

24,35



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

SITUACION Y PERSPECTIVAS DE LA INDUSTRIA DEL ALUMINIO EN MEXICO

T E S I S

Que para obtener el título de Ingeniero Mecánico Electricista presenta

ALEJANDRO CHAVEZ GONZALEZ



Director de tesis: Ing. Arturo Barba Pingarrón

México, D. F.

1988



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 está 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.

I N D I C E

1.- INTRODUCCION	1
2.- CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES DEL ALUMINIO PURO	4
1.- Características del Aluminio	5
2.- Propiedades del Aluminio	11
1.- Propiedades Químicas	11
2.- Propiedades Físicas	13
3.- Propiedades Mecánicas	16
3.- PROCESO DE OBTENCION DEL ALUMINIO	23
1.- Bauxitas	24
2.- Extracción y Preparación de la Bauxita	25
3.- Obtención de Alumina a partir de Bauxita	28
4.- Obtención de Aluminio a partir de Alumina	30
5.- Refinación Electrolytica	33
4.- ALEACIONES DE ALUMINIO	35
1.- Sistema de designación	37
2.- Aluminio	39
3.- Aluminio-Cobre	39
4.- Aluminio-Manganeso	41
5.- Aluminio-Silicio	42
6.- Aluminio-Magnesio	43
7.- Aluminio-Silicio-Magnesio	44
8.- Aluminio-Zinc	45
9.- Otras aleaciones	47

5.- TRATAMIENTOS TERMICOS DE LAS ALEACIONES DE ALUMINIO	48
1.- Recocido	50
2.- Temple	52
3.- Envejecimiento	54
4.- Sistema de designación de temple	58
5.- Tratamientos termomecánicos	61
6.- LA INDUSTRIA DEL ALUMINIO EN MEXICO	66
1.- Consumo Nacional Aparente	68
2.- Aluminio Primario	71
3.- Aluminio Reciclado	76
1.- Aluminio de segunda fusión	76
2.- Aleaciones secundarias	79
4.- Extrusión	82
5.- Laminación	86
6.- Papel Aluminio (foil)	90
7.- Alambres para conductores eléctricos	93
8.- Fundición y otros	96
7.- INVESTIGACIONES SOBRE EL ALUMINIO EN MEXICO Y Y OPCIONES DE SUSTITUCION	102
1.- Aleación Zn- Al- Cu	103
2.- Fuentes alternativas para la obtención de aluminio	114
1.- Métodos para la fabricación directa del aluminio	114
2.- Métodos para la fabricación de alumina	115
8.- OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES	125
9.- BIBLIOGRAFIA	130

1.- INTRODUCCION

En México la industria del Aluminio se empezó a instalar hace sólo 40 años y como la mayor parte de la industria y de otras actividades económicas, creció en un ambiente de protección ante la competencia internacional y aislada de las variaciones cíclicas que se registraban en el exterior.

Si bien la protección sirvió para lograr cierto crecimiento interno en dimensión y en variedad de productos, el efecto negativo hoy en día, es el de una falta de competitividad en el mercado internacional, además de una insignificante participación del 0.2% en la producción mundial y por consiguiente de un bajísimo nivel en el consumo anual per cápita.

Mientras que prácticamente todos los países defienden su industria aluminera, en México se ha seguido una política contradictoria, por un lado se encarece la energía eléctrica con una tarifa muy superior al promedio internacional, y por otro lado se protege a la producción (encarecida por esta elevada tarifa), con elevados aranceles para la importación tanto de lingotes y chatarra, como de productos semielaborados.

La demanda de productos de aluminio en México, tuvo un importante crecimiento durante los años del auge petrolero. Gran parte de esa demanda creciente se cubrió con importaciones y otra parte con ampliaciones a la capacidad productiva existente y con la instalación de nuevas empresas, casi siempre en una forma desordenada y dispersa, que suponía el mantenimiento de una demanda siempre en ascenso. El colapso de los precios del petróleo y sus efectos en la economía nacional, redujeron abruptamente la demanda a un nivel de consumo que resulta extremadamente bajo en atención al tamaño y grado de desarrollo de la economía Mexicana.

La caída de la demanda y el crecimiento de la capacidad fragmentaron aún más el

consumo, haciendo que no se aprovecharan adecuadamente los beneficios de la producción a escala y en cambio se tuvieran altos costos fijos por unidad, lo que permite la coexistencia de empresas eficientes con empresas obsoletas. Esta situación obedece no solo a las dimensiones del mercado nacional sino a una falta de estandarización, que permite una excesiva gama de productos; además por falta de organización entre los fabricantes, se tiene una gran dispersión de la oferta, en la que cada productor pretende abarcar todos los segmentos de su mercado, sin enfocarse a una especialización que haga más racional la producción y la demanda.

Ante las perspectivas de una mayor liberación comercial de México y frente a la imperiosa necesidad de la economía nacional de incrementar las exportaciones, la Industria Aluminera Mexicana, con el apoyo del Gobierno Federal, deberá enfrentar los retos de la reconversión; incrementar productividad, eficiencia, calidad, investigación, nuevos productos, nuevos mercados, reciclaje, eliminar o fusionar plantas que no sean competitivas.

El presente estudio analiza en conjunto a la industria del aluminio con un particular énfasis en la problemática de la industria nacional. Así mismo, se proponen una serie de medidas interdependientes entre sí tendientes a solucionar de una manera integral los problemas que aquejan a ésta industria.

2.- LAS CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES DEL ALUMINIO

LAS CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES DEL ALUMINIO

La tecnología del aluminio es la que más evoluciona actualmente de las tecnologías de los metales comunes. Esto es debido en parte a su juventud, (difícilmente un siglo), pero más especialmente a la única combinación de propiedades y características que permiten al metal satisfacer las demandas de aplicaciones que continuamente surgen con el avance de la tecnología en general. Las propiedades más dramáticas del aluminio (particularmente su bajo peso) fueron rápidamente explotadas, frecuentemente a un alto costo en los principios de su desarrollo como metal; ahora, una amplia gama de propiedades y características son explotadas de una manera mucho más experta y en tan gran escala que una selección crítica de aluminio puede tomar lugar bajo la luz de la disciplina aplicada a la especificación de los metales, o sea que el material escogido puede trabajar para una función específica al más bajo costo total. Una amplia lista de características y propiedades del aluminio que hace que lo anterior sea posible son detalladas a continuación.

2.1. LAS CARACTERISTICAS DEL ALUMINIO

COSTO

En un muy amplio rango de aplicaciones, el aluminio es más económico que otras alternativas tecnológicamente similares, aún cuando esto no es aparentemente inmediato cuando solamente los costos del material básico son considerados. Un ejemplo notable está en el uso del aluminio como conductor eléctrico, donde un análisis completo de costos (con particular énfasis en su peso y su conductividad) permite al aluminio tomar una amplia ventaja sobre el co-

bre para conductores grandes. En aplicaciones donde los costos de fabricación sobrepasan a los costos de metal, esta ventaja se revierte en favor del cobre. Una situación similar existe entre el aluminio y el zinc en fundición en matriz; basadas en el volumen el aluminio es más barato y por lo tanto presenta una ventaja en precio para piezas fundidas grandes. Para piezas pequeñas, factores tales como vida de la matriz y configuraciones de la sección revierten la ventaja en favor del zinc.

Aunque el costo del metal básico siempre es importante la capacidad única de fabricación puede tomar un gran significado en el costo total. Por ésto, el proceso de extrusión, altamente desarrollado y muy económico para el aluminio, permite el uso competitivo de formas extrudidas de aluminio para un vasto rango de aplicaciones y con una máxima resistencia con uso mínimo de material. El ahorro en costo referido al servicio es uno de los factores más importantes que contribuyen al uso del aluminio y es en ésta área que las propiedades espaciales y las características del aluminio son especialmente significativas.

FACTOR PESO-RESISTENCIA

La lista de aplicaciones para el aluminio, basado primordialmente en los beneficios de su ligereza es enorme. Su ligereza específica combinada con su resistencia permite un amplio uso de aleaciones de aluminio para equipo de transportación en general y para piezas móviles y movibles.

FACILIDAD DE TRABAJARSE

Si por facilidad de trabajarse se aglutinan todos los métodos por los cuales un material pueda ser destructiva o no destructivamente formado, unido o terminado,

entonces el aluminio debe ser considerado como el más versátil de todos los metales.

El aluminio puede ser fundido por todos los métodos conocidos; puede ser laminado a cualquier espesor, puede ser forjado, estampado etc., así no hay límite para las diferentes formas de secciones transversales en que el aluminio pueda ser extruído.

Todas las aleaciones del aluminio pueden ser maquinadas, usualmente fácil y rápidamente, a las máximas velocidades de la máquina.

Practicamente cualquier método para unir puede ser aplicado al aluminio (pegamentos adhesivos, soldadura, atornillado, remachado etc.) así como una amplia variedad de técnicas de unión mecánica.

Aunque el aluminio normalmente no requiere de alguna forma de capa para preservar la integridad estructural del metal, una gran variedad de acabados mecánicos, químicos, electroquímicos, etc. pueden ser aplicados para propósitos decorativos ó funcionales. Acabados mecánicos comúnmente usados con otros metales pueden ser producidos, normalmente usando el mismo equipo.

RESISTENCIA A LA CORROSION

Junto a su bajo peso, la característica más importante es su resistencia a la corrosión. Valuando en el contexto del alto costo de mantener otros metales, particularmente acero, en un estado en que pueden cumplir su función de servicio, la resistencia a la corrosión del aluminio contribuye en un alto grado a su amplia variedad de usos en una multitud de aplicaciones.

La alta resistencia a la corrosión del aluminio se debe a una película muy delgada y protectora de óxido de aluminio que se forma instantaneamente en la su-

perficie de metal cuando se expone al aire. Esta película crece naturalmente hasta un espesor límite de aproximadamente 50-100 Å. Si se daña la película de óxido, se reformo inmediatamente. El aluminio se corroe destructivamente solo si ésta película es destruida y las condiciones ambientales previenen su reformación.

La corrosión es comunmente observada como una deterioración del metal por reacción química ó electroquímica con el medio ambiente. Practicamente cualquier medio ambiente contiene los elementos necesarios para general el mecanismo de corrosión, por lo que el metal con alta resistencia natural a la corrosión como el aluminio, encuentra su aplicación satisfaciendo condiciones de servicio tanto en usos generales como en funciones altamente especializadas, donde su resistencia específica tiene un gran significado económico.

La humedad atmosférica es el factor corrosivo más frecuente y muchas aplicaciones del aluminio surgen directamente de su excelente actuación cuando está expuesto a agentes corrosivos en la atmósfera.

Estas aplicaciones incluyen artículos expuestos al agua, puertas, ventanas componentes estructurales, etc.

Cuando en condiciones agresivas se requiere alta resistencia, aleaciones revestidas son comunmente usadas. Es aquí donde un núcleo de aleación de alta resistencia es revestido con una capa metalúrgicamente enlazada con la aleación, estableciendo una relación anódica con el núcleo, protegiéndolo.

Dado que las aleaciones de aluminio pueden transformarse en tanques de almacenamiento, recipientes de reacción, tubería, equipo de destilación, etc. la resistencia del aluminio a un rango de agentes químicos específicos es una importante razón para su uso tan difundido en la industria. Toda la industria conside

rada como "corrosiva", depende fuertemente de aleaciones de aluminio en el proceso de manufactura y en el equipo de almacenamiento.

NO-TOXICO

La no-toxicidad del aluminio y sus compuestos fué notada rapidamente en el desarrollo de la industria. Debido a sus características no contaminantes, un gran número de tipos de aluminio son usados en el procesamiento de alimentos y bebidas. El aluminio no es afectado adversamente por el lavado y esterilizado por vapor y no alberga insectos o bacterias. La no-toxicidad del aluminio es particularmente ventajosa en el manejo de levadura y otros productos microbiológicos. Otras ventajas asociadas incluyen la alta conductividad del aluminio, que es importante donde contenedores son calentados y refrigerados y no existe descoloración después del lavado. Las aleaciones del aluminio son recomendables para procesar y manejar aceites comestibles, grasas y gelatinas; azúcar y productos asociados; productos lácteos; productos de carne; medicamentos y cervezas, etc.

CARACTERISTICAS MAGNETICAS Y DE EMISION DE CHISPA

El aluminio es no-magnético y por lo tanto desempeña un papel muy útil en aplicaciones eléctricas y de instrumentación. Típicamente, es usado en propósitos de protección como recintos ó almacenamientos. Sus propiedades anti-chispa son explotadas usualmente en aplicaciones ó condiciones de servicio donde mezclas de vapor explosivas se encuentran presentes.

CONDUCTIVIDAD ELECTRICA

El aluminio es uno de los dos metales comunes que tienen una conductividad eléctrica lo suficientemente alta para permitir su uso como conductor eléctrico. El otro, por supuesto, es el cobre. La conductividad de un aluminio grado conductor eléctrico es aproximadamente el 62% del estándar internacional, pero con menos de un tercio de la gravedad específica del cobre; un conductor de aluminio con una capacidad equivalente para transmitir corriente es solamente la mitad del peso de un conductor de cobre.

CONDUCTIVIDAD TERMICA

La conductividad térmica del aluminio es alta. Interpretado como una transmisión rápida de calor de áreas de alta temperatura a áreas de menor temperatura, resulta obvio porque el aluminio es tan ampliamente usado para utensilios de cocina y en aplicaciones que involucran ciclos de intercambio de calor. Los intercambiadores de calor de aluminio son comunes en la industria de los alimentos, química, petróleo, aviación y otras. La mayoría de los utensilios domésticos ligeros explotan la alta conductividad térmica del aluminio utilizando placas de aleaciones de aluminio que permiten un intercambio rápido de calor desde el elemento caliente hacia el revestimiento, al mismo tiempo efectuando ahorros significativos de peso sobre los productos convencionales.

REFLECTIVIDAD

El aluminio es altamente reflectivo a la luz visible y a la energía calorífica. El aluminio electrobriante tiene una reflectancia de un 85-90 % a la luz visible. Mientras esta propiedad es ampliamente explotada en la iluminación, la

alta reflectividad del aluminio a la energía calorífica tiene importantes consecuencias en su uso como techo ó como revestimiento en paredes como un medio aislante. Por lo tanto, un edificio con revestimiento de aluminio tiende a reflejar el indeseable calor del sol durante el verano, mientras en invierno inhibe el escape del calor interno.

CARACTERISTICAS NUCLEARES

Las propiedades nucleares del aluminio son del directo interés en Ingeniería Nuclear. El aluminio consiste de un isotopo sencillo, Al^{27} , pero una cantidad de isotopos radiactivos han sido producidos artificialmente con una vida medio hasta de 0.13 seg. Estos isotopos de vida corta que resultan de la radiación del aluminio con neutrones, hacen al metal un material muy recomendable para usar se con reactores. En los primeros complejos nucleares, el aluminio fué usado casi exclusivamente como vaina protectora alrededor de los elementos umbustibles de uranio, y como tubería y accesorios para conducir enfriadores a través del edificio.

2.2. LAS PROPIEDADES DEL ALUMINIO

El siguiente sumario de las propiedades del aluminio es necesariamente breve - dado que las consideraciones de espacio hacen impracticables el incluir uinformación tabular exhaustiva, particularmente considerando las propiedades umecánicas.

2.2.1. PROPIEDADES QUIMICAS

El aluminio, un miembro del grupo III de la tabla Periodica es un metal ualtamen-

te reactivo con un complejo comportamiento químico, evidenciado por la variedad de tratamientos químicos y electroquímicos que pueden ser utilizados para las operaciones de lavado y terminado. La amplia naturaleza de sus propiedades químicas puede ser calibrado por lo que se explica a continuación.

ATAQUE SUPERFICIAL

A pesar de que es altamente reactivo, el aluminio es remarcablemente estable en aire por su capacidad de formar instantaneamente, a la exposición, una película de óxido muy delgada, compacta y adherente. El crecimiento de esta película es autolimitante y dependiendo de las condiciones ambientales puede alcanzar hasta 100A°. Finamente dividido, el aluminio reacciona rápidamente con agua hirviendo liberando hidrógeno para formar hidróxido de aluminio. Esta misma reacción toma lugar con agua fría pero mucho más lentamente.

Aleaciones de aluminio super puro son resistentes al ataque de ácidos comunes pero se disuelven rápidamente en agua regia y son rápidamente atacadas por soluciones de hidróxido alcalinos (es por esto el uso tan amplio de hidróxido de sodio para lavar y grabar al agua fuerte el aluminio). Reacciona vigorosamente con bromo y yodo para formar haloideos. También el aluminio reacciona cuando es calentado en una corriente de cloro seco libre de oxígeno ó cloruro de hidrógeno, para formar cloruro de aluminio volátil.

COMPUESTOS DE TEMPERATURA ELEVADA

El aluminio no se combina directamente con hidrógeno pero el hidrato puede ser producido en una forma altamente polimerizada. El aluminio reacciona con nitrógeno en la presencia de un flujo de sal y en ausencia de oxígeno, pero la reac

ción es difícil de controlar.

El nitrato de aluminio de alta pureza es un material con propiedades mecánicas eléctricas, térmicas y químicas únicas útiles para lozas refractarias para alta temperatura.

SALES

Sales formadas por el aluminio con ácidos fuertes son generalmente solubles en agua con la importante excepción del fosfato. Otras sales solubles en agua son el arseniato, fluorosilicato y acetato ácido. Ácidos orgánicos que forman sales insolubles o casi insolubles incluyen benzoico, palmítico, salicílico, esteárico.

GASES

El hidrógeno es el único gas conocido que puede ser soluble tanto en aluminio sólido ó derretido. Mientras se derrite, el hidrógeno puede ser introducido en el aluminio líquido desde una fuente de gas en la película de óxido del metal sólido antes de derretirse, por la reacción del aluminio con la humedad en el medio ambiente inmediato o por reacciones por la humedad en el refractario que contiene la fundición. En las operaciones de fundición y soldado los métodos son continuos para minimizar la evolución del hidrógeno que produce porosidad y una estructura del metal defectuoso.

2.2.2. PROPIEDADES FISICAS

DENSIDAD. La densidad del aluminio puro está generalmente dada como $2.70 \times 10^3 \text{ Kg./m}^3$. Esto significa difícilmente $1/3$ la masa del acero o el cobre.

Este hecho, combinado con su alta resistencia relativa es un determinante muy importante en el amplio uso del aluminio.

EXPANSION TERMICA

El coeficiente promedio de expansión lineal del aluminio es $23.6 \times 10^{-6} \text{ mm}^\circ \text{C}$ entre 20°C y 100°C . Esto representa un movimiento térmico del orden de 1.2 mm en 1 m. sobre cada cambio de temperatura de 50°C , por lo tanto tiene que ser visto como significativamente alto. Aplicaciones involucrando fabricaciones del aluminio de gran escala, particularmente elementos en edificios, normalmente deben desarrollar condiciones específicas para acomodar estos movimientos relativamente grandes. El coeficiente para el aluminio es aproximadamente el doble que el acero, pero debido a su bajo módulo de elasticidad, tensiones menores son producidas por movimientos térmicos.

CONDUCTIVIDAD ELECTRICA / RESISTIVIDAD

La conductividad eléctrica del aluminio puro es alta con una resistividad de 0.026 microhm-metro. a 20°C . No obstante su baja conductividad comparada con cobre las ventajas masivas del aluminio son tales que un conductor de aluminio de igual resistencia que un conductor de cobre tendrá solamente la mitad del peso. Impurezas y elementos de aleación y tratamientos térmicos, tienen un efecto inhibitorio sobre la conductividad.

CONDUCTIVIDAD TERMICA

El aluminio puro tiene una conductividad térmica (factor K) de 239 W/mk , esto es $4^{1/2}$ veces más grande que el hierro dulce. Tal vez la consecuencia más

significante de ésto está en las operaciones de soldadura, donde fuentes de más intenso calor son necesarias para realizar la fusión. Contrariamente, es una ventaja en operaciones de maquinado, donde rangos de maquinado rápido son posibles debido a la rápida extracción de calor de la pieza de trabajo y del filo de la herramienta de corte a través de las virutas del aluminio.

MODULO DE ELASTICIDAD

El módulo de Young para el aluminio puro es 69×10^3 MPa. El valor promedio para el aluminio es aproximadamente 1/3 del de acero y mientras ésto es significativo donde la rigidez es importante, es de gran ventaja para absorber ó amortiguar cargas. El aluminio se flexiona aproximadamente 3 veces más que un componente idéntico de acero bajo las mismas condiciones de carga.

PUNTO DE FUSION

El aluminio puro se funde a 670°C ; la adición progresiva de elementos de aleación tiende a bajar la temperatura de fusión.

Otras propiedades importantes incluyen:

Resistividad volumétrica	$0.026548 \mu\Omega\text{m}$ a 20°C
Conductividad volumétrica	64.94 % (IACS)
Susceptibilidad magnética	$0.62.76 \times 10^{-6}/\text{g}$
Reflectancia (electrolíticamente brillantado), luz visible:	85-90%
Emisividad a 9.3 mm	3%
Tensión superficial	0.9 N/m a 700°C
Capacidad calorífica	$24.4 \text{ J}/(\text{mol}/^\circ\text{C})$ a 25°C
Punto de ebullición	$2452^\circ\text{C} \pm 15^\circ\text{C}$

2.2.3. PROPIEDADES MECANICAS

ESFUERZO

Esfuerzo. Es la intensidad de fuerzas dentro de un cuerpo cargado que resiste un cambio de forma. Es medido en mega pascales y es calculado normalmente sobre la base de las dimensiones de la sección transversal original. Estos esfuerzos pueden ser de tracción, de compresión y cortantes, o una combinación de ellos. La flexión o doblado involucra esfuerzos de tensión y compresión; la torsión involucra esfuerzos cortantes.

DEFORMACION

Es la medición de un cambio en medidas ó en forma de cuerpo causado por fuerzas actuando sobre él. Deformaciones por tensión o compresión es el cambio por unidad de longitud en la dirección de la fuerza aplicada; es normalmente medido como un cambio en mm. x mm. de longitud.

Los Diagramas esfuerzo - deformación proveen los suficientes datos para comparar aleaciones y para juicios de diseño. Son desarrollados para cargas axiales (tracción ó compresión) ó para cargas cortantes (torsión) y revela la relación entre esfuerzos y deformación para un producto dado. Para deformaciones pequeñas, la desviación de la curva esfuerzo - deformación de la línea recta inicial usualmente es gradual para la mayoría de las aleaciones de aluminio; como siempre, para algunas, la desviación puede ser abrupta; esto es, después de cierto punto, un aumento de esfuerzo produce un cambio relativamente grande en la forma.

LIMITE ELASTICO PROPORCIONAL

El límite elástico es el límite a cualquier acción elástica de la aleación.

El límite proporcional es el límite a la proporcionalidad de esfuerzo contra deformación; esto es, el punto donde la relación lineal entre los dos se rompe. Los límites elásticos y proporcionales no son de gran interés práctico y el esfuerzo de cedencia es una propiedad más importante.

RESISTENCIA ULTIMA DE TENSION

La resistencia última a la tracción es el esfuerzo máximo de tracción que un material puede soportar antes de fracturarse. Es calculado dividiendo la máxima carga aplicada durante la prueba entre el área seccional transversal original de la pieza de prueba.

La resistencia última a la tracción para un aluminio de 99.99% de pureza es aproximadamente 48 MPa. Este valor puede ser incrementado enormemente mediante aleantes, endurecimiento por trabajo o tratamiento térmico.

LIMITE DE CEDENCIA

El límite de cedencia es el esfuerzo al que un material retiene una forma específica permanente después de ser deformado más allá de su límite elástico.

El valor específico usado para el aluminio es 0.002 mm/mm, esto es 0.2%.

El límite de cedencia de una aleación es un valor extremadamente importante en los procesos de fabricación dado que es medida directa requerida para cambiar una forma.

El esfuerzo de cedencia de un aluminio de 99.99% de pureza es aproximadamente 22 MPa. El endurecimiento por trabajo y los tratamientos térmicos incremen

tan los esfuerzos de cedencia más rápidamente que el esfuerzo de tracción.

ELONGACION

La elongación es el incremento de longitud que ocurre cuando un espécimen es sometido a un esfuerzo hasta el punto de fractura medido como un porcentaje sobre la longitud original. La longitud medible es la distancia entre dos marcas calibradas sobre el espécimen. Los valores de la elongación dependen hasta cierto punto en el tamaño y forma del espécimen de prueba por lo que láminas delgadas mostrarán valores más bajos que laminas gruesas. La elongación en efecto es una medida de la ductilidad de una aleación y por lo tanto es una consideración primaria para la selección de una aleación en operaciones de forja. El Aluminio de 99,80% de pureza tiene un valor típico de elongación de 45% (como un espécimen de 1.5 mm de espesor), una indicación de extrema ductilidad; por otro lado una aleación 5005 muestra un valor de 5% para un espesor de 1.5 mm.

DUREZA

La dureza es una medida de resistencia a la indentación. Las escalas de dureza comúnmente en uso son Brinell, Vickers, Rockwell.

Equivalencias pueden ser ampliamente establecidas entre los métodos de prueba; dicha información debe ser tratada con reservas. Generalmente no hay una relación significativa práctica entre valores de dureza y otras propiedades mecánicas por lo tanto son de muy poco uso directo para el diseñador.

Los aleantes, el endurecimiento por trabajo y los tratamientos térmicos incrementan bastante la dureza del aluminio, aunque a niveles significativamente más bajos

que la mayoría de los aceros.

ESFUERZO CORTANTE

El esfuerzo cortante es el esfuerzo requerido para producir una fractura en un espécimen por una fuerza actuando en el plano de la sección transversal del espécimen. El esfuerzo es calculado dividiendo la carga máxima entre el área de la sección transversal combinada de los dos planos cortantes, expresada en megapascuales.

El esfuerzo cortante tiene muchas interpretaciones tales como la fuerza requerida para cortar miembros cilíndricos o secciones transversales, la fuerza requerida para perforar barrenos en materiales, y la resistencia a la falla de componentes bajo esfuerzos de torsión. La fuerza cortante de las aleaciones de aluminio promedio son aproximadamente 60% del valor de la resistencia última a la tracción con variaciones tan bajas como 55% y tan altas como 80%. Los valores bajos se refieren a aleaciones forjadas de baja resistencia y algunas aleaciones fundidas.

RESISTENCIA A LA FATIGA

La fatiga es la tendencia de un metal a fracturarse bajo condiciones de esfuerzos repetitivos; dichos esfuerzos están considerablemente abajo de la resistencia última de tracción del metal. Mientras los esfuerzos cíclicos aplicados son decrementados, el número de ciclos requeridos para producir fractura se incrementa. Algunos metales poseen un nivel de esfuerzos tal que es posible aplicar un número infinito de ciclos de esfuerzos sin llegar a causar la fractura. Las aleaciones de aluminio no poseen este límite de fatiga, aunque el número de ci

Los límites de tolerancia están entre el rango de 25 hasta 50% de la resistencia última de tracción de la aleación, con los valores bajos representando las aleaciones de alta resistencia.

LIMITE DE TOLERANCIA

El límite de tolerancia es la resistencia a la perforación que puede ser una consideración importante en el diseño de una unión remachada ó atomillada. Debido a dificultades de definición y prueba, esta fuerza de tolerancia es arbitrariamente definida como el esfuerzo requerido para deformar un barrenado permanente por una cantidad igual a 0.12% de su diámetro cuando el esfuerzo es aplicado en ángulos correctos del eje del barrenado. Para la mayoría de las aleaciones este valor es aproximadamente igual a la resistencia última de tracción.

SENSITIVIDAD A LAS RANURAS

Esta razón proporciona una medida relativa a la sensibilidad de los diferentes metales ó aleaciones a su rápida falla por fatiga por ranuras u otros concentradores típicos de esfuerzos. Especímenes standard que incorporan generadores específicos de esfuerzos son probados a la fatiga, y la razón establecida rela-

ciona el esfuerzo de fatiga del espécimen ranurado a la fuerza conocida de fatiga de la aleación normal.

VALORES DE PRUEBA DE HONDONADO (EMBUTIDO PROFUNDO)

Pruebas de hondonado son utilizadas para valorar la facilidad de formación (y más particularmente la calidad de estampado profundo) del material de lámina. Las pruebas más comunes son las de Erichsen y Olsen; ambas involucran el formado de una indentación esférica en la lámina con un punzón y matriz montada en una prensa. La unidad de medida normalmente es la profundidad de la hondonación cuando ocurre la fractura; pruebas de hondonada son utilizadas como pruebas suplementarias en control de calidad.

PRUEBAS DE DOBLADO

Las pruebas más comunes de doblado son aquellas que establecen el radio mínimo sobre el cual una aleación puede ser doblada en frío hasta 90° sin fracturarse. El radio mínimo es normalmente expresado como un múltiplo del espesor del espécimen.

PROPIEDADES A TEMPERATURA ESTREMA

Como ocurre con todos los metales, la resistencia del aluminio disminuye cuando se incrementa la temperatura. Temperaturas tan bajas como 100° C tienen un efecto medible y arriba de 265 ° C las propiedades mecánicas pueden decaer más del 50%. Como siempre, a temperaturas bajo cero la resistencia de las aleaciones del aluminio es más alta que a una temperatura ambiente; hasta menos - 75° C, son insignificantes; a menos 200 °C la resistencia a la atracción y el lí

mite de cedencia promedian 30% y 20% respectivamente más alto que a temperatura ambiente.

A menos 270° C, los valores anteriores se incrementan a una vecindad del 50% y 35%. Estos aumentos en resistencia son logrados sin que la estructura del metal llegue a la fragilidad. A una temperatura baja la ductilidad permanece igual ó algunas veces más alta. Por esta razón las aleaciones del aluminio de desempeñan un papel muy importante en aplicaciones que involucran temperaturas muy bajas.

3.- PROCESO DE FABRICACION DEL ALUMINIO

INTRODUCCION

La producción de un kilo de aluminio parte de cuatro kilos de bauxita, los cuales se convierten en dos kilos de alúmina, que posteriormente se combinan en las celdas electrolíticas con treinta gramos de criolita, seiscientos gramos de pasta de carbón y dieciocho kilovatios-hora de energía eléctrica.

3.1 LA BAUXITA

El aluminio es uno de los elementos más abundantes de la corteza terrestre que abarca alrededor del 8% (15% Al_2O_3); los únicos elementos más extendidos son el oxígeno (47%) y el silicio (28%). Esto se explica debido a que el aluminio entra en la composición de todas las rocas comunes, excepto en las calcáreas puras y en las arenas de cuarzo, estas últimas en forma de silicatos.

Únicamente los óxidos de aluminio son prácticamente utilizados para la extracción de este metal. El problema de los minerales de aluminio reside pues esencialmente en encontrar rocas en alúmina más ó menos hidratada, que para su utilización han sido agrupadas bajo la denominación de bauxitas. Las bauxitas pertenecen al tipo de origen calcareo; se admite que proceden de la alteración y de la disolución por la intemperie de las masas calcáreas y de la sílice de las arcillas, que contienen como impurezas; para no dejar más que los óxidos de hierro y del aluminio.

Mientras que ciertas condiciones, que se encuentran frecuentemente en clima tropical (variación de estaciones secas y húmedas, superficies en mesetas ligeramente inclinadas, posibilidades de muchos contactos con el agua, etc.), las rocas de silicatos (basaltos, micaquistos, dolerita, etc.) se descomponen, se disuelve la mayor parte de la sílice y se forman capas superficiales de una

roca compuesta principalmente de óxido de hierro y de alúmina hidratada, en proporciones muy variables; estas son las lateritas. Cuando son ricas en Fe_2O_3 pueden constituir un mineral de hierro; si predomina la alumina, forman un mineral de aluminio en el lenguaje corriente y se les llama igualmente bauxitas.

La bauxita no es, por tanto, una especie mineralógica definida, y este término designa un mineral ó una mezcla de sustancias minerales, esencialmente constituidas de hidratos de alúmina, de óxido de hierro, de silicato de alumina y de óxido de titanio.

La bauxita es un mineral considerado de "Alto Grado" y que requiere poca energía para su extracción; las reservas de bauxitas son amplias y podrían durar por 250 años al ritmo actual del consumo, sin tomar en cuenta la posibilidad de encontrar nuevos depósitos. El costo de la bauxita representa solo una porción pequeña de los costos de producción del aluminio primario, se estima este costo en un 10%. Si la bauxita se pasa a alúmina, el costo no va más allá del 30% del costo final. Esto significa que cambios fuertes en el costo de la bauxita, repercuten poco en el precio final.

3.2. EXTRACCION Y PREPARACION DE LA BAUXITA

La explotación racional consiste en abandonar las capas muy silíceas y en separar lo mejor posible la bauxita de las calcareas del muro y techo. En los yacimientos tropicales las capas presentan en general gran espesor y son superficiales; la exploración se hace, pues, al aire libre con la ayuda de potentes medios mecánicos que permiten una extracción económica, aunque haya que realizar una cierta "descubierta" para eliminar una capa importante superficial de partes arenosas y arcillosas.

na, sobre todo, si el mineral ha sufrido un lavado con el fin de eliminar una gan- ga arcillosa; es un caso bastante frecuente en las minas de bauxitas tropicales cuyos productos se transportan a grandes distancias; de esta manera se reduce el peso transportado eliminando el agua libre y una parte del agua combinada. En algunos casos el secado tiene lugar a más alta temperatura y viene a ser una verdadera calcinación. Esto sucede, particularmente en la mayor parte de las fábricas alemanas, donde la bauxita se calienta generalmente a la temperatura de 450°C en hornos de pisos superpuestos, previniéndose hornos de quemado de piritas; para algunas bauxitas, este tratamiento térmico mejora la atacabili- dad y la aptitud para la decantación de los lodos; en general no se constatan estos efectos sobre los bauxitas francesas. Esta calcinación destruye las materias orgánicas, lo que puede representar un cierto interés para algunos yacimientos.

TRITURACION

En su realización original el ataque Bayer se hacía sobre la bauxita triturada en seco con una de tamaño correspondiente a un polvo de 0/0.3 mm; esta técnica se utiliza todavía en algunas fábricas Europeas pero los aparatos machacadores han sido perfeccionados: Se ha pasado de las machacadoras de bolas tamizado- ras a las machacadoras modernas, de rodillos, pendulares, etc, en general com- binados con una clasificación neumática del producto triturado. En instalaciones recientes se adopta mas bien el triturado humedo en el seno de los licores de aluminato, como se hace desde hace tiempo en la fábrica Americana. El acaba- do del triturador varia y depende más de las necesidades tecnológicas que re- sultan de la fabricación, que de las necesidades de rendimiento químico. Esta

El mineral, que contiene generalmente una fracción importante de gruesos bloques, se somete en la mina a una primera trituración con la ayuda de machacadoras de mandíbulas. Si se transporta a gran distancia se seca inmediatamente en un horno rotativo, para eliminar el agua libre, que alcanza una proporción de 10 a 15 %.

Los procedimientos físicos de enriquecimiento o depuración resultan difíciles de aplicar a las bauxitas, cuyos elementos constitutivos están muy dispersos e íntimamente unidos entre sí; no obstante, en ciertos yacimientos tropicales la bauxita está mezclada con la arcilla libre; un simple lavado al agua, efectuado en un tambor o clasificador de rastrillos, elimina esta arcilla y permite rebajar el contenido en sílice.

La bauxita suministrada por las minas ó canteras se presenta bajo aspectos físicos diversos que pueden necesitar tratamientos previos distintos. El primero, poco más ó menos invariable, es un Triturado inicial consiste en reducir los bloques obtenidos en el momento de la extracción y en conseguir un producto más homogéneo de una granulometría oscilante entre 0-20 mm y 0-50 mm. Esta operación se hace generalmente con la ayuda de machacadores de mandíbulas ó machacadoras de martillos de gran potencia.

SECADO DE CALCINACION

Según las condiciones del yacimiento y las intemperies soportadas durante el transporte puede suceder que la bauxita llegue a las fábricas sobrecargada de agua libre, que le da una consistencia pastosa, y puede llegar a constituir un inconveniente para los manipuladores y el triturado en seco. Entonces conviene proceder a su "secado". A veces esta operación se efectúa en la misma mi

trituration se hace en molinos de bolas o de barras, que funcionan según la granulometría deseada, en circuito abierto ó cerrado, con dispositivos clasificadores. En general para las bauxitas tropicales, el triturado es menos eficiente, solo a 0/1.5 ó 0/2 mm. De esta manera se obtienen suspensiones más ó menos ricas de bauxita en el licor que se pueden mantener por bombas centrífugas o de pistón para su envío al ataque.

3.3. OBTENCION DE ALUMINA A PARTIR DE BAUXITA, POR EL PROCESO BAYER

El proceso Bayer es el más usual para refinar la bauxita, que se digiere con solución caliente de sosa caustica para que la alúmina quede en solución en forma de aluminato de sodio. Después de separar el líquido del residuo insoluble, se precipita el trihidrato de alúmina. $Al(OH)_3$. y se calcina para producir la alúmina pura que se envía a las plantas de reducción. La bauxita se machaca y lava en las minas para quitarle la arcilla y luego se seca para facilitar y economizar el transporte. En las plantas de proceso Bayer se pulveriza muy bien la bauxita, se pone en digestores con lejía que queda de un ciclo anterior y cantidades suficientes de cal y carbonato sodico para obtener la necesaria concentración de hidróxido de sodio. Después de la digestión por tiempo conveniente y con presión de vapor de 3.5. Kilogramos por cm^2 , se deja sedimentar el líquido y se filtra para separar el residuo insoluble. Este lleva gran proporción de óxido de hierro y recibe el nombre de "Lodo Rojo". La solución de aluminato sódico es conducida a grandes tanques de precipitación, donde se le añade como cebo trihidrato de aluminio procedente de una operación anterior y se deja enfriar lentamente. Poco a poco se va formando el trihidrato por hidrólisis del aluminato sódico en presencia del núcleo cristalino. El trihidrato granular pasa por es -

pesadores y filtros, y luego se calcina para extraerle el agua libre y combinada. Es preciso efectuar la calcinación a temperatura bastante alta (por lo común a más de 1000°C) para obtener la alúmina no higroscópica. Esta alúmina calcinada es enviada a las plantas de reducción. Es importante la proporción de sílice que contiene la bauxita, pues si contiene sílice reactiva, esta se combina con la alúmina durante la digestión y queda en el lodo rojo un silicato insoluble de sodio y aluminio. Por cada kilogramo de sílice que haya en la bauxita se pierde, aproximadamente, un kilogramo de alúmina y un kilogramo de carbonato sódico anhídrico. La figura 1 es un diagrama de la marcha del proceso Bayer.

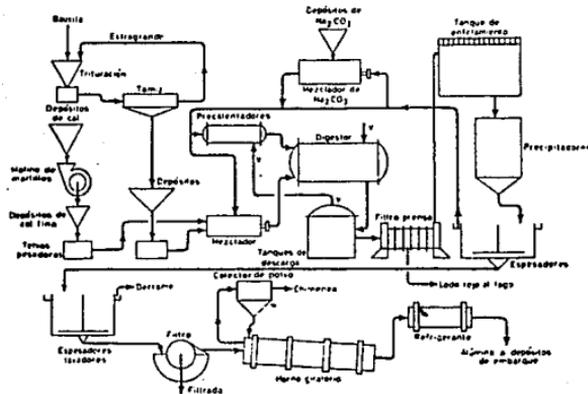


Fig. 1 Proceso Bayer para la producción de alúmina. ((2))

3.4 OBTENCION DEL ALUMINIO A PARTIR DE ALUMINA

El proceso Hall-Hérout se funda en el descubrimiento de que la alúmina se disuelve en criolita fundida, y que por electrólisis de esta solución, se deposita aluminio metálico sin descomposición apreciable del electrólito.

La celda electrolítica es una caja de acero revestida interiormente de carbono. El revestimiento de carbono, que se forma con una mezcla de coque, brea y alquitrán, se apisona en la caja de acero y luego se cuece a alta temperatura. En la cuba de ánodos precalentados, los ánodos de carbono se hacen con una mezcla similar y se cuecen para darles densidad, dureza y solidez. Por lo común, son de sección cuadrada o rectangular y de 30 a 50 centímetros de largo. Estos ánodos se suspenden de una barra colectora que se puede alzar o bajar según sea necesario. También se puede variar la altura de un solo ánodo. El carbono del ánodo se oxida en el curso de la electrólisis y se convierte en dióxido de carbono. (Fig. 2)

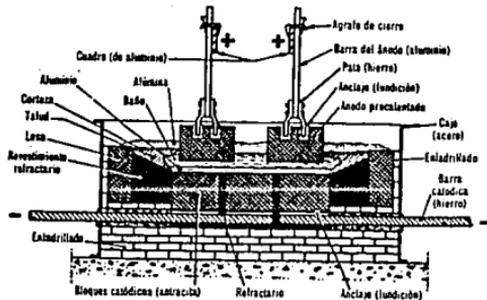


Fig.2 Esquema de una cuba de ánodos precalentados. ((1))

La caída de voltaje a través de una celda es de 5 a 6 V ; las celdas están dispuestas en serie, y hay aproximadamente 100 celdas en una hilera .

Se llena la celda con criolita fundida y se mantienen los electrólitos en estado de fusión por el calor que produce el paso de la corriente . Es necesario que estén bien equilibradas las condiciones de operación, a efecto de que el electrólito se mantenga en estado líquido y se conserve la temperatura óptima que es algo menos de 1000°C . La disipación del calor por las paredes de la celda debe ser de tal manera que se solidifique una delgada capa protectora de electrólito en los lados sobre el revestimiento de carbono . También se debe formar una capa protectora de electrólito en la superficie del baño, alrededor de los ánodos y entre ellos . Si se cuidan estas condiciones, dura más el revestimiento de la celda y se reducen mucho la volatilización del baño y la combustión de los ánodos en la porción descubierta .

El aluminio fundido es más pesado que el electrólito de criolita y se acumula en el fondo de la celda, donde sirve de cátodo, y de donde se extrae de tiempo en tiempo por una llave o por un mecanismo de sifón . A causa de la oxidación electrofítica de los ánodos se consumen aproximadamente 2/3 de kilogramos de carbono por cada kilogramo de aluminio metálico que se produce . Las impurezas de los ánodos (hierro o silicio) se disuelven en el baño, se reducen a la vez que la alúmina y contaminan el aluminio metálico; por tanto, es indispensable que sean muy puros los materiales con que se hacen los electrodos de carbono .

El electrólito puede ser criolita, pero se acostumbra agregarle algo de fluoruro de calcio para reducir el punto de fusión y aumentar la fluidez del baño .

Hay pérdidas por arrastre, por absorción en el revestimiento y otras causas,

de suerte que se consume algo de electrólito; la merma es de menos de 0.1 kg. por kilogramo de aluminio producido. Se necesitan aproximadamente 2 kg. de alúmina para obtener 1 kg. de aluminio. La energía que se requiere es aproximadamente 16.5 Kw-h por kilogramo de aluminio.

Es algo limitada la solubilidad de la alúmina en el electrólito. El baño tiene normalmente 5% de alúmina en solución, y cuando se reduce bastante esta proporción, por ejemplo, a 3% se produce el llamado efecto de ánodo, que se manifiesta en aumento súbito de la caída de voltaje a través de la celda, acrecentamiento del calor generado en la celda y formación de arco entre los ánodos de carbono y el electrólito. Añadiendo más alúmina al electrólito y agitándolo se suprime rápidamente dicho efecto de ánodo. Entonces el electrólito moja los ánodos como en la operación normal, y continúa rápidamente la electrólisis hasta que se vuelve a reducir considerablemente el contenido de alúmina y se produce otro efecto de ánodo.

3.5. REFINACION ELECTROLITICA

Refinación electrolítica. Por muchos años el aluminio más puro ha sido el producido por el procedimiento Hall-Héroult, y cuando mucho tenía 99.9% de pureza pues estaba contaminado con el hierro y el silicio del baño, de la misma alúmina y de los carbones. Hacia 1924 se inventó el proceso Hoopes de refinamiento electrolítico, por medio del cual se ha producido aluminio hasta de 99.99% de pureza, empleando sal fundida como electrólito en una celda refinadora donde se forman tres capas líquidas; la del fondo es una aleación pesada y fundida de aluminio y cobre, que contiene aproximadamente 25% de cobre y que sirve de ánodo; por encima de esta aleación anódica flota el electrólito,

que consta de criolita, fluoruro de aluminio, fluoruro de bario y alúmina. En la superficie del baño flota la capa catódica de aluminio puro refinado. El contacto eléctrico se hace con esta capa de aluminio por medio de electrodos de grafito, durante la operación se disuelve el aluminio procedente del ánodo de aluminio y cobre y se deposita en el cátodo. El aluminio puro refinado se saca de tiempo en tiempo y se añade aluminio de menor pureza a la aleación pesada. La experiencia adquirida con este procedimiento de refinación ha permitido producir aluminio de 99.99% de pureza en escala industrial. La energía que se requiere es aproximadamente igual a la que se necesita para la producción por reducción electrolítica de alúmina.

4.- ALEACIONES DE ALUMINIO

ALEACIONES DE ALUMINIO

El aluminio metálico que se produce mediante los procesos de reducción en las tinas electrolíticas contiene una pureza mínima de 99.5% ; el 0.5% restante consiste en residuos de otros elementos que el proceso de reducción no pudo remover. De éste aluminio básico puede producirse una gran cantidad de aleaciones, pues es de ésta forma como el aluminio se emplea en mayor proporción. A continuación se enlistan algunos de los principales metales aleantes y sus efectos sobresalientes.

COBRE: Hace a las aleaciones tratables térmicamente e incrementa la resistencia y la dureza.

MANGANESO: Incrementa la resistencia mecánica y la resistencia a la corrosión.

SILICIO: Hace descender el punto de fusión, incrementa la facilidad para fundirse y en combinación con el magnesio, produce aleaciones tratables térmicamente, con buena ductibilidad y resistencia a la corrosión.

MAGNESIO: Incrementa la resistencia a la tensión, la resistencia a la corrosión en atmosferas marinas, la dureza y la facilidad para soldarse.

ZINC: Tiende a aumentar la dureza y, en combinación con reducidos porcentajes de magnesio, produce aleaciones tratables térmicamente, con un alto grado de resistencia.

OTROS METALES: Además de los elementos aleantes mencionados, pueden agregarse muchos otros elementos metálicos, para mejorar las propiedades de los grupos básicos de las aleaciones o para proporcionar efectos especiales. Ejemplos representativos incluyen.

- a) El bismuto, el plomo y el estaño, imparten una mejor maquinabilidad.
- b) El berilio mejora las características de soldadura y vaciado.

- c) El boro ayuda a incrementar la conductividad eléctrica.
- d) El cromo, el zirconio y el vanadio se utilizan para producir efectos especiales.
- e) El níquel imparte una mayor resistencia a temperaturas elevadas.
- f) El titanio ejerce un poderoso efecto de refinamiento de grano lo que mejora la resistencia y la ductibilidad.

4.1 SISTEMA DE DESIGNACION DE LAS ALEACIONES DE ALUMINIO

La designación del aluminio y de sus aleaciones fué estandarizada por THE ALUMINIUM ASSOCIATION en 1954, y consta de un sistema de numeración de cuatro dígitos.

El primero indica el grupo de aleación, el segundo señala el cambio de la aleación original o límites de impureza; el cero se utiliza para la aleación original, y los enteros del 1 al 9 indican las modificaciones de la aleación. En el grupo 1000 para aluminio con un mínimo de purezas del 99% y mayores, los dos últimos dígitos son los mismos que los dos a la derecha del punto decimal en el porcentaje de mínimo de aluminio cuando se expresa a casi el 0.01%. De este modo, 1060 indica un material de 99.60% mínimo de pureza de aluminio y ningún control especial sobre las impurezas individuales. En los grupos de aleación del 2000 al 8000 los dos últimos dígitos sirven sólo para identificar las diferentes aleaciones de aluminio en el grupo.

En la tabla 1 se indica el sistema de designación para los grupos de aleación del aluminio.

TABLA 1

DESIGNACION PARA LOS GRUPOS DE
ALEACION

Aluminio, 99% y mayor, principal elemento de aleación	1000
Cobre	2000
Manganeso	3000
Silicio	4000
Magnesio	5000
Magnesio y Silicio	6000
Zinc	7000
Otro elemento	8000
Serie no utilizadas	9000

4.2. ALEACIONES DE ALUMINIO (SERIE 1000)

Estas aleaciones están formadas básicamente con aluminio puro y un contenido máximo del uno por ciento de otros elementos. Entre sus principales propiedades están las de su facilidad para adquirir formas diversas y para soldarse, así como para lograr buenos acabados, es muy alta su conductividad eléctrica y su resistencia a la corrosión; su resistencia mecánica es limitada.

Aplicaciones. Se le usa habitualmente en reflectores, intercambiadores de calor, en aplicaciones arquitectónicas, utensilios para cocina, equipo de manejo y almacenamiento de alimentos y agentes químicos.

4.3. ALEACIONES DE ALUMINIO - COBRE (SERIE 2000)

El cobre es el principal ingrediente aleante en este grupo. Las aleaciones de esta serie pueden superar en más de cincuenta por ciento la resistencia a la tracción de aceros templados. La resistencia a la corrosión y la facilidad de soldarse son limitadas.

La figura 4 muestra el extremo rico en aluminio del diagrama de equilibrio aluminio-cobre. La máxima solubilidad del cobre en aluminio es 5.65% a 548 °C y luego decrece hasta 0.45% a 300°C; por tanto, las aleaciones que contienen entre 2.5 y 5% de cobre responderán al tratamiento térmico endureciéndose por envejecido. La fase theta (θ) es una fase intermedia de aleación, cuya composición corresponde estrechamente al compuesto CuAl_2 . El tratamiento de solución se lleva a cabo al calentar la aleación hasta la región unifásica Kappa (K), seguida por enfriamiento rápido. El envejecimiento subsecuente, ya sea natural o artificial, permitirá precipitar la fase θ , incrementando así la resistencia de la aleación. Estas aleaciones pueden contener menores cantidades de silicio,

hierro, magnesio, manganeso, cromo y zinc.

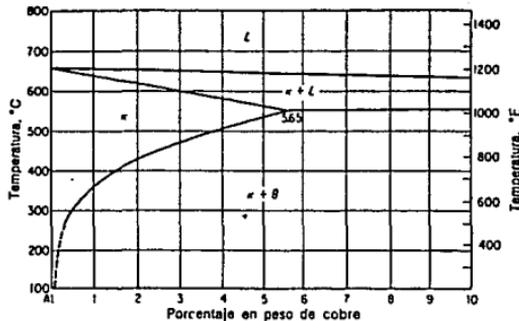


Fig. 4. Porción rica en aluminio del sistema de aleación aluminio-cobre ((12))

Las aleaciones aluminio-cobre forjado que más se utilizan son las 2014, la 2017 y la 2024. La más vieja de todas las aleaciones al aluminio tratables térmicamente es la duralumin--duraluminio (2017), que contiene 4% de cobre. Como es una aleación que envejece en forma natural, después del tratamiento de solución se refrigera para evitar el envejecimiento; en estado de fase única, en la condición del tratamiento de solución, tiene buena ductilidad.

Al volver el material a temperatura ambiente se produce la precipitación de la fase θ en forma de pequeñas partículas submicroscópicas, que incrementan la dureza y la resistencia.

La aleación 2014 tiene mayor contenido de cobre y manganeso que la 2017 y es susceptible de envejecimiento artificial. En la precipitación artificial, la 2014 tiene mayor resistencia tensil, mucho mayor resistencia a la cedencia y

y menor elongación que la 2017. La aleación 2024, que contiene 4.5% de cobre y 1.5% de magnesio, desarrolla las resistencias más altas de cualquier tipo de aleación aluminio-cobre envejecida en forma natural. El mayor contenido de magnesio, comparado con la 2017, la hace más difícil de fabricar. Una combinación de endurecimiento por deformación y envejecimiento desarrollará la máxima resistencia a la cedencia que se puede obtener en una lámina de aleación de alta resistencia.

Aplicaciones: Estas aleaciones se emplean bastante para remaches en la construcción de aviones (2017), para piezas forjadas, en estructuras para camión, partes estructurales de aviones (2014), ferreteria, ruedas para camión (2024), cabezas de cilindro y pistones forjados (2218).

4,4, ALEACIONES DE ALUMINIO-MANGANESO (SERIE 3000)

La adición de aproximadamente el 1% de manganeso produce aleaciones de aluminio que tienen cerca del 20% más de resistencia que el aluminio puro comercial, conservando un alto grado de facilidad de trabajo. La figura 5 muestra la porción rica en aluminio del sistema de aleación aluminio-manganeso. La máxima solubilidad del manganeso en la solución sólida es 1.82 a la temperatura eutéctica de 658 °C. Aunque la solubilidad decrece con la disminución de temperatura, las aleaciones de este grupo suelen ser no endurecibles por envejecimiento. Debido a la limitada solubilidad, el manganeso no se emplea como principal elemento de aleación en ninguna aleación de fundición y solo se utiliza en algunas aleaciones forjadas.

Aplicaciones; La aleación 3003 es la más extendida en la industria y entre las aplicaciones típicas están los utensilios, el equipo de manejo y almacenamiento

de alimentos y sustancias químicas, los tanques para gasolina y aceite, los recipientes para altas presiones y la tubería.

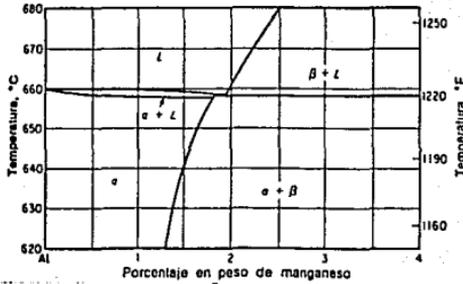


Fig. 5. Porción rica en aluminio del sistema de aleación aluminio-manganeso. ((12))

4.5. ALEACIONES ALUMINIO-SILICIO(SERIE 4000)

La adición de silicio en proporciones de más del 12% produce aleaciones de aluminio particularmente adecuadas como material para soldaduras, por su bajo punto de fusión. Las aleaciones de aluminio con silicio se usan para producir piezas fundidas en las que el silicio imparte alta fluidez al metal fundido que se está vaciando; Así mismo, estas aleaciones presentan una excelente resistencia a la corrosión. La figura 6 muestra la porción rica en aluminio del sistema de aleación aluminio-silicio. La máxima solubilidad del silicio en la solución sólida es 1.65% a la temperatura eutéctica de 577 °C. Aunque la línea solvus muestra menor solubilidad a menores temperaturas, estas aleaciones suelen ser no tratables térmicamente.

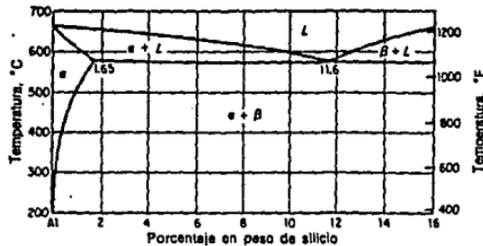


Fig. 6. Porción rica en aluminio del sistema de aleación aluminio-silicio. ((12))

Aplicaciones; Estas aleaciones se emplean donde es necesaria una gran capacidad de forjado, un bajo coeficiente de expansión térmica y alta resistencia al desgaste, como pistones forjados para automóvil (aleación 4032).

4.6. ALEACIONES ALUMINIO-MAGNESIO(SERIE 5000)

Cuando se agrega del 0.3 al 5% de magnesio las aleaciones resultantes tienen una resistencia que varía según su contenido, buena facilidad para soldarse y generalmente buena resistencia a la corrosión en atmósferas marinas.

La figura 7 muestra la porción rica en aluminio del sistema de aleación aluminio-magnesio. Aunque la línea solvus señala una considerable caída en la solubilidad del magnesio en aluminio, con la disminución de temperatura, la mayoría de las aleaciones comerciales forjadas de este grupo contienen menos del 5% de magne

Magnesio (Mg_2Si) que a su vez forma un sistema eutéctico simple con aluminio, la figura 8 muestra la porción rica en aluminio del sistema Al- Mg_2Si ; es la precipitación del Mg_2Si después del envejecimiento artificial (temple T6), la cual permite que éstas aleaciones alcancen su resistencia total. Los miembros más conocidos de ésta familia son las aleaciones 6061 y 6063 que tienen gran facilidad para darles forma, alta resistencia a la corrosión, facilidad para soldarse, facilidad para el maquinado y pueden adquirir numerosos terminados.

Aplicaciones; Se incluyen mallas de refuerzo en pistas de aterrizaje para aviones, canoas, muebles, tubería para aspiradora, pasamanos para puentes y aplicaciones arquitectónicas.

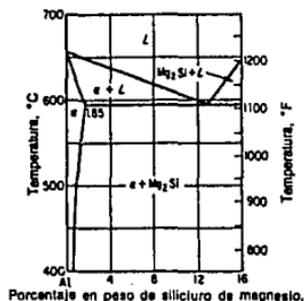


Fig. 8. Porción rica en aluminio del sistema aluminio-silicio de magnesio. ((12))

4.8. ALEACIONES ALUMINIO-ZINC (SERIE 7000)

La adición del 3 al 8% de zinc, más un pequeño porcentaje de magnesio, y cuando se le trata térmicamente resulta una familia de aleaciones de aluminio con

muy alta resistencia. La figura 9 muestra la porción rica en aluminio del sistema de aleación aluminio-zinc. La solubilidad del zinc en aluminio es del 31.6% a 275°C, disminuyendo hasta 5.6% a 125°C. Las aleaciones comerciales forjadas contienen zinc, magnesio y cobre, con menores adiciones de manganeso y cromo. Las aleaciones 7075 (5.5% de zinc, 2.5% de magnesio y 1.5% de cobre), 7079 (4.3% de zinc, 3.3% de magnesio y 0.6% de cobre) y 7178 (6.8% de zinc, 2.7% de magnesio y 2.0% de cobre) desarrollan las más altas resistencias tensiles que se pueden obtener en las aleaciones al aluminio .

Mediante la adición de cromo y el tratamiento térmico adecuado, la susceptibilidad de estas aleaciones a la corrosión por esfuerzo se ha minimizado. Tiene aplicaciones en las que se requiere alta resistencia en general y buena resistencia a la corrosión.

Aplicaciones se emplean principalmente para estructuras de aviones, equipo móvil y equipo que requiere una alta resistencia con relación a su peso.

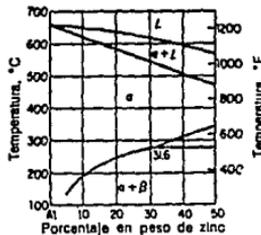


Fig. 9 Porción rica en aluminio del sistema de aleación aluminio-zinc.

4.9. OTRAS ALEACIONES (SERIE 8000)

El aluminio puede alearse también con otros elementos aparte de los ya mencionados, tales como berilio, bismuto, boro, fierro, níquel, plomo, sodio, estaño, titanio y zirconio. Siempre que alguno de estos elementos sea el agente predominante la aleación será designada como un número a partir del 8000.

5.- TRATAMIENTOS TERMICOS DE LAS ALEACIONES DE ALUMINIO

El aluminio y sus aleaciones se someten a diferentes tipos de tratamiento térmico en función de la composición de las aleaciones, clase de los productos semiacabados, de las piezas y tochos, así como de su destino.

En el aluminio no existen transformaciones polimorfas y martensíticas. Por eso para las aleaciones de aluminio se excluyen los tipos de tratamiento térmico relacionados con esas transformaciones.

La particularidad distintiva del aluminio consiste en su elevada conductibilidad térmica, por lo que su templabilidad no crea problemas graves. La propensión del aluminio y de sus aleaciones a la interacción con los gases que conforman la atmósfera del horno es pequeña. Por esa razón hasta el último tiempo no ha surgido necesidad especial en utilizar atmósferas protectoras al tratar térmicamente las aleaciones de aluminio.

Después de la deformación, en los productos semiacabados de aluminio aparecen diversas estructuras que se distinguen por el tamaño del grano, homogeneidad de éste en el volumen y la estructura intragranular. El tipo de la estructura queda definido por la composición química de la aleación, la temperatura, el grano y la velocidad de deformación, así como por el esquema del estado de tensiones en el proceso de fabricación de los productos semiacabados. La estructura deformada ejerce influencia hereditaria sobre el estado estructural del metal después del tratamiento térmico. Por eso no se puede escoger los regímenes para el tratamiento térmico sin tomar en consideración el tipo y el carácter de la deformación procedente de los productos semiacabados.

La diversidad de las exigencias planteadas ante las propiedades de las piezas semiacabadas de aleaciones a base de aluminio, predetermina la elección del tipo de tratamiento térmico. En algunos casos se requieren elevadas caracterís_

licas de resistencia mecánica y alto nivel de ductilidad; en otros se necesita la máxima ductilidad para asegurar buena deformación en frío al fabricar piezas y unidades; en una serie de casos son importantes las características de plazo de servicio, etc. La elección correcta de los tipos y regímenes del tratamiento térmico permite producir productos semiacabados, cuyas propiedades satisfacen las exigencias planteadas. Los procedimientos más difundidos para el tratamiento térmico de aleaciones de aluminio son:

- Recocido
- Enfriamiento Rápido
- Envejecimiento

5.1 RECOCIDO

El recocido de las aleaciones de aluminio se emplea en caso de que haga falta eliminar las consecuencias indeseables, relacionadas con el desequilibrio de la estructura. La más de las veces en el caso de la estructura desequilibrada se observa reducida ductilidad, baja resistencia a la corrosión y capacidad de deformación insuficiente. El desequilibrio de la estructura por lo común viene relacionado con la tecnología de fabricación de las piezas semiacabadas. Con arreglo a las aleaciones de aluminio las más difundidas son las siguientes variedades:

1. Estado desequilibrado característico para las aleaciones coladas. Al obtener lingotes y piezas coladas, las velocidades de cristalización son bastante elevadas y por eso la propia cristalización transcurre en condiciones desequilibradas, lo que conduce a los fenómenos de segregación dendrítica de los componentes de aleación. Además estos últimos y las impurezas se distribuyen irregularmente por el volumen de los granos colados y en los límites aparecen las

fases desequilibradas intermetálicas. Este tipo de estructura condiciona la baja ductilidad tecnológica de las aleaciones y pequeña estabilidad a la corrosión.

2. Estado desequilibrado provocado por la deformación plástica. Este estado se suscita por el hecho de que durante la deformación tienen lugar modificaciones estructurales considerables, una parte de la energía de deformación se absorbe, aumentando la energía libre del sistema.

3. Estado desequilibrado debido al tratamiento térmico precedente. La particularidad fundamental de este estado consiste en que en la aleación existe una solución sólida a base de aluminio más o menos sobresaturada con componentes de aleación.

4. Estado desequilibrado provocado por las tensiones residuales en el volumen del metal.

Durante el recocido, cuyos parámetros principales son la temperatura y velocidad del calentamiento así como el tiempo de detención a la temperatura asignada, todas las desviaciones analizadas respecto al estado de equilibrio pueden ser elminadas. Con eso la ductilidad de las aleaciones siempre aumenta. Es natural que para eliminar los estados desequilibrados de diferente origen, deberán escogerse distintos regímenes del recocido.

Para las aleaciones de aluminio se emplean los siguientes tipos de recocido: recocido para homogeneización, recocido de recristalización de los productos semicabados deformados, recocido de las aleaciones térmicamente endurecibles con el fin de disminuir la resistencia mecánica y recocido para igualar las tensiones residuales. Los intervalos de temperatura del recocido de diferente tipo se exponen en la fig. 10

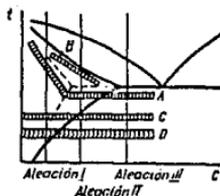


Fig. 10 Esquema de la disposición de las zonas de temperatura para la homogeneización ordinaria (A), homogeneización a temperatura elevada (B), para el recocido de recristalización y de aleaciones térmicamente endurecibles (C), para el recocido en que se eliminan las tensiones residuales (D):

C es el contenido del elemento aleante. ((5))

5.2. ENFRIAMIENTO RÁPIDO

El destino principal del temple reside en fijar las soluciones sobresaturadas al máximo con componentes aleantes en la matriz de aluminio. La esencia del proceso consiste en calentar las aleaciones hasta temperaturas que sean suficientes para disolver las fases de temperaturas bajas, mantenerlas a estas temperaturas y enfriarlas con velocidades que aseguren la ausencia de procesos de desintegración.

La temperatura de caldeo para el temple se escoge en función de la naturaleza de la aleación. Puesto que la disolución de las fases de temperaturas bajas es

un proceso difusivo, la temperatura del temple deberá ser en lo posible alta. Esta temperatura no debe superar la temperatura del solidus desequilibrado de las aleaciones a causa de que surge el requemado, empeorando fuertemente las propiedades mecánicas. En una serie de casos el límite superior de la temperatura del temple se delimita por el crecimiento del grano. El intervalo óptimo de temperaturas de caldeo para la disolución se muestra en la fig. 11

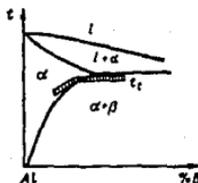


Fig. 11 Esquema de cómo elegir las temperaturas de caldeo para el temple t_t de aleaciones de aluminio. ((5))

El tiempo de detención (mantenimiento) a la temperatura de solución queda definido por la velocidad de disolución de los elementos aleantes que integran las fases excesivas y depende de la naturaleza de la aleación, su estado estructural y las condiciones del caldeo. En caso de caldeo lento los procesos de disolución parcialmente transcurren ya en esta etapa y el tiempo de mantenimiento puede ser reducido.

Cuanto más dispersas sean las partículas de la fase de endurecimiento, tanto menos tiempo se necesita para su disolución. Por eso, por ejemplo, el tiempo de detención al calentar piezas fundidas, obtenidas por colada en formas de arena, debe ser mayor que para las piezas semiacabadas deformadas.

Las velocidades de enfriamiento durante el temple deberán asegurar que en la solución sólida se fijen las concentraciones de componentes aleantes características para temperaturas elevadas .

Las velocidades de enfriamiento se pueden regular utilizando ambientes para templear con diferente poder refrigerante. Al escoger el medio refrigerante, se debe tomar en consideración el espesor de los artículos. Como se sabe, las capas superficiales se enfrían con mayor rapidez que las centrales y por eso el medio refrigerante deberá asegurar las velocidades necesarias para enfriar las capas centrales.

5.3. ENVEJECIMIENTO

El envejecimiento es el tratamiento térmico durante el cual en la aleación, sometida al temple sin transformación polimorfa, el proceso principal consiste en descomponer la solución sólida sobresaturada. El envejecimiento se emplea para mejorar las características de resistencia mecánica de las aleaciones de aluminio. Con este fin se suele utilizar el envejecimiento natural y artificial. Si las aleaciones están destinadas para el trabajo a temperaturas elevadas, el envejecimiento se emplea para estabilizar la estructura y las dimensiones de las piezas. En este caso siempre se recurre al envejecimiento artificial. Las modificaciones de la estructura y de las propiedades vienen definidas por diferentes mecanismos de desintegración que dependen de la temperatura y del tiempo de envejecimiento. A temperaturas bajas y a tiempos de detención cortos el endurecimiento está ligado con la formación de las zonas de Guinier-Preston (zonas GP) fig. 12



Fig. 12 Esquema de los campos de temperatura y tiempo de la transición del envejecimiento zonal al envejecimiento de fase y a la coagulación (I. N. Fridlander) :

- 1.- formación de las zonas; 2 - aparición de las partículas de la fase metastable; 3 - desaparición total de las zonas;
- 4 - aparición de las partículas de la fase estable; 5 - desaparición total de las partículas de la fase metastable. ((5))

Este tipo de envejecimiento que es el principal para las aleaciones tipo duralu_minio, suelen llamarlo envejecimiento zonal. Con el aumento de la temperatura de envejecimiento o del tiempo de detención, puede manifestarse otro mecanismo de endurecimiento, cuando éste se logra a causa de que desde la solución sólida se separan las fases metaestables que tienen con la matriz límites coherentes o semicoherentes. Este tipo de envejecimiento que por lo común transcurre a temperaturas elevadas recibe el nombre de envejecimiento de fase. El aumento ulterior del tiempo de envejecimiento conduce a la formación de segregaciones de las fases estables que tienen con la matriz límites incoherentes. La coagulación de estas fases conlleva a la pérdida de resistencia mecánica de las

aleaciones, y el tipo correspondiente del envejecimiento se llama envejecimiento de coagulación.

La transición de la etapa zonal del envejecimiento a la etapa de fase puede efectuarse isotérmicamente ya sea aumentando el tiempo de detención o bien elevando la temperatura. Para cada tipo de aleación pueden ser fijados los campos de temperatura y tiempo de los envejecimientos zonal, combinado, de fases y de coagulación.

Según la opinión de I.N. Fridliander, en principio conviene que cada aleación envejecible tenga tres regímenes de envejecimiento, correspondientes a los envejecimientos zonal, de fases y de coagulación. En caso de envejecimiento zonal se observa la ductilidad máxima, siendo suficientemente alta la resistencia mecánica y poseyendo valores medios el límite de fluencia (fig. 13); pero con alta sensibilidad a las modificaciones estructurales durante los posibles cálculos posteriores.

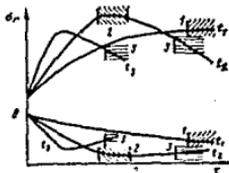


Fig. 13 Esquema de cómo varían las propiedades mecánicas de las aleaciones de aluminio en función del tiempo de envejecimiento a diferentes temperaturas ($t_3 > t_2 > t_1$):

1 - zonal; 2 - de fase; 3 - de coagulación. ((5))

El envejecimiento de fase asegura la máxima resistencia mecánica y elevado

límite de fluencia, pero los valores del alargamiento relativo en este caso son reducidos y surge el peligro del agrietamiento por corrosión. La aleación posee alta sensibilidad a los concentradores de tensiones. El envejecimiento de coagulación asegura alta estabilidad a las modificaciones de las propiedades durante los caldeos suplementarios (operacionales y tecnológicos), elevada ductilidad tecnológica. Al mismo tiempo el alargamiento relativo sigue siendo bajo, mientras que la sensibilidad a los concentradores de tensiones, alta.

Para escoger los regímenes de envejecimiento es cómodo utilizar dos tipos de curvas experimentales que caractericen la dependencia entre cierta propiedad a medir y los regímenes de envejecimiento. Unas de estas curvas caracterizan la dependencia entre la propiedad a medir y la duración del envejecimiento para valores constantes de las temperaturas (curvas isotérmicas de envejecimiento). En otras se expone la dependencia entre la propiedad medida y la temperatura de envejecimiento siendo constantes los tiempos de detención (isócronas de envejecimiento).

Recuperación térmica con envejecimiento. Este tipo del tratamiento térmico se aplica a las aleaciones de aluminio templadas y envejecidas naturalmente. La esencia de este tipo de tratamiento térmico se reduce a lo siguiente. Si la aleación de aluminio después del envejecimiento natural se calienta durante un corto tiempo hasta temperaturas que sobrepasen la curva de solubilidad del solidus para las zonas de Guinier-Preston, las zonas se disuelven y los procesos de envejecimiento de fase no tienen tiempo en transcurrir.

Después del enfriamiento rápido posterior la estructura y las propiedades de la aleación corresponden al estado de recién templado. El tratamiento de recuperación se puede aprovechar para aumentar la ductilidad tecnológica, cuando al

fabricar piezas sea necesario deformar en frío el material templado y envejecido naturalmente. Una vez efectuado correctamente el tratamiento de recuperación, la aleación se somete al envejecimiento de la misma manera que se hace después del temple.

5.4. SISTEMA DE DESIGNACION DE TEMPLE

Esta designación sigue a la de la aleación y se halla separada de ésta por un guión. The Aluminum Association Temper Designation System, adoptada en 1948, se utiliza para el aluminio y aleaciones al aluminio forjadas y fundidas. Se basa en las secuencias de los tratamientos básicos utilizados para producir los diversos temple. El sistema estándar de designación de temple consta de una letra que indica el temple básico. Excepto para la condición de recocido y aquellos en condición de fabricado sin tratamiento térmico se define más específicamente por la adición de uno o más dígitos. Hay cuatro básicos : F, con condición de fabricado; O, recocido; H, endurecido por deformación y T, tratado térmicamente.

-F: Condición de fabricado. Aplicado a productos que adquieren algún temple como resultado de las operaciones de manufactura. No hay garantía de propiedades mecánicas.

O: Recocido, recristalizado. Es el enfriamiento más suave de los productos de aleación forjados.

-H: Endurecido por deformación. Se aplica a productos susceptibles de incrementar sus propiedades mecánicas mediante trabajo en frío solamente. La -H siempre es seguida por dos más dígitos. El primero indica la combinación específica de las operaciones básicas como sigue:

- H 1 Endurecido por deformación solamente. El segundo dígito designa la cantidad de trabajo en frío realizada, cuyo número 8 representa la condición de dureza total; por tanto, una dureza media es -H14, una dureza de un cuarto es-H12, etc. Los temple extraduros se designan con el 9. Un tercer dígito se emplea a menudo para indicar el grado de control del temple o para identificar un conjunto de propiedades mecánicas específico.

-H 2:Endurecido por deformación y luego recocido parcialmente Se aplica a productos trabajados en frío para obtener una mayor dureza y luego, mediante recocido parcial, se les reduce su resistencia al nivel deseado. La cantidad residual de trabajado en frío se designa mediante el mismo método que los de la serie - H 1.

-H 3: Endurecido por deformación y luego estabilizado Se aplica sólo a aleaciones que contienen magnesio a las cuales se da un calentamiento a baja temperatura para estabilizar sus propiedades. El grado de endurecimiento por deformación remanente después del tratamiento de estabilización se indica en la forma usual por uno o más dígitos.

-W: tratados térmicamente en solución. Es un tratamiento que se aplica sólo a aleaciones que envejecen espontáneamente a temperatura ambiente después del tratamiento térmico de solución. Debido al envejecimiento natural, esta designación es específica sólo cuando se indica el periodo de envejecimiento; por ejemplo, 2024-W (1/2 hr).

-T: Tratado térmicamente Se aplica a productos tratados térmicamente, con o sin endurecimiento por deformación suplementario, para producir resistencias estables. La -T sigue de los números 2 al 10, designando una combinación específica de operaciones básicas. Las variaciones deliberadas de las condiciones,

que dan lugar a características significativamente distintas para el producto, se indica añadiendo uno o más dígitos a la designación básica:

-T2: Recocido (sólo productos fundidos).

-T3: Tratados térmicamente a solución y luego trabajada en frío.

-T4: Tratados térmicamente a solución y envejecida en forma natural hasta una condición sustancialmente estable.

-T5: Sólo envejecido artificial. Se aplica a productos envejecidos artificialmente después de un proceso de fabricación a alta temperatura seguido por enfriamiento rápido, tal como fundición o extrusión.

-T6: Tratados térmicamente en solución y luego envejecida artificialmente.

-T7: Tratados térmicamente en solución y luego estabilizada: se aplica a productos en que las condiciones de temperatura y tiempo para estabilización son tales que la aleación se lleva más allá del punto de dureza máxima, proporcionando control de crecimiento y/o esfuerzo residuales.

-T8: Tratados térmicamente, en solución trabajo en frío y luego envejecida en forma artificial.

-T9: Tratados térmicamente en solución, envejecida artificialmente y luego trabajo en frío.

-T10: Envejecida artificialmente y luego trabajada en frío, lo mismo que en -T5, pero seguida por trabajo en frío a fin de mejorar la resistencia.

5.5. TRATAMIENTO TERMOMECHANICO DE LAS ALEACIONES DE ALUMINIO.

El tratamiento termomecánico (TTM) es un tipo del tratamiento térmico que incluye la deformación plástica, la cual debido al aumento de la densidad de defectos, incide sobre la formación de las estructuras en caso de transformaciones de fases que tienen lugar durante la sollicitación térmica. Los procedimientos de TTM se clasifican según los métodos aplicados para combinar la deformación plástica en frío con el tratamiento térmico. Distinguen el tratamiento termomecánico a alta temperatura (TTMA), a baja temperatura (TTMB) y previo (TTMP).

El TTMA combina la deformación a alta temperatura y el temple posterior. En caso de TTMB combinan el envejecimiento y la deformación en frío. Además el envejecimiento se efectúa no inmediatamente detrás del temple, sino que después de éste y de la deformación en frío. El TTMP representa la combinación del tratamiento térmico (temple y envejecimiento) con la deformación plástica, ejecutada antes del calentamiento para el temple.

También existen esquemas en que simultáneamente se recurre a dos o varios procedimientos del TTM. Por ejemplo el tratamiento a temperaturas alta y baja (TTMB), en el cual la deformación a alta temperatura se combina con el temple, mientras que el envejecimiento se realiza después de la deformación en frío plástica.

Todos los tipos del TTMA se caracterizan por la combinación del temple con la deformación en caliente que se cumplen con un solo calentamiento. El TTMA es eficaz tan sólo en caso de que en el proceso de deformación se obtenga una estructura con elevada densidad de los defectos. Esto resulta posible cuando no tienen lugar la recristalización completa, durante la deformación, y la estructu

ra queda poligonizada o parcialmente recrystalizada

Si a causa de la deformación a altas temperaturas se obtiene una estructura re-crystalizada y luego se ejecuta el temple, esto no será el TTMA, sino que un tratamiento térmico ordinario, para el cual el temple se efectúa desde la temperatura de deformación.

A fin de suprimir la re-crystalización inicial se emplean grados bajos de deformación, para los cuales la temperatura de re-crystalización es suficientemente alta. Además, conviene elegir los regímenes en correspondencia con los diagramas de estados estructurales.

Los esquemas del TTMA que se utilizan para las aleaciones de aluminio, vienen representados en la fig. 14

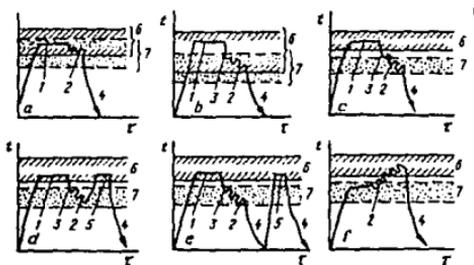


Fig. 14 Clasificación de las variantes del TTMA para aleaciones de aluminio en función del método aplicado para combinar las operaciones de temple y de deformación a alta temperatura (M.J. Rabinóvich):

1 - calentamiento y mantenimiento antes del temple; 2- conforma
ción por presión; 3 - pequeño enfriamiento hasta la temperatura
de deformación; 4 - enfriamiento rápido; 5 - calentamiento rei-
terado breve para el temple; 6 -intervalo de temperatura del

caldeo para el temple; 7 - intervalo de temperatura de ductilidad tecnológica. ((5))

En todas las variantes empleadas para ejecutar el TTMA se prevé el calentamiento hasta temperaturas correspondientes a la del calentamiento para la solución. Este calentamiento, efectuado por fuentes externas de calor, por lo común precede a la deformación a temperatura alta. Una excepción es el caso correspondiente al esquema en la fig. 14 f, cuando el calentamiento hasta la temperatura de temple se efectúa a cuenta del calor de la deformación. Las diferencias entre los tipos del TTMA están relacionadas con las condiciones en que se realiza la deformación.

Para distintas aleaciones de aluminio, la disposición mutua de las zonas de ductilidad tecnológica óptima y de temperaturas óptimas para el temple también difiere. Estas pueden solaparse (fig. 14 a, b) o bien encontrarse en diferentes intervalos de temperatura (fig. 14 c - f). Cuando las zonas de ductilidad óptima están solapadas se puede emplear el TTMA sencillo (fig. 14 a), en que la deformación se efectúa a temperaturas de calentamiento para el temple.

Para las aleaciones con solape de las zonas de ductilidad óptima y de homogeneidad, es aplicable el esquema complejo del TTMA (fig. 14 b), en el que después de calentar el artículo hasta las temperaturas máximas del temple, lo enfrían un poco hasta la temperatura de ductilidad tecnológica máxima y lo deforman. Puesto que después de haberlo enfriado, el material sigue permaneciendo en la zona de las temperaturas máximas del temple. La velocidad de enfriamiento puede ser arbitraria.

Si las zonas de temperaturas de temple óptimas y de ductilidad tecnológica óptima pertenecen a diferentes intervalos de temperatura, también se puede recu

rrir al esquema complejo del TTMA (fig. 14 c), pero el enfriamiento breve debe efectuarse con mayor rapidez para evitar la descomposición de la solución sólida.

La esencia del tratamiento térmico previo (TTMP) de las aleaciones de aluminio consiste en el hecho de que las propiedades de resistencia mecánica en los estados templado y envejecido se elevan mediante la deformación plástica previa. Los regímenes de dicho tratamiento en todo caso deben escoger de manera que durante el calentamiento para el temple no transcurran los procesos de recristalización y en el estado envejecido se observe un endurecimiento suplementario, ligado con la densidad elevada de los defectos en la estructura después de la deformación.

Para las aleaciones de aluminio, de hecho, comenzaron a emplear este tipo del tratamiento térmico antes de que apareciera este concepto. En realidad, el fenómeno de efecto de prensado anteriormente examinado, al pensar semiproductos no es otra cosa que el TTMP. En los estampados, piezas forjadas y planchadas también se puede lograr un endurecimiento estructural suplementario eligiendo correspondientemente los regímenes de deformación.

Durante el tratamiento térmico a baja temperatura (TTMB), la deformación en frío (tibia) después del temple se combina con el envejecimiento artificial o natural. Los más difundidos son los siguientes tipos del TTMB:

- 1) temple- deformación en frío (tibia)- envejecimiento artificial;
- 2) temple- envejecimiento natural-deformación en frío-envejecimiento artificial;
- 3) temple-envejecimiento artificial-deformación en frío -envejecimiento artificial.

Algunos tipos del TTMB se utilizan ya hace mucho para fabricar semiproductos.

Como ya se ha indicado muchas veces, los semiproductos de aleaciones endure

cibles por tratamiento térmico, se enderezan con grados pequeños de deformación. En este caso el envejecimiento artificial lo efectúan después de la deformación en frío plástica y, de hecho, éste pertenece al TTMB.

La adecuada elección de los regímenes óptimos del TTMB permite combinar la alta resistencia mecánica y la ductilidad, así como elevar en algunos casos la resistencia a la corrosión.

6.- LA INDUSTRIA DEL ALUMINIO EN MEXICO

En México la industria del aluminio se empezó a instalar hace sólo 40 años y, como la mayor parte de la industria y de otras actividades económicas, creció en un ambiente de protección ante la competencia internacional y aislada de las variaciones cíclicas que se registraban en el exterior. Si bien la protección sirvió para lograr cierto crecimiento interno en dimensión y en variedad de productos, el efecto negativo hoy en día, es el de una falta de competitividad en el mercado internacional, además de una insignificante participación del 0.2% en la producción mundial y por consiguiente un bajísimo nivel en el consumo anual per cápita (1.2 kg.).

Para fines del presente análisis se pueden distinguir dos niveles que conforman la industria nacional del aluminio: la producción de lingotes, tanto de aluminio de primera fusión como de aluminio reciclado; y la transformación, en la que se pueden identificar los sectores de: extrusión, laminación, papel (foil), alambón aleaciones, fundición y otros. (cuadro No.1)

Características de la planta productiva de la industria mexicana del aluminio ((8)) Cuadro 1.

SECTOR / CONCEPTO	CAPACIDAD INSTALADA ANUAL (TON)	DEMANDA 1968 (TON)	EMPLEO DIRECTO (PERSONAS)	INVERSION ACTIVO FIJO (MILL. DLLS.)	NUMERO DE PLANTAS	SUSTITUCION DE IMPORTACIONES (MILL. DLLS.)
Aluminio Primario Nacional	86 000	38 200	1 200	250	1	70
Aluminio Segundo Fusión	175 000	36 000	250	28	10	-
Aleaciones Secundarias	60 000	35 000	600	10	25	37
Extrusión	70 000	23 000	3 000	50	14	20
Laminación	55 000	18 000	1 200	90	8	15
Foil	12 000	8 600	500	50	2	16
Alambón	34 000	13 000	70	-	1	-
Fundición y Otros	128 000	26 700	3 000	20	140	37

Siguen después en la cadena: anodizadoras; distribuidoras de productos semiterminados; fabricantes de ensamblajes; enseres domésticos y empaques; producción de cables, y finalmente, la instalación de productos arquitectónicos.

A lo largo de toda esta cadena productiva se tiene estimado un universo de alrededor de 2750 empresas, que proporcionan trabajo directo a aproximadamente

60 000 personas.

La derrama salarial que genera, los efectos directos e indirectos en la creación de empleos, el pago de impuestos de los trabajadores y de las empresas, la sustitución de importaciones y su potencial para contribuir en la generación de divisas, así como su importancia estratégica en sectores prioritarios como la industria eléctrica y de telecomunicaciones, son factores que hacen a la industria del aluminio incuestionablemente importante.

Mientras que prácticamente todos los países defienden su industria aluminera, en México se ha seguido una política contradictoria; por un lado se encarece la energía eléctrica con una tarifa muy superior al promedio internacional y por otro lado, se protege a la producción (encarecida por esta elevada tarifa), con elevados aranceles para la importación tanto de lingotes y chatarra, como de productos semielaborados.

Ante las perspectivas de una mayor liberación comercial de México y frente a la imperiosa necesidad de la economía nacional de incrementar las exportaciones, la industria aluminera mexicana, con el apoyo del Gobierno Federal, deberá enfrentar los retos de la reconversión: invertir en incrementos en la productividad, eficiencia, calidad, investigación, nuevos productos, nuevos mercados, reciclaje, y eliminar o fusionar plantas que no sean competitivas.

6.1 CONSUMO NACIONAL APARENTE DE ALUMINIO.

El Consumo Nacional Apparente de aluminio ha sido el fiel reflejo de la situación económica del País, puesto que había registrado un crecimiento sostenido en todos sus sectores del 9% hasta el año record de 1981, superior al crecimiento de la economía nacional. Sin embargo, la crisis económica que ha padecido el

países en los últimos años ha frenado ese ritmo de desarrollo, y al igual que el resto de la industria, la del aluminio se ha visto severamente afectada.

El consumo nacional aparente de aluminio en 1986 fue de 96 228 t, lo que representa una disminución de cerca del 36% en relación con el año anterior y menos de la mitad del consumo del año record de 1981 (cuadro No. 2).

El consumo per cápita, que en 1981 había llegado a 3 kg. por persona, cayó a 1.2 kg en 1986, cifra similar a la de 1977 y una de las más bajas del mundo. Basa señalar que es Estados Unidos el consumo por habitante es cercano a los 27 kg.

Consumo nacional aparente de aluminio Cuadro 2
y por habitante ((6)) Toneladas métricas

AÑO	1986 *	1985 *	1984	1983	1982	1981	1980	1979	1978	1977
1. PRODUCCION DE ALUMINIO PRIMARIO	37,016	42,743	43,988	39,706	41,180	42,237	42,601	43,196	43,092	42,720
2. IMPORTACIONES LINGOTE ALUMINIO	16,072	35,730	26,047	10,842	32,341	58,785	63,510	56,092	39,416	8,733
3. IMPORTACIONES OTROS PRODUCTOS ALUM	39,744	68,716	34,451	12,887	62,707	82,894	49,439	36,357	29,235	16,340
4. RECUPERACION ALUM. SECUNDARIO	13,925	22,078	19,636	15,122	25,770	20,341	17,111	14,921	12,791	7,457
5. EXPORTACIONES LINGOTE	2,672	227	671	550	215	24	18	-	-	-
6. EXPORTACIONES OTROS PRODUCTOS	9,402	16,893	7,532	1,656	1,127	3,129	3,380	3,046	3,699	2,500
7. CONSUMO APARENTE (1)	94,883	152,147	115,969	76,351	160,161	202,104	169,263	147,520	120,335	72,692
8. INVENTARIO INICIAL	8,200	5,934	7,533	13,399	4,472	1,984	1,532	1,803	2,578	4,361
9. INVENTARIO FINAL	8,655	8,700	5,994	7,533	13,399	4,472	1,984	1,532	1,803	2,578
10. CAMBIO DE INVENTARIO	+ 1,545	- 2,766	- 1,559	+ 5,866	- 8,927	- 2,488	- 452	+ 271	- 775	+ 1,783
11. CONSUMO APARENTE (2)	96,228	149,941	117,528	82,217	151,234	199,616	168,811	147,791	121,110	74,475
12. POBLACION MEDIA (MILLONES)	78	75	73	72	70	68	67	64.7	62.5	60.4
13. CONSUMO POR HABITANTE (1) Kgs	1.2	2.2	1.6	1.06	2.3	3.0	2.5	2.2	1.9	1.2
14. CONSUMO POR HABITANTE (2) Kgs	1.2	1.9	1.6	1.14	2.2	3.0	2.5	2.2	1.9	1.2

(1) SIN CAMBIO DE INVENTARIO
(2) CON CAMBIO DE INVENTARIO
(*) CIFRAS PRELIMINARES

CONSUMO NACIONAL APARENTE POR SECTOR

En aluminio primario se registró la más baja producción de los últimos diez años, con sólo 37 000 t, mientras que se importaron alrededor de 16 000 t, principalmente para la fabricación de conductores eléctricos, rama que sin embargo redujo en 57% sus importaciones con relación a 1985.

Después de dos años de marcado crecimiento, el sector de aluminio de segunda fusión sufrió una fuerte reducción y su participación en el consumo global cayó

del 48% en 1985 a 40% en 1986. La importación de chatarra disminuyó en 56%. La gran contracción que sufrió la industria del aluminio en 1986, tuvo efectos desastrosos para la mayor parte de las empresas que la componen. Por sectores las disminuciones registradas en relación con 1985 fueron: extrusión 16.9%, lámina 20.5%, papel 13.3%, alambrcn 40.0%, y fundición y otros 55.6% (cuadros No. 3 y 4).

Consumo nacional aparente de la industria
del aluminio por sector ((6))

Cuadro 3
Toneladas métricas

AÑO	1986	1985	1984	1983	1982	1981	1980	1979	1978	1977
FACTURACION NACIONAL										
LAMINA CHAPA	15,694	19,755	16,615	14,961	19,336	22,941	25,140	23,713	20,915	18,900
PAPEL (FOLI)	8,626	9,945	6,473	7,724	8,369	8,214	8,547	7,763	5,945	5,521
EXTRUSION	22,629	27,237	19,969	17,584	32,033	36,284	34,413	31,111	23,993	19,059
POLVO Y PASTA	833	935	879	576	583	1,285	1,088	586	515	398
BARRAS PARA CONDUCTORES ELEC.	13,000	23,230	19,500	7,800	6,250	12,400	12,742	12,900	13,000	2,000
FUNDICION (1)	26,742	60,242	46,304	28,616	34,995	50,690	47,837	47,600	32,903	17,323
TOTAL NACIONAL	87,524	141,344	109,760	77,661	101,626	131,814	129,767	123,673	97,271	61,199
MENOS EXPORTACIONES										
	12,074	17,120	7,532	1,656	1,122	3,153	3,399	3,048	3,899	2,558
TOTAL CONSUMO NACIONAL	75,450	124,224	102,228	76,005	100,504	128,661	126,369	120,627	93,372	58,641
IMPORTACIONES										
LAMINA	15,540	15,556	11,774	2,239	24,803	18,072	13,588	13,992	12,277	10,261
PAPEL (FOLI)	1,236	978	741	608	2,679	3,015	3,151	2,446	1,784	951
EXTRUSION (2)	1,327	1,871	1,073	669	2,387	3,618	2,642	1,488	1,285	951
POLVO Y PASTA	324	326	357	211	299	428	264	232	197	203
BARRAS PARA CONDUCTORES ELEC.	95	5,043	175	1,903	15,610	31,704	13,064	6,572	8,580	2,442
OTROS PRODUCTOS DE ALUMINIO (3)	2,091	1,945	1,180	584	4,962	14,118	9,733	2,436	3,434	1,028
TOTAL IMPORTACIONES	20,613	25,717	15,300	6,212	50,730	70,995	42,442	27,164	27,538	15,824
RESUMEN										
TOTAL FACTURACION NACIONAL	75,450	124,224	102,228	76,005	100,504	128,661	126,369	120,627	93,372	58,641
TOTAL IMPORTACION (3)	20,613	25,717	15,300	6,212	50,730	70,995	42,442	27,164	27,538	15,824
CONSUMO NACIONAL APARENTE	96,063	149,941	117,528	82,217	151,234	199,616	168,811	147,791	121,110	74,475

(1) Dentro de este rengón se comprende una enorme variedad de productos fundidos, siendo casi imposible agruparlos. Uno de ellos, el de barras owa conductor eléctrico ya se contempla. Dentro de este rengón de fundición se incluye al correspondiente a la Industria Automotriz, pero por lo pronto no se tiene información completa.

(2) Comprende Barras Estruadas, Perfiles, Tubos y Elementos de Construcción.

(3) Excepto Lingote y Chatarra.

ESTRUCTURA DEL CONSUMO DEL

CUADRO 4

ALUMINIO EN PORCENTAJE ((6))

AÑO	1986	1985	1984	1983	1982	1981
CONSTRUCCION	17	12	11	13	15	13
TRANSPORTE	14	19	22	29	21	13
INDUSTRIA ELECTRICA	22	28	24	16	19	27
BIENES DE CONSUMO	5	8	9	12	8	8
ENVASES Y EMBALAJE	24	15	17	10	21	14
MAQUINARIA Y EQUIPO	8	8	11	6	6	9
OTRAS INDUSTRIAS	10	10	6	14	10	16
T O T A L	100	100	100	100	100	100

6.2. ALUMINIO PRIMARIO

Planta industrial

En 1963 se instaló el primero y hasta la fecha único productor de lingote de aluminio de primera fusión en México, ALUMINIO, S.A. DE C.V. Esta empresa inició con una capacidad de 22 000 t, misma que se incrementó a 44 000 a fines de los años sesenta. Su planta se encuentra ubicada en Veracruz, en donde se recibe la materia prima importada en forma de alúmina u óxido de aluminio, la cual se transforma, a través de un proceso electrolítico, en aluminio de alta pureza.

Durante 1987, ALUMINIO, S.A. DE C.V. incrementó su capacidad de aluminio primario en un 50% para alcanzar 66 000 t anuales, mediante una inversión de 64 millones de dólares.

Esta planta cuenta con la tecnología necesaria para hacerla competitiva en calidad a nivel internacional y cumplir ampliamente con los requerimientos del mercado doméstico.

Por otro lado, paralelamente al aumento de la capacidad de aluminio primario, ALUMSA inició la operación de su planta de reciclaje de aluminio con una capacidad instalada de 28 000 t por año.

ALUMSA da empleo a 1 200 personas, tiene inversiones por 250 millones de dólares, ahorra al país divisas por 70 millones de dólares anuales y es el punto de partida del proceso de transformación y fabricación de aluminio en México. Durante los últimos 10 años ALUMSA ha registrado una utilización de su capacidad, en promedio, cercano al 100% ; sin embargo, por factores que se verán más adelante, se presenta problemático el continuar con este nivel de utilización, a pesar de que el volumen de producción de aluminio primario de 66,000 tons. representa sólo la mitad del promedio del consumo nacional aparente registrado en los últimos 10 años.

COSTOS

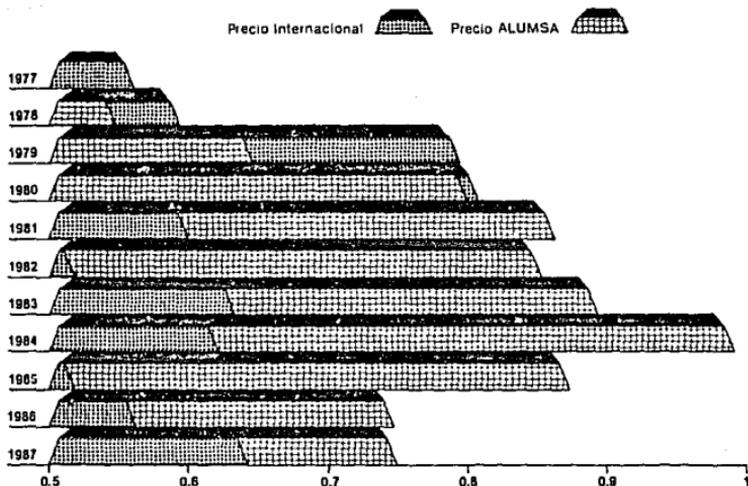
ALUMINIO, S.A. DE C.V. nació en pleno auge del modelo de desarrollo estabilizador, amparado por la política comercial de sustitución de importaciones y con los incentivos otorgados a través de la ley de Industrias Nuevas y Necesarias.

Desde el inicio de la presente década, el diferencial existente entre los precios internacionales se explica por el impacto de dos factores principales. El primero y más importante, fue el cambio de la política de precios de energía eléctrica de Comisión Federal de Electricidad que a principios de esta década se incrementó a más del doble, en términos reales, impactando severamente en el costo del lingote y por tanto en su precio de venta.

El segundo factor que incide en este diferencial de precios son las variaciones que se presentan cíclicamente en el precio internacional (gráfica No. 1).

PRECIO NACIONAL VS. PRECIO INTERNACIONAL ((8)) Gráfica 1

Precio nacional Vs. precio internacional



Dólares E.E.U.U. por libra

El término de la política proteccionista y el proceso de liberación comercial vinculado con la adhesión al GATT, configura una difícil situación para ALUMSA, ya que existe la amenaza de importación de lingote primario y la libre importación de chatarra; esto es a pesar de que ALUMSA ha bajado su diferencial de precios con el exterior, a solamente 17%, que es el nivel más bajo en los últimos 7 años.

En el origen de esta problemática se encuentra el drástico cambio en la política de fijación de las tarifas eléctricas que ocasionó un crecimiento del costo de la energía para ALUMSA, de 25 veces en el periodo 1980-1986, mientras que para la industria en general, la electricidad se incrementó sólo 12 veces.

La energía eléctrica representa el 30% del costo de fabricación de ALUMSA. Es

te elevado porcentaje, de los más altos del mundo, no es congruente con el consumo de electricidad que tiene ALUMSA y que es similar al de los grandes productores mundiales, pero que se explica si se comparan los costos de la energía eléctrica que tienen diversos fundidores, ALUMSA 0.023 dls/kwh; Brasil 0.012-0.016 dls/kwh; Venezuela 0.003-0.005 dls/kWh; Noruega 0.011-0.015; Canadá 0.006-0.007 dls/kWh; Australia 0.006-0.007 dls/kWh, etc., (cuadro No. 5).

Costo comparativo y consumo

Cuadro 5

de energía eléctrica en diversos países ((8))

	USD/KWH	KWH/TON.
MEXICO	0023	18500
BRASIL	0012 - 0016	17000 - 14300
VENEZUELA	0003 - 0005	16000 - 15000
NORUEGA	0011 - 0015	16800 - 15000
CANADA	0006 - 0007	16200 - 14300
ARGENTINA	0012	15800
AUSTRALIA	0006 - 0007	16000 - 14800

Es importante mencionar que antes del drástico cambio en las tarifas eléctricas, el precio ALUMSA en ocasiones llegó a estar por debajo de los precios internacionales. Aun cuando ALUMSA pudiera hacer esfuerzos por eficientar aún más su operación y abatir sus costos, aprovechando al máximo las ventajas de la economía de escala, la capacitación de la mano de obra, la optimización del manejo de materiales e inventarios, etc., se considera que el elevado costo de la electricidad continuará siendo el punto focal de su problemática, que afecta al resto de la cadena productiva.

DISTRIBUCION Y COMERCIALIZACION

La estructura de la demanda que atiende ALUMSA es la siguiente: transformadores con 60% del volumen; sector automotriz con 15%; sector fabricantes de cables con 12% y el sector de industria en general y otros con 13%. Las ventas son rea-

lizadas directamente de la planta al cliente, siendo las transacciones a través de distribuidores prácticamente nulas.

DEMANDA

El consumo nacional aparente de aluminio en general, incluyendo primario y secundario, creció de manera acelerada entre 1975 y 1981 pasando de 92 400 a 199 600 t; sin embargo, la crisis derivada de la caída de los precios del petróleo y sus graves efectos en la economía nacional, rápidamente redujeron el consumo que se ubicó en 1986 en el orden de 96 200 t.

Un comportamiento similar registró la demanda de lingote de primera fusión, que de 52 200 t en 1977 alcanzó un máximo de 97 300 en 1980 y en 1986 registró apenas 53 000 t (cuadro No. 6).

Consumo nacional de lingote
y chatarra de aluminio

Cuadro No. 6

AÑO	Toneladas métricas									
	1986	1985	1984	1983	1982	1981	1980	1979	1978	1977
LINGOTE DE ALUMINIO DE 1ª FUSION										
FACTURACION NACIONAL:										
PARA EXTRUSION	8.190	12.512	13.209	13.779	10.205	14.651	15.629	17.011	16.300	17.159
PARA LAMINACION	7.011	10.620	10.694	10.396	8.177	12.997	12.745	13.240	10.557	10.557
PARA FUNDICION	21.756	15.083	21.644	21.234	13.880	13.101	14.275	13.216	17.010	16.787
TOTAL LINGOTE NACIONAL 1ª FUSION	36.957	38.215	45.547	45.403	32.263	40.749	42.149	43.467	43.867	44.503
IMPORTACIONES:										
LINGOTE SIN ALEAR 1ª FUSION	13.006	30.367	22.846	8.577	13.778	29.147	37.527	38.559	27.106	5.490
LINGOTE ALEADO 1ª FUSION	3.067	5.363	3.201	2.084	17.401	20.154	17.668	11.927	8.371	2.205
TOTAL LINGOTE IMPORTADO 1ª FUSION	16.073	35.730	26.047	10.661	31.179	49.301	55.195	50.841	35.477	7.695
TOTAL CONSUMO LINGOTE 1ª FUSION	53.030	73.945	71.594	56.064	63.442	90.050	97.344	93.948	79.344	52.198
CHATARRA DE ALUMINIO										
RECUPERACION NACIONAL	13.925	22.078	19.636	15.122	25.770	29.127	24.108	24.114	15.988	7.968
IMPORTACIONES	19.130	42.999	19.151	6.856	12.629	18.270	14.312	14.804	7.636	1.549
TOTAL CONSUMO DE CHATARRA	33.055	65.077	38.787	21.978	38.399	47.397	38.420	38.918	23.624	9.517
RESUMEN:										
TOTAL LINGOTE DE 1ª FUSION	53.030	73.945	71.594	56.064	63.442	90.050	97.344	93.948	79.344	52.198
TOTAL CHATARRA	33.055	65.077	38.787	21.978	38.399	47.397	38.420	38.918	23.624	9.517
TOTAL CONSUMO LINGOTE Y CHATARRA	86.085	139.022	110.381	78.042	101.841	137.447	136.764	132.866	102.968	61.715

Como ya se indicó la capacidad de producción de ALUMSA fue hasta 1986 de

44 000 t con niveles de ocupación cercanos al 100% y prácticamente sin problemas para la colocación de sus productos. Por tal motivo, las fluctuaciones más importantes se han registrado en la importación de aluminio primario, que de 7 700 t en 1977 creció a 55 200 t en 1980 y bajó a 16 000 t en 1986.

Ante contracciones drásticas y repuntes insostenidos en la demanda, la expansión de ALUMSA afronta problemas por la importación de chatarra para segunda fusión, así como la eventual importación de lingote secundario y por la creciente amenaza de importación de lingote primario, al amparo del GATT y auspiciado por una sobre oferta a nivel mundial que abate cíclicamente el precio.

RESUMEN DEL SECTOR

Interna y externamente ALUMSA está acosada, su alto costo de producción derivado de la elevada tarifa eléctrica le impide competir en igualdad de circunstancias, tanto con la chatarra de importación, como con los fundidores internacionales.

La presencia de ALUMSA, si bien coyunturalmente obliga a precios superiores, garantiza el suministro y el ahorro en divisas, hace menos aleatoria la operación de las empresas, y por lo tanto es importante para toda la industria que ALUMSA esté en el mercado a precios competitivos internacionales y se le garantice un elevado consumo.

6.3 .ALUMINIO RECICLADO

6.3.1. Aluminio de Segunda Fusión

Planta Industrial

Siguiendo la tendencia mundial, el aluminio reciclado ha tenido un dinámico cre

cimiento en México, como respuesta al elevado costo del aluminio primario; sin embargo, el Gobierno sólo le ha permitido una participación complementaria en el abastecimiento nacional, evitando que su producción desplace al aluminio primario que se fabrica en México.

Existen 10 plantas productoras de lingote a partir de chatarra de calidad, integradas como empresas filiales o funcionando como centros de costo de empresas transformadoras de aluminio, tanto extrusoras como laminadoras.

Estimaciones de carácter general indican que la capacidad instalada con que cuentan es de poco más de 175 000 t anuales, que implica una inversión del orden de 28 millones de dólares y genera empleos para aproximadamente 250 personas.

La tecnología y equipos con que cuentan es de regular a buena y cumple satisfactoriamente con las normas internacionales. Los productos que se fabrican son lingotes de aleaciones de las series 1000, 3000, 5000, y 6000, cuyas exigencias de control son más estrictas por parte de sus clientes y socios.

COSTOS

La estructura de costos está definitivamente determinada por el costo de la chatarra, que significa usualmente el 95% del costo total; la mano de obra impacta en 1.2% y los energéticos, principalmente gas natural 1.2% (cabe señalar que se requiere sólo cerca del 5% de la energía que se emplea en aluminio primario) y otros insumos y materiales 2.2%.

La chatarra nacional, cuya oferta es limitada, tiende a igualarse con el precio de la chatarra importada, por lo cual finalmente impacta en la misma forma en los costos y afecta a toda la cadena productiva.

DISTRIBUCION Y COMERCIALIZACION

No se tienen significativos problemas de distribución y comercialización, ya que las plantas producen fundamentalmente para el autoconsumo de las empresas transformadoras a las cuales están integradas y les venden sus productos a precios de transferencia.

Tampoco se registran mayores problemas de transporte, ya que usualmente están ubicadas junto a sus clientes.

DEMANDA

Se estima que la producción en 1986 fue del orden de 76 000 t, que significa un aprovechamiento del 44% de la capacidad instalada, incluyendo el reciclaje interno.

La contribución del aluminio de segunda fusión en el consumo global es baja, ya que como se indicó, sólo en ocasiones es posible la importación de cantidades limitadas exentas de arancel de chatarra. Actualmente, la limitación consiste en que el 25% del consumo lo abastece ALUMSA a un precio reducido, equiparable al precio internacional, más el costo imputable de internación, para evitar la importación de chatarra.

Este convenio temporal acordado por los transformadores y el productor primario y sancionado por el Gobierno, logra que esta porción le adquiera el productor secundario al precio internacional, evitando la salida de divisas y procurando la plena ocupación de la planta de aluminio primario.

A pesar de que la tendencia mundial es la de producir masivamente aluminio reciclado, en México estas empresas sólo eventualmente maquilan para otras compañías, ya que las escasas disponibilidades de materia prima y su excesivo costo

to, limitan la oferta y determinan la demanda.

6.3.2. ALEACIONES SECUNDARIAS

Planta Industrial

Se estima que existe aproximadamente 25 empresas productoras de aluminio reciclado a partir de la chatarra, las que conjuntamente poseen una capacidad de producción de 60 000 t como mínimo. Los datos no son precisos porque existen varias empresas propiamente informales.

El aluminio reciclado de chatarra, llamado en el medio aleación secundaria, tuvo una producción estimada de 40 000 t en 1985 y de 35 000 t en 1986, lo que representa un nivel de aprovechamiento de 66% y 58% respectivamente, considerando en forma conservadora la capacidad instalada.

En términos generales se puede considerar que los procesos de producción en este sector, cuentan con una tecnología entre regular y buena, a pesar de que en la mayoría se requiere de equipo más moderno y de una eficiente promoción de la reconversión. Obviamente en las empresas con un grado tecnológico casi artesanal, la reconversión es prácticamente imposible.

Por lo general la calidad del lingote que se produce es prácticamente tan bueno como el aluminio primario en la mayoría de sus aplicaciones; sobre todo las empresas más importantes de aleaciones secundarias, cumplen satisfactoriamente con las normas internacionales.

Con una inversión estimada del orden de 10 millones de dólares, este sector ocupa aproximadamente 600 personas, y está en condiciones de satisfacer al mercado nacional potencial de mediano plazo y de participar activamente en la exportación, como de hecho ya lo ha venido haciendo. En este sector las divisas que

se ahorran por sustitución de importaciones es del orden de 37 millones de dólares.

COSTOS

Debido a que existen grandes diferencias entre las empresas mejor organizadas y las empresas propiamente informales, la estructura de costos puede tener grandes diferencias; sin embargo, es básicamente similar a la de los productores de lingotes para extrusión y laminación, pero por ser la producción de lingote su principal operación, tiene costos y gastos adicionales a los directos de producción.

En este sector su principal problema han sido las trabas para la importación de chatarra, inicialmente por el requisito de permiso previo y luego por la fijación de un arancel y un precio oficial de tal forma elevados, que hacían prohibitiva su importación.

Siendo indispensable la importación de chatarra, ya que la oferta nacional es suamente restringida, tal medida afecta directamente a este sector y encarece la producción a todo lo largo de la cadena.

DISTRIBUCION Y COMERCIALIZACION

La estructura comercial en este sector es muy sencilla ya que las ventas se realizan directamente de industria a industria; sin embargo, debido a que la producción se polariza en Monterrey y en México, mientras que la demanda se presenta prácticamente en todo el país, los costos de flete impactan en una forma muy importante, sobre todo porque el proceso de fabricación de aleaciones presenta un bajo valor agregado, muy sensible a los costos de transporte.

Este sector debe mantener un elevado nivel de inventarios de materia prima, con el agravante de que para su compra debe adquirir primero los dólares, hacer el envío de la remesa y esperar la chatarra, es decir efectúa sus pagos por anticipado.

En cambio, las contracciones importantes en la demanda se han traducido en una lucha interna entre competidores, que obliga a dar a los clientes un plazo de usualmente 30 días.

El pago de las compras por anticipado y el crédito a clientes, es una combinación que significa un altísimo costo financiero, sobre todo en épocas de gran inflación, afectando gravemente el poder adquisitivo del capital de trabajo y comprometiendo la estructura financiera de las empresas.

DEMANDA

Como se ha señalado anteriormente, en los países con energía eléctrica cara, el aluminio producido a partir de la chatarra ha tenido éxito; cabe señalar que en Estado Unidos ha crecido a una tasa anual de 2.4% en los últimos 10 años, mientras que el primario ha disminuido a una tasa de 0.6%.

Actualmente: Estados Unidos recicla 1.7 millones de toneladas anuales, que representa el 26% de su oferta total.

En México se está incrementando la producción primaria de aluminio, al contrario de los países con un costo de energía eléctrica alto, que están reduciendo sus capacidades instaladas, mientras que en los países con tarifas eléctricas bajas, se registran incrementos en la producción primaria.

En México las principales industrias que demandan aluminio secundario en aleaciones para fundición, son: automotriz, eléctrica, electrodoméstica, electrónica

y aeronáutica. La demanda se había mostrado creciente como respuesta al alto costo del aluminio primario, pero fue frenada por los controles a la importación de chatarra y por la recafda del consumo global, que afecto en 13.0% a este sector en 1986.

De permitirse una competencia más abierta, es altamente probable que este sector se desarrollara en gran medida, ya que es lo más rentable a corto plazo, requiere menos capital intensivo y basa su operación en la venta de grandes volúmenes con bajos márgenes de utilidad; sin embargo, si no se pueden surtir esos grandes volúmenes, deja de ser competitivo.

RESUMEN DEL SECTOR

Los ínfimos niveles de ocupación de la capacidad instalada obedecen, primero, a un bajísimo nivel de 1.2 kg por habitante, cifra de las más bajas en el mundo; en segundo lugar por la protección al productor de aluminio primario que es al mismo tiempo proveedor y competidor; y tercero, por obstáculos y falta de incentivos gubernamentales para realizar programas integrales orientados a la exportación.

6.4. EXTRUSION

Planta industrial

Existen 14 empresas que se dedican a este sector de la transformación, empleando como materia prima fundamental el lingote de aluminio, tanto primario como secundario; en total se cuentan con 28 prensas extrusoras de diferentes características y capacidades.

La capacidad de presión de las prensas, la antigüedad y condiciones del equipo,

y de manera muy significativa la cantidad o mezcla de productos que se fabrican, son elementos que modifican los rendimientos de la capacidad instalada, la cual en su conjunto se puede estimar conservadoramente en 70 000 t anuales, que en 1986 fue aprovechada sólo en una tercera parte.

En este sector se registró un gran crecimiento de la capacidad instalada que acompaño al efímero auge del periodo 1978 - 1981 y que sufre asimismo los graves problemas del derrumbe económico. Las instalaciones y el equipo en general son modernos y eficientes salvo algunos casos en que se cuenta con equipo con cerca de 25 años de antigüedad.

Los productos fabricados cumplen satisfactoriamente con las normas de calidad aceptadas mundialmente.

Se estima que la inversión en activos fijos en este sector es de aproximadamente 50 millones de dólares y que genera empleos para 3 000 personas. Contribuye asimismo a sustituir importaciones por 20 millones de dólares anuales.

COSTOS

Una estimación global de costos en este sector indica que del valor de las ventas totales, el 75% es costo directo de producción, 15% gastos de operación y 12% gastos financieros, de donde se desprende una operación deficitaria que ha descapitalizado en mayor o menor medida a todas las empresas.

Esta situación es generada por un esquema que se repite en la mayoría de los sectores: altas inversiones para expansión; fuertes endeudamientos principalmente en moneda extranjera; elevados costos por materia prima; inaccesibilidad a importación de materia prima más barata; desplome de ventas; alto costo fijo por unidad producida; insuficiente generación de efectivo; mayor endeudamiento; altísimos

gastos financieros; competencia ruinosa para ganar clientes; deficientes sistemas de distribución; amenaza de desplazamiento por la importación de sus productos; etc.

Los costos de extrusión se agravan debido a la amplia gama de productos con bajos volúmenes, que implican corridas cortas de producción y frecuentes cambios de dados, que disminuyen grandemente la productividad.

DISTRIBUCION Y COMERCIALIZACION

En este sector se tiene un costoso sistema de distribución, que obliga a ciclos de más de 120 días en la rotación del activo circulante.

La falta de normas de estandarización presiona a la producción de una exagerada gama de productos, sobre todo en las condiciones de un mercado sumamente competido.

La distribución al consumidor final se realiza por medio de los siguientes canales:

- Distribuidores que a su vez venden a fabricantes de productos para la construcción (perfiles arquitectónicos).
- Distribuidores de metales en general, que a su vez venden a la industria productos estandar (barras, ángulos, etc.)
- Fabricantes de la industria en general (perfiles específicos)
- Fabricantes de equipo para riego (tubos)
- Fabricantes mayores de productos para la construcción (ventanas prefabricadas).

DEMANDA

Los productos de extrusión están constituidos básicamente por perfiles. Se dis

tingue entre perfiles sólidos y huecos. En ambas categorías existe una infinidad de diseños que se usan en más del 50% en la industria de la construcción: ventanas, puertas, cancelas, fachadas, etc. El resto está destinado a varias industrias tales como: eléctrica, de transporte, de muebles, línea blanca, así como la de máquinas electrónicas y de oficina. Un pequeño porcentaje se emplea en sistemas de riego agrícola (tubos).

La extrusión es uno de los sectores que más ha resentido la crisis, ya que está muy orientado a la industria de la construcción, que es una de las más sensibles ante cambios en la actividad económica.

La competencia en el mercado de la construcción la tienen las extrusiones con el acero, el plástico y la madera, siendo desventajas la participación del aluminio para fines estructurales. En la industria se compete con el acero, cobre, bronce y latón, y en irrigación el plástico está ganando terreno sobre todo para la conducción subterránea. Debido a la competencia, las extrusiones han tenido que adaptar sus precios, comprimiendo peligrosamente sus márgenes.

Después del desplome de las ventas en los años 1982-1983 y de la fugaz recuperación de 1984-1985, los niveles de 1986 son similares a los de hace 15 años, manteniéndose ociosa la capacidad instalada en más del 60% (cuadro No. 7)

RESUMEN DEL SECTOR

El problema fundamental de las extrusiones, es el de tener que recibir excesivamente caro tanto el lingote de aluminio primario, como el de segunda fusión.

La gama extremadamente amplia de productos que transforma, reduce sensiblemente la productividad, incrementa costos y absorbe los márgenes de utilidad.

Consumo nacional aparente
de extrusiones ((6))Cuadro 7
Toneladas métricas

AÑO	1986	1985	1984	1983	1982	1981	1980	1979	1978	1977
FACTURACION NACIONAL										
CONSTRUCCION	6,412	8,716	5,111	4,494	10,664	9,379	8,447	7,675	5,086	3,693
TRANSPORTE	423	878	736	685	1,097	1,655	1,678	1,836	1,019	649
INDUSTRIA ELECTRICA	490	630	394	441	881	2,001	1,564	1,369	823	479
IRRIGACION	662	630	415	286	440	582	537	973	685	527
LINEA BLANCA	270	418	303	612	1,501	1,534	1,724	1,355	1,271	1,286
MUEBLES	101	122	81	229	525	591	657	516	484	490
INDUSTRIAS VARIAS	3,557	4,517	4,803	3,641	4,260	5,162	5,829	4,562	4,297	4,347
DISTRIBUIDORES CONSTRUCCION	7,148	8,404	6,419	5,561	9,815	12,625	11,338	10,372	8,366	6,146
DISTRIBUIDORES INDUSTRIAL	2,556	2,922	1,947	2,035	2,910	2,885	2,659	2,433	1,962	1,442
TOTAL FACTURACION NACIONAL	27,629	27,237	19,989	17,984	32,093	36,284	34,413	31,111	23,993	19,059
IMPORTACIONES										
BARRAS EXTRUIDAS	385	1,152	228	171	469	1,000	726	365	477	136
PERFILES	83	31	185	77	317	1,078	494	199	72	122
TUBOS	773	639	648	222	1,019	904	1,049	863	685	610
ELEMENTOS PARA CONSTRUCCION	86	49	12	199	582	561	373	59	52	82
TOTAL IMPORTACIONES	1,327	1,871	1,073	669	2,387	3,543	2,642	1,486	1,285	950
RESUMEN										
TOTAL FACTURACION NACIONAL	27,629	27,237	19,989	17,984	32,093	36,284	34,413	31,111	23,993	19,059
TOTAL IMPORTACIONES	1,327	1,871	1,073	669	2,387	3,543	2,642	1,486	1,285	950
CONSUMO NACIONAL APARENTE	23,956	29,108	21,062	18,653	34,480	39,827	37,055	32,597	25,278	20,009

6.5. LAMINACION

Planta industrial

Existen en México 6 plantas con una capacidad instalada de laminación de 55 000 t de productos semelaborados. En la zona metropolitana de la Ciudad de México se ubican 5 de ellas y la otra en el Estado de Puebla.

En este sector coexisten empresas cuyos equipos pudieran considerarse obsoletos, con otras empresas con tecnología avanzada y equipos modernos, suficientes y eficientes para los propósitos de un mercado relativamente pequeño y poco sofisticado como es el nacional.

La fabricación de los laminados se realiza con las normas de calidad de Aluminum Association que tienen aceptación mundial y con las cuales se cumple satisfactoriamente.

Dos empresas utilizan primordialmente el proceso de colada continua y las otras

emplean laminadores en caliente. El valor de la inversión en este sector se estima en 90 millones de dólares y da empleo a aproximadamente 1 200 personas. Sustituye importaciones por 15 millones de dólares.

En el periodo 1982-1986 la capacidad instalada se ha aprovechado en promedio entre un 50 y 60 % considerando que se producen también alrededor de 14 000 t anuales de lámina para la fabricación de papel de aluminio (foil stock).

COSTOS

En este sector el principal componente de su costo es el lingote de aluminio, cuya participación promedio en el costo total de laminación se estima entre el 60 y el 70 %.

Un factor de particular importancia en los costos de laminación, es el derivado de la práctica de elaborar una enorme variedad de medidas en lotes muy pequeños, que obligan a una baja recuperación de material y a constantes cambios que provocan lentitud y baja eficiencia en la producción.

Es decir, la falta de estandarización impide aprovechar los beneficios de las capacidades con mayor escala y la falta de especialización en el sector, permite irrestrictamente a los clientes colocar varios pequeños pedidos del mismo producto en diferentes laminadores.

DISTRIBUCION Y COMERCIALIZACION

Debido al abatimiento de la demanda, los productores se han visto obligados a aceptar un número ilimitado de dimensiones en los productos que directamente les solicitan los consumidores. Se estima que las ventas directas de fábrica representan el 80% del total y el 20% restante se efectúa por medio de distribuido

res.

DEMANDA

Conjuntamente con las extrusiones, este sector fue el que mayormente resintió el desplome del mercado. Después de haber tenido una importante tasa de crecimiento del 14.0% anual de 1977 a 1980, de 1980 a 1986 ha tenido una tasa negativa de 7.6% anual, bajando de un máximo de 25 000 t en 1980 a 16 000t en 1986 (cuadro No. 8)

Consumo nacional aparente

Cuadro 8

de lámina y chapa ((6))

Toneladas métricas

AÑO	1986	1985	1984	1983	1982	1981	1980	1979	1978	1977
FACTURACION NACIONAL										
CONSTRUCCION	1,474	624	111	134	98	172	330	243	184	185
TRANSPORTE	338	1,120	2,129	1,485	1,883	2,247	2,376	2,127	1,168	519
INDUSTRIA ELECTRICA	464	1,727	1,529	1,671	1,891	1,931	1,919	1,791	1,373	720
CORRUGADO	542	753	281	111	202	332	229	178	254	280
LITOGRAFIA	141	591	566	567	689	845	918	614	848	528
LINEA BLANCA	669	1,037	1,164	824	1,432	1,493	1,466	1,199	1,693	2,053
UTENSILIOS DOMESTICOS ^{///}	6,581	5,220	-	-	-	-	-	-	-	-
TAPAS Y TAPONES ^{2/}	284	74	-	-	-	-	-	-	-	-
INDUSTRIAS VARIAS	2,545	2,825	6,960	7,184	9,018	11,202	11,321	10,841	10,613	9,519
DISTRIBUIDORES	2,656	5,784	3,875	3,005	4,123	4,831	6,581	6,720	4,784	3,096
TOTAL FACTURACION NACIONAL	15,694	19,755	16,615	14,961	19,336	22,941	25,140	23,713	20,915	16,900
IMPORTACIONES										
LAMINA PARA ABREFACTIL	14,599	14,380	11,425	1,947	23,680	16,187	11,527	11,479	11,246	9,952
PARA OTROS USOS	941	1,176	349	292	1,143	1,885	2,085	2,513	1,031	309
TOTAL IMPORTACIONES	15,540	15,556	11,774	2,239	24,803	18,072	13,588	13,992	12,277	10,261
RESUMEN:										
TOTAL FACTURACION NACIONAL	15,694	19,755	16,615	14,961	19,336	22,941	25,140	23,713	20,915	16,900
TOTAL IMPORTACIONES	15,540	15,556	11,774	2,239	24,803	18,072	13,588	13,992	12,277	10,261
CONSUMO NACIONAL APARENTE	31,234	35,311	28,389	17,200	44,139	41,013	38,728	37,705	33,192	27,161

En 1986 la estructura porcentual de venta en este sector fue de: 42% a la fabricación de utensilios domésticos; 17% a distribuidores; 16% a industrias varias; 13% a construcción y corrugado; 3% a la industria eléctrica y 9% a transporte, litografía, línea blanca y tapas y tapones.

Las causas más importantes que se han detectado en los diversos segmentos

del mercado y que originan la caída en las ventas son las siguientes:

Transporte.- Falta competitividad con los productos de acero, debido a una combinación de diferencia desfavorable en precios y falta de promoción e ingeniería en diseño con aluminio.

Industria eléctrica.- El Gobierno ha cancelado prácticamente los programas de electrificación y de inversión en el sector eléctrico.

Construcción y corrugado.- Se ha tenido un importante crecimiento, pero para sostenerlo, se requiere tener acceso a desperdicios de aluminio de baja pureza.

Litografía.- Debido a su bajo volumen y falta de estandarización, el producto nacional es costoso.

Línea blanca.- Se enfrentan desplazamientos por productos sucedáneos de menor precio, básicamente plásticos y lámina galvanizada.

Utensilios domésticos.- Tendencia lenta a sustitución por el acero. La falta de estandarización y la inescrupulosidad de un creciente número de pequeños fabricantes, dañan la imagen del producto por su mala calidad.

Tapas y tapones.- Compete en condiciones desventajosas con el plástico.

Industrias varias.- Problemas diversos interrelacionados.

Distribuidores.- Hay tendencia de los fabricantes a reducir el intermediarismo.

En lo referente al comercio exterior, es en este sector en donde se registran las importaciones más cuantiosas, ya que se importa casi otro tanto de la facturación nacional, debido a las importaciones de materiales para producir el llamado bote abre-fácil, que todavía no se fabrica en el país. La importación de otros productos más sofisticados que no se elaboran internamente, se ha venido dando en bajas proporciones y sin afectar a la industria nacional.

RESUMEN DEL SECTOR

La capacidad instalada está sobredimensionada, en 1986 estuvo ociosa alrededor del 40%

El costo de su principal materia prima representa entre el 60 y 70% de su costo total y está afectado por las repercusiones de la elevada tarifa eléctrica.

Falta estandarización en los productos y racionalización en el mercado, lo que incide en altos costos.

6.6. PAPEL ALUMINIO (FOIL)

Planta industrial

Existe dos empresas en este sector: Almexa Aluminio, S.A. de C.V., y Reynolds Aluminio, S.A., ambas en el Edo. de México. En los dos casos se trata de empresas que integran asimismo otros procesos de transformación, como los de extrusión y laminación.

La tecnología es moderna y eficiente para los requerimientos mayoritarios del mercado nacional y proviene de Aluminum Company of America (ALCOA), y de Reynolds International.

Los principales equipos con que cuentan son: 10 laminadores, separadoras, hornos de calentamiento y 9 enrolladoras .

Se tiene una capacidad instalada de 12 000 t anuales, cuyo aprovechamiento fue del 83% en 1985 y del 72% en 1986, ya que se facturaron 9 900 t y 8 600 t respectivamente, siendo la de 1985 la facturación nacional record, aun cuando el consumo nacional aparente más alto, se registró en 1980 con 11 700 t, lo cual indica que en buena medida, se han venido sustituyendo las importaciones de estos productos. La sustitución de importaciones significa 16 millones de dólares.

En este sector se tiene una inversión estimada en 50 millones de dólares, que da trabajo a aproximadamente 500 personas.

COSTOS

La materia prima principal es la lámina de aluminio en calibres de 350 a 500 micras y en diferentes anchos. Los energéticos que se emplean en los procesos son electricidad y gas, que conjuntamente con los aceites de laminación, constituyen los principales insumos del foil natural.

En este sector se tiene una baja rotación del activo fijo, ya que es intensivo en capital, a todo lo largo del proceso productivo.

Los costos se incrementan por tiempos muertos derivados de un alto porcentaje de cambios, ya que se tienen lotes pequeños de producción, pues usualmente los pedidos son específicos para cada cliente y obligan a una baja recuperación de material.

También se registra un elevado requerimiento de capital de trabajo para operar, ya que son necesarios altos inventarios de materia prima, productos en diversas etapas de proceso, insumos, productos terminados, etc. que en total hacen que el foil tenga un ciclo de más de 110 días.

DISTRIBUCION Y COMERCIALIZACION

La distribución de foil se hace principalmente en forma directa a los consumidores finales que lo emplean en la fabricación de productos farmacéuticos y alimentos, en etiquetas y marbetes de bebidas y licores, como impermeabilizantes en la industria de la construcción, y en el empaque de cigarrillos.

Otro grupo de productores de foil de aluminio, lo conforma el foil para uso doméstico

tico que es distribuido a través de grandes mayoristas y tiendas de autoservicio.

DEMANDA

El consumo nacional aparente de foil registró un crecimiento constante en el periodo 1977-1980; a partir de ese año se tienen otros cuatro años de disminución y después de un alentador repunte en 1985 se tuvo otra caída de 10% en 1986, ubicándose el consumo en el orden de 9 900 t, de las cuales se importaron 12.5% (cuadro No. 9).

Consumo nacional aparente
de papel aluminio ((6))

Cuadro 9
Toneladas métricas

AÑO	1986	1985	1984	1983	1982	1981	1980	1979	1978	1977
FACTURACION NACIONAL										
CIGARROS	1.183	1.150	799	1.037	1.584	1.468	1.879	1.096	888	791
CONDENSADORES	767	1.323	311	149	144	166	63	106	43	40
EMPAQUE	1.918	2.139	1.757	2.008	2.164	2.175	3.171	2.999	3.049	2.881
CHOCOLATES Y DULCES	1.157	1.188	833	878	1.017	862	680	1.218	258	146
INDUSTRIAS VARIAS	1.437	2.046	729	1.263	1.303	1.304	1.026	1.320	1.567	1.562
DISTRIBUIDORES	2.164	2.099	2.044	2.391	2.157	2.239	1.728	1.024	140	101
TOTAL FACTURACION NACIONAL	8.526	9.945	6.473	7.724	8.389	8.214	8.547	7.763	5.945	5.521
IMPORTACIONES	1.236	976	741	606	2.679	3.015	3.151	2.446	1.764	951
CONSUMO NACIONAL APARENTE	9.862	10.921	7.214	8.330	11.068	11.229	11.698	10.209	7.709	6.472

La demanda de foil está muy fragmentada. En 1986 las industrias consumidoras más importantes fueron: empaque con el 22%; cigarros 14%; chocolates y dulces 13%; condensadores (que registró una caída del 42% en 1986) con el 9%, y el resto a industrias varias y distribuidores.

RESUMEN DEL SECTOR

El sector es moderno y eficiente, con capacidad de satisfacer las necesidades del mercado nacional y para exportar. Registra costos elevados por la materia

prima y por los costos fijos, y también le afectan los gastos financieros por requerir de elevados inventarios.

6.7. ALAMBROON PARA CONDUCTORES ELECTRICOS

Planta Industrial

El alambroon de aluminio que se emplea por las empresas fabricantes de conductores eléctricos se produce en México por una sola empresa: Conalum, que cuenta con una capacidad instalada de 34 000 t anuales en su planta ubicada en Puebla.

Los fabricantes de cable de aluminio, que emplean alambroon como materia prima son: IUSA, Conductores Monterrey, Condumex, y Conelec, con plantas ubicadas en el Norte, Occidente y Centro del país, y que en conjunto cuentan con una capacidad instalada de 50 000 t.

La producción nacional de alambroon dió un salto, desde 2 000 t en 1977 a 13 000 t en 1978, manteniéndose en esos niveles hasta 1981; en 1982 la producción se desplomó a 6 250 t y logró recuperarse en los años siguientes hasta una cifra récord de 23 230 t en 1985, para registrar otro retroceso en el último ejercicio, que ubicó la producción a un nivel idéntico que en 1978 (Cuadro No. 10).

Consumo nacional aparente
de barras (alambroon) ((6))

Cuadro 10
Toneladas métricas

AÑO	1986	1985	1984	1983	1982	1981	1980	1979	1978	1977
PRODUCCION NACIONAL	13.000	23.230	19.500	7.800	6.250	12.400	12.742	12.900	13.000	2.000
IMPORTACIONES	95	5.043	175	1.903	15.810	31.704	13.064	6.572	8.580	2.447
TOTAL CONSUMO APARENTE DE BARRA PARA CONDUCTOR ELECTRICO	13.095	28.273	19.675	9.703	21.860	44.104	25.806	19.472	21.580	4.447

Por su parte, la producción de cables de aluminio registra un comportamiento cíclico, de crecimiento acelerado en el período 1977-1981 para alcanzar una cifra máxima de 43 125 t, y retroceso para caer a 14 350 t en 1983; repunte en 1984 y 1985 para llegar a 32 000 t y nueva caída en 1986, ubicándose en 15 879 t.

El aprovechamiento de la capacidad instalada de producción de alambroón ha sido en los últimos tres ejercicios de: 57.4%, 68.3% y 38.2%; mientras que en cable se han registrado: 40.1%, 64.0% y 31.7% respectivamente.

La tecnología que emplean estas empresas, siendo extranjera, está integrada y desarrollada en México en 35 años de experiencia, por lo que se considera y se reconoce que su calidad cumple satisfactoriamente con las normas nacionales e internacionales, así como las especificaciones de sus principales clientes: CFE, CLFC, TELMEX, SCT, etc.

Los equipos y procesos con los que se cuenta en alambroón son principalmente homos, colada continua y laminadora; mientras que en cable se tiene estirado, cableado y extrusión.

Cabe señalar que para el control de calidad se tienen laboratorios integrados en las fábricas.

COSTOS

Las materias primas fundamentales son: en el alambroón, el lingote de aluminio, y en cable, el alambroón, cinta de aluminio laminada, acero alto carbono galvanizado, plásticos y elastómeros. Los energéticos empleados son electricidad y gas natural, y como materiales complementarios, grasas, lubricantes y dados. En estos productos se tiene una elevada incidencia en la estructura de costos del precio de la materia prima, que en el caso del alambroón está determinado

por el lingote primario, con todos los problemas que ya se han referido. En el caso de la fabricación de cable, se registra una mezcla de costos de materias primas, ya que se importa lingote primario directamente por los fabricantes de conductores, libremente y sin arancel; además de que también se importa en cantidades usualmente importantes el alambón de aluminio.

En este contexto, el productor nacional de alambón recibe y repercute los altos costos de la materia prima, situación por la cual su demanda baja ante la competencia de las importaciones baratas, agravando aún más la situación del fabricante nacional por mantener ociosa la mayor parte de su capacidad y no poder acceder a las economías de escala.

DISTRIBUCION Y COMERCIALIZACION

Por ser un mercado perfectamente identificado, la gran mayoría de las ventas se realizan directamente de las fábricas a los clientes. Sin embargo, en el caso de los cables, cuyas ventas se efectúan en gran medida a empresas paraestatales, están sujetas a concursos y debido a los problemas de las finanzas públicas, son frecuentes las cancelaciones y modificaciones en los pedidos, así como una gran incertidumbre en los pagos.

También los fabricantes de cable reportan problemas de financiamiento de su cartera de clientes, mientras que ellos no reciben financiamiento en la compra de sus materias primas.

DEMANDA

Como ya se indicó, la demanda de cables de aluminio se realiza para líneas de transmisión y distribución de energía eléctrica, tanto aérea como subterránea, y

para su empleo en las telecomunicaciones.

El consumo nacional de alambraón, que registró un crecimiento vertiginoso de 1977 a 1981 al pasar de 4 442 t a 44 104 t, estuvo alimentado principalmente por importaciones, las cuales rebasaron a la producción nacional en los tres primeros años de la presente década. La crisis económica y los problemas cambiarios han abatido tal proporción a alrededor del 23% en los años 1983 y 1985 e inferior al 1% en los años 1984 y 1986.

Más difícil ha sido la sustitución de las importaciones de lingote de aluminio primario, que realizan los fabricantes de cable, la cual ha rebasado siempre a los volúmenes de producción nacional de alambraón, incluso hasta antes de 1983, con más del doble. En los últimos 3 años, las importaciones de lingote de aluminio primario sin alear han sido de 22 846, 30 367, y 13 006 t.

La competencia más importante que tiene el aluminio como conductor eléctrico, es el cobre, ya que éste tiene un 100% de conductividad, mientras que el aluminio tiene 61%. En peso el cobre tiene 8.89% kg/dm³ y el aluminio 2.70kg/dm³. Puede decirse que ambos tienen características que les permitirán compartir el mercado, mientras no se desarrollen comercialmente los llamados superconductores.

6.8. FUNDICION Y OTROS

Planta industrial

Dentro de este sector se comprenden una gran variedad de productos, siendo casi imposible agruparlos. Destaca la participación de empresas orientadas a la fabricación de partes automotrices y para la industria eléctrica, pero incluye no solamente a fundidores que producen, por inyección a presión y por otros proce

tos, piezas terminadas o intermedias, sino también a todos los demás productores, transformadores de lingotes, que no se pueden incluir en los demás sectores, cuyos productos son utilizados prácticamente en todos los ramos industriales, ya sea como partes, como componentes, o como productos terminados. En este amplio sector se agrupan a los fabricantes de piezas o productos vaciados en aluminio y sus aleaciones, que utilizan los siguientes procesos:

1. Vaciado en arena
2. Fundición en molde permanente
 - a) Por gravedad
 - b) Centrifugado
 - c) Baja presión
3. Inyección a presión

La inversión en cuanto a equipo y tecnología es sumamente diversa desde pequeñas fundiciones de arena con una mínima infraestructura, hasta empresas altamente integradas con la más moderna tecnología y sofisticados equipos de fundición a presión. En su conjunto se tiene una inversión del orden de 20 millones de dólares y se estima que ahorra en divisas 37 millones de dólares.

Por lo disperso de este sector, se tiene muy poca información, frecuentemente inferida y por exclusión, lo que ciertamente implica márgenes de error. El número de empresas se ubica alrededor de 140, de las cuales aproximadamente el 90% son microempresas y el 10% son medianas y grandes; las 4 más importantes se encuentran afiliadas al Instituto Mexicano del Aluminio, A.C. La capacidad instalada de producción se estima en el orden de 128 000 t anuales, en gran parte desarrollada durante los años del auge petrolero.

Debido a la contracción de la economía y muy señaladamente la de la industria

del aluminio, así como al hecho de que muchas de las grandes empresas integradas hicieron también fuertes inversiones en máquinas de inyección a presión, se tiene una capacidad instalada excesiva y con muy pocas posibilidades de ser utilizada para exportar, debido a la falta de competitividad en el precio, derivada del excesivo costo de la materia prima.

En relación con el consumo registrado en los últimos tres años, la capacidad instalada presenta un aprovechamiento del orden del 36% en 1984, 47% en 1985 y 21% en 1986.

Siendo imprecisa la determinación del número de empresas en este sector, resulta aún más difícil hacer estimaciones sobre los niveles de ocupación de mano de obra, que en las empresas más pequeñas, es frecuentemente artesanal y familiar, además de parcial y eventual; sin embargo, cabe señalar que por lo mismo, es el sector de producción y transformación de aluminio que más ocupa mano de obra, pudiéndose aventurar una estimación, a los niveles actuales de producción, de 2 500 a 3 000 personas.

COSTOS

Es comprensible que con la gran diversidad de procesos, de instalaciones y de tamaño de las empresas, los costos reflejen estructuras muy diferentes; aunque se puede aseverar que tanto el fabricante de partes en molde permanente, como las empresas de inyección, y las de vaciado con arena, resienten como principal costo, el alto precio de la materia prima, que obstaculiza la canalización de su producción al mercado externo.

Es claro que también la agresiva política de ajustes de precios en los energéticos y demás servicios del sector paraestatal, afectan los costos de producción

restándole demanda a los productos, tanto interna como externamente.

DISTRIBUCION Y COMERCIALIZACION

Aunado al alto costo de la materia prima, todas las empresas resienten los requerimientos financieros por su capital de trabajo, principalmente por la obligación de pagar la materia prima de contado, y la necesidad de otorgar crédito a los clientes, provocada por la fuerte competencia.

En un mercado sumamente ofrecido, los demandantes tienen capacidad para negociar condiciones ventajosas: precios, características de los productos, condiciones de pago, volúmenes, etc. En estas circunstancias y debido a la falta de comunicación y de organización de los productores, surgen competencias que hacen insostenible la permanencia en el mercado a una buena cantidad de empresas, sin que se beneficie el sector en su conjunto, es decir, priva una gran confusión que afecta incluso a empresas integradas.

DEMANDA

Al igual que los demás sectores y que el resto de la economía nacional, este sector se desarrolló fuertemente a partir de 1977 y registró asimismo sensibles caídas en 1982 y 1983 con repuntes importantes en 1984, y un consumo récord en 1985 que fue violentamente abatido en 1986.

Equiparando la facturación nacional con el consumo nacional, ya que por lo disperso del sector no se tiene una veraz estadística de importaciones y exportaciones, se aprecia que de 1977 a 1981 el consumo casi se triplicó al pasar de 17 300 t a 50 700 t. Desde su punto más bajo en 1983, de 28 600 t, alcanzó en 1985 la cifra récord de 60 200 t, es decir, una recuperación de 110% en sólo

dos años.

La dramática caída en 1986 a un nivel de consumo de sólo 26 700 t, es decir, una disminución de 33 500 t de un año a otro, evidencia la elevada vulnerabilidad de este sector ante restricciones en la demanda o acaso anuncia el embate de la liberación comercial de piezas inyectadas a presión de los grandes proveedores de fabricantes de aparatos electrodomésticos, industria automotriz y máquinas de oficina, que constituye la "Die Casters Engineer's Society" de los Estados Unidos.

También es relevante señalar que además de la competencia entre empresas del ramo en el caso de la inyección a presión, se experimenta un alto desplazamiento de partes de aluminio por partes de plástico, principalmente en aparatos electrodomésticos.

La exportación de productos fundidos de aluminio, fabricados con materia prima nacional, es prácticamente imposible, ya que su precio resulta muy alto. Sin embargo, se tienen experiencias incipientes, pero muy prometedoras, de la elevada potencialidad de maquilar con materia prima "in bond" de importación temporal, perspectiva especialmente atractiva para las empresas ubicadas en la frontera norte, que no tienen el gravamen adicional de los fletes hacia y desde el interior del país.

RESUMEN DEL SECTOR

Existe una gran dispersión en el mercado, tanto de productores como de consumidores y de variedad de artículos, lo que prácticamente imposibilita la organización y coordinación necesarias para analizar adecuadamente su problemática. Debido al desorganizado crecimiento que tuvo la inversión en este sector, se

encuentra sumamente sobredimensionada su capacidad instalada, en donde se cuentan un número indeterminado de productores ineficientes.

El precio del aluminio nacional desquicia, de origen, la estructura de costos del sector. El acceso a materia prima a precios internacionales, permitiría competir más exitosamente con materiales sustitutos e incluso se estaría en posibilidades de competir en el extranjero.

La apertura indiscriminada del mercado nacional a las importaciones de productos fundidos de aluminio, provocaría el cierre de muchas empresas por falta de competitividad ocasionada por el alto costo de la materia prima nacional y la elevación artificial de la materia prima importada.

7.- INVESTIGACIONES SOBRE EL ALUMINIO EN MEXICO Y

OPCIONES DE SUSTITUCION

A pesar de que la Industria del aluminio tuvo un crecimiento muy alto en la década de los 70's y principios de los 80's (11% anual), alcanzando su máximo en 1981 con cerca de 200 000 ton. consumidas, no ha habido grandes innovaciones en cuanto a tecnología y capacidad instalada en los últimos años, y se espera que en el resto de la presente década no ocurran eventos importantes. Será condición necesaria que sea superada la actual coyuntura financiera y que el consumo crezca por encima de los 300,000 ton. anuales para lograr inversiones espectaculares en la Industria.

Actualmente existen únicamente dos posibilidades para la industria nacional de romper su marcada dependencia del exterior.

I.- Sustitución del aluminio en algunos procesos por otro material, llamado ZI - NALCO.

II.- Encontrar fuentes alternas para la fabricación directa de aluminio, o la obtención de alúmina, partiendo de alternativas no bauxíticas.

7.1. ALEACION Zn - Al - Cu

Como se ha dicho, el aluminio en México es un producto de importación, por el hecho de que no disponemos de bauxita y que la energía eléctrica es cara. Esto nos conduce a importar gran parte de nuestro aluminio en forma de producto terminado, incrementando nuestra dependencia con el exterior.

El máximo consumo de aluminio (70%), lo realiza la industria de la construcción, la cual como podemos ver ha desarrollado una dependencia peligrosa del aluminio. El problema no es exactamente que nos enfrentemos a una escasez mundial de aluminio, el problema es que llega a un precio tal que ya no podemos pagar los incrementos anuales que registra la demanda de aluminio.

A partir de ello, en el Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM, se propuso a la OEA en su reunión de coordinación, realizada en Brasil en Enero de 1977, un proyecto de investigación que contempla la solución de este problema a través de dos caminos, que son:

- a) Producción de aluminio a partir de minerales existentes en el suelo nacional, y
- b) Sustitución del aluminio por una aleación basada en metales producidos en México.

Para el desarrollo del proyecto, el IIM solicitó la cooperación del Depto. de Ciencia de Materiales del Instituto Politécnico Nacional y el Depto. de Metalurgia de la Universidad Autónoma Metropolitana. De acuerdo al plan de operaciones, el IPN durante los dos primeros años del proyecto, realizaría un estudio de los métodos existentes en el mundo, para extraer alúmina o aluminio a partir de materiales diferentes a la bauxita. Los dos siguientes años se intentaría aplicar en forma experimental alguno de los métodos escogidos durante el primer periodo. El responsable de ésta parte del proyecto fue el M. en C. Mario López Buisán. El IIM de la UNAM, junto con la UAM, desarrollaría estudios tendientes a buscar aleaciones capaces de sustituir en algunas aplicaciones al aluminio importado. La aleación escogida fue el eutéctico de Zn-Al. Las propiedades conocidas de esta aleación permitían prever su aplicación en la industria de la construcción, ya que ahí el peso no es un factor importante, sino la resistencia a la corrosión y la presentación. Por otra parte, México ocupa el quinto lugar en la producción mundial del Zn. La mayor parte de ésta producción es exportada en forma de lingotes, es decir, como materia prima. De resultar positivos los estudios sobre esta aleación, permitiría no sólo disminuir la depen-

dencia de México al aluminio extranjero, sino, además, permitiría ampliar el uso de una materia prima nacional hasta ahora subutilizada.

Los resultados obtenidos con respecto a la caracterización de las propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión de las aleaciones Zn-Al, permiten asegurar que estas aleaciones sí tienen las propiedades necesarias para substituir al aluminio en una buena parte de las aplicaciones realizadas en la industria de la construcción.

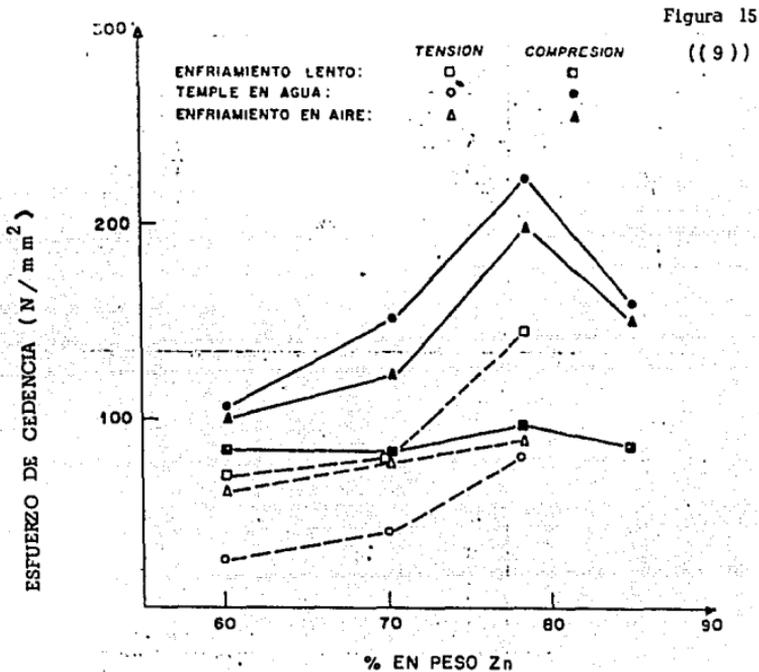
a) Propiedades Mecánicas de la Aleación Binaria Zn-Al

Quando se habla de las propiedades mecánicas de las aleaciones Zn-Al ; la mayoría de las publicaciones concentran sus reportes en las propiedades superplásticas a altas temperaturas (250°C), haciendo caso omiso del comportamiento a temperatura ambiente, por lo cual el primer año del proyecto fue dedicado al estudio del comportamiento mecánico a temperatura ambiente de éstas aleaciones, cuyas propiedades varían de acuerdo al tratamiento térmico que se les aplique, y al tipo de prueba al que se les someta, es decir, tensión o compresión (fig. 15).

Según estos resultados, las aleaciones enfriadas en el horno presentan un esfuerzo de cedencia casi constante comprendido entre 7 y 9 kg/mm^2 para cualquier concentración de Zn. La microestructura de estas aleaciones con este tratamiento es perlita para la aleación eutectoide y perlita más una segunda fase para las no-eutectoides.

Las aleaciones templadas desde 350°C en agua con hielo presentan una estructura extremadamente fina, esta estructura fina es la que se comporta superplásticamente a altas temperaturas y como podrá notarse tiene un comportamiento diferente con respecto al punto de cedencia, en tensión y compresión, es decir, en ten

sión presenta una resistencia a la cedencia baja y alta en compresión, Este comportamiento que es más bien típico de los polímeros, hace pensar que los granos finos son compactados en compresión y separados en tensión, provocando que el deslizamiento de los granos durante la deformación sea más difícil en compresión (punto de cedencia alto) que en tensión (punto de cedencia bajo).



b) Resistencia a la corrosión

El comportamiento asintótico que presentan las curvas de ganancias de peso vs tiempo, de las aleaciones Zn-22% p Al (1) indica que el material desarrolla un

(1) %/p = Por ciento en peso de Aluminio

Óxido protector que impide su posterior oxidación (fig. 16)

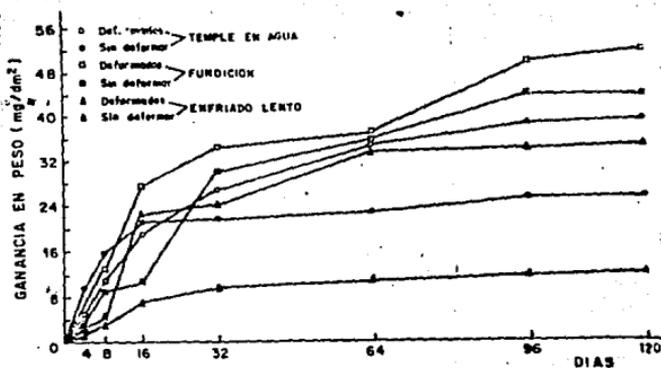


Fig. 16 ((9))

El estudio de la composición química de la superficie nos indica que el óxido protector está compuesto principalmente de alumina. Este comportamiento, similar al que presentan las aleaciones de aluminio, nos permite asegurar que estas aleaciones pueden ser utilizadas en diseños arquitectónicos como ventanas, perfiles, etc. que normalmente están expuestos a la intemperie.

c) Efectos del Cu en las propiedades de las aleaciones Zn-Al.

De acuerdo a algunos autores, el Cu en pequeñas cantidades (menores al 0.5%) aumenta la resistencia a la corrosión intergranular de la aleación binaria eutéctica.

Los principales resultados acerca de los efectos del cobre fueron: la resistencia a la corrosión aumenta con la concentración de Cu; la resistencia mecánica aumenta continuamente, alcanzando un máximo de 60 kg/mm^2 al 7% p a temperatura ambiente, la deformación plástica es incrementada alcanzando un máximo de 180% de extensión a la composición cercana al 2% p Cu, mayores cantidades de

Cu reducen la deformación máxima (fig. 17).

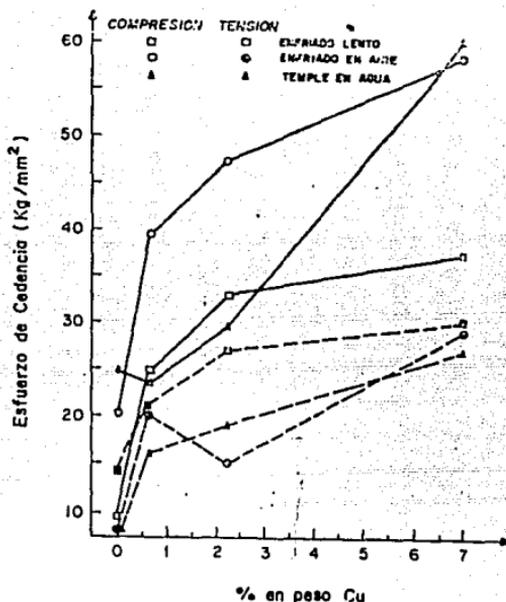


Fig. 17 ((10))

Esta deformación de 180% alcanzada a temperatura ambiente eleva a la aleación al rango de superplástica. Queda todavía la incógnita de cuál es el efecto del Cu que promueve tan eficazmente la deformación plástica, en una aleación, que sin cobre, no permite deformaciones superiores al 16% a temperatura ambiente; las muestras laminadas en frío, después de un temple en agua, presentan un interesante efecto de reblandecimiento, es decir, su dureza disminuye en vez de aumentar como clásicamente sucede. Estas aleaciones son las que presentan un máximo de plasticidad durante las pruebas de tensión. Las muestras laminadas a 150°C no presentan este efecto tan marcadamente. Otro interesante efecto de

terminado en este estudio, es la sensibilidad que presentan las muestras laminadas en frío, a la rapidez de deformación a temperatura ambiente, semejante a la dependencia que existe en la aleación binaria a temperaturas elevadas (250°C) en donde se comporta superplástica. Las aleaciones enfriadas lentamente y luego laminadas en frío, no presentan esta sensibilidad a la rapidez de deformación, ni tampoco permiten grandes deformaciones.

En resumen, esta aleación Zn-Al-Cu, desarrollada bajo este proyecto, presenta muy buenas características para ser aplicada en la industria de la construcción en sustitución de las aleaciones de aluminio.

La crisis económica que actualmente sufre México y en general el mundo, podría alentar las aplicaciones de la aleación Zn-Al-Cu en México, ya que la materia prima principal es producida en éste país y los costos del aluminio de importación han subido hasta niveles prohibitivos, debido a las sucesivas devaluaciones y control de divisas en dólares.

Es de esperarse lo siguiente: el costo de la aleación debe ser menor, ya que el costo del Zn es la mitad del costo del aluminio y aunque la densidad de la aleación (5.4 g/cm^3) es el doble que la del aluminio, su resistencia mecánica es superior a la aleación 6063, por lo cual se puede utilizar menor cantidad de materia para cumplir la misma función. La energía invertida en el formado de la aleación basada en Zn, es menor, ya que a 100°C puede comportarse como el aluminio lo hace a los 500°C. La presentación es semejante a la del aluminio sin anodizar. Queda por estudiar las posibilidades de anodizar esta aleación. Existe un convenio entre la UNAM, que es poseedora de la patente y registro del ZINALCO, Fundidora Falmex S.A. como proveedor de la aleación y CUPRUM S.A., como fabricante exclusivo de extrusiones en base a éste material. Los

avances hasta la fecha indican que se ha logrado extruir diversos perfiles a una velocidad de hasta 20 m/min.; se espera que a un plazo de 3 años se fabriquen perfiles de línea en base a este material.

CONSIDERACIONES ECONOMICAS Y ENERGETICAS ACERCA DE LA ALEACION Zn - Al- Cu

La aleación Zn-Al-Cu tiene las suficientes propiedades físicas, químicas y mecánicas como para que se le considere un sucedáneo potencial de algunas aleaciones base Al.

El principio, se han considerado las aleaciones 6063, típicas de perfiles para la construcción, estas contienen adiciones de Mg y Si, y después de extruñdas es necesario darles un envejecimiento a fin de aumentar su dureza y su resistencia a la tracción, entre otras propiedades.

La aleación Zn-Al-Cu, presenta posibilidades de extrusión en caliente, a una temperatura no mayor de 300°C, después de la cual las propiedades mecánicas son muy superiores a las de un 6063 con T5 o T6 (tratamiento térmico), y la extrusión puede efectuarse después de la fundición.

En la fig. 18 se presenta un diagrama de flujo comparativo del proceso para ambas aleaciones, en éste se pueden observar algunos valores importantes; primero se tiene un ahorro de energía térmica del 57% con respecto al uso de la aleación 6063; los valores de la resistencia a la tracción, límite de fluencia y densidad son del orden de 2 veces los valores correspondientes a la 6063. Y es la densidad la que coloca en desventaja al Zn-Al-Cu, pero si consideramos que una reducción en la sección transversal nos puede llevar a conseguir perfiles más delgados con una resistencia mecánica mayor, y con la misma longitud por peso

de material, la nueva aleación continúa siendo atractiva, con un costo de materia prima menor y a una baja demanda de energía térmica en el proceso.

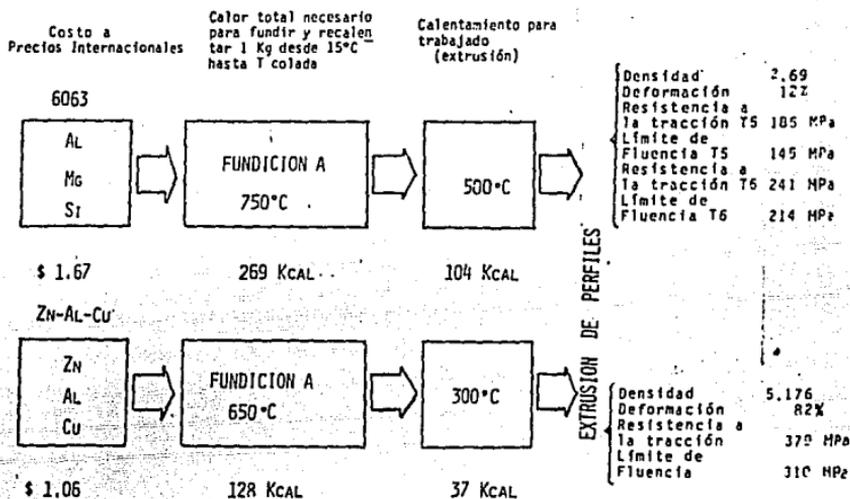


Fig. 18 ((13))

En la figura 19 se tiene la aleación de la consideración anterior, es decir si no se reduce la sección transversal se tiene una resistencia a la tracción del doble pero también un peso del doble, que un perfil 6063 para una misma longitud. Con respecto a la resistencia a la corrosión, la estructura de fundición del Zn-Al-Cu, fue menos afectada que la 6063 (sin anodizar) en una atmósfera vapor-a-gua; pero su óxido es opaco lo cual le confiere un aspecto poco agradable. La otra posibilidad de comercialización que presenta esta aleación, es la de aprovechar las propiedades superplásticas que se obtienen por un tratamiento térmico. La estructura superplástica se obtiene por un temple desde los 300°C y una laminación en caliente, esto último con el fin de obtener placa de material

superplástico. En la fig. 20 se tiene el diagrama de flujo de este proceso.

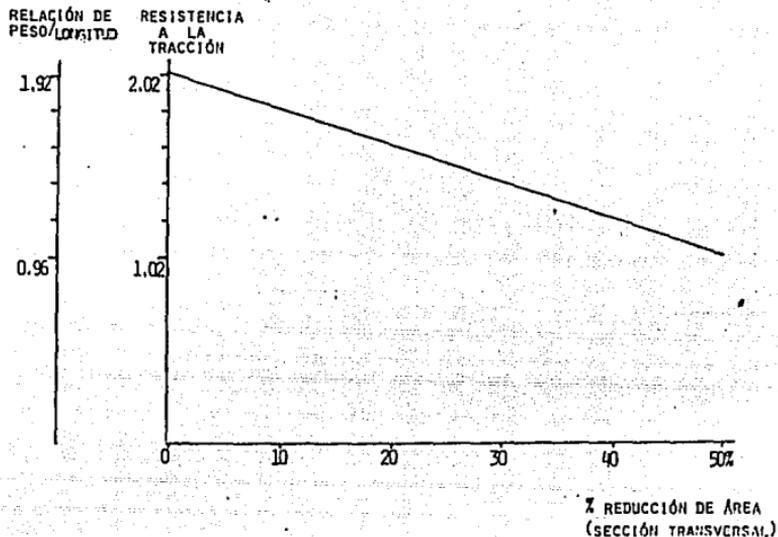


Fig. 19 ((13))

COMPARACION DE PROPIEDADES EN FUNCION DE LA REDUCCION DEL AREA DE LA SECCION TRANSVERSAL.

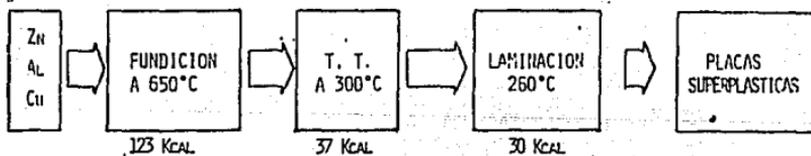


Fig. 20

FIG. 20. OBTENCION MATERIAL SUPERPLASTICO ((13))

Zn-Al-Cu

El material superplástico representa una buena opción cuando no se requieren grandes volúmenes de producción o cuando el modelo es muy complicado para producirlo por estampado.

En forma general se puede decir que el herramental necesario para un formado superplástico es mucho más barato que el usado normalmente en otros procesos, su volumen de producción óptimo se encuentra entre las 50 y las 10,000 unidades - des aproximadamente . En la fig. 21 se tiene una gráfica comparativa de los métodos superplásticos (M.S.P.) con otros procesos.

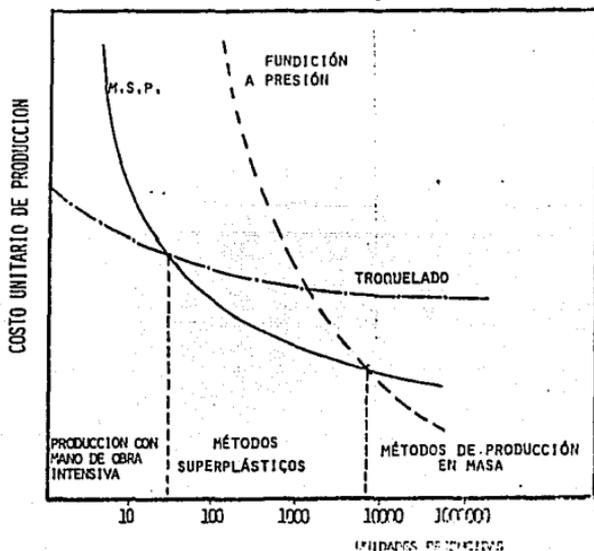


FIG. 21

ECONOMIA DEL PROCESO S.P. ((13))

La posibilidad de adaptación y uso de la aleación Zn-Al-Cu por alguna industria caería dentro de sus objetivos de flexibilidad externa ofensiva o defensiva, pero pocas empresas tienen una dirección con la suficiente preocupación por alguna forma de flexibilidad externa.

PUNTOS FUERTES:

- 1.- Se tiene una gran disponibilidad de materia prima nacional.
- 2.- Se presentan buenas propiedades mecánicas.
- 3.- Su costo de producción por unidad de peso es menor.
- 4.- El mercado potencial actualmente de la aleación son los perfiles extrudidos y el material superplástico en lámina.
- 5.- El efecto sinérgico de su uso es mayor para la industria del aluminio.

PUNTOS DEBILES:

- 1.- Su densidad es aproximadamente el doble que la del 6063.
- 2.- Se necesita desarrollar un proceso de recubrimiento protector.

7.2. FUENTES ALTERNAS PARA LA OBTENCION DE ALUMINIO

Las alternativas no bauxíticas para la obtención de aluminio pueden dividirse en dos grupos:

1. Métodos para la fabricación directa del aluminio.
2. Métodos para la fabricación de alúmina.

7.2.1. METODOS PARA LA FABRICACION DIRECTA DEL ALUMINIO

Se ha realizado la siguiente clasificación de algunos de los métodos propuestos:

- a) Métodos electrolíticos:

Electrólisis de cloruros fundidos.

Electrólisis de sulfuro fundido.

Electrólisis en baños orgánicos.

b) Métodos de Lixiviación:

Lixiviación con zinc.

Lixiviación con magnesio.

Lixiviación con mercurio (método Schmidt).

c) Métodos de halogenación:

Método sub-halide.

Método Goldis (variante del anterior).

d) Métodos de reducción térmica:

Método al carburo.

Método al nitruro.

e) Métodos de destilación.

Diremos, brevemente, que la electrólisis de cloruros en baños orgánicos parece ser el método más prometedor. Sin embargo, el problema de la hidratación no reversible de la sal de partida constituye aún un obstáculo considerable. Así mismo, el manejo de grandes volúmenes de cloro desprendido durante el proceso es excesivamente costoso.

Aparentemente, en el método sub-halide no ha podido resolverse el problema de corrosión asociado con la circulación de cloruros a altas temperaturas.

7.2.2. METODOS PARA LA FABRICACION DE ALUMINA

Esta alternativa presupone la aplicación subsiguiente de la electrólisis convencional. Esto tiene por lo menos un inconveniente, que surge de la naturaleza

misma de la alúmina: el Al_2O_3 es anfótero (44% iónico) y, después del CaO , MgO y Li_2O , es el óxido termodinámicamente más estable que existe. Por lo tanto, se requiere mucha energía para romper la molécula, lo que implica, inevitablemente, procesos costosos (electrólisis ignea, a $1000^{\circ}C$, aproximadamente).

Convencionalmente, los métodos para la fabricación de alúmina se dividen en dos grupos: métodos alcalinos, y métodos ácidos. A su vez, cada uno de estos grupos puede subdividirse en métodos de vía húmeda, y métodos de vía seca.

Algunos de los numerosos métodos propuestos son los siguientes:

a) Métodos Alcalinos:

Métodos cal-sola. Aplicable a: bauxitas y gibbsitas silíceas, caolines, anortitas, etc.

Método del cloruro de sodio. Variante del anterior.

Método del aluminato de calcio. Idem. Aplicable a: bauxitas y gibbsitas silíceas, arcillas, labradoritas, andalucitas, cenizas de usinas termoeléctricas, etc.

Método ruso para las nefelinas.

Método de autodesintegración. Aplicable a: arcillas, residuos de combustión, escorias de alto horno, etc.

Método de la potasa. Aplicable a la alunita.

Método del amoníaco-soda. Aplicable a la alunita.

b) Métodos ácidos:

Al ácido sulfúrico: Aplicable a arcillas y alunita.

Método Kalunita (variantes del anterior). Aplicable a la alunita.

Al ácido clorhídrico.

Al ácido sulfuroso, o métodos S.T. Aplicable a arcillas.

Al ácido nítrico, o métodos Nuvalon. Aplicable a la bradoristas.

Método Pechiney H. Aplicable a bauxitas y gibbsitas silíceas, arcillas, esquistos naturales residuos de lavados de minas de carbón, etc.

Describimos brevemente el método de autodesintegración, el método Pechiney - H. y el método para las nefelinas.

METODO DE AUTODESINTEGRACION

También llamado método para la fabricación simultánea de alúmina y cemento Portland, Fué desarrollado por el Prof. Dr. Jerzy Grzymek, de la Academia de Minería y Metalurgia de Cracovia (Polonia).

Desde 1954 opera, sobre la base de este método, una planta en Groszowice (Polonia), cuya producción de alúmina se destina exclusivamente a la industria química. Otra Planta, en Kielce Novine, produce 100,000 toneladas anuales de alúmina destinada a la fabricación de aluminio electrolítico. Fuera de Polonia, operan otras plantas en Hungría y la URSS.

Los materiales fundamentales para este método son los siguientes:

- a) Materiales aluminíferos conteniendo no menos de 30% de alúmina, con sílice y óxido férrico en las siguientes proporciones: $SiO_2/Al_2O_3 > 2$; $Al_2O_3/Fe_2O_3 > 3$.
- b) Calizas y/o materiales calcáreos conteniendo más de 53% de cal.

Desde el punto de vista de los materiales fundamentales, el método de autodesintegración es muy elástico y tolera casi cualquier clase de materiales aluminíferos y calcáreos. Los requerimientos indicados arriba no son críticos, pero aseguran la operación más económica.

La manufactura del óxido de aluminio comprende las siguientes operaciones:

- a) Obtención de un masa sinterizada autodesintegrable, contenido ortosilicato

de calcio y aluminato de calcio.

- b) Extracción de aluminato por medio de soluciones acuosas de soda. El lodo residual se utiliza en la fabricación de cemento Portland.
- c) Desilicación de aluminato de sodio usando lechada de cal.
- d) Carbonatación de las soluciones de aluminato de sodio por medio del dióxido de carbono, para obtener hidróxido de aluminio cristalizado.
- e) Regeneración, por medio de la lechada de cal, de las soluciones residuales.
- f) Calcinación del hidróxido de aluminio, para obtener óxido de aluminio sinterizado.

La clave del método reside en el proceso a), donde se utiliza la transformación polimórfica del ortosilicato de calcio para desintegrar el material en la forma de un polvo muy fino de gran área específica, sin necesidad de emplear costosos procedimientos de molienda. En esta forma la actividad química del material aumente notablemente.

Para la producción de una tonelada de lúmina se requiere:

Caliza	12.00 ton.
materiales aluminíferos	4.50 ton.
carbón para sinterizado	2.00 ton.
soda	0.22 ton.
cal calcinada	0.20 ton.
combustible (9,500 Kcal)	0.16 ton.
vapor	4.20 ton.
energía eléctrica	1100 kwh.

Debido a las excepcionales propiedades del material (gran área específica, elevado contenido de C_2S), la producción de los hornos de cemento puede aumen-

tar por lo menos en un 25%, y el consumo de combustible disminuir por lo menos en un 15%, respecto de los métodos tradicionales.

El óxido de aluminio obtenido con este método posee una elevada pureza, como lo revela el siguiente análisis típico:

Na ₂ O :	0.150	-	0.300 %;
SiO ₂ :	0.020	-	0.060 %;
Fe ₂ O ₃ :	0.004	-	0.010 %;
Va, Cr, Mn :	ausencia absoluta.		

El óxido de aluminio obtenido es de grano grueso; la fracción con tamaño por encima de 60 μ excede el 65%; la fracción con tamaño por debajo de 5 μ es del 8%. La densidad es de 750 g/l.

Como puede verse, el producto es especialmente adecuado para la electrometallurgia del aluminio.

Con ligeros cambios en el proceso, los contenidos de impurezas anteriores pueden disminuirse aún más. El óxido obtenido es entonces apto para la fabricación de cerámicos, aislantes eléctricos y abrasivos. Por otra parte, el hidróxido de aluminio, de pureza similar, puede usarse en la fabricación de reactivos muy puros, y de diversas sales de aluminio (sulfatos, cloruros y fluoruros). Para este tipo de producción con elevada pureza, que alcanza alto precio en el mercado, puede ser económica la operación de una planta pequeña.

Las principales ventajas de este método son las siguientes:

a) Es posible utilizar un variedad muy amplia de materiales aluminíferos pobres. El método no se basa en bauxitas ricas (50-60 % de alúmina), ni en caolines caños; como ya se ha dicho, las limitaciones en la composición química son muy elásticas.

- b) Especialmente atractiva es la posibilidad de utilizar materiales de desecho de otras industrias. El método puede hacer uso de arcillas, esquistos, residuos de minas de carbón y de plantas de refractarios, caolines, minerales de hierro, escorias de alto horno, etc.
- c) Los productos obtenidos: óxido e hidróxido de aluminio, se caracterizan por un alto grado de pureza, inclusive superior al normalmente requerido en la electrometalurgia del aluminio.
- d) No se producen materiales de desecho. Todos los materiales son completamente utilizados, incluyendo los gases de combustión de los hornos de cemento.
- e) El método ha llegado a un grado de perfeccionamiento muy elevado, después de 25 años de investigaciones y de producción a nivel industrial.

METODO PECHINEY H

Desarrollado a partir de 1959, es un método ácido de vía húmeda: no importa, por lo tanto, el contenido de SiO_2 , pero sí importa el contenido de CaO , K_2O , Na_2O , Fe_2O_3 . Como antecedentes pueden citarse: el método al ácido sulfúrico Kretschmar (Alemania). La novedad del método H es el ataque sucesivo con ácido sulfúrico y con ácido clorhídrico, combinando las ventajas de los dos anteriores. El método H. es aplicable a materiales con contenido de Al_2O_3 superiores al 18%; hasta 50% de SiO_2 ; menos del 3% de CaO y menos del 10% de Fe_2O_3 . El K_2O aunque ocasiona pérdidas de ácido, compensa con sub-productos de alto valor como fertilizantes. En general, el método es aplicable a arcillas, caolines, esquistos naturales y residuos de minas de carbón; no es aplicable a anortitas, por su excesivo contenido de CaO .

El proceso comprende los siguientes pasos:

a) Ataque sulfúrico. Aquí aparecen las primeras pérdidas; cada mol de CaO se lleva 1 mol de H_2SO_4 , y cada mol de Fe_2O_3 se lleva 3 moles de ácido. El K_2SO_4 , en cambio, se destina al mercado como fertilizante.

b) Primera separación. Por cristalización fraccionada se separan el CaSO_4 y $\text{Fe}(\text{SO}_4)_3$. Esta primera separación no es muy selectiva, debido a las pequeñas diferencias de solubilidad de los diferentes sulfatos.

c) Clorinación. El sulfato de aluminio se transforma en tricloruro hidratado, con recuperación del ácido sulfúrico. Las impurezas remanentes también se clorinan: cada mol sulfato de sodio se lleva dos moles de ácido clorhídrico, no recuperables.

En cambio, el cloruro de potasio tienen alto valor como fertilizante.

d) Segundo separación. Por cristalización fraccionada se obtiene, finalmente, el AlCl_3 . Esta separación es muy selectiva.

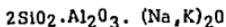
e) Calcinación. Por calcinación, el cloruro de aluminio hidratado se oxida a alúmina hidratada, con recuperación del ácido clorhídrico.

Este método requiere una inversión 20-30% mayor que el Bayer tradicional; el costo de operación, asimismo, es 10-15% más elevado que en este último. Finalmente, el consumo energético puede ser hasta un 40% mayor que en el Bayer aplicada a bauxita excelentes.

La desventaja del método H frente al Bayer disminuye a medida que la bauxita es de menor calidad, y puede quedar compensada por la menor energía eléctrica requerida para la electrólisis.

METODO SOVIETICO PARA LAS NEFELINAS

Las nefelinas son tetrasilicatos dobles de aluminio y metal alcalino; con una fórmula media del tipo:



El contenido de alúmina es aproximadamente 35%, es decir, 18.5% de aluminio.

El método soviético es de tipo alcalino, y utiliza el contenido alcalino del mismo mineral para obtener la lejía de ataque. Hay, por lo menos, fábrica en Volkhov (desde 1951), en Pikalevo (1959) y en Achinsk.

El proceso comprende los siguientes pasos:

a) Cocción. Se realiza a 1400°C con caliza; se obtienen el ortosilicato de calcio y un aluminato de sodio, con desprendimiento de CO_2 .

b) Lixiviación. En medio acuoso se separa el aluminato, precipitando el ortosilicato en forma de lodos.

c) Separación de lodos. Se añade más caliza, se calcina y se obtiene cemento.

d) Carbonatación. Carbonatando con el CO_2 desprendido en a) el aluminato de sodio, se obtiene carbonato de sodio e hidróxido de aluminio tri-hidratado, que precipita.

e) Separación. El hidróxido precipitado se separa; se calcina y se obtiene Al_2O_3 lista para la electrólisis.

f) Concentración de las aguas madres, se recupera el Na_2CO_3 formado en d).

Las relaciones de productos, en peso, son las siguientes:

Al_2O_3 :	102 ;
Na_2CO_3	106 ; y
cemento:	800-900

El consumo energético es 3 a 4 veces mayor que el Bayer.

Por cada tonelada de alúmina producida se consume:

4-4.5 Ton. de nefelina; y

6.5 Ton. de caliza

y se produce:

1 ton. de Na_2CO_3 (0.7 ton. de soda);

8 - 9 ton. de cemento.

CONCLUSION:

Respecto al método de autodesintegración y al método soviético para las nefelinas, se puede decir lo siguiente: la producción de alúmina conjuntamente con grandes volúmenes de cemento, establece una dependencia inevitable entre dos campos de actividad muy diferentes, la industria de la construcción civil y la industria metal-mecánica. En países con economía planificada, esta dependencia no representa ningún obstáculo, como lo demuestra la exitosa aplicación de ambos métodos en los países socialistas. Pero en países con economía libre, esa dependencia no es deseable, ya que puede originar la propagación intersectorial de fenómenos críticos desfavorables (por ejemplo, recesiones en la producción o contracciones en el mercado). Esta es la objeción que puede oponerse a la aplicación de estos métodos en países como México, y no tiene nada que ver, por lo tanto con el aspecto puramente técnico ni con la calidad de los productos finales.

En cuanto a lo que puede decirse sobre la aplicabilidad del método Pechiney-H es muy poco, en razón del estricto secreto que lo rodea. Teniendo en cuenta que la planta piloto de Gardanne dejó de operar, y que no se ha puesto en funcionamiento la planta industrial conjunta Pechiney-Alcan, es fácil deducir que las

dificultades del método aún no ha sido superadas. Probablemente estas dificultades se relacionan con problemas de recuperación ácidas y con la corrosión por cloruros a elevada temperatura.

8.- OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES

Reconociendo y valorando la problemática que afecta particularmente a cada sector y a la industria en su conjunto, se presentan a continuación una serie de medidas para lograr una solución integral, en la que la participación del Estado es de vital importancia. A él le corresponde crear el clima de confianza necesario y las condiciones económicas sanas para encausar el proceso de reconversión de la Industria Aluminera.

1.- REDUCCION DE LA TARIFA ELECTRICA

El mayor de los problemas que enfrenta la Industria del Aluminio en México, es el elevado costo que para ALUMSA tiene el suministro de energía eléctrica por parte del Estado. La reducción de la tarifa eléctrica a los niveles que en promedio pagan los productores internacionales, sería la medida necesaria para hacer competitiva a la Industria del Aluminio en su conjunto, abriendo oportunidades para la exportación de productos manufacturados que incorporen alto valor agregado y para estimular el consumo interno.

La tarifa eléctrica que paga ALUMSA no es congruente con las características que tiene su consumo, ya que ALUMSA es hoy por hoy el cliente más importante de la Comisión Federal de Electricidad, con entrega en un solo punto de venta de 230 kV, además de tener un consumo constante durante los 365 días del año a un factor de potencia superior al 93%, por lo que su eficiencia de generación es muy alta.

Una reducción en la tarifa eléctrica para ALUMSA a los niveles de 0.012 U. S. ds/kWh, actuaría como elemento detonador del desarrollo de la Industria Aluminera Mexicana.

2.- DESARROLLO DEL ALUMINIO SECUNDARIO

El alto costo de la electricidad ha propiciado a nivel mundial el descenso de la producción de aluminio primario con el consiguiente aumento en la producción de aluminio de segunda fusión, pues sólo se requiere sólo cerca del 5% de la energía que se emplea en aluminio primario. Por tal motivo es necesario la creación de entidades que se orienten a la comercialización de la chatarra en una forma profesional e integrada para lograr el desarrollo formal de éste sector.

3.- RACIONALIZACION DEL MERCADO

La estandarización de la gama de productos de aluminio es un requisito indispensable de racionalización; se deben establecer las normas que limiten las dimensiones y tipo de productos de acuerdo con las especificaciones internacionales para evitar la existencia de una excesiva gama de productos así como para facilitar la exportación.

Debido a la falta de organización entre los fabricantes, se tiene una gran dispersión de la oferta, en la que cada productor pretende abarcar todos los segmentos de su mercado, sin enfocarse a una especialización que haga más racional la producción y la demanda. Es necesario que las empresas acuerden la especialización que mejor convenga a las características de cada una y que se aboquen preferentemente a la atención de ese segmento.

4.- RECONVERSION INDUSTRIAL

Es evidente que una industria en la que no ha sido posible en los últimos años reinvertir en activos fijos, se encuentra necesariamente descapitalizada y no apta para competir internacionalmente. Por tal motivo la reconversión de la Indus-

tria del Aluminio es a todas luces indispensable; ésta debe darse en todos los aspectos que conduzcan a una mayor eficiencia y eficacia del proceso productivo con el objeto de incrementar la productividad, de impulsar la modernización y de ofrecer productos de calidad a precios competitivos.

5.- INVESTIGACION PERMANENTE DE NUEVOS PRODUCTOS Y MATERIAS PRIMAS

Promover la investigación de perfiles estructurales y arquitectónicos con nuevos diseños que permitan la disminución de la cantidad de aluminio utilizado, así como aleaciones con mayor resistencia mecánica. Continuar las investigaciones sobre posibles fuentes alternativas para la obtención de aluminio.

6.- CREACION DE EMPRESAS DESTINADAS A SUSTITUIR IMPORTACIONES Y FORTALECIMIENTO DE LAS YA EXISTENTES

Este renglón es de singular importancia dadas las condiciones económicas actuales; los principales productos importados han sido:

-Barras para conductores eléctricos

-Lamina para envase abre-fácil

-Chatarra

Con relación al primer segmento, se requiere que se suspendan las importaciones de Aluminio Primario que realizan los fabricantes de conductores eléctricos, así como las importaciones que efectúan de alambro, pues ALUMSA puede fabricar la aleación necesaria con la calidad requerida y CONALUM cuenta con capacidad instalada suficiente para cubrir la demanda.

El envase abre-fácil ha constituido uno de los principales activadores del consumo, pero debido a que la lámina para su fabricación no se produce en el País, su

importación ha sido necesaria. Esto a pesar de que la aleación para producir la lámina si se produce en el País, pero no existen equipos de laminación para fabricarla, por lo que es necesario la creación de una empresa con tales características.

Esto tendría efectos colaterales, ya que la chatarra de aluminio proveniente del reciclaje del envase actuaría como un detonante de la Industria del Secundario, disminuyendo de ésta forma las importaciones de chatarra.

9.- BIBLIOGRAFIA

1. - The Aluminium Development Council of Australia; The Aluminium Technology, Book-One- Aluminium, The Metal; 3rd Edition, Australia 1980
2. - Raymond E. Kirk, Donald F. Othmer; Enciclopedia de Tecnología Química, Tomo II, Ed. UTEHA, Madrid 1961
3. - Sidney H. Avner, Introducción a la Metalurgia Física, Ed. McGraw-Hill, Segunda Edición, Madrid, 1966
4. - Aluminio S.A. de C.V.; El Metal más Abundante y Util de Nuestro Planeta; Ed. Novaro, México 1971
5. - B.A. Kolachev, R.M. Gabidullin, Yu. V. Piguzov; Tecnología de Tratamiento Térmico de Metales y Aleaciones no Ferrosas; Ed MIR Moscú, 1983
6. - Instituto del Aluminio A.C.; Informe Anual, México 1981, 1982, 1983, 1984, 1985, 1986
7. - J. Lastra J., G. Torres V., J. Macouzet, L. Valdes H., M.G. Lopez B. y otros; Primer Simposio sobre el Aluminio en Latinoamérica, Oaxtepec, México 1983
8. - Instituto del Aluminio A.C.; Plan de Desarrollo de la Industria del Aluminio en México, México 1987

- 9.- J. Negrete S. Propiedades Mecánicas de Aleaciones Zn-Al en la Región Rica en Zn, Tesis de Maestría, ESFyM. IPN
- 10.- J. Negrete, L. Valdés y G. Torres V; Superplastic Forming of Structural Alloys. Ed N.E. Paton, Al ME, 1982
- 11.- A. Saenz, J. Negrete, L. Valdés, G. Torres; Propiedades Super-Plásticas a Temperatura Ambiente de la Aleación An-Al-Cu; Encuentro de Investigaciones Metalúrgicas, Saltillo, 1982
- 12.- American Society For Metals; Metals Handbook, Ohio, 1948.
- 13.- L.A. Valdés H; Consideraciones Económicas y Energeticas acerca de la aleación Zn-Al-Cu, Inst. de Investigaciones en Materiales, UNAM, México. 1983.