

Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUIMICA



ESTUDIO TECNICO-ECONOMICO DEL ALUMINIO EN MEXICO

TESIS PROFESIONAL
Que Para Obtener el Título de:
Ingeniero Químico Metalúrgico
P R E S E N T A N

JOSE GPE. SANCHEZ BARRALES
ALFONSO ESPINOSA PICAZO

México, D. F.

1978



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

TESIS 1978
CLAS M. 1484
AÑO 138
FECHA _____
PREC _____



Jurado asignado originalmente:

PRESIDENTE: MANUEL GAVIÑO RIVERA

VOCAL: KURT NADLER GUNDEISHIMER

SECRETARIO: JOSE CAMPOS CAUDILLO

1er. SUPLENTE: ENRIQUE CURIEL REYNA

2do. SUPLENTE: MARCO A. CHAMORRO DIAZ

Sitio donde se desarrollo

el tema:

FACULTAD DE QUIMICA

Sustentantes:

JOSE GPE. SANCHEZ BARRALES

ALFONSO ESPINOSA PICAZO

Asesor del tema: Profr. MANUEL GAVIÑO RIVERA

I N D I C E

<u>CAPITULOS</u>	<u>PAGINAS</u>
I. - INTRODUCCION.	1
II. - GENERALIDADES.	3
III. - ESTUDIO DE MERCADO.	7
1. - Producción interna del país.	
2. - Importaciones en volúmen.	8
3. - Usos del Aluminio y sus aleaciones.	9
3.1. - Industria química.	11
3.2. - Industria metalúrgica.	
3.3. - Aplicaciones estructurales.	
3.4. - Industria eléctrica.	13
3.5. - Polvos de Aluminio.	14
3.6. - Otras aplicaciones.	15
4. - Principales consumidores y distribución geográfica.	16
5. - Historia de precios.	17
6. - Proyección de la demanda.	19
6.1. - Método de regresión lineal simple.	20
6.2. - Método cuadrático (parábola).	25
IV. - REVISION DE TECNICAS EXISTENTES.	30
1. - Obtención de la alúmina.	
1.1. - Proceso Bayer.	31
1.2. - Proceso Ste-Claire Deville.	33
2. - Reducción de la alúmina.	34
2.1. - Proceso Hall - Hérault.	
3. - Colada de lingotes.	37

CAPITULOS

PAGINAS

V. -	ESPECIFICACIONES DE CALIDAD PARA ALUMI NIO Y ALEACIONES PRINCIPALES.	42
1. -	Propiedades físicas.	
2. -	Propiedades mecánicas.	45
3. -	Especificaciones químicas en ALUMINIO, S. A.	46
3.1. -	Forma de expresar el contenido de ca- da elemento del lingote.	47
3.2. -	Contenido de los elementos.	48
3.3. -	Forma de expresar el contenido de Alu- minio puro.	49
3.4. -	Forma de expresar el contenido de ca- da elemento.	
3.5. -	Forma de ordenar los elementos quími- cos.	50
3.6. -	Regla para redondear los resultados.	
3.7. -	Clasificación de lingotes de Aluminio de primera fusión puro y aleado para fundi- ción.	51
3.8. -	Clasificación de lingotes de acuerdo a - sus dimensiones.	52
3.9. -	Apariencia física.	57
VI. -	ANALISIS METALOGRAFICOS.	
1. -	Micrografía óptica.	58
2. -	Micrografía electrónica.	67
	Apéndice.	
	Conclusiones.	84
	Bibliografía.	87

CAPITULO I

INTRODUCCION

La estructuración y el desarrollo del presente trabajo tiene como finalidad, realizar un estudio del aluminio desde el punto de vista Técnico - Económico, ya que en los últimos años la demanda de este metal ha aumentado notablemente. Debido, por una parte, al auge experimentado por las Industrias de la Construcción y Automotriz y por otra a las características físicas particulares del aluminio, por ejemplo, su casi absoluta resistencia a la corrosión producida por la contaminación del Medio Ambiente, su posición con respecto a otros metales es cada día mejor.

La creciente demanda ha puesto en aprietos a la Compañía - Aluminio, S. A. de C. V.; único producto de este metal en México, ya que su producción de Lingote de aluminio es todavía insuficiente para satisfacer en forma adecuada las necesidades del mercado interno.

Una de las principales razones por las que no ha sido posible aumentar la capacidad mexicana de la producción de aluminio, es la gran necesidad que este sector tiene de energía eléctrica. Los precios mundiales de bauxita, que es la materia prima principal, son cada vez más elevados, lo cual ha hecho que muchos productos estén tratando de buscar una salida que los libre de su actual dependencia-

de está.

Para lo cual se experimenta con la Laterita, a la que también se le conoce con el nombre de bauxita de bajo contenido de aluminio. Por otra parte, Ugine-Kulmann, una de las empresas metalúrgicas - francesas más importantes, afirma haber encontrado una solución - que consiste en sustituir la bauxita por arcillas y pizarras.

Existen pues, posibilidades de evitar la dependencia de la - bauxita.

Sin embargo hasta la fecha no se ha comprobado que sean económicamente factibles.

En caso de que si lo sean, México se beneficiará grandemente, ya que tendrá que depender menos de las importaciones, cada día más caras de alúmina. Pero no hay que olvidar que, de ser viable, este proceso, no se aplicará industrialmente sino hasta dentro de varios años.

CAPITULO II

GENERALIDADES

El aluminio es un metal que existe en abundancia. Este elemento es sumamente blando, por esta razón, como aluminio puro ^{puro} ca si no tiene aplicaciones, por lo que siempre será necesario alearlo con otros metales para darle mayor versatilidad y obtener una mayor aplicación.

El aluminio puro como material fundido, tiene muchas propiedades deseables, como son su ligereza y maleabilidad. Sus características fundamentales son: peso atómico 26.98; de color blanco brillante semejante a la plata, con ligero matiz azulado. Su estructura es fibrosa. Cuando es calentado y enfriado lentamente cristaliza en octaedro. Es más duro que el estaño y el zinc (2.5 escala Mohs), pero más blando que el cobre. Su punto de fusión y ebullición es de 658°C, respectivamente, su peso específico laminado es de 2.68, fundido 2.64 y estirado 2.70; su conductividad es de 0.343 a 0°C y 0.362 a 100°C, equivalente al doble del fierro y a la mitad de la del cobre. Su coeficiente de dilatación desde 20°C a 100°C es de 0.00231, comparada con la del cobre, 0.0017 y la del fierro 0.0012.

Los calores específicos son: aluminio 0.22, fierro 0.114, cobre 0.094.

Los datos de los calores específicos indican porque el alu --

minio requiere mayor aportación de calor y mayor tiempo de conservación de la temperatura. El calor latente de fusión es de 92.4 cal. y el cobre 41, este calor es mucho mayor que el de otros metales, y eso explica porque tarda más tiempo en su estado líquido.

Su ductibilidad y maleabilidad permite hilar y laminarlo a ^{alfa} diámetros y espesores iguales a la del metal oro. Su serie electroquímica es 1.28 V arriba del magnesio y 0.76 abajo del zinc. Con el mercurio, cobre, fierro y zinc forman pilas galvánicas. El ácido clorhídrico le disuelve, el ácido nítrico lo pasiva formando capas de óxido. Es un poderoso agente reductor, de óxido a metales.

El aluminio presenta una gran habilidad, para formar una película de protección en la superficie, contra los tratamientos químicos. Esta película genera varios problemas en galvanostegia, problemas que estimulan la investigación de los recubrimientos metálicos sobre el aluminio, para cambiar las propiedades físicas del metal por otras especificaciones requeridas para determinada aplicación. El aluminio tiene buena conductibilidad térmica y eléctrica, además es más fácil fabricarlo debido a su gran resistencia a la corrosión, siendo en ingeniería un material sumamente útil.

Es posible alear el aluminio con facilidad, pero muy difícil de recubrirlo electrolíticamente.

Una aleación, es cualquier liga de metales. Cuando se veri--

fica, fundiendo juntos los componentes y vaciando a moldes, se denominan aleaciones fundidas; cuando se logra la unión por medios mecánicos, se le denominan aleaciones forjadas.

Para aumentar las aplicaciones de este metal, los fundidores del aluminio, desde 1920 experimentaron con la adición de metales en la fundición.

Las primeras pruebas, con la adición del zinc como primer metal de aleación, manifestaron esfuerzos internos en la aleación haciéndolo más compacto, presentando también una disminución de ligereza del mismo. Con la adición de pequeñas cantidades de cobre, mejoraron su resistencia mecánica, pero desgraciadamente estas aleaciones de cobre y de zinc llegaron a perforarse en cualquier instalación de las modernas atmósferas de las ciudades porque mejoran la corrosión a un grado considerable.

Los fundidores notaron, que con la adición de un 15% de silicio en la composición de la aleación, lograron conseguir la aplicación ideal del aluminio. Por sus inmejorables características, tiene alta resistencia y puede ser usado en atmósferas corrosivas. La adición del silicio, ayuda a la obtención de una buena fundición de aleaciones con altos esfuerzos internos, además crea una buena calidad porque la estructura de fundición se realiza en granos uniformes.

En el apéndice se presentan tablas (I, II, III) de cantidades que

muestran los límites de la composición química de las aleaciones del aluminio.

CAPITULO III
ESTUDIO DE MERCADO

1. - Producción interna del País.

En México, sólo existe una planta de aluminio primario, la cual está ubicada en el Puerto de Veracruz. Tiene su capacidad -- instalada, para producir 44, 500 toneladas al año, planeándose expansiones hasta 90, 000 toneladas.

A continuación podemos observar, en la siguiente tabla-
No. 1, la producción de aluminio primario por "ALUMSA".

TABLA No. 1

AÑOS	PRODUCCION (Toneladas de lingote de aluminio)
1967 -----	21813
1968 -----	23826
1969 -----	32383
1970 -----	33963
1971 -----	39930
1972 -----	39483
1973 -----	39162
1974 -----	41146
1975 -----	39913
1976 -----	42359

Examinando los datos anteriores, se observa que en 1976 la producción de aluminio pasó de 39, 913 toneladas del año anterior, a 42, 359, o sea, hubo un incremento de 2. 4%. El consumo aparente fue de 95, 250 toneladas, es decir, un 4. 2% de aumento sobre 1975; - por lo que para cubrir el déficit producción/consumo, hubo que importar 48, 090 toneladas.

2. - Importaciones en Volumen.

Debido a que el consumo nacional de Aluminio primario, ha sido superior al producido por "ALUMSA", se ha importado --- tanto aluminio primario, como productos semifabricados y factura-- dos. En seguida se muestra la tabla 2, que presenta importaciones - que se han hecho desde 1967, incluyendo cable, alambIÓN y otros - - productos.

TABLA No. 2

AÑOS	IMPORTACION (Toneladas)
1967 -----	31778
1968 -----	25309
1969 -----	24738
1970 -----	30252
1971 -----	24738
1972 -----	31652
1973 -----	46342

1974 -----	45558
1975 -----	45151
1976 -----	48094

Analizando los datos anteriores, se concluye que la demanda interna de aluminio tiende a aumentar, por lo que en 1976 fue iniciado el proyecto de una segunda planta fundidora de aluminio por la nueva empresa JALUMEX, S. A., resultado de un acuerdo entre el gobierno Mexicano y el de Jamaica. Se escogió el sitio para las construcciones en Coatzacoalcos, Ver., habiéndose efectuado estudios de viabilidad en 1976, y proyectándose elaborar los planos en 1977, para poder arrancar en 1980 con una capacidad de 50 mil toneladas iniciales y un rendimiento máximo de 150 mil toneladas para 1981.

3.- Usos del Aluminio y sus Aleaciones. *

Los productos semiacabados que se fabrican en México con base en los materiales primarios, se anuncian a continuación:

I. - Base: Lingote de Laminación:

- A) Lámina de hoja lisa (gruesa).
- B) Lámina acanalada.
- C) Papel Aluminio ("Foil").
- D) Aluminio Montado.

II. - Base: Lingote de extrusión:

A) Productos standard.

1. - Molduras.

2. - Barras.

3. - Tubos.

B) Perfiles Arquitectónicos.

III. - Base: Lingote de Fundición:

A) Piezas de Fundición.

IV. - Base: Alambón:

A) Cables y alambres.

Las variaciones en la participación de materiales primarios aparecen a continuación:

	<u>1966</u>	<u>1970</u>	<u>1971</u>	<u>1972</u>	<u>1973</u>	<u>1974</u>
Lingote para Fundición ---	12%	45%	48%	50%	33%	41%
Lingote de extrusión ---	39%	37%	29%	33%	36%	37%
Lingote de Laminación ---	40%	17%	23%	17%	31%	22%
Alambón ---	-	1%	-	-	-	-

En la industria se busca por lo común, alguna propiedad o combinación de propiedades del Aluminio, que lo hagan particularmente adaptable a determinada aplicación.

3.1. - Industria Química de Productos Alimenticios y Bebidas.

Por razón de que el Aluminio se puede obtener en muy diferentes formas de artículos fabricados, y en vista de que se puede armar y acabar por varios procedimientos, se usa mucho en la Industria Química y de elaboración de comestibles. A continuación se da una lista de algunos usos dentro de esta Industria.

- A) Tanques para almacenamiento y camiones.
- B) Envases para transporte.
- C) Tuberías.
- D) Válvulas.
- E) Peroles.
- F) Cambiadores de calor.
- G) Destiladores.
- H) Evaporadores de Vacío.
- I) Tapas de envases para leches, comestibles y medicamentos.

La resistencia que tiene el Aluminio contra diversos ácidos orgánicos e inorgánicos, soluciones de sales, compuestos orgánicos, azufre, etc., indica la gran variedad de aplicaciones que tiene en la Industria Química.

Son muy usuales los utensilios de cocina hechos de Aluminio, y es bien conocida su durabilidad. Es útil también, para enva

ses y aparatos en que se efectúan fermentaciones y otros procesos biológicos, pues el metal es inerte y no perturba la multiplicación de los microorganismos.

3.2. - Industria Metalúrgica.

El Aluminio es un importante agente de aleación en Metalúrgia ferrosa.

En proporción hasta de 10% aumenta eficazmente la resistencia contra la oxidación en las aleaciones de hierro y aluminio que se emplean como resistencias y unidades de calentamiento. El aluminio es un componente importante junto con el níquel y el cobalto de las aleaciones alumínicas para imanes. Cuando se añade 10% de Aluminio al cobre se forma el bronce alumínico, duro, fuerte y de color parecido al del oro. También se usa el Aluminio como importante elemento en aleaciones a base de magnesio.

3.3. - Aplicaciones estructurales.

El aluminio tiene una de sus mayores aplicaciones en el campo de los transportes, para la construcción de autobuses, camiones, automóviles, trenes, embarcaciones y aeronáutica en general.

Los émbolos son un ejemplo de aplicación eficaz del aluminio en los motores de automóviles. Muchos años de experiencia han demostrado la utilidad del aluminio en la marina, por ejemplo, a los barcos les da mayor estabilidad y además aumenta la capacidad de carga.

La industria del aluminio fabrica piezas estructurales, - como planchas, canales y vigas de los tamaños requeridos para puentes, torres y tanques.

La resistencia del aluminio contra los agentes atmosféricos permite una mayor aplicación en arquitectura, por ejemplo, construcción de ventanas, puertas y soleras. También en interiores tiene muchos usos tanto estructurales como funcionales, desde banderillas de escaleras hasta muebles.

La hoja de aluminio con su bajo poder emisor y alta reflectividad del color radiante, es un magnífico material aislante; pero se debe instalar dejando espacios de aire que separen las superficies del aluminio, de tal forma que por reflexión, puedan reducir a lo mínimo la transmisión de energía radiante.

3.4. - Industria eléctrica.

La conductividad eléctrica del aluminio es aproximada - mente de 61% con relación a la del cobre, pero como el aluminio pesa menos de la tercera parte del cobre, unidad por unidad, es dos - veces más efectivo como conductor eléctrico. Además el aluminio - es más fácil de procesar, por ser más dúctil que el cobre.

Las primeras pruebas de conductores eléctricos de aluminio, fueron hechas en 1895 cuando el aluminio costaba aproximadamente cinco veces más que el cobre, lo cual hizo que éste último dodo

minara el mercado de los conductores por muchos años. Sin embargo, en las décadas más recientes esa relación quedó totalmente invertida, y el precio del aluminio ha disminuído y el del cobre ha aumentado dando como resultado que el aluminio esté abarcando más y más volumen del tradicional de los conductores de cobre.

Hoy existen en servicio, aproximadamente, 1, 250 000 -- millas de cable de aluminio reforzado con acero. Esta clase de cable comprende un núcleo de alambre de acero, circundado por los conductores de aluminio que transmiten la corriente. La fortaleza del centro y el poco peso del cable, permite que se tiendan grandes tramos, y el área de los conductores de aluminio es suficientemente alta para reducir las pérdidas por fulguración (efecto corona) a voltajes altos. Para distribuir corriente eléctrica en fábricas y plantas eléctricas y sus alrededores, tienen aplicación las barras colectoras de aluminio, bien en forma de barra plana, de tubos o en canales.

Los motores de inducción se fabrican con arrollamientos de aluminio vaciado.

3.5. - Polvo de aluminio.

El polvo de aluminio tiene aplicación importante en la fabricación de pigmentos.

3.6. - Otras aplicaciones.

El aluminio adquiere igual importancia en equipos para combatir incendios, que en equipo minero, de la construcción, de la impresión, textil, es decir, literalmente en todos los campos que el hombre trabaja a fin de sobrevivir, crecer y mejorarse.

Suele decirse que una de las funciones básicas de la industria es convertir materias primas en artículos útiles: ropa para vestir, libros para leer, llantas para rodar y platillos para alimentarse, es decir, la interminable lista de cosas que alguien ha llamado "el fabuloso catálogo de los deseos humanos".

Asimismo, puede elaborarse otro catálogo igualmente -- largo, igualmente impresionante, de la lista de funciones del aluminio en la industria. Por otra parte, sin el aluminio muchos de los -- procesos empleados por la industria moderna, podrían ser mucho -- más costosos, más tardados, y en algunos casos, imprácticos e imposibles. Por ejemplo los recipientes y los tubos de aluminio prote-- gen la pureza de los productos, ya que almacenan o conducen reactivos químicos que destruirían a todos los demás metales.

Y terminamos aquí con los ejemplos del uso del alumi-- nio, para no hacer de esta tesis, ese "catálogo interminable" del -- que hablamos anteriormente.

4. - Principales consumidores y su distribución geográfica.

Este sector está integrado actualmente por varias empresas que en conjunto elaboran una gran variedad de manufacturas y materiales semi-básicos, destacando por su importancia las empresas de ALCOMEX, S. A. en Monterrey, N. L., ambas - - compañías son productoras de perfiles estructurales de Aluminio.

Las principales empresas consumidoras de aluminio primario y que fabrican productos industriales de aluminio en México son:

<u>EMPRESA</u>	<u>PRODUCTO</u>	<u>UBICACION DE LA PLANTA</u>
1. - ALCAN, S. A.	Lámina (foil), pasta de aluminio, perfiles estructurales.	Tuxtepec, Edo. de Méx.
2. - ALCOMEX, S. A.	Perfiles estructurales de todo tipo.	Ex-Hacienda La Presa, Edo. de México.
3. - ALUMEX, S. A.	Lámina lisa y acanalada, natural y pintada.	Puebla, Pue.
4. - ALUMEX, S. A.	Perfiles extruïdos tipos Standard y arquitectónicos.	Puebla, Pue.
5. - CIA. NACIONAL DE EXTRUCCIONES, S. A.	Perfiles estructurales de todo tipo.	Guadalajara, Jal.
6. - CUPRUM, S. A.	Perfiles estructurales de todo tipo.	Monterrey, N. L.

<u>EMPRESA</u>	<u>PRODUCTO</u>	<u>UBICACION DE LA PLANTA</u>
7. - REYNOLDS ALUMINIO, S. A.	Lámina, perfiles estructurales, papel aluminio- ("foil").	Barrientos, Edo. de Méx.
8. - ALUMINIO MONTERREY, S. A.	Tubos, perfiles.	Monterrey, N. L.
9. - INDUSTRIAS "LA VASCONIA".	Utensilios de cocina.	D. F.
10. - METALES AGUILA, S. A.	Aluminio puro y aleado.	D. F.
11. - ZINC INDUSTRIAL, S. A.	Aluminio puro y aleado.	Edo. de México.

5. - Historia de precios.

En años recientes, la demanda de productos de aluminio se ha mantenido a -- muy buen nivel a pesar de que sus precios son más elevados. En el transcurso de 1974 - Aluminio, S. A. de C. V., aumentó en dos ocasiones sus precios. En la primera, que tuvo lugar en el mes de junio, el precio de la tonelada de lingote se elevó de \$9, 800 a - \$ 10, 087 pesos. Posteriormente en agosto, se autorizó un nuevo aumento de 20.1% con - respecto al mismo período del año pasado, con lo que el precio del Aluminio ascendió a - \$ 12, 120 pesos la tonelada.

Estos aumentos en los precios se debieron principalmente a los mercados incrementos en los precios de la materia prima, sobre todo del sílice y de la alúmina. El - 100% de la alúmina que se emplea en la fabricación de aluminio es importada, ya que México carece de yacimientos de bauxita, único mineral del que se puede obtener aluminio - en forma rentable. Otros factores que han contribuido al alza en los precios del aluminio fueron, el incremento en los costos tanto de operación como laborales, el precio más --

elevado de los energéticos, especialmente el de la energía eléctrica, y la notable demanda de aluminio experimentada en el transcurso de 1974, aunque esta se reflejó principalmente en los precios de los -- productos terminados, puesto que el precio del aluminio primario - está bajo control. Actualmente (1978) "ALUMSA" vende a \$ 26, 600- la tonelada de aluminio primario.

Por lo que toca a los mercados mundiales, mientras en Noviembre de 1973 el precio de la libra de aluminio fluctuaba alrede dor de los \$ 0.26 dólares, en noviembre de 1974 era de \$ 0.39 dólares de libra. Y con toda seguridad el precio del aluminio en los mer cados Internacionales continuará en ascenso, debido a: (1) la falta de capacidad de producción para satisfacer la demanda mundial de éste- producto y (2) las intenciones de los principales productores de bauxi ta de formar una organización similar a la de los países productores de petróleo la OPEP-, con el propósito de aumentar y controlar el -- precio de éste mineral. Además de que en Australia y Francia -las - reservas de bauxita de esta última están casi agotadas-, la produc-- ción de dicho mineral se concentra en una serie de países en proceso de desarrollo tales como Jamaica, Guayana, Trinidad-Tobago y Suri- nam.

En marzo de 1974 los principales productores de bauxita, encabezados por Australia (posee el 25% de las reservas mundiales), se reunieron en Conakry, Gunea, para establecer las bases de ésta -

organización. Y aunque a la fecha no se ha precisado ninguna, y es posible que nunca se lleguen a precisar, algunos países han comenzado, por iniciativa propia, agravar a las compañías extranjeras que explotan los depósitos de bauxita en su territorio. El mejor ejemplo de lo anterior lo constituye Jamaica, quien promulgó una ley que obliga a las compañías extranjeras que operan dentro de sus límites a pagar regalías más elevadas por la bauxita que extraen. Estas compañías -son seis- deberán pagar al gobierno Jamaicano por el mencionado concepto una cantidad que equivale al 7.5% del precio real a que se vende el lingote de aluminio, cifra que aumentó al 8.5% en 1977. - Así pues, las regalías por tonelada de dicho metal serán ahora de - - \$14.50 dólares, en lugar de los \$ 2.50 que se pagaban antes de la promulgación de la ley.

Ahora bien, a pesar de que el próximo año los precios de aluminio serán mucho más altos, se estima de que en 1979 la demanda mundial de aluminio será muy elevada y que la escasez de éste mineral persistirá todavía por varios años.

6. - Proyección de la demanda.

Para preveer la demanda de aluminio primario en años futuros, se procederá a determinar y analizar algunos métodos estadísticos que nos estimarán la demanda en un lapso de 5 años.

Los datos base son los siguientes:

AÑO	CONSUMO APARENTE (Toneladas de aluminio primario)
1970 -----	57715
1971 -----	52399
1972 -----	76070
1973 -----	89402
1974 -----	91321
1975 -----	91404
1976 -----	95251

CONSUMO APARENTE: Producción Nacional + importaciones + recuperación de aluminio secundario - (exportaciones + pérdidas por fusión).

6.1. - Método de regresión lineal simple.

La ecuación base para este método es:

$$Y = \tilde{\alpha} + \tilde{\beta} X \quad (1)$$

En donde Y presenta las toneladas de aluminio y X son los años, -

$\tilde{\alpha}, \tilde{\beta}$

son constantes de proporcionalidad.

<u>X</u>	<u>Y</u>	<u>X²</u>	<u>Y²</u>	<u>XY</u>
1(1970)	57715 -----	1 -----	33.31 X 10 ⁸ -----	57715
2(1971)	52399 -----	4 -----	27.45 X " -----	10978
3(1972)	76070 -----	9 -----	57.86 X " -----	228210
4(1973)	89402 -----	16 -----	79.92 X " -----	357608

5(1974)	91321	----	26	----	83.29×10^8	----	456605
6(1975)	91404	----	36	----	$83.54 \times "$	----	548424
7(1976)	<u>95251</u>	----	<u>49</u>	----	<u>$90.72 \times "$</u>	----	<u>666757</u>
28	553,562		140		456.19×10^8		2,420,117

$$\hat{B} = \frac{\sum XY - \frac{(\sum X)(\sum Y)}{n}}{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}} \quad (2)$$

$$= \frac{2420117 - \frac{(28)(553,562)}{7}}{140 - \frac{(28)^2}{7}}$$

$$\hat{B} = \frac{205,869}{28}$$

$$\hat{B} = 7352.46$$

$$\hat{a} = \bar{Y} - \hat{B} \bar{X} \quad (3)$$

En donde \bar{Y} , es la media de las Y toneladas y \bar{X} es la media de los años.

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y}{n}$$

$$\bar{Y} = \frac{553,562}{7} = 79080.28$$

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n}$$

$$\bar{X} = \frac{28}{7} = 4$$

usando la ecuación 3, se tiene:

$$\hat{a} = \bar{Y} - \hat{B} \bar{X}$$

$$\hat{a} = 79080.28 - 7352.46 (4)$$

$$\hat{a} = 49670.44$$

Cálculo de las toneladas esperadas

Usando la ecuación (1), tenemos:

$$\text{para } X = 1 \quad Y = 49670.44 + 7352.46 (1)$$

$$Y = 57022.9$$

Siguiendo con el mismo cálculo y agrupando valores, se obtiene la tabla siguiente:

TABLA No. 4

<u>X</u>		<u>Y</u>
1	1970	57022.9
2	1971	64375.36
3	1972	71727.82
4	1973	79080.28
5	1974	86432.74
6	1975	93785.2
7	1976	101137.66
8	1977	108490.12
9	1978	115842.58
10	1979	123195.04
11	1980	130547.5
12	1981	137899.96

Ver gráfica No. 1 apéndice.

1982	1452521.46	90-209672.1
83	152604.92	91-211424.6
84	159957.39	92-218777.1
85	167309.85	93-226129.5
+ 86	174662.32	94-233482.0
87	182014.79	95-240834.5
88	189367.25	96-248186.9
	196719.72	97-255539.4
		98-262891.8

Verificado por medio del coeficiente de correlación obtenemos la --
tabla No. 5.

$$\rho = \hat{\beta} \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{\sum (y - \bar{y})^2}} \quad (4)$$

TABLA No. 5

<u>X</u>	<u>Y</u>	<u>X - \bar{X}</u>	<u>(X - \bar{X})²</u>	<u>Y - \bar{Y}</u>	<u>(Y - \bar{Y})²</u>
1	57715	- 3	9	-21365.28	456.4X10 ⁶
2	52399	- 2	4	-26681.28	711.8X10 ⁶
3	76070	- 1	1	- 3010.28	9.0X10 ⁶
4	89402	0	0	-10321.28	106.5X10 ⁶
5	91321	1	1	12240.72	149.8X10 ⁶
6	91404	2	4	12323.72	151.8X10 ⁶
7	95251	3	9	16170.72	261.4X10 ⁶
<u>28</u>	<u>553,562</u>		<u>28</u>		<u>1846.7X10⁶</u>

$$\begin{aligned} \rho &= 7353.46 \sqrt{\frac{28}{1846.7 \times 10^6}} \\ &= 7353.46(0.01516 \times 10^{-6})^{1/2} \\ &= 7353.46(0.12313 \times 10^{-3}) \\ &= 7353.46(0.000123) \end{aligned}$$

$$\rho = 0.905$$

El coeficiente de correlación es cercano a la unidad, por -
 lo que se deduce que la proyección de la demanda es confiable.

Cálculo del error

Para determinar el error se hace uso de la siguiente ecuación:

$$E = Y_i - Y_1 \quad (5)$$

donde:

E = Error

Y_i = Ton. consumidas

Y_1 = Ton. consumidas estimadas.

TABLA No. 6

<u>AÑOS</u> <u>X</u>	Y_i	Y_1
1	57715	57022.9
2	52399	64375.36
3	76070	70727.82
4	89402	79080.28
5	91321	86432.74
6	91404	93785.20
7	95251	101137.66

Aplicando la ecuación (5), tenemos:

TABLA No. 7

<u>AÑOS "X"</u>	<u>Error "E"</u>
1	692.1
2	- 11976.36

3	4342.18
4	10321.72
5	4888.26
6	2381.2
7	- 5886.66

Este cálculo anterior, nos da valores de las diferencias entre el consumo real y lo estimado.

6.2. - Método cuadrático (Parábola)

Este método tiene como base la siguiente ecuación:

$$Y = A_0 + A_1X + A_2X^2 \quad (6)$$

En donde Y representa las toneladas consumidas y X los años, A_0 , A_1 y A_2 son constantes de proporcionalidad. Para evaluar las constantes, se hace uso del siguiente sistema de ecuaciones:

$$Y = A_0 + XA_1 + X^2 A_2 \quad (7)$$

$$XY = XA_0 + X^2A_1 + X^3A_2 \quad (8)$$

$$X^2Y = X^2A_0 + X^3A_1 + X^4A_2 \quad (9)$$

TABLA No. 8

X	Y	X ²	X ³	X ⁴	XY	X ² Y
1	57715	1	1	1	57715	57715
2	52399	4	8	16	104798	209596
3	76070	9	27	81	228210	684630
4	89402	16	64	256	357608	1430432
5	91321	25	125	625	456605	2283025
6	91404	36	216	1296	548424	3290544
7	95251	49	343	2401	666757	4667299
8	553562	140	784	4676	2420117	12623241

Substituyendo valores en las ecuaciones 7, 8 y 9 se tiene:

$$553,562 = 7A_0 + 28A_1 + 140A_2$$

$$2\,420\,117 = 28A_0 + 140A_1 + 784A_2$$

$$2\,623\,241 = 140A_0 + 784A_1 + 4676A_2$$

Resolviendo este sistema de ecuaciones, se obtienen los siguientes valores para las constantes de proporcionalidad.

$$A_0 = 49717.64$$

$$A_1 = 1689.06$$

$$A_2 = 1130.32$$

Calculo de las ton. esperadas.

Para esto, hacemos uso de la ecuación (6), así pues tenemos para $X = 1$

$$Y = A_0 + A_1X + A_2X^2$$

$$= 49717.64 + 1689.06(1) + 1130.32(1)^2$$

$$= 52,536.98$$

Si siguiendo con el mismo cálculo y agrupando valores se tiene la siguiente tabla (9):

TABLA No. 9

<u>X</u>		<u>Y estimada.</u>
1	1970	52536.98
2	1971	57617.04
3	1972	64957.70
4	1973	74559.00
5	1974	86420.94
6	1975	100543.52
7	1976	116926.74
8	1977	135570.6
9	1978	156475.1
10	1979	179640.24
11	1980	205066.02
12	1981	232752.44

Ver gráfica No. 2 apéndice.

Calculo del coeficiente de correlación lineal

Para ello se usa la ecuación siguiente:

$$P = \frac{N \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[N \sum X^2 - (\sum X)^2][N \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}} \quad (10)$$

$$P = \frac{(7)(2420117) - (28)(553562)}{\sqrt{7(140) - (28)^2} \quad 7(456.19 \times 10^8) - (553562)^2}$$

$$P = \frac{16,940819 - 15,499736}{\sqrt{980 - 784} \quad 3193.33 \times 10^8 - 30.64 \times 10^{10}}$$

$$= \frac{1,441083}{(L96) (7.29 \times 10^{10})}$$

$$= 0.9063$$

Calculo del coeficiente de correlación No. Lineal.

Tendremos como base la siguiente ecuación:

$$r^2 = \frac{(\text{Yest.} - \bar{\text{Yest.}})^2}{(Y - \bar{Y})^2} \quad (11)$$

$$\bar{\text{Yest.}} = \frac{\text{Yest.}}{N}$$

$$\bar{\text{Yest.}} = \frac{553,561.92}{7}$$

$$\bar{\text{Yest.}} = 79080.27$$

TABLA No. 10

<u>X</u>	<u>Y</u>	<u>Y - \bar{Y}</u>	<u>(Y - \bar{Y})²</u>	<u>Y est.</u>	<u>Ye - \bar{Ye}</u>	<u>(Ye - \bar{Ye})²</u>
1	57715	-21365.28	4.56X10 ⁸	52536.98	-26543.29	7.04X10 ⁸
2	52399	-26681.28	7.11X10 ⁸	57617.04	-21463.23	4.60X10 ⁸
3	76070	-3010.28	0.09X10 ⁸	64957.7	-14122.57	1.99X10 ⁸
4	89402	10321.72	1.65X10 ⁸	74559.0	-4521.27	0.20X10 ⁸
5	91321	12240.72	1.49X10 ⁸	86420.0	7340.67	0.53X10 ⁸
6	91404	12323.72	1.51X10 ⁸	100543.0	21463.25	0.60X10 ⁸
7	95251	16170.72	2.61X10 ⁸	116926.74	37846.47	14.32X10 ⁸
			18.43X10 ⁸	553561.92		33.28X10 ⁸

Substituyendo los valores necesarios en la ecuación base:

$$\gamma^2 = \frac{33.28 \times 10^8}{18.43 \times 10^8}$$

$$\gamma^2 = 1.80$$

$$\gamma = 1.34$$

El coeficiente de correlación no lineal es mayor que la --
unidad, por lo que este método se separa o no se apega a la realidad.

CAPITULO IV

REVISION DE TECNICAS EXISTENTES

El desarrollo de las técnicas metalúrgicas de producción de aluminio, han tenido como objetivo fundamental hacer descender el precio de costo de éste. En la actualidad, el proceso BAYER para la obtención de alúmina y el proceso HEROULT para su reducción, son los que han tenido más aplicación.

Por consiguiente, serán países productores sobre todo, - aquellos que dispongan de energía eléctrica; desde éste punto de vista la energía hidráulica juega un papel esencial.

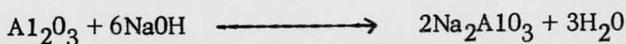
1. - Obtención de la alúmina.

El aluminio abunda mucho en la naturaleza en forma de -- feldespatos, micas y arcillas como el caulín; la espinela, ($MgAl_2O_4$ - o Al_2O_3), es el tipo de un grupo de minerales; pero el principal mineral de aluminio es la bauxita, término que se aplica por lo general a - menas compuestas principalmente de óxidos hidratados de aluminio. - Estos minerales son: gibbsita (Al_2O_3 o $3 H_2O$) y boehmita (Al_2O_3 . --- H_2O). Las bauxitas contienen el trihidrato, el monohidrato o una mezcla de ambos con algunas impurezas que son principalmente óxidos de hierro, silicio, y titanio. Una bauxita (trihidrato) típica puede tener - la siguiente composición aproximada: 30%, como agua combinada, 58%, como alúmina, 5% como óxido férrico, 5%, como sílice y 2% como óxi - do de titanio.

Las bauxitas son producidas por la acción de los agentes atmosféricos sobre silicatos de aluminio, y se hallan principalmente en las zonas templadas y tórridas, donde pudo avanzar en grado considerable la separación y arrastre de la sílice por el agua. Hay grandes yacimientos en la parte norte de América del sur, Francia, Italia, Hungría, Yugoslavia y Estados Unidos.

1. 1. - Proceso Bayer.

Esta técnica es mas usual para refinar la bauxita. Consiste en atacar la bauxita, previamente triturada a 100 mallas, mediante una solución caliente de sosa cáustica (150-160°C) para que la alúmina quede en solución en forma de aluminato, efectuandose la siguiente reacción:



Después se separa el líquido del residuo insoluble, se precipita el trihidrato de alúmina, $\text{Al}(\text{OH})_3$ y se calcina para producir la alúmina para que se envíe a las plantas de reducción.

En las plantas de proceso Bayer se pulveriza muy bien la bauxita, se pone en digestores con legía que queda de un ciclo anterior y cantidades suficientes de cal y carbonato sódico para obtener la necesaria concentración de hidróxido de sodio. Después de la digestión por tiempo conveniente y con vapor de 3.5 KG/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 de aluminato sódico es conducida a grandes tanques de precipitación, donde se "ceba con lluvia" de 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 espesadores 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 el alfa-alúmina no higroscópica. Esta última 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. En la práctica, por cada kilogramo de sílice que haya en la bauxita se pierde aproximadamente un kilogramo de alúmina y un kilogramo de carbonato sódico anhidro.

Los factores que originan gastos significantes en el ciclo

son:

- a). - Producción de vapor necesario para el tratamiento en autoclave y la concentración de la sosa: Kg por Kg de alúmina.
- b). - Pérdida de sosa por impurezas (SiO_2 , y otras), lo -

que lleva a tratar estos residuos en horno rotativo, -
 produciéndose la siguiente reacción:

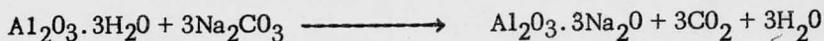


c). - La mano de obra.

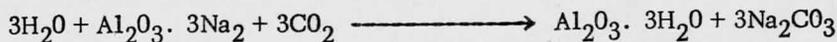
Todo esto hace que se instalen plantas con capacidad de -
 100 toneladas día como mínimo, localizadas de preferencia en luga--
 res de producción de bauxita. A continuación se ilustra el proceso ---
 mencionado mediante un diagrama de flujo (esquema No. 1).

1. 2. - Proceso Ste - Claire Deville. -

Este procedimiento se utilizó durante mucho tiempo, estri
 ba en tratar la bauxita con carbonato de sodio a una temperatura de --
 1200°C, para lo cual se hace uso de un horno de cemento, en dicha --
 operación se lleva a cabo la siguiente operación y reacción:



Este producto que se obtiene después de la calcinación, es
 tratado mediante una solución purificada de aluminato sódico. Duran--
 te todo este proceso, y la solución de aluminato filtrada, se somete a
 hidrólisis mediante CO₂ a presión, de acuerdo a la siguiente reacción



La alúmina hidratada es insoluble en la solución carbona--
 tada, por lo que se separa por decantación y filtración. A continua--
 ción esta alúmina se calcina a 1200°C en horno rotativo, (esquema No.
 2).

2. - Reducción de la alúmina.

Para el desarrollo de ésta etapa, actualmente existen dos procesos, a saber:

- a). - Proceso Hall-Hérout.
- b). - Proceso electrotérmico.

De éstos dos procedimientos, el más costeable es el proceso Hérout, ya que en el proceso electrotérmico, se hace uso de -- altas temperaturas para reducir la alúmina mediante carbón. Además, hay otras dificultades: la reducción de la alúmina con carbón no es rápida, hasta que la temperatura llegue a unos 1800°C, la cual es tan -- próxima al punto de ebullición del aluminio que es muy alta la presión de vapor de éste. Además es muy grande el volumen de gas que se -- forma por oxidación del carbón. Todos éstos factores dificultan la separación del aluminio metálico, haciendo que los costos de operación -- se eleven. En la práctica solo se ha efectuado esta separación absorbiendo el aluminio en un metal menos volátil, como el hierro, el silicio o el cobre, lo que da por resultado la formación de una aleación -- que se emplea como tal o se refina de alguna manera. Se han produ-- cido algunas aleaciones de esta clase, pero el procedimiento ha tenido muy poca aplicación.

2.1. - Proceso Hall-Hérout.

Este procedimiento se funda en que la alúmina se disuelve en criolita fundida (Al_2F_6 , $6NaF$), y que por electrólisis de ésta solu-

ción, 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. 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 cm de largo. Estos ánodos se suspenden de una barra colectora que se puede ^{subir} 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.

También se emplea el electrodo continuo Soderberg de auto cocción, el cual se forma en una gran funda rectangular de aluminio y se extiende desde la celda hasta una plataforma superior. La mezcla de carbono se agrega por arriba; la extremidad inferior de ánodo se -- cuece con el calor de la celda y de la corriente que pasa por el electro do donde se volvió conductor. Como durante la electrólisis se consume carbono en el extremo inferior del ánodo, se agrega más mezcla por arriba y de tiempo en tiempo se suplementa el casco para que sea con tínua la operación. La corriente penetra por grapas o abrazaderas di s puestas en un lado y cerca del nivel de la celda. La ventaja que tiene -- éste electrodo es que evita la necesidad de una planta separada para -

fabricar electrodos de carbono.

El tamaño de la celda depende en gran manera de la corriente de electrólisis que se haya de emplear.

Para iniciar la operación, 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 costra protectora de electrólito en la superficie del baño, alrededor de los ánodos y entre ellos.

Si se cuidan éstas condiciones, dura más el revestimiento de la celda y se producen 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, de donde se extrae periódicamente por una llave o por un mecanismo de sifón. A causa de la oxidación, los ánodos se consumen aproximadamente 2/3 de kilogramo de carbono por cada kilogramo de aluminio metálico que se produce. Las impurezas de los ánodos (hierro y silicio) se disuelven en el baño, se reducen a la vez que la alúmina y contaminan el alu--

minio metálico; por lo tanto, es indispensable que sean muy puros los materiales con que se hacen los electrodos de carbono.

El electrólito puede ser de criolita, pero se acostumbra - agregarle algo de fluoruro de calcio para reducir el punto de fusión y aumentar la fluidéz del baño. Hay pérdidas por arrastre, por absorción en el revestimiento y otras causas, de tal forma que se consume algo de electrólito. La pérdida es aproximadamente de 0.1 kilogramo por kilogramo de aluminio producido. Se necesitan aproximadamente 2 kilogramos 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 una súbita 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 con la operación -- normal, continúa rápidamente la electrólisis hasta que se vuelve a reducir considerablemente el contenido de alúmina y se produce otro -- efecto del ánodo. En la figura 1, se ilustra la celda electrolítica usada para este proceso. *Datos de Energía.*

3. - Colada de lingotes.

El metal que sale de las cubas electrolíticas, de las que se va extrayendo periódicamente, no es directamente utilizable, puesto - que contiene diversas impurezas como son: alúmina, hidrógeno, y al-

gunos metales alcalinos, las cuales perjudican su utilización industrial. Estas impurezas se eliminan por decantación durante un tiempo suficiente en hornos de esfera. Sobre el "caldo" que se encuentra en los hornos de decantación se realizan diversos controles:

- a). - Análisis espectrográfico del metal.
- b). - La determinación rápida sobre probeta de la conductividad eléctrica para usos eléctricos.
- c). - La determinación del contenido de gas, para verificar si el tiempo de decantación ha sido suficiente.

A continuación se realiza la solidificación del metal, en las siguientes formas:

- I). - En lingotes de peso y forma variadas (1 a 10 kg.), -- cómodos para la refusión.
- II). - En placas o barras para posterior transformación.

ESQUEMA N.º 1 "PROCESO BAYER"

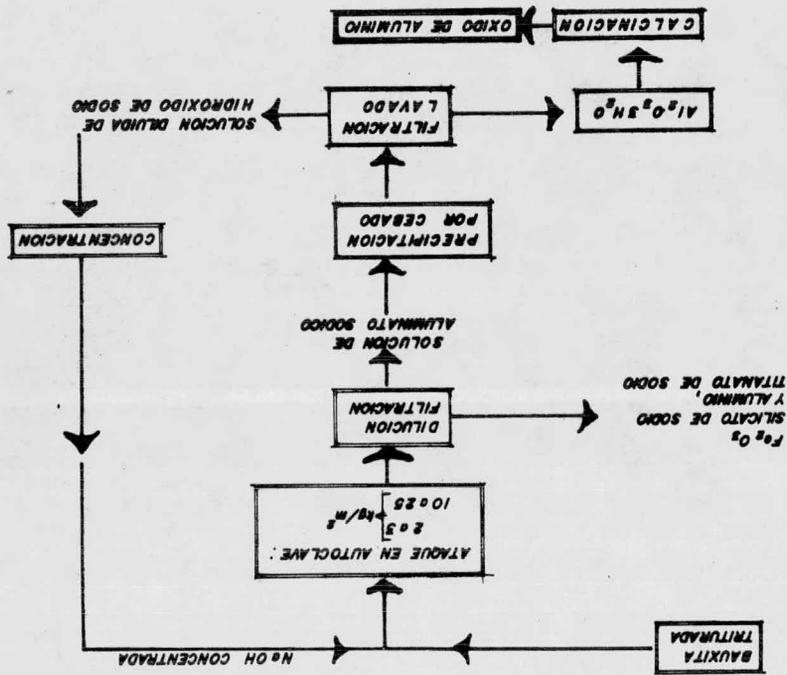
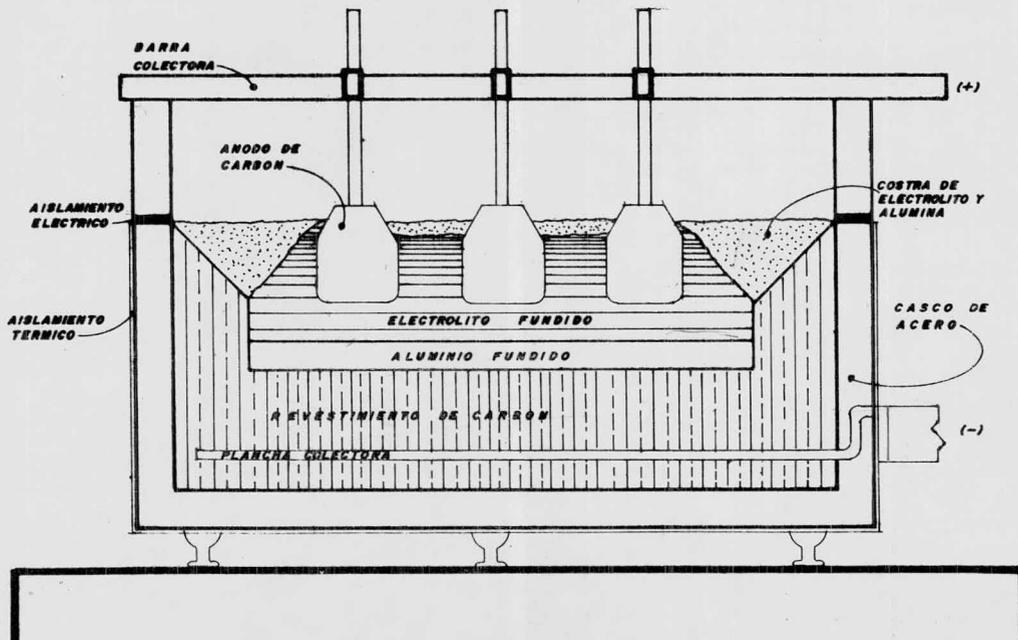


FIGURA No.1

**CELDA ELECTROLITICA
PARA LA REDUCCION DE ALUMINA**



CAPITULO V
ESPECIFICACIONES DE CALIDAD PARA ALUMINIO Y
ALEACIONES PRINCIPALES

Esta sección contiene un breve resumen de las especificaciones del aluminio, con comentarios sobre de las aleaciones y del tratamiento térmico de las mismas, para lo cual se ha dividido en tres partes.

- a. - Propiedades físicas.
- b. - Propiedades mecánicas.
- c. - Especificaciones químicas en "ALUMSA".

1. - Propiedades físicas.

La densidad del aluminio puro es: 2.7 g/cc por lo que es una tercera parte de la del acero (7.7-7.8 g/cc) y la del cobre (8.9 g/cc). Las cantidades relativamente reducidas de otros metales que se agregan para formar las aleaciones, no cambian su densidad en forma apreciable; siendo la aleación más liviana la ALCAN 350 con densidad de 2.56 g/cc. El peso liviano de las aleaciones de aluminio junto con su resistencia, son características fundamentales que implican un uso muy extenso.

El aluminio puro tiene una resistividad de 0.00000262 ohmios/cc.

El alambre de aluminio ALCAN DIS-H18 estirado en frío para la transmisión de potencia, tiene una conductividad mínima del 61% de las IACS (norma internacional de cobre recocido).

Se notará que no obstante la menor conductividad del aluminio, en comparación con la del cobre; un aluminio con la misma resistencia que uno de cobre, solo pesa la mitad.

Aunque todas las impurezas y elementos de aleación, tienden a reducir la conductividad eléctrica del aluminio, varían mucho en severidad. Si el aluminio contiene cantidades muy reducidas de vanadio o titanio, en forma de impurezas, su conductividad resulta seriamente afectada, mientras que el magnesio afectaría muy poco.

El tratamiento térmico en solución también tiende a disminuir la conductividad, pero esta propiedad se restaura con el endurecimiento por envejecimiento subsiguiente.

El aluminio puro tiene una conductividad térmica (factor K) de 0.53 calorías por segundo por centímetro cuadrado por centímetro de espesor por grado centígrado (Tabla I), o sea 1540 unidades térmicas británicas por hora, por pie cuadrado, por pulgada de espesor, por grado Fahrenheit. De modo que su conductividad térmica es 41 sobre 2 veces mayor que la de acero dulce.

La aleación con otros metales tiende a reducir la conductividad térmica. La alta conductividad térmica del aluminio frecuen-

temente es un factor importante en su uso en la industria alimenticia y química.

Las conductividades térmicas de las aleaciones fraguadas y para fundición aparecen en la tabla IV, en el apéndice.

El aluminio puro tiene un coeficiente de expansión térmica de $0.0000238 \text{ mm}/^{\circ}\text{C}$ ($0.0000132 \text{ pulg.}/^{\circ}\text{F}$), dentro de un intervalo de $20\text{-}100^{\circ}\text{C}$.

Este coeficiente es aproximadamente 2 veces el del acero. Pero debido al bajo módulo de la elasticidad del aluminio, se inducen tensiones menores en la estructura del aluminio con los cambios de temperaturas que en la del acero. La aleación con otros metales afecta muy poco al coeficiente de expansión. El punto de fusión del aluminio es de 66°C (1220°F). Las aleaciones de aluminio, por la presencia de otros metales, tienen un punto de fusión más bajo que el aluminio puro y la fusión ocurre dentro de un intervalo de temperatura, que en general es mayor conforme aumentan los elementos de aleación.

Una aleación moderada como la ALCAN 50 S (2 % de aleación) se funde entre 600 y 650°C , en tanto que el ALCAN 75 S (10% de aleación) se funde entre 475 y 640°C .

2. - Propiedades mecánicas.

Estas se determinan por ensayos rutinarios de muestras seleccionadas como representativas del producto. Los ensayos mecánicos son destructivos de modo que no puedan hacerse en el producto que se suministre al público.

Para la determinación de las propiedades mecánicas, se obtienen barras de ensayo de muestras que han sido elaboradas del mismo modo que el producto, excepto en el caso de piezas fundidas y forjadas. Los ensayos de piezas fundidas se hacen con barras del mismo metal de la pieza fundida y elaborada al mismo tiempo. Con las piezas forjadas, los ensayos generalmente se hacen en pedazos que se cortan del mismo metal de la pieza.

Los valores de las propiedades mecánicas pueden dividirse en dos grupos, -Los valores garantizados y los valores típicos-. Los valores garantizados son los valores mínimos establecidos por la especificaciones. Además los ensayos rutinarios nos proveen de datos estadísticos, y de los cuales se obtienen valores típicos.

La aleación de aluminio fraguado ALCAN más resistente es la 75-S-T6, que tiene resistencia final de 57.4 Kg/mm^2 ($82,000 \frac{\text{lbs.}}{\text{pulg.}^2}$).

Existen varias pruebas para determinar la dureza, siendo la más conocida la BRINELL, VICKER, y la ROCKWELL. Todos los-

ensayos de dureza son empíricos, y aunque haya tablas que indican la relación entre ellos, las cifras "equivalentes" tienen que usarse con reservas. No hay relación directa entre el número de dureza y la resistencia a la tracción de las diversas aleaciones de aluminio. La aleación aumenta grandemente la resistencia del aluminio, así como el tratamiento térmico y el endurecimiento del trabajo, pero la dureza es significativamente más baja que la de la mayoría de los aceros. Las propiedades mecánicas de las aleaciones de aluminio coladas en arena, se presentan en la tabla V del apéndice.

Es de notar que en el apéndice se incluye la tabla IV, en la cual indica el tratamiento térmico de las principales aleaciones.

3. - Especificaciones Químicas en "ALUMSA".

a. - Límites de composición química del aluminio de primera fusión aleado para fundición.

Los valores especificados son referencias de las asociaciones, más importantes, los cuales se adaptan a los límites de composición del aluminio para primera fusión aleado de uso más común en la Industria Mexicana de la fundición.

b. - Definiciones.

El lingote de aluminio de primera fusión para --

fundición, está definido como una masa de metal de forma y dimensiones asignadas por diseño para facilitar su manejo, transporte y almacenaje, y que es obtenido por la reducción electrolítica de la alúmina, al cual se le agrega uno o varios elementos de aleación cuyo destino es la fusión para la fabricación de piezas vaciadas.

c. - Especificaciones.

Los lingotes para fundición deben presentar una constitución homogénea, ser de una pieza, estar libre de grietas, poros internos y externos, así como de escorias y materias extrañas.

3.1. - Forma de expresar el contenido de cada elemento del lingote.

Para expresar el contenido de cada elemento a partir de los resultados de laboratorio, debe usarse el mismo sistema de la tabla II.

Las cifras límite enteras y decimales usadas en esta norma están expresadas con base en la tabla número II que a continuación se muestra.

TABLA II - COMPOSICION QUIMICA DEL ALUMINIO DE PRIMERA FUSION PURO PARA FUNDICION.

CLASIFICACION	PUREZA MINIMA	Si	Fe	Zn	Ga	OTROS c/u	OTROS total	Al
CLASE I	99.50 MINIMO							99.58
	MAXIMO	0.08	0.40	0.03	0.05	0.03	0.10	
CLASE II	99.70 MINIMO							99.70
	MAXIMO	0.10	0.20	0.03	0.04	0.03	0.08	
CLASE III	99.80 MINIMO							99.80
	MAXIMO	0.10	0.20	0.03	0.04	0.03	0.08	
CLASE IV	99.85 MINIMO							95.85
	MAXIMO	.07	0.10	0.03	0.04	0.03	0.06	

3.2. - Contenido de los elementos.

El contenido de los elementos químicos, tanto de aleación como de impurezas se debe sujetar a los límites que al respecto se marcan para cada clase en la tabla No. II.

3.3. - Forma de expresar el contenido del aluminio puro.

La composición química del aluminio puro se determina por la diferencia entre 100 % y la suma de todos los elementos metálicos presentes en cantidades de 0.01 % o más de cada uno, expresados hasta la segunda cifra decimal.

3.4. - Forma de expresar el contenido de cada elemento.

Las cifras límites enteras y decimales usadas en esta forma están expresadas con base en la tabla 12. Para expresar el contenido de cada elemento a partir de los resultados de laboratorio, deberá usarse el sistema de la tabla 12, indicada a continuación:

TABLA 12. - FOR DE EXPRESAR EL CONTENIDO DE LOS ELEMENTOS.

CONTENIDO DE ELEMENTOS EXPRESADOS EN PORCIENTO EN MASA.	FORMA DE EXPRESAR EN CONTENIDO.
a) Concentraciones menores de 1/1000	0.000X
b) Concentraciones entre 1/1000 y 1/100	0.00X
c) Concentraciones entre 1/100 y 1/10	0.0X
d) Concentraciones entre 1/10 y 1/2	0.XX
e) Concentraciones mayores de 1/2	0.X, X.X, XX.X

3.5. - Forma de ordenar los elementos quimicos.

Los elementos aleantes e impurezas deberán aparecer - siempre en el orden siguiente: Si, Fe, Cu, Mn, Cr, Ni, Zn, y - otros elementos como Ti, y Zr. Elementos que no están enumerados se reportan como contenido individual y contenido total, y finalmente el aluminio, que se expresará como porcentaje mínimo.

3.6. - Regla para redondear los resultados.

Para redondear la última cifra significativa en las expresiones a reportar, se deben seguir las siguientes reglas:

- a). - La cifra se conserva igual cuando es seguida de otra menor de 5.
- b). - La cifra se aumenta en uno cuando es seguida de una mayor de 5. Cuando la cifra que sigue a la última - que se retiene es igual a 5 y a esta no la siguen otras cifras, o solamente ceros, no se varían en el valor de la cifra retenida si es par y se aumenta en uno si es impar.
- c). - Si al cinco le siguen otras cifras, se aumentan en - uno la que se retiene, sea ésta par o impar.

3.7. - Clasificación de lingotes de aluminio de primera - fusión puro y aleado para fundición.

Esta norma especifica las características físicas de los lingotes de aluminio de primera fusión puro y aleado, destinados a la elaboración de diversos productos vaciados.

3. 8. - Clasificación de lingotes de acuerdo a sus dimensiones.

Clasificación por dimensiones y masa.

Los lingotes de aluminio de primera fusión puro y aleado para fundición son clasificados de acuerdo a su masa y dimensiones en tres clases.

Clase 1. Lingotes de 317. 5 Kg.

Es el lingote cuyas dimensiones nominales son:

194. 1 cm de longitud

85. 7 cm de ancho

22. 2 cm de espesor

317. 5 Kg de masa aproximada de acuerdo al dibujo 1.

CLASE 2. Lingotes de 22. 7 kg.

Es el lingote cuyas dimensiones nominales son:

78. 2 cm de longitud

19. 7 cm de ancho

14. 3 cm de espesor

22. 7 Kg de masa aproximada de acuerdo con el dibujo 2.

CLASE 3, Lingotes de 13.6 Kg.

Es el lingote cuyas dimensiones nominales son:

74 cm de longitud

15.2 cm de ancho

10.1 cm de espesor

13.6 kg de masa aproximada de acuerdo al dibujo 3.

3.9. - Apariencia física.

Los lingotes de aluminio de primera fusión puro y aleado para fundición deben tener su superficie limpia y razonablemente libre de escoria e impurezas, tales como polvo o partículas extrañas, y la parte superior de su superficie vaciada debe estar desnatada.

El aluminio de primera fusión puro se clasifica conforme a su composición química o pureza, en cuatro clases, según el contenido mínimo de aluminio, expresado en por ciento en masa, hasta la segunda cifra decimal.

CLASE 1. - 99.50 % de pureza mínima.

CLASE 2. - 99.78 % de pureza mínima.

CLASE 3. - 99.80 % de pureza mínima.

CLASE 4. - 99.85 % de pureza mínima.

El contenido de aluminio se obtiene por la diferencia entre 100 % y la suma de todas las impurezas metálicas presentes en -

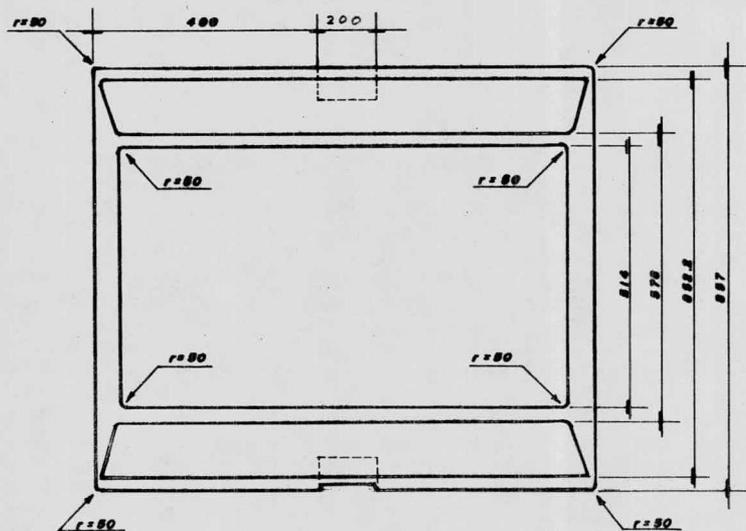
una cantidad igual o mayor de 0.01 %.

Especificaciones de composición química.

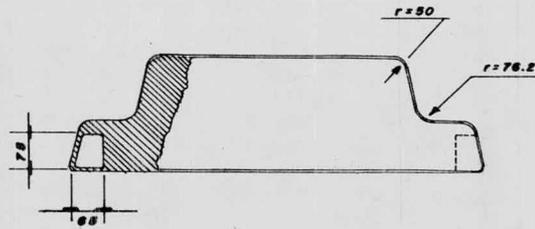
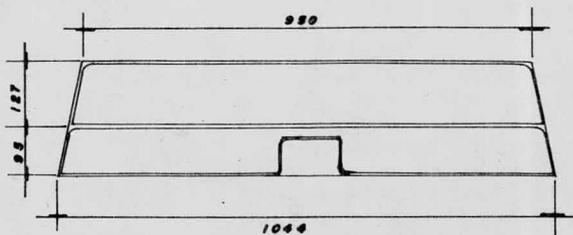
De acuerdo con la clasificación del aluminio de primera fusión puro para fundición, en la tabla II mencionada anteriormente, se enuncia su composición química.

DIBUJO N.º 1

LINGOTE 317.5 kg.

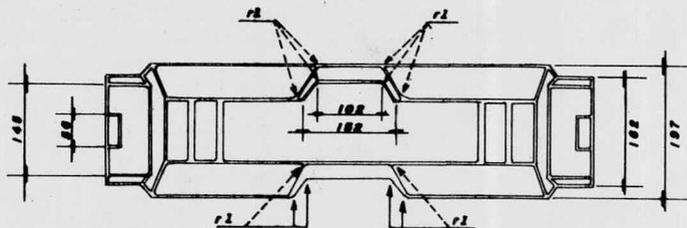


Nota:
LOS RADIOS NO INDICADOS
SON DE 25.4



DIBUJO N.º 2

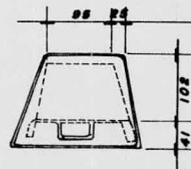
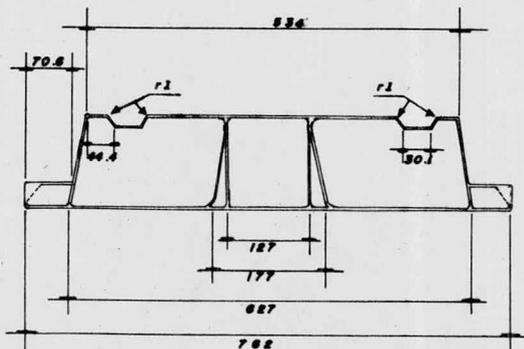
LINGOTE 22.7 kg.



Nota:

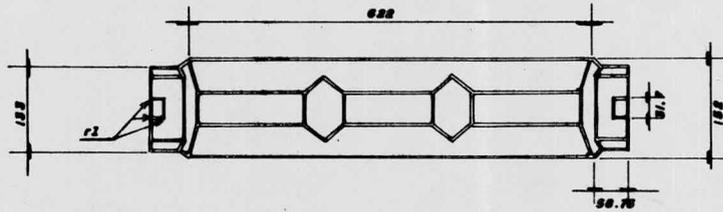
a) TODAS LAS ARISTAS LLEVAR
UN RADIO DE 12.7 mm.

b) $r1 = 6.35$ mm.



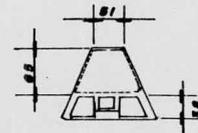
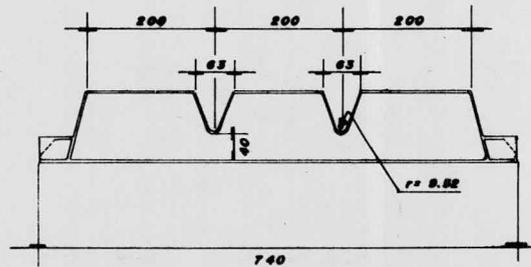
DIBUJO N.º 3

LINGOTE 13.5 kg.



Nota:

- a) TODAS LAS ARISTAS LLEWAN UN RADIO DE 12.7 mm
- b) $r_1 = 6.35$ mm



CAPITULO VI

ANALISIS METALOGRAFICOS

1. - Micrografia Optica.

El examen mediante el microscopio metalográfico ha sido utilizado desde el comienzo de su desarrollo para poner en evidencia la estructura fina del aluminio y sus aleaciones. Aunque el principio sea el mismo, se han desarrollado numerosos e importantes perfeccionamientos.

Asi mismo el pulido electrolítico debido a P. A. Jaques (1933) se ha desarrollado ampliamente, con lo cual se perfecciona a tal grado de poder sustituir al pulido mecánico, dando como resultado superficies que son de muy buena calidad y exentas de perturbaciones indeseadas, las cuales alterarían el análisis metalográfico.

En la actualidad se experimenta con un método de pulido electrolítico con tampón; aparato allopól, que permite pulir una pequeña superficie de una pieza metálica de dimensiones cualesquiera - como por ejemplo una pared de cisterna, una ala de avión, etc., sobre la que se efectúa a continuación una réplica plástica por un método igualmente simple (A. van Effenterre); el exámen de ésta réplica al microscopio óptico da imágenes equivalentes a las de la micrografia clásica.

La preparación de las superficies metalográficas se pueden completar mediante un bombardeo iónico o pulverización anódica.

También se han desarrollado métodos de ataque por figuras de corrosión, que han aportado muchos elementos nuevos en el estudio de la estructura del aluminio y sus aleaciones. Figura 2.

Los microdurometros, que equipan a los microscopios metalográficos suministran también valiosas informaciones complementarias para la identificación de fases insolubles tales como: la difusión, fig. 3, el estado de presipitación etc.

Actualmente el examen con microscopio óptico se beneficia de las técnicas de contraste de fase y contraste interdifereencial.

Más reciente aún es el uso de cámaras para alta temperatura de vacío o baja atmósfera controlada.

La práctica de los laboratorios industriales ha demostrado que el microscopio óptico es un instrumento muy preciso para determinar el estado de recristalización y el tamaño de grano.

Su campo se sitúa en la detección de heterogeneidades de estructura de la solución sólida, los alineamientos de constituyentes frágiles, las escorias y constituyentes anormales que provienen de un error de composición o de tratamiento, el enfibrado defectuoso de las piezas forjadas, las microgrietas o microfisuras, etc. llegando a ser de esta manera el microscopio óptico, el instrumento base de todo labo-

ratorio metalográfico. Es necesario hacer notar que el poder de resolución del microscopio óptico es relativamente pequeño (aproximadamente 0.1 μ), y cuando los elementos de aleación, han sido repartidos de manera muy fina por la transformación del metal, como forjar, extrusión, laminación y por tratamiento térmico, como homogenización, temple, maduración natural, maduración artificial, endurecimiento; los constituyentes que quedan fuera de solución y los precipitados llegan a ser indiscernibles..

2. - Micrografía Electronica.

Cuando se desea obtener micrografías electrónicas, se presenta la dificultad de preparar probetas suficientemente delgadas para hacer transparentes a los electrones; para lo cual los exámenes se realizan sobre réplicas de superficie. Las réplicas sobre aleaciones de aluminio han sido favorecidas por la posibilidad de desarrollar sobre éstas aleaciones, por anodizado, películas delgadas y sin estructura propia, que reproducen fielmente la estructura del metal subyacente.

Más recientemente son los procesos de disolución electro-lítica que han permitido adelgazar suficientemente las probetas para que sea posible examinarlas directamente al microscopio sin utilizar el paso intermedio de una réplica.

Bajo el impulso de éstas técnicas nuevas la física de éstas aleaciones de aluminio ha hecho rápidos progresos, pudiéndose estudiar con mayor detalle los fenómenos de precipitación. De esta forma, las figuras 4, 5, y 6 representan la micrografía de probetas de diferentes aleaciones de aluminio.

Ahora bien, el estudio de los fenómenos de poligonización y de recristalización que acompañan el recocido de un metal forjado, se ha aprovechado igualmente de éstas técnicas. Se ha podido comprobar como la precipitación y la recristalización se relacionan mutuamente a lo largo del recocido de un Al-Mg con acritud y sobre saturado, fig. 7; pero es sobre todo en el campo de los defectos estructurales, tales como lagunas, dislocaciones, defectos de apilamiento en el que la micrografía electrónica directa ha aportado los desarrollos más recientes y espectaculares. La figura 8 pone en evidencia que, en una aleación Al - Si 1.2 % templada se presenta la segregación de las lagunas en bucles de dislocación, y la figura 9, también nos muestra el tipo de dislocaciones en hélice para una aleación Al-Cu 4% templada.

Es de vital importancia hacer notar que los nuevos accesorios extienden considerablemente el campo de acción del microscopio electrónico; además existen microhornos que permiten tratar térmicamente las preparaciones metálicas adelgadas, en el interior --

del microscopio; los microdispositivos de tracción aseguran la deformación plástica de las probetas que se estén examinando, y es igualmente posible incorporar al microscopio las microsondas, las cuales dan el análisis cuantitativo de los elementos presentes en la aleación.

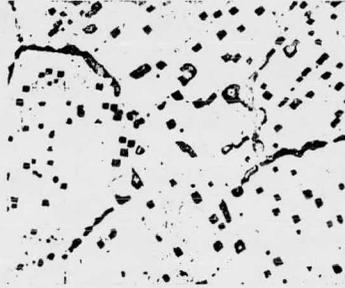
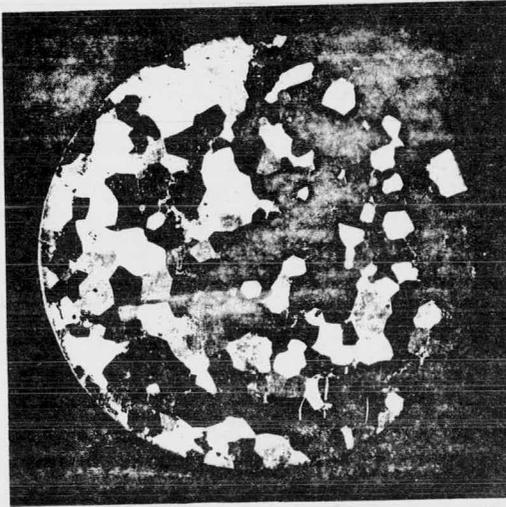


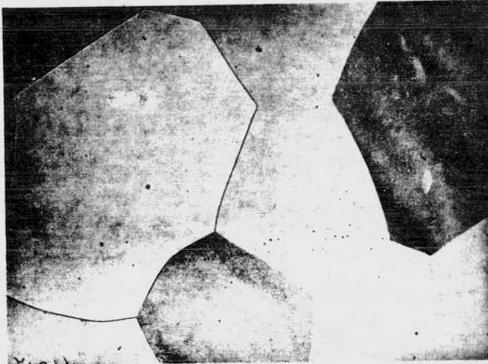
Fig. 2. - A-GS. Ataque por figuras de corrosión y ataque Calvet, poniendo en evidencia las diferencias de concentración de la solución sólida.



Fig. 3. - A-U4SG plaqueado con A5, templado y con maduración natural. Huellas de microdureza con 10 g.



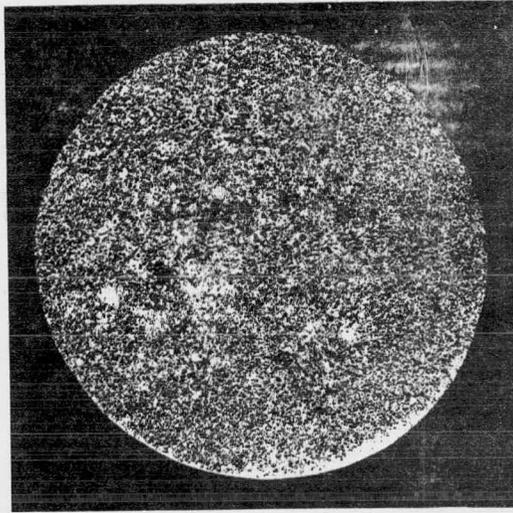
(x 5,2)



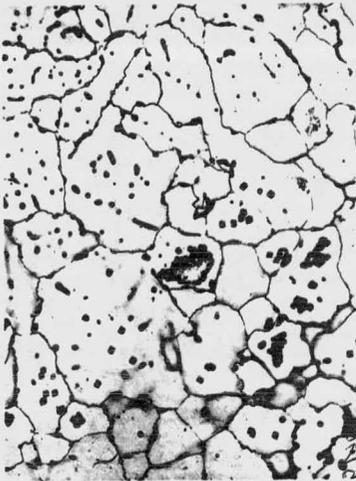
(x 75)

Probeta X-14

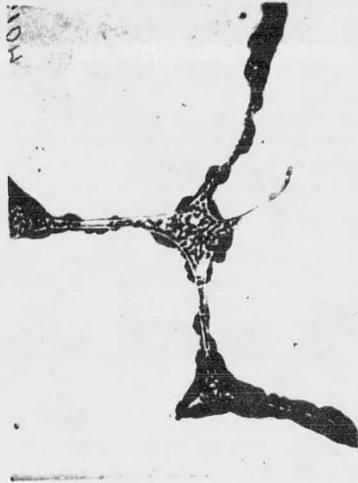
Fig. 4. - Aleación Al-Cu (4% Cu); moldeada en arena. Calentada a 525°C durante dieciséis horas y templada en agua.



(x 5,2)



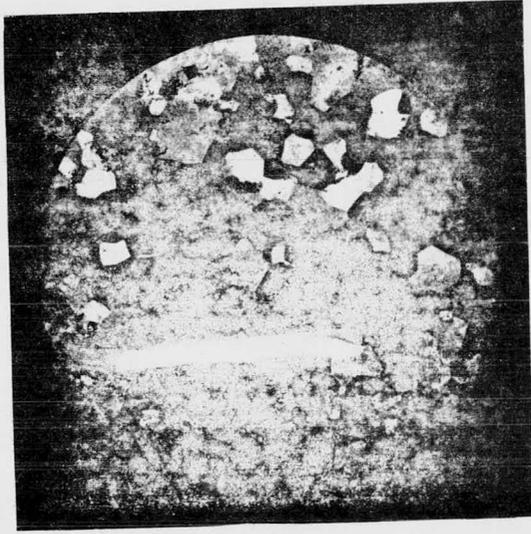
(x 75)



(x 750)

Probeta X-16

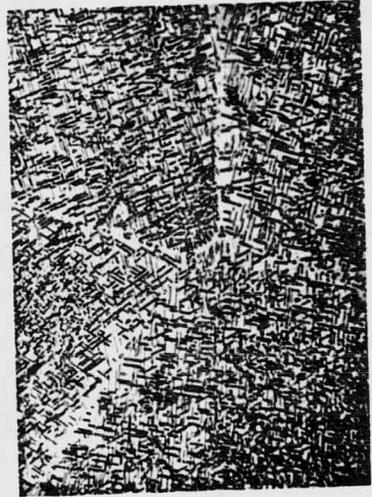
Fig. 5. - Aleación Al-Cu (4% Cu); moldeada en arena. Calentada a 525°C durante dieciséis horas, templada en agua y revenida a 260°C durante setenta horas.



(x 5,2)



(x 75)



(x 750)

Probeta X-15

Fig. 6. - Aleación Al-Cu (4% Cu); moldeada en arena.



Fig. 7. - Micrografía electrónica directa de una aleación A-Mn recocida. Precipitación de los constituyentes Al-Mn (negros) en las juntas del motivo cristalino.

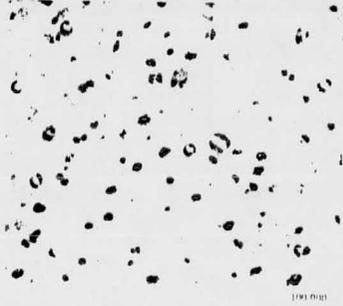


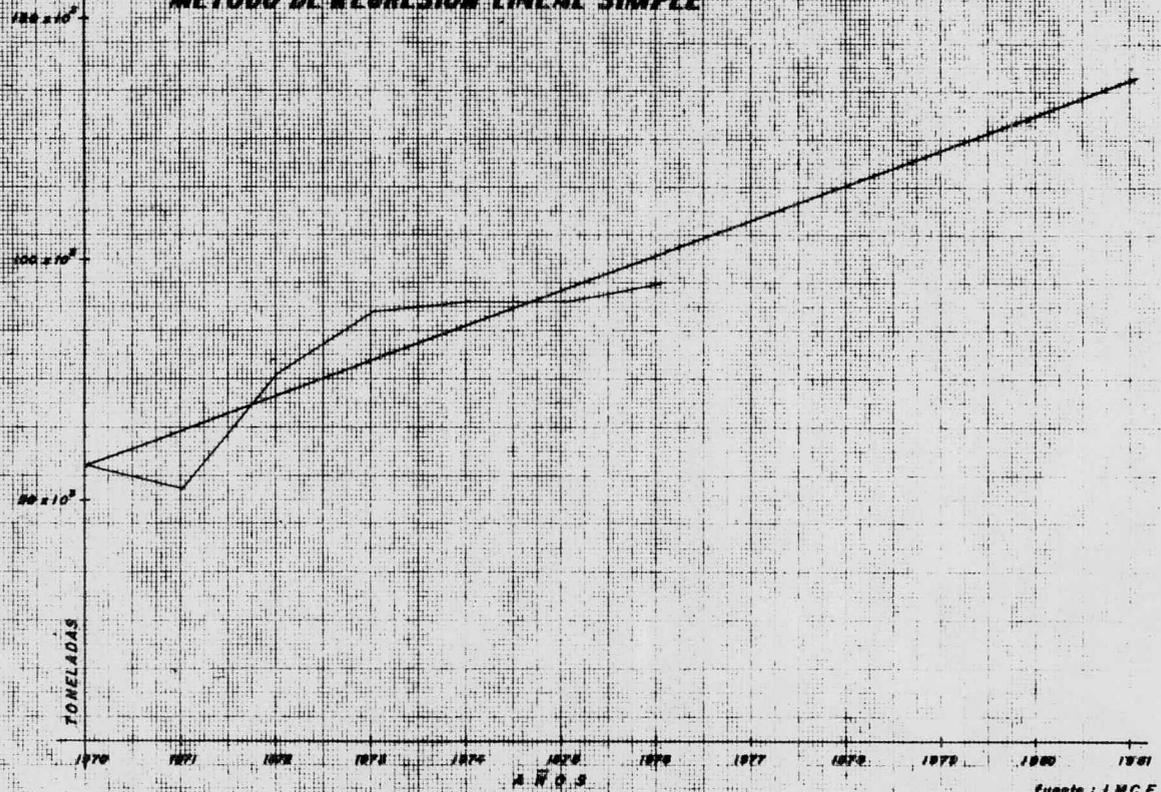
Fig. 8. - Micrografía electrónica directa de una aleación Al-Si $\frac{1}{2}$ templada. Segregación de lagunas en bucles de dislocación.



Fig. 9. - Micrografía electrónica directa de una aleación Al-Cu $\frac{1}{2}$ templada. Dislocaciones en bécules.

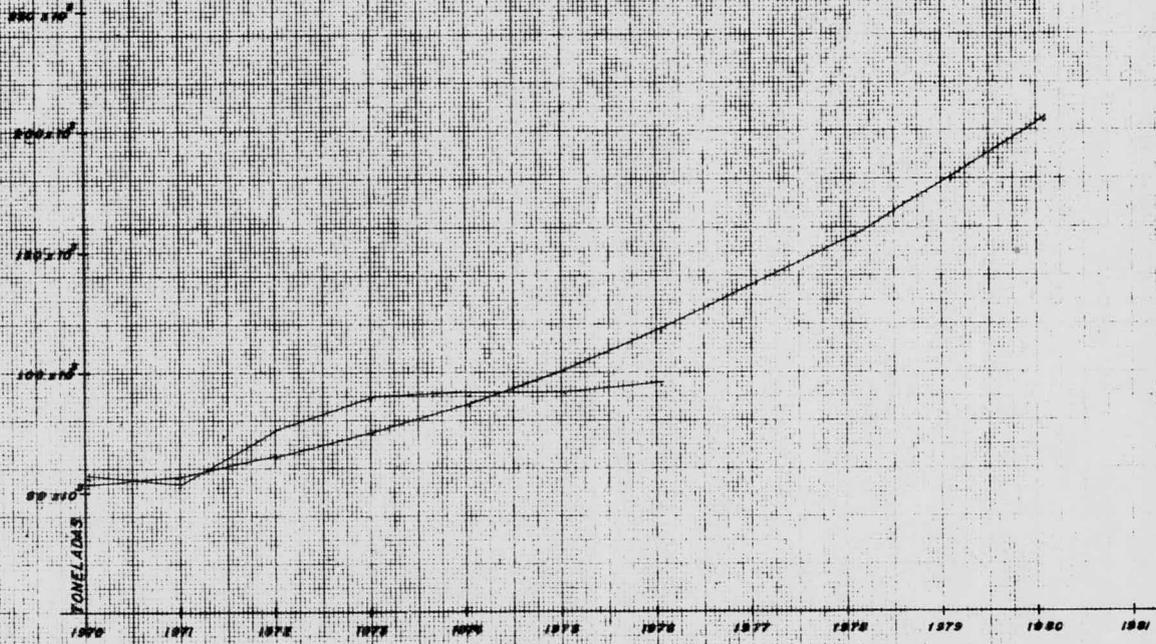
A P E N D I C E

GRAFICA N.º 1
PROYECCION DE LA DEMANDA
METODO DE REGRESION LINEAL SIMPLE



fuente : I.M.C.E.

GRAFICA N.º 2
PROYECCION DE LA DEMANDA
METODO CUADRATICO



Fuente: I.M.C.E.

TABLA I Y II
EXPLICACION DE LAS TABLAS.

1. - Composición en porciento máximo o mínimo, demostrando un límite de proporciones de otros minerales o metales..
2. - Para el propósito de la determinación, conforme a los límites de las proporciones, hay un valor observado o calculado, el que se obtuvo del análisis y se redondeo a una unidad en la parte derecha colocada a la derecha de las figuras usadas en la expresión de especificaciones límite, en tablas de aleaciones de acuerdo con la American Rules For Rounding off. Numerical values (ASA-Z 25.1).
3. - El análisis de las aleaciones, muestra solamente "elementos metálicos" para tomar especificaciones límites. Sin embargo la presencia de otros elementos es indicada.
4. - La cantidad de aluminio es la diferencia entre el 100.00 % y la suma de todos los otros elementos metálicos presentes en cantidades de 0.010 % o más, expresando hasta el segundo decimal.
5. - Contenido de 0.40-0.7 % de plomo y bismuto.
6. - Conductor eléctrico.
7. - Reflector en hoja (lámina).
8. - Recubierto con una aleación de 2024.

9. - Hoja o papel metálica reflectora.
10. - Recubierto con una capa 1100 y otra de 3005 de hoja o papel metálica reflectora.
11. - Contenido 0.20 - 0.6 % de plomo y bismuto.
12. - Latón aleación.
13. - Barra conductora.
14. - Recubrimiento con una capa 2014.
15. - Recubrimiento con una capa 5056.
16. - Recubrimiento con una capa 2219, 3003, 3004, 5050, 5155, 6061, 7075, 7178 y 7079.
17. -Silicio, 45 a 65 % de contenido de magnesio.
18. -Berilio, 0.0008 máximo para electrodos de soldaduras y fabricación de alambres solamente.
19. -Boro, 0.006 % máximo.
20. -Vanadio 0.005 - 0.15; Zirconio 0.10 - 0.025.

La cantidad de silicio requerida en la composición de aluminio, mejora mucho sus propiedades, pero a su vez, hoy en día, presenta otros problemas que dificultan los tratamientos químicos. - Estos problemas son causados por el alto contenido de silicio; por ejemplo en la aleación de la serie 360 y 380, los óxidos de silicio, forman una película impermeable protectora de aluminio, ésta capa resulta ser una superficie hidrofóbica a la cual no le afectan los lim-

piadores alcalinos y ácidos ordinarios. Esta superficie hidrofóbia, - tampoco permite mojar la superficie del aluminio con ninguna solución, de tal forma que impide adherir un metal al aluminio por métodos electrolíticos, siendo éste el primer problema que se presenta para recubrir con facilidad. El segundo problema, es la eliminación de la capa de óxido natural, con la ayuda del ácido fluorhídrico, compuesto químico que puede convertir las superficies a hidrofílicas y - eliminar los óxidos, para que los tratamientos químicos posteriores puedan dar resultado.

Límites de Composiciones Químicas 1 2

En Aleaciones

A		SILICIO	FIERRO	COBRE	MANGANESO	MAGNESIO
DESIG-	NACION	Si	Fe	Cu	Mn	Mg
EC	6	.....	.....	.....	.....	.....
1100		1.0 Si	Fe	0.20	0.05	.....
1130	7	0.7 Si	Fe	0.20	.....	.....
1230	8	0.7 Si	Fe	0.10	0.05	.....
1235		0.65 Si	Fe	0.05	.....	.....
1145	9	0.55 Si	Fe	0.05	0.05	.....
1345		0.30	0.40	0.10	.....	.....
1060		0.25	0.35	0.05	0.03	0.03
1175	10	0.15 Si	Fe	0.10	.....	.....
2011		0.40	0.7	5.0-6.0	.....	.....
2014		0.50-1.2	1.0	3.9-5.0	0.40-1.2	0.20-0.8
2017		0.8	1.0	3.5-4.5	0.40-1.0	0.20-0.8
2117		0.8	1.0	2.2-3.0	0.20	0.20-0.5
2018		0.9	1.0	3.5-4.5	0.20	0.45-0.9
2218		0.9	1.0	3.5-4.5	0.20	1.2-1.8
2618		0.25	0.9-1.3	1.9-2.7	.....	1.3-1.8
2219		0.20	0.30	5.8-6.8	0.20-0.40	0.02
2024		0.50	0.50	3.8-4.9	0.30-0.9	1.2-1.8
2025		0.50-1.2	1.0	3.9-5.0	0.40-1.2	0.05
3003		0.6	0.7	0.20	1.0-1.5	.....

CONTINUACION TABLA I
 LIMITES DE COMPOSICIONES QUIMICAS 1 2
 EN LAS ALEACIONES

CROMO Cr	NIQUEL Ni	ZINC Zn	TITANIO Ti	OTROS Parte-total		ALUMINIO Lim. 4
.....	99.45
.....	0.10	.....	0.05 18	0.15	99.00
.....	0.05	.....	99.30
.....	0.10	.....	0.05	.....	99.30
.....	0.05	.....	99.35
.....	0.03	.....	99.45
.....	0.05	.....	99.45
.....	0.05	0.03	0.03 18	.....	99.60
.....	0.02	.....	99.75
.....	0.30	.....	0.05 11	0.15	Residuo
0.10	0.25	0.15	0.05 18	0.15	Residuo
0.10	0.25	.....	0.05	0.15	Residuo
0.10	0.25	.....	0.05	0.15	Residuo
0.10	1.7-2.3	0.25	.....	0.05	0.15	Residuo
0.10	1.7-2.3	0.25	.....	0.05	0.15	Residuo
.....	0.9-1.2	.....	0.04-0.10	0.05	0.15	Residuo
.....	0.10	0.02-0.10	0.05 20	0.15	Residuo
0.10	0.25	.....	0.05	0.15	Residuo
0.10	0.25	0.15	0.05	0.15	Residuo
.....	0.10	.....	0.05 18	0.15	Residuo

TABLA II

AA DESIGNA- CION.	SILICIO Si	FIERRO Fe	COBRE Co	MANGANESO Mn	MAGNE SIO
3004	0.30	0.7	0.25	1.0-1.5	0.8-1.3
4032	11.0-13.5	1.0	0.50-1.3	.....	0.8-1.3
4043	4.5-6.0	0.8	0.30	0.05	0.05
4343 12	6.8-8.2	0.8	0.25	0.10	.....
4045 12	9.0-11.0	0.8	0.30	0.05	0.05
5005	0.40	0.7	0.20	0.20	0.50-1.1
5050	0.40	0.7	0.20	0.10	1.0-1.8
5052	0.45 Si	Fe	0.10	0.10	2.2-2.8
5252	0.06	0.10	0.10	0.10	2.2-2.8
5652	0.40 Si	Fe	0.4	0.01	2.2-2.8
5154	0.45 Si	Fe	0.10	0.10	3.1-3.9
5254	0.45 Si	Fe	0.05	0.01	3.1-3.9
5454	0.40 Si	Fe	0.10	0.50-1.0	2.4-3.0
5155	0.30	0.7	0.25	0.20-0.6	3.5-5.0
5056	0.30	0.40	0.10	0.06-0.20	4.5-5.6
5356	0.50 Si	Fe	0.10	0.05-0.20	4.5-5.5
5456	0.40 Si	Fe	0.10	0.50-1.0	4.2-5.5
5257	0.08	0.10	0.10	0.03	0.20-0.6
5457	0.08	0.10	0.20	0.15-0.45	0.8-1.2
5557	0.10	0.12	0.15	0.10-0.40	0.40-0.8
5657	0.08	0.10	0.10	0.03	0.6-1.0
5083	0.40	0.40	0.10	0.30-1.0	4.0-4.9
5086	0.40	0.50	0.10	0.20-07	3.5-4.5
6101 13	0.30-0.7	0.50	0.10	0.03	0.35-0.8
6201	0.50-09	0.50	0.10	0.03	0.5-0.9

CONTINUACION TABLA II

CROMO Cr	NIQUEL Ni	ZINC Zn	TITANIO Ti	OTROS Parte-Total		ALUMINIO Mínimo 4
.....	0.25	.....	0.05 18	0.15	Residuo
0.10	0.50-1.3	0.25	.....	0.05	0.15	Residuo
.....	0.10	0.20	0.05	0.15	Residuo
.....	0.20	.....	0.05	0.15	Residuo
.....	0.10	0.20	0.05	0.15	Residuo
0.10	0.25	.....	0.05	0.15	Residuo
0.10	0.25	.....	0.05 18	0.15	Residuo
0.15-0.35	0.10	.....	0.05 18	0.15	Residuo
.....	0.03	0.10	Residuo
0.15-0.35	0.10	.....	0.05 18	0.15	Residuo
0.15-0.35	0.20	0.20	0.05 18	0.15	Residuo
0.15-0.35	0.20	0.05	0.05 18	0.15	Residuo
0.05-0.20	0.25	0.20	0.05	0.15	Residuo
0.05-0.25	0.25	0.15	0.05	0.15	Residuo
0.05-0.20	0.10	.....	0.05 18	0.15	Residuo
0.05-0.20	0.10	0.06-0.20	0.05 18	0.15	Residuo
0.05-0.20	0.25	0.20	0.05	0.15	Residuo
.....	0.03	.....	0.03	0.05	Residuo
.....	0.03	0.10	Residuo
.....	0.03 18	0.10	Residuo
.....	0.03	.....	0.02	0.05	Residuo
0.05-0.25	0.25	0.15	0.05	0.15	Residuo
0.05-0.23	0.25	0.15	0.05	0.15	Residuo
0.03	0.10	.....	0.03 19	0.10	Residuo
0.03	0.10	.....	0.03 19	0.10	Residuo

TABLA III

AA DESIGNA- CION.	SILICIO Si	FIERRO Fe	COBRE Cu	MANGANESO Mn	MAGNE- SIO.
6003 14	0.25-1.0	0.6	0.10	0.8	0.8-1.5
6011	0.6-1.2	1.0	0.40-0.9	0.8	0.6-1.2
6151	0.6-1.2	1.0	0.15	0.20	0.45-0.8
6951	0.20-0.50	0.8	0.15-0.40	0.10	0.40-0.8
6053	17	0.35	0.10	.....	1.1-1.4
6253 15	17	0.50	0.10	.....	1.0-1.5
6051	0.40-0.8	0.7	0.15-0.40	0.15	0.8-1.2
6262	0.40-0.8	0.7	0.15-0.40	0.15	0.8-1.2
6063	0.20-0.6	0.35	0.10	0.10	0.45-0.9
6463	0.20-0.6	0.15	0.20	0.05	0.45-0.9
6066	0.9-1.9	0.50	0.7-1.2	0.6-1.1	0.8-2.4
7001	0.35	0.40	1.6-2.6	0.20	2.6-3.4
7039	0.30	0.40	0.10	0.10-0.40	2.3-8.3
7072 16	0.7 Si	Fe	0.10	0.10	0.10
7075	0.50	0.7	1.2-2.0	0.30	2.1-2.9
7076	0.40	0.6	0.30-1.0	0.30-0.8	1.2-2.0
7277	0.50	0.7	0.8-1.7	.....	1.7-2.3
7178	0.50	0.7	1.6-2.4	0.30	2.4-3.1
7079	0.30	0.40	0.40-0.8	0.10-0.30	2.0-3.7

CONTINUACION TABLA III

CROMO Cr	NIQUEL Ni	ZINC Zn	TITANIO Ti	OTROS Parte-Total		ALUMINIO Mínimo 4
0.35	0.20	0.10	0.05	0.15	Residuo
0.30	0.20	1.5	0.20	0.05	0.15	Residuo
0.15-0.25	0.25	0.15	0.05	0.15	Residuo
.....	0.20	.....	0.05	0.15	Residuo
0.15-0.38	0.10	.....	0.05	0.15	Residuo
<hr/>						
0.15-0.35	1.6-2.4	.....	0.05	0.15	Residuo
0.04-0.25	0.25	0.15	0.05	0.15	Residuo
0.04-0.14	0.25	0.15	0.05 5	0.15	Residuo
0.10	0.10	0.10	0.05	0.15	Residuo
.....	0.05	0.15	Residuo
<hr/>						
0.40	0.25	0.20	0.05	0.15	Residuo
0.18-0.40	6.8-5.0	0.20	0.05	0.15	Residuo
0.15-0.25	3.5-4.5	0.10	0.05	0.15	Residuo
.....	0.8-1.3	.....	0.05	0.15	Residuo
0.18-0.40	5.1-6.1	0.20	0.05	0.15	Residuo
<hr/>						
.....	7.0-8.0	0.20	0.05	0.15	Residuo
0.18-0.25	317-4.3	0.10	0.05	0.15	Residuo
0.18-0.40	6.3-7.3	0.20	0.05	0.15	Residuo
0.10-0.25	3.6-4.8	0.10	0.05	0.15	Residuo



TABLA No. IV

PROPIEDADES FISICAS DE LAS ALEACIONES DE ALUMINIO PARA FUNDICION

ALEACION	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	CONDUCT. TERMICA.	PESO ESPECIFICO	INTERVALO DE SOLIDIFICACION	TIPO DE COLADA
13-F	31	0.29	2.65	580 - 575	COQUILLA
43-F	37	0.35	2.69	630 - 575	ARENA
-T2	42	0.39			ARENA
-F	37	.34			COQUILLA
108-F	31	0.29	2.79	625 - 520	ARENA
-T2	38	0.35			ARENA
A108-F	37	0.34	2.79	615 - 520	MOLDE PER
122-F	34	0.32	2.95	625 - 520	MOLDE PER
122-T2	41	0.38			ARENA
-T61	33	0.31			ARENA
A132-T551	29	0.28	2.72	565 - 540	MOLDE PER
D132-T5	25	0.26	2.76	580 - 520	MOLDE PER
138-F	25	0.25	2.95	600 - 505	MOLDE PER
142-T21	44	0.40	2.81	635 - 530	ARENA
-T77	38	0.36			ARENA
-T571	34	0.32			MOLDE PER
-T61	33	0.32			MOLDE PER
195-T4	35	0.34			ARENA
B 195-T4	33	0.32	2.80	630 - 520	MOLDE PER
-T6	33	0.32			MOLDE PER
212-F	30	0.28	2.89	625 - 520	ARENA
214-F	35	0.33	2.65	640 - 600	ARENA

CONTINUACION TABLA No. IV

ALEACION	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA.	CONDUCT. TERMICA	PESO ESPECIFICO	INTERVALO DE SOLIDIFICACION	TIPO DE COLADA
A214-F	34	0.32	2.68	640 - 580	MOLDE PER
B214-F	38	0.35	2.65	630 - 590	ARENA
F214-F	36	0.34	2.66	640 - 590	ARENA
218-F	24	0.23	2.57	620 - 535	COQUILLA
220-T4	21	0.21	2.57	605 - 450	ARENA
355-T51	43	0.40	2.71	620 - 545	ARENA
-T6	36	0.34			ARENA
-T7	42	0.39			ARENA
-T6	39	0.36			MOLDE PER
356-T51	43	0.40	2.68	615 - 555	ARENA
-T6	39	0.36			ARENA
-T7	40	0.37			ARENA
-T6	41	0.38			MOLDE PER
356-F	28	0.27	2.64	595 - 555	COQUILLA
363-F		2.88		595 - 470	ARENA
A380-F	25	0.23	2.71	595 - 540	COQUILLA

DESIGNACION DE TRATAMIENTO TERMICO. LOS INDICES ADICIONALES INDICAN DIFERENCIA ENTRE TIEMPO Y TEMPERATURA.

- F. ES FUNDIDO.
T4. TRATADO DE SOLUCION CALIENTE.
T5. TRATADO SOLO ARTIFICIALMENTE POR ENVEJECIMIENTO.
T6. TRATADO EN SOLUCION CALIENTE Y POR ENVEJECIMIENTO ARTIFICIAL.
T7. TRATADO EN SOLUCION CALIENTE Y POR ESTABILIZADO O SOBRE ENVEJECIMIENTO.

TABLA NO. V

PROPIEDADES MECANICAS DE LAS ALEACIONES DE ALUMINIO
COLADAS EN ARENA .

ALEACION	I	II	III	IV	V	VI	VII
43-F	13.3	5.6	8.0	6.3	40	9.9	5.6
108-F	14.8	9.9	2.5	10.6	55	12.0	7.7
122-T61	28.8	28.1	-	30.3	115	22.5	6.0
142-T21	19.0	12.7	1.0	12.7	70	14.8	4.6
m-T571	22.5	21.1	0.5	23.9	85	18.3	-
195-T4	22.5	11.3	8.5	12.0	60	18.3	4.9
-T6	25.3	16.9	5.0	17.6	75	21.4	5.3
212-F	16.2	9.9	2.0	9.9	65	14.1	6.3
214-F	17.6	8.4	9.0	8.4	50	14.1	4.9
B214-F	14.1	9.2	2.0	9.9	50	12.0	-
F214-F	14.8	8.4	3.0	9.2	50	12.0	-
220-T4	32.4	17.6	14.0	18.3	75	23.2	5.6
355-T51	19.7	16.2	1.5	16.9	65	15.5	4.9
-T6	24.2	17.6	3.0	18.3	80	19.7	6.3
356-T51	17.6	14.1	2.0	14.8	60	14.1	5.3
-T6	23.2	16.9	3.5	17.6	70	18.3	6.0
363-F	21.1	14.1	3.0	-	75	-	-
-T6	26.7	15.5	3.5	-	90	-	-

TABLA NO. V

PROPIEDADES MECANICAS DE LAS ALEACIONES DE ALUMINIO
COLADAS EN MOLDES PERMANENTES:

ALEACION	I	II	III	IV	V	VI	VII
43-F	16.2	6.3	10.0	6.3	45	11.3	-
Al08-F	19.7	11.3	2.0	12.0	70	15.5	-
122-T551	26.0	24.6	-	28.1	115	21.1	6.0
- T65	33.8	25.3	-	25.3	140	25.3	6.3
Al32-T551	25.3	19.7	0.5	19.7	105	19.7	9.5
-T65	33.1	30.2	0.5	30.2	125	25.3	-
Dl32-T5	25.3	19.7	1.0	19.7	105	19.7	9.5
138	21.1	16.9	1.5	21.1	100	16.9	-
142-T571	28.1	23.9	1.0	23.9	105	21.1	7.4
-T61	33.1	29.5	0.5	30.9	110	24.6	6.7
B195-T4	26.0	13.4	9.0	14.1	75	21.1	6.7
- T6	28.1	18.3	5.0	18.3	90	22.5	7.0
- T7	27.4	14.1	4.5	14.1	80	21.1	6.1
A214-	19.0	11.3	7.0	12.0	60	15.5	-
355-T51	21.1	16.9	2.0	16.9	75	16.9	-
-T6	30.2	19.0	4.0	19.0	90	23.9	7.0
-T7	28.1	21.1	2.0	21.1	85	21.1	7.0
356-T6	28.1	19.0	5.0	19.0	90	22.5	9.2
-T7	23.2	16.9	5.0	16.9	70	17.6	7.7
363-F	24.6	16.2	2.5	-	85	-	-

TABLA NO. VI

TRATAMIENTO TERMICO DE LAS ALEACIONES DE ALUMINIO PARA FUNDICION.

ALEACION Y		TRATAMIENTO TERMICO		TRATAMIENTO TERMICO	
TEMPLE:		DE DISOLUCION:		DE PARTICIPACION:	
TEM.	°C	TIEMPO	TEMP. °C	TIEMPO	
122-T551	MP -	-	170	18-22	
-T61	A 510	12	155	10-14	
-T65	MP -	8	170	7-9	
A132-T551	MP -	-	170	14-18	
-T65	MP 515	8	170	14-18	
D132-T5	MP -	-	205	7-9	
142-T21	A -	-	345	2-4	
-T571	A MP		170	22-26	
-T61	MP 515	6	205	3-5	
195-T4	A 515	12	-	-	
-T6	A 515	12	155	2-5	
-T62	A 515	12	155	12-18	
B195-T4	MP 510	8	-	-	
-T6	MP 510	8	155	3-7	
-T7	MP 510	8	260	4-6	
220-T4	A 430	14-20	-	-	
355-T51	A Mp -	-	255	7-9	
-T6	A-Mp525	8-12	155	3-5	
-T7	Mp 510	8-12	225	7-9	
356-T51	A -	-	225	7-9	
-T6	A-Mp 540	8-12	155	3-5	
-T7	A-Mp 540	8-12	225	7-9	
363-T6	A-Mp 505	10-12	155	3-5	

CAPITULO VIII

CONCLUSIONES

En la actualidad, la necesidad de aumentar la producción de aluminio en México es cada día más importante a considerar, ya que el avance técnico-industrial así lo requiere. Por tal motivo, se consideró de gran interés exponer los diferentes aspectos de la producción desde el punto de vista Técnico-Económico.

Debido a que el aluminio posee excelentes propiedades físicas, mecánicas y químicas, actualmente es uno de los metales más importante en la industria no ferrosa. Por lo que, la necesidad de incrementar la producción de aluminio primario en México es cada día más importante. De tal forma, que de acuerdo a la proyección de la demanda, para 1980 el consumo será aproximadamente de 130, 547 toneladas, lo cual estimula el crecimiento de la industria del aluminio en México. A continuación, se enuncian los puntos más importantes de este estudio.

1. - De acuerdo a los resultados obtenidos en la proyección de la demanda interna, el método de regresión lineal simple es el que presenta mayor grado de confiabilidad.
2. - La demanda de aluminio primario está ubicada, en su gran mayoría en el estado de México.
3. - A causa de que la demanda interna, ha superado a la producción,

se ha recurrido a las importaciones de aluminio primario, así como de productos semiterminados.

4. - Los factores fundamentales que han contribuido al alza del precio del aluminio son:

a). - El aumento en el costo de la energía eléctrica.

b). - Aumento en los precios de la materia prima.

5. - El aluminio tiene una de las mayores aplicaciones en el área de la construcción y transporte.

6. - Actualmente el proceso BAYER para el refinado de la bauxita y el proceso HEROULT para su reducción son los que han tenido mayor aplicación.

7. - El proceso HEROULT es el más adecuado para la reducción de alúmina en México, puesto que en el proceso electrotérmico intervienen diferentes factores que hacen que se eleven los costos de operación.

8. - Uno de los insumos fundamentales para la producción de aluminio primario es la energía eléctrica.
9. - De acuerdo a este estudio de factibilidad, es sumamente necesario que ALUMINIO S. A. desarrolle nuevos programas de expansión para poder satisfacer la demanda interna.
10. - Acorde a los resultados de este estudio de viabilidad existen -- grandes posibilidades de desarrollo de un proyecto para una futura planta productora de aluminio primario, con el cual sería posible satisfacer nuestra demanda interna, y posiblemente incrementar nuestras exportaciones, [evitando la fuga de divisas] que son sumamente necesarias para el desarrollo de México.

BIBLIOGRAFIA

1. - J. HERENGEL. METALURGIA ESPECIAL, TOMO I "EL ALUMINIO Y SUS ALEACIONES".
2. - INSTITUTO MEXICANO DE COMERCIO EXTERIOR, ANUARIOS ESTADISTICOS 1967-1976.
3. - INFORMACION PROPORCIONADA POR ALUMINIO S. A.
4. - INDUSTRIA Y COMERCIO, "GUIA DE LOS MERCADOS DE MEXICO".
5. - INFORMACION PROPORCIONADA POR EL CONSEJO DE RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES, "GERENCIA DE ESTUDIOS ECONOMICOS".
6. - AMERICAN SOCIETY FOR METALS., "METALS HANDBOOK"
7. - F. A. CALVO, METALOGRAFIA PRACTICA, EDITORIAL ALHAMBRA S. A.
8. - INGENIEROS DEL GPO. PECHINEY, DIRECCION DE PIERRE-BARRAND. "ENCICLOPEDIA DEL ALUMINIO" EDICIONES URMO, BILBAO.
9. - BRAY JOHN LEIGHTON., "METALURGIA DE LOS METALES NO FERREOS".
10. - REVISTA DE NEGOCIOS EN MEXICO Y CENTROAMERICA, DIC. 11-1974.

11. - SIDNEY H. AVNER., "INTRODUCCION A LA METALURGIA - FISICA., EDICIONES Mc GRAW - HILL DE MEXICO.
12. - T. D. STAY., THE HISTORY OF ALUMINUM.
13. - HANDBOOK OF ALUMINUM ALLOYS., 3o EDICION.
14. - YU. M. LAJTIN., "METALOGRAFIA Y TRATAMIENTO TERMICO DE LOS METALES" EDITORIAL MIR.
15. - A. J. MURPHY, M SC., F. IM. (PROFESOR DE METALURGIA INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD DE BIRMINGHAM) VERSION ESPAÑOLA DE LA ULTIMA EDICION INGLESA, POR JOSE MANUEL NAVARRO, EDITORIAL TECNOS, S. A. MADRID.
16. - LIDDELL, HANDBOOK NOM - FERROUS METALLURGY.
17. - KENT R. VAN HORN., ALUMINUM, VOLUMEN III.
18. - ESTADISTICA, SERIES SCHAUMS