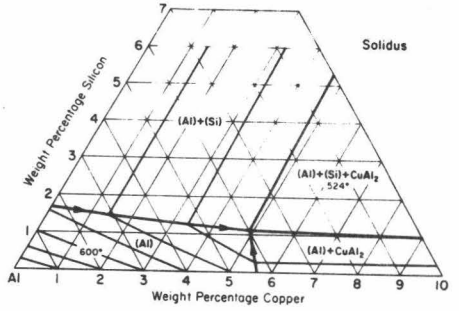
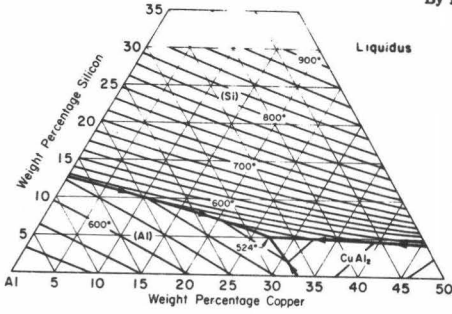


Al-Mg Aluminum-Magnesium

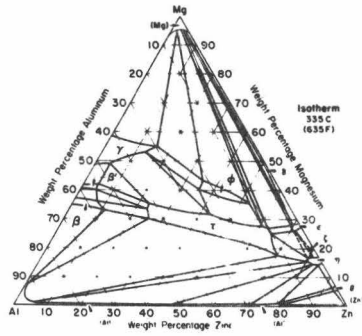
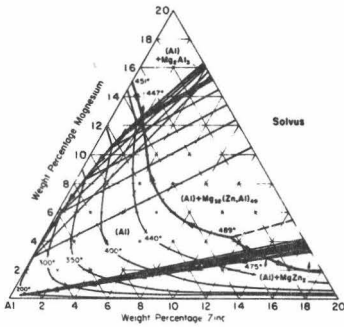
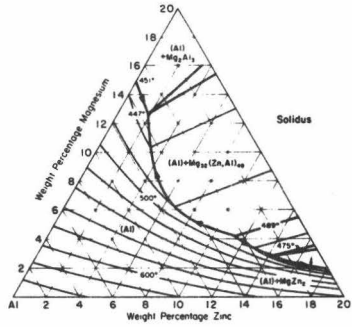
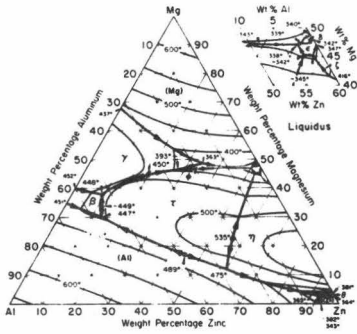


Al-Cu-Si (Aluminum-Copper-Silicon)

By L. A. WILLEY



Al-Mg-Zn (Aluminum-Magnesium-Zinc), continued



REFERENCIAS

1. INDUSTRIA MEXICANA.
(Volúmen 4 No. 1 - Enero/Febrero 1973.)

2. C. L. MANTELL.
(McGraw Hill - 1960)
ELECTROCHEMICAL ENGINEERING.

3. OP CIT (2).

4. B. CHALMERS - J. W. CHRISTIAN - T. B. MASSALSKI.
Progress in Mats, Science, Vol. 15 - 1970.
THE GROWTH AND STRUCTURE OF EUTECTICS WITH
SILICON AND GERMANIUM.

5. REYNOLDS METALS COMPANY.
Richmond 18, Virginia.
CASTING ALUMINUM.

6. ALUMINUM VERLAG GMBH.- Dusseldorf.
ALUMINUM - Taschenbuch.

7. JEAN HERENGUEL.- Presses Universitaires de France.
METALLURGIE SPECIALE. Tomo I - 1969.
8. DRA. NORA LINDENVALD.
Prensa Universitaria Argentina.
FALLAS DE LOS TRATAMIENTOS TERMICOS.
9. INFORMATION SHEETS. FOSECO/ LIMITED GREAT BRITAIN.
- | | |
|--------|----------|
| No. 16 | AlSi |
| No. 51 | Al-Cu |
| No. 41 | Al-Mg |
| No. 39 | Al-Si-Cu |
| No. 60 | Al-Zn-Mg |