



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

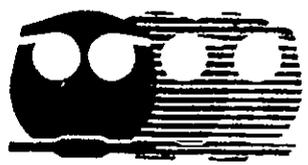
RECUPERACION DE CHATARRA DE ALUMINIO (LATAS DE BEBIDAS) EN HORNO TIPO REVERBERO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERA QUIMICA METALURGICA

P R E S E N T A:

LUISA FERNANDA ZORRILLA CASTELLANOS



MEXICO, D. F.

2000



EXAMENES PROPEDEUTICOS
FACULTAD DE QUIMICA



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE

PROF. EUSEBIO CANDIDO ATLATENCO TLAPANCO

VOCAL

PROF. JOSÉ ALEJANDRO GARCÍA HINOJOSA

SECRETARIO

PROF. ARTURO ORTEGA RODRÍGUEZ

1^{ER} SUPLENTE

PROF. GERARDO ARAMBURO PÉREZ

2^{DO} SUPLENTE

PROF. ADRIAN MANUEL AMARO VILLEDA

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA

**FACULTAD DE QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA
LABORATORIO DE FÚNDICIÓN**

ASESOR DEL TEMA

ING. ATLATENCO TLAPANCO EUSEBIO CANDIDO

SUSTENTANTE

LUISA FERNANDA ZORRILLA CASTELLANOS

Dedicatoria

A mi madre, Dra. Ma. Elena Castellanos Elorza que me ha enseñado a salir adelante, a vencer obstáculos, a no depender de nadie más que de mi misma y a levantar la cara ante todos y ante todo.

A mi hermana, Lic. Ana Gabriela Zorrilla Castellanos por confiar en mi, apoyarme y por estar siempre que la necesito.

A mi abuelita, Sra. Maria Elorza de Castellanos por su amor y confianza incondicional.

A Rocky.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional y a la Facultad de Química por la formación profesional de ellas recibida.

Al IQM. Cándido Atlatenco por su apoyo y confianza para la realización de este trabajo.

A los miembros del jurado por sus comentarios y su tiempo.

Al area de Corrosión del Edificio D de Metalurgia, en especial al IQM. Carlos Rodríguez y al IQM. Miguel Angel Hernández por su apoyo y facilidad para terminar este trabajo.

A Carlos Alberto Cortés Castillo por su ayuda y tiempo. Gracias por tu amistad.

A mi familia por creer en mí y apoyarme incondicionalmente.

A mis primos: Jorge Antonio, Alicia, Alejandro, Luis Manuel, Juan Carlos y Jose Alberto por estar siempre conmigo a pesar de la distancia.

A Gabriel y Juan Carlos Peña por apoyarme.

A mis amigas y amigos por su confianza, apoyo y porque a pesar del tiempo, lugar o circunstancia se que cuento con ustedes.

RESUMEN	1
OBJETIVOS	2
I) INTRODUCCIÓN	3
II) FUNDAMENTOS TEÓRICOS	9
RECICLADO DE ALUMINIO	11
CHATARRAS DE ALUMINIO	13
CLASIFICACIÓN DE CHATARRAS	14
FUNDENTES PARA ALUMINIO Y SUS ALEACIONES	17
RECUBRIMIENTOS	22
PROCESO ALCOA	31
ALEACIONES DE ALUMINIO	32
COMPOSICIÓN QUÍMICA	32
TIPO DE HORNOS	34
HORNOS DE CRISOL	34
HORNOS ELÉCTRICOS DE RESISTENCIA	35
HORNOS DE REVERBERO	35
Tipos de hornos de reverbero:	41
Condiciones para fundir aleaciones de Aluminio en horno de reverbero.....	42
III) DESARROLLO EXPERIMENTAL	47
IV) RESULTADOS	53
V) ANALISIS DE RESULTADOS	61
VI) CONCLUSIONES	63
VII) RECOMENDACIONES	64
VIII) BIBLIOGRAFÍA	65

RESUMEN

En este trabajo se realiza un estudio sobre el reciclado de latas de bebidas de aluminio.

Dicho trabajo primeramente comienza desde la recolección de la materia prima, es decir, las latas; que posteriormente son compactadas y pesadas para poder ser cargadas al horno de reverbero que fue fabricado en el edificio D de la Facultad de química en la UNAM.

Este horno tiene una capacidad de fusión de 7Kg de aluminio aproximadamente, pero para este trabajo se realizaron fusiones con una carga de 3Kg de latas compactadas y precalentadas en una cama de metal previamente fundido de 2Kg de aluminio.

Los experimentos se realizaron con la siguiente variante: se utilizó un fundente a base de sales para poder comparar el grado de recuperación obtenido con y sin el uso del mismo. El uso del fundente tiene el objetivo de disminuir o evitar la oxidación del metal líquido.

El material obtenido después de cada experimento fue pesado y cortado para su preparación metalográfica con el fin de observar la calidad final obtenida. Se utilizó un aparato de espectrometría de emisión para poder determinar la composición química del producto final.

El rendimiento obtenido al reciclar las latas de aluminio fue de un 80% en promedio, lo cual es un rendimiento bastante aceptable.

OBJETIVOS

- Alcanzar una eficiencia mayor o igual al 80% en el funcionamiento del horno de reverbero.
- Realizar dos tipos de experimentos: sin fundentes y con fundentes, para poder tener un parámetro de comparación.
- La obtención de un producto de buena calidad.

I) INTRODUCCIÓN.

La obtención de diversos metales a partir de la explotación de recursos minerales no renovables y su transformación, dio como origen a los llamados metales primarios, si se habla del aluminio primario, se refiere a la bauxita transformada en alúmina, y ésta a su vez, en aluminio. Debido a la gran demanda de materiales ferrosos y no ferrosos, se ha hecho necesario un mayor requerimiento o abastecimiento de éstos lo que ha conducido a lo que se conoce como reciclaje o recuperación, los materiales obtenidos de ésta forma son conocidos como metales secundarios.

En la industria se establecen 3 grupos de clasificación para la manufactura de productos de aluminio secundario y son la extrusión, laminación y fundición.

El aluminio ha respondido a la necesidad cotidiana por sus propiedades de poca densidad (peso), maleabilidad, resistencia mecánica y conformabilidad, alta resistencia a la corrosión y elevadas conductividad eléctrica y térmica, además de su poca toxicidad, por lo cual en éste trabajo se hará referencia al aluminio secundario.

Dentro de las fuentes de abastecimiento de las industrias de aluminio secundario, se tienen:

- a) Retornos industriales como son la chatarra de aluminio (rechazo o sobrante de la planta de producción, piezas defectuosas, recortes, rebabas y/o escoria), y;
- b) Chatarra de aluminio proveniente del desecho de productos obsoletos o desgastados como envases, latas, desechos de construcción o reparación, etc.

La industria de la recuperación de aluminio presenta ventajas como son,

1. Ahorrar recursos naturales no renovables.
2. Ahorrar agua y energía en el proceso de producción.
3. Economizar aleantes.

Dentro del aluminio secundario, se tiene lo que son las latas de envasado de bebidas y que son obtenidas mediante el proceso de laminación. Dichos envases o latas se dividen en lo que es el cuerpo y las tapas de la lata, y éstos tienen las siguientes composiciones:

- TAPA: Esta constituida por la aleación AA5182, 0.35% Mn, 4.50% Mg y representa el 25% en peso de toda la lata.
- CUERPO: Esta constituido por la aleación AA3004, 1.25% Mn, 1.05% Mg y comprende el 75% en peso de la lata

Conforme a la Asociación de Aluminio (AA) de Estados Unidos, los límites de composición de éstas aleaciones son las siguientes:

Tabla 1. Límites de Composición de las aleaciones usadas en latas de bebidas (ref.3).

Aleación/Elemento	% Mg	% Mn	% Si	%Fe
AA5182	4.0 – 5.0	0.20 – 0.50	0.20	0.35
AA3004	0.8 – 1.3	1.00 – 1.50	0.30	0.70

Nota : El reciclado de latas de aluminio comenzó en 1969.

Las tecnologías principales para la fundición de chatarra de aluminio en la industria del reciclado de aluminio incluyen a los hornos de reverbero, hornos de inducción y los “dry hearth”.

El incremento dramático en el reciclado de aluminio, a partir de latas de bebidas, ha traído mayores beneficios a los consumidores, a los productores de latas y de aluminio, ha ayudado a la conservación de energía y del medio ambiente. Los consumidores pueden obtener un producto de buena calidad a un precio razonable, la industria de producción de latas se beneficia con el bajo costo y bajo peso del producto, así como su atractivo físico a la vista de los consumidores.

El crecimiento del reciclado de aluminio ha dado un mayor beneficio a la industria de dicho metal. Los productores de aluminio han buscado un metal que pueda ser reprocesado en hojas y con un mínimo de consumo de energía. Desde 1976 a 1984, la cantidad de latas recicladas en los Estados Unidos ha aumentado de 10 billones a 32.4 billones, mientras que el rango de reciclado creció de 22% a 54% de latas producidas. En 1990, el rango de reciclado de las latas de aluminio en los Estados Unidos fue mayor al 75%.

Mientras el reciclado del aluminio ha resultado en el desarrollo de una industria multimillonaria, también ha dado lugar a nuevos retos, la industria de manufactura esta obligada a que sus productos tengan la calidad requerida por los consumidores.

El procedimiento para la fundición de las latas de bebidas involucra la compactación de las mismas, un precalentamiento a 500 °C para quemar la pintura del recubrimiento y los posibles residuos, la carga y fundición de las latas ya compactadas y secas. Cada uno de éstos pasos es diseñado para mejorar los costos y los problemas ocasionados por el mismo aluminio al oxidarse, la pérdida ocasionada por dicha oxidación es llamada “pérdida por quemado” y se encuentra entre un 8-20% del peso de las latas cargadas.

Un sistema con perdidas de 15-25% en peso es común, estas pérdidas dependen de muchos factores como son:

- Secado inapropiado de las latas
- Latas sucias, lo que contribuye con Si y Ca a la fundición
- Los recubrimientos, que contribuyen a una gran pérdida por fundición, y además, el pigmento TiO_2 en recubrimientos blancos que contribuye con titanio a la fundición.

Dado que dichas perdidas se consideran irrecuperables, al formarse el óxido de aluminio, se han buscado métodos para minimizarlas, y esto se ha logrado al controlar la calidad de las latas, su compactación, secado y las tecnologías de fundición.

Otros elementos como el Ti y Si pueden ser particularmente controlados con sales, como mezclas de NaCl y KCl, al adicionarlas al baño durante la fundición.

Otro problema que se presenta es la diferente composición que presenta la misma lata, ya que el cuerpo y las tapas de la misma son de diferente aleación. El cuerpo esta hecho con AA3004 con 1.1 %Mg, y las tapas con AA5182 con 4.5 %Mg, al fundirse esto da como resultado un nivel de Mg aproximado a 2.0%.

El procedimiento para la fabricación de la aleación 3004 es la misma que para el reciclado y fundición de las bases metálicas, como se muestra en la figura 1. Después de ser refundida y de haberle dado un tratamiento, la 3004 es llevada a un espesor de 500 mm, en lingotes, con una composición de acuerdo con la tabla 2.

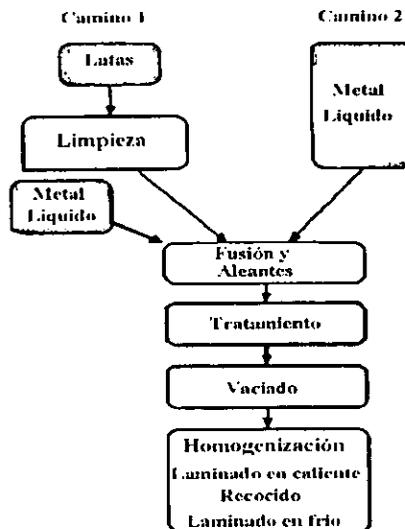


Figura 1. Esquema del proceso de fabricación de la hoja de aleación 3004 (ref.21).

Tabla 2. Porcentaje de elementos aleantes en la aleación 3004 (ref.21).

Elemento	Cantidad (%)
Si	0.18
Fe	0.40
Cu	0.10
Mn	1.10
Mg	1.10

El Mg y Cu son elementos en solución sólida que dan cierta dureza a la hoja final o producto, a través de su efecto durante el laminado en frío.

El control de la composición involucra la adición de ciertos elementos que ayuden a eliminar contaminantes, especialmente al Fe y Si, para poder estar dentro de los límites requeridos por la AA.

El lingote es preparado para el laminado por medio de un precalentamiento a una temperatura mayor a 500°C por varias horas. El precalentamiento provoca la precipitación de partículas finas (menores a 1 micrón) de una fase dispersante, $Al_{12}(Mn, Fe)_3Si$, y remueve la mayoría del manganeso y silicio de la solución sólida. Durante el precalentamiento, algo del aluminio es transformado en la fase $Al_{12}(Mn, Fe)_3Si$ y algunas partículas de Mg_2Si son disueltas también.

La aleación 3004 es laminada en caliente hasta 3 mm aproximadamente, posteriormente la hoja obtenida es recristalizada por un recocido, este proceso se lleva a cabo entre 300-400°C.

La hoja de 3004 recristalizada es laminada en frío, la reducción total es de 90% aproximadamente, este laminado incrementa la dureza de dicha aleación y esto hace posible el usar hojas tan delgadas para latas o recipientes de bebidas.

Los productores de latas demandan una mayor calidad y eficiencia en la producción de las mismas, esto da como resultado un rango de rechazo menor durante el proceso de fabricación de las hojas de aluminio.

II) FUNDAMENTOS TEÓRICOS.

A partir de este siglo, el aluminio ha tenido mucho éxito como un metal comercial, debido a esto y a la crisis de energía se hizo necesaria una reevaluación de estrategias para los procedimientos de reciclado de aluminio, así como para el desarrollo de mas y mejores métodos con el mismo fin.

En la figura 2 se observa el crecimiento del reciclado de aluminio a través del siglo 20.

La aleación 3004 es laminada en caliente hasta 3 mm aproximadamente, posteriormente la hoja obtenida es recristalizada por un recocido, este proceso se lleva a cabo entre 300-400°C.

La hoja de 3004 recristalizada es laminada en frío, la reducción total es de 90% aproximadamente, este laminado incrementa la dureza de dicha aleación y esto hace posible el usar hojas tan delgadas para latas o recipientes de bebidas.

Los productores de latas demandan una mayor calidad y eficiencia en la producción de las mismas, esto da como resultado un rango de rechazo menor durante el proceso de fabricación de las hojas de aluminio.

II) FUNDAMENTOS TEÓRICOS.

A partir de este siglo, el aluminio ha tenido mucho éxito como un metal comercial, debido a esto y a la crisis de energía se hizo necesaria una reevaluación de estrategias para los procedimientos de reciclado de aluminio, así como para el desarrollo de mas y mejores métodos con el mismo fin.

En la figura 2 se observa el crecimiento del reciclado de aluminio a través del siglo 20.

Datos Generales de Reciclado

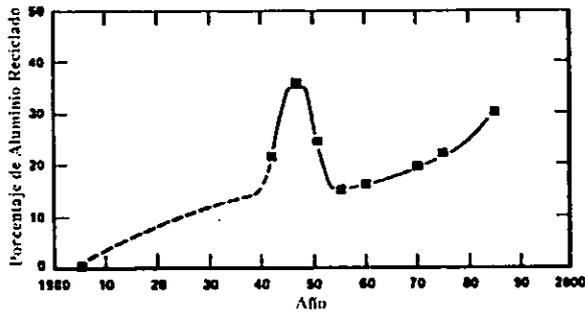


Figura 2. Reciclado de aluminio durante el siglo 20 (ref.23).

En un principio, las latas de acero con el sistema de “abre fácil” fue un éxito inmediato. Cuando se comenzaron a producir las latas en su totalidad de aluminio, se introdujo el concepto de una mejor preservación en el sabor y, además, mayor tiempo de vida. Paralelamente al incremento en la fama de las latas de aluminio, también creció la preocupación pública sobre como poder reciclarlas

La mayor cantidad de latas recicladas fue en 1970, posteriormente y aún más importante fue la de 1973. En este tiempo, el rango de reciclado era de 13% y el metal recuperado de las latas era abajo del 65%, generalmente. En este punto, la industria del aluminio primario percibía un beneficio económico directo del reciclado.

El estudio del consumo de energía reveló que una libra de aluminio reciclado economizaba un 95% de la energía requerida para obtener la misma libra de aluminio primario. Debido a las campañas entre productores y consumidores, el reciclado de aluminio se incrementó al doble en solo 2 años, y las ventas aumentaron un 50% en el mismo periodo

RECICLADO DE ALUMINIO

El ser humano, en búsqueda constante de elementos que faciliten su vida, descubrió la posibilidad de sustituir algunos de los metales que acostumbraba usar por otros que fueran más efectivos en el uso cotidiano.

El aluminio respondió rápidamente a esa necesidad, por su poco peso, la relación de éste con su resistencia mecánica, su maleabilidad y conformabilidad, su gran resistencia a la corrosión y sus elevadas conductividades térmica y eléctrica; su poca toxicidad y magnetismo, así como su resistencia a la tracción. Inclusive, combinándolo con otros metales y sometiéndolo a diversos tratamientos, el aluminio puede ser utilizado en un sin número de procesos para la obtención de gran variedad de productos.

En 1976 el reciclado se incrementó en un 26% al realizar una campaña conjunta para alentar al consumidor a regresar las latas para reciclar.

En 1984, se llegaron a reciclar más de 30 billones de latas, que representaron un aumento del 55%.

En 1992, el rango de reciclado fue del 68% con un récord de latas recolectadas de 62.7 billones.

El éxito del proceso de reciclado de aluminio esta en:

1. La buena combinación de propiedades del aluminio como son: la resistencia a la corrosión y la alta conductividad térmica.
2. El alto valor intrínseco y bajo costo del reprocesado dan un gran incentivo para recuperar dicho material.
3. Presentan una composición constante, bajo nivel de contaminantes.

El aluminio se clasifica según su destino de manufactura:

- A) Extrusión
- B) Laminación
- C) Fundición

Dentro del grupo A, se incluyen artículos o productos para las industrias de la construcción, transporte, electricidad, línea blanca y mobiliario, principalmente en forma de barras, perfiles y tubos.

En el grupo B, se incluyen igualmente productos para las industrias de la construcción, transporte, electricidad, línea blanca, industria litográfica y muy destacadamente, la industria del envasado de bebidas y alimentos evidentemente por tratarse de lámina y chapa de aluminio.

En el grupo C, la estadística muestra que se trata del grupo que en Estados Unidos involucra el mayor tonelaje. Lo anterior se explica por la amplia gama de productos de aluminio fabricados por procesos de moldeo, ya sea en arena, inyección o molde permanente principalmente.

CHATARRAS DE ALUMINIO

Las fuentes de abastecimiento de la industria del aluminio son:

A) Retornos industriales como chatarra de aluminio que se genera en la planta productiva, ya sea en forma de rechazo o de sobrante de piezas defectuosas, recortes, rebabas o escorias.

B) Chatarra de aluminio proveniente del desecho de productos obsoletos o retirados de servicio, o bien de lo que se considera “post-consumer” como envases, latas, desechos de construcción o reparación, etc.

La industria de la recuperación de aluminio ocupa un lugar muy importante, pues su intervención en el proceso productivo trae como consecuencia:

- 1.- No deprimir los recursos naturales no renovables.
- 2.- Ahorro de agua.
- 3.- Ahorro energía en el proceso de producción.
- 4.- Ahorro de aleantes.

Al incrementarse la producción de manufacturas de aluminio, se encuentra un mercado más abundante de desechos o chatarra a precios más bajos y accesibles.

Hoy en día, existen diversos factores que nos permiten tener una mejor perspectiva sobre el futuro de la industria del aluminio en general, y de la del aluminio reciclado en particular, como son:

1. La gran población existente en México.
2. Profesionales y empresarios dispuestos a incrementar su productividad con personal capacitado y mejor remunerado.
3. Su ubicación geográfica estratégica con respecto a las principales potencias económicas.
4. Facilidad para llegar a los mercados de exportación e importación por el intercambio comercial.

Con todo lo anterior, el aluminio secundario o reciclado tiende a establecerse, si no es que ya lo hizo, como una rama sólida y definitiva en el proceso productivo.

CLASIFICACIÓN DE CHATARRAS

TIPO:

- Cable sin centro de acero
- Perfil de prensa
- Perfil de patio
- Delgado (prensa o troquel, utensilios)
- Grueso industrial (piezas automotrices a nivel industrial)
- Grueso patio (piezas automotrices en deshuesadero)
- Bote

- Rebaba
- Revuelto
- Escorias

Por convención se consideran tres tipos generales de chatarra de aluminio:

1. - Interna: Se generan dentro de la planta de producción y son:

- Lingotes
- Sistemas de alimentación
- Cortes
- Material de rechazo, etc.

2. - Nueva: Producida por los usuarios del metal semiterminado.

- Limaduras
- Rebaba
- Recortes
- Perforaciones
- Rechazos, etc.

3. - Viejas: Generada por los productos que han completado su vida útil.

- Latas de bebidas y comida
- Partes automotrices
- Cables, etc.

De la clasificación anterior se puede deducir un gran rango de composiciones de elementos aleantes, por lo que la industria del reciclado tiene que enfrentar las exigencias en especificaciones de composición química para la producción de nuevos productos útiles. Lo anterior se puede observar en la tabla 3.

Tabla 3. Análisis Químico de los productos de aleaciones de aluminio usados con mayor frecuencia. (ref.22).

Aleación	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Uso
1235	0.65Si+F	—	0.05	0.05	0.05	0.1	0.06	Hoja impresa
3004	0.30	0.70	0.25	1.0-1.5	0.8-1.3	0.25	—	Cuerpos p/lata
5182	0.20	0.35	0.15	0.2-0.5	4.0-5.0	0.25	0.10	Tapas p/latas
8079	0.05-0.30	0.70-1.3	0.05	—	—	0.10	—	Foil p/hogar
3003	0.60	0.70	0.05-0.2	1.0-1.5	—	0.10	—	Platos p/comer
3105	0.60	0.70	0.30	0.3-0.8	0.2-0.8	0.40	0.10	Placas p/pared
6063	0.20-0.60	0.35	0.10	0.10	0.45-0.9	0.10	0.10	Extrusiones
2036	0.50	0.50	2.2-3.0	0.1-0.4	0.3-0.6	0.25	0.15	Lámina p/auto
5657	0.08	0.10	0.10	0.3	0.6-1.0	0.05	0.10	Contramarcos
7016	0.10	0.10	0.6-1.4	0.3	0.8-1.4	4.5	0.03	Parachoques
380	7.5-9.5	2.0	3.0-4.0	0.50	0.10	3.0	—	Colada a presión
390	16-18	1.3	4.0-5.0	0.10	0.45-	0.10	0.20	Bloques p/motor
360	9.0-10.0	2.0	0.6	0.35	0.4-0.6	0.5	—	Colada a presión
413	11.0-13.0	2.0	1.0	0.35	0.1	0.5	—	Colada a presión
520	0.25	0.30	0.25	0.15	9.5-10.6	0.15	0.25	Moldeo en arena
202	0.10	0.15	4.0-5.2	0.2-0.8	0.15-	—	0.15	Moldeo en arena
513	0.3	0.4	0.10	0.30	3.5-4.5	1.4	0.20	Moldeo en coquilla
296	2.0-3.0	1.2	4.0-5.0	0.35	0.05	0.50	0.25	Moldeo en coquilla

Tabla 4. Límites de composición química para aluminio reciclado (ref.22).

Elemento Aleante	Fundido	Laminado
Si	1.50	0.30
Fe	1.65	0.70
Cu	1.50	0.25
Mn	0.30	0.30
Mg	0.30	0.30
Cr	0.05	0.05
Zn	1.50	0.25
Pb	0.05	0.02
Sn	0.05	0.02
Otros	0.12	0.12

FUNDENTES PARA ALUMINIO Y SUS ALEACIONES

Los Fundentes son muy importantes para la fusión y/o reciclado de chatarra, ya que el porcentaje de recuperación del metal, calidad y propiedades en general dependen de ellos.

Existen 4 tipos de fundentes:

1. De protección o de cobertura: Son usados para prevenir la absorción y evitar la oxidación.
2. De limpieza: Se utiliza para remover inclusiones no metálicas
3. Desgasificantes: Eliminan gases atrapados.
4. Escorificantes Exotérmicos: Recuperan el metal de las escorias.

Un buen fundente deberá cumplir con tres requerimientos básicos:

1. Cubrir el metal y prevenir la oxidación.
2. Disolver o suspender partículas extrañas, óxido y suciedad.
3. Promover la coalescencia del metal líquido mediante la remoción de la capa adherida de óxido de aluminio o magnesio sobre la superficie del metal.

También existen requerimientos secundarios que deben cumplirse conjuntamente con los anteriores:

- Punto de fusión ≤ 660 °C, o en algunos casos ligeramente superior a ésta temperatura.
- Densidad menor a 2.3 g/cm^3
- No reaccionar o contaminar el metal.
- No atacar las paredes del refractario del horno.
- No ser nocivo.
- Baja presión de vapor
- No higroscópico.
- Bajo costo y de fácil reciclado.
- Viscosidad baja.
- Eliminarse con limpieza de la pieza fundida.

La tabla 5 resume los fundentes con mayor uso en la industria de la fundición de aluminio y sus aleaciones.

Tabla 5. Fundentes para aluminio y sus aleaciones (ref.22).

Material	Formula	Densidad g/ cm ³	Punto de Fusión (°C)	Punto de Ebullición (°C)
Cloruro de Aluminio	AlCl ₃	2.440	190	182.7*
Fluoruro de Aluminio	AlF ₃	3.070	1040	—
Bórax	Na ₂ B ₄ O ₇	2.360	741	1575
Cloruro de Calcio	CaCl ₂	2.510	741	1600
Fluoruro de Calcio	CaF ₂	3.180	1360	—
Carnalita	MgCl ₂ -KCl	1.600	487	—
Cloruro de Zinc	ZnCl ₂	2.910	262	732
Fluoruro de Zinc	ZnF ₂	4.840	872	—
Criolita	3NaF-AlF ₃	2.970	1000	—
Cloruro de Litio	LiCl	2.068	613	1353
Fluoruro de Litio	LiF	2.295	870	1676
Cloruro de Magnesio	MgCl ₂	2.325	712	1412
Fluoruro de	MgF ₂	3.000	1396	2239
Cloruro de Potasio	KCl	1.984	776	1500
Fluoruro de Potasio	KF	2.480	880	1500
Borato de Potasio	K ₂ B ₂ O ₄	—	947	—
Sulfato de Potasio	K ₂ SO ₄	2.662	1076	—
Cloruro de Sodio	NaCl	2.165	801	1413
Fluoruro de Sodio	NaF	2.790	980	1700
Carbonato de Potasio	K ₂ CO ₃	2.290	891	—

*Sublima a la temperatura indicada

Debido a la presencia de las variables a considerar, es importante realizar una selección adecuada del fundente tomando en cuenta los siguientes aspectos:

Tipo de horno: Es de gran importancia conocerlo, ya que con ello sabremos las condiciones que prevalecerán durante la fusión como lo son:

- La atmosférica
- Agitación.
- Ataque a paredes de refractario
- Evitar contacto con el combustible y/o sus productos

Tipo y forma de la aleación: Es necesario conocer la composición de la aleación, ya que existen las propensas a oxidarse con facilidad como las que contienen altos contenidos de magnesio > al 2%. En algunas ocasiones se requiere eliminar a éste, así como a las inclusiones, hidrógeno disuelto o modificar la estructura del silicio, por lo que el uso de determinados fundentes puede inhibir o propiciar estos procesos.

En la siguiente tabla se muestran los efectos de los componentes utilizados como fundentes sobre la fluidez, humectabilidad y reactividad.

Tabla 6. Efectos de algunos componentes usados en las mezclas de fundentes.

Compuesto	Fluidizador / Espesador	Reactividad Química	Exotérmico	Gas Liberado	Elemento añadido
AlF ₃	F	Si	No	No	No
CaCl ₂	F	No	No	No	No
MgCl ₂	F	No	No	No	No
MnCl ₂	F	Si	No	No	No
KF	F	No	No	No	No
NaF	F	No	No	No	Sodio
NaCl	F	No	No	No	No
KCl	F	No	No	No	No
CaF ₂	E	No	No	No	No
Na ₃ AlF ₆	E	No	No	No	No
Na ₂ SiF ₆	E	No	No	No	No
KNO ₃	Sin efecto	Si	Si	No	No
C ₂ Cl ₆	Sin efecto	Si	No	AlCl ₃	No
K ₂ CO ₃	Sin efecto	Si	No	CO ₂	No
Na ₂ CO ₃	Sin efecto	Si	No	CO ₂	No
K ₂ TiF ₆	Sin efecto	Si	No	No	Titanio
KBF ₄	Sin efecto	Si	No	No	Boro

En cuanto a la forma, es necesario recordar que al introducir la carga ya sea en forma de fragmentos o finos ésta tiende a oxidarse rápidamente ya que tiende a permanecer en la superficie del baño.

Composición química de los fundentes para aluminio.

Los objetivos principales de los fundentes protectores son: prevenir la oxidación del baño actuando como una barrera entre el aluminio líquido y la atmósfera que contenga oxígeno. Además debe evitar la penetración de hidrógeno proveniente de distintas fuentes, ya que podría provocar, si se llegase a disolver en el líquido, problemas de porosidad en las piezas fundidas.

Los fundentes, en su mayoría son una mezcla de NaCl y KCl con % equivalentes. Otras mezclas ordinarias son:

25% KCl - 25% NaCl, - 50% MnCl₂  Se utiliza para eliminar Na presente

40% KCl - 40% NaCl, - 20% AlF₃  Se utiliza para eliminar Ca presente

RECUBRIMIENTOS

Los recubrimientos son diferentes tipos de materiales como barnices y pinturas, que al ser utilizados junto con el aluminio nos dan un fin determinado: mayor resistencia a la contaminación atmosférica, también es posible dar diferentes tipos de acabado a extrusiones en casi cualquier color que la mente pueda imaginarse. Sin embargo, para obtener buenos resultados en los recubrimientos, deberá ser involucrada mucha tecnología especialmente en el pre-calentamiento, la selección del recubrimiento y el curado.

La razón mas común para pintar el aluminio es simplemente cambiar su apariencia y mejorar su resistencia a la corrosión. Es verdad que el aluminio puro forma su propia capa protectora de oxido de aluminio tan pronto como es expuesto al aire; esta capa de oxido tiene una buena resistencia en la superficie, sin embargo la mayoría de los productos de aluminio están hechos de aleaciones de aluminio con otros metales, y también contienen impurezas por lo que la resistencia a la corrosión no puede ser tan buena como lo es para el aluminio "puro". A atmósferas severas estas aleaciones pueden ser vulnerables al ataque corrosivo. La pintura provee protección contra la corrosión.

Por supuesto en adición a la pintura hay otros acabados para el aluminio, por ejemplo el anodizado. Éstos ofrecen varias propiedades físicas diferentes y pueden ser mejores en algunas aplicaciones; sin embargo ninguna ofrece la variedad de colores brillantes como los que ofrece la pintura.

La pintura para aluminio relativamente es una práctica nueva, con poco menos de 50 años de antigüedad. De hecho la producción comercial del aluminio es únicamente un poco mas de 100 años de antigüedad, la cual data de 1886 cuando la celda electrolítica fue desarrollada.

Cuando comenzó la Segunda guerra mundial ocurrió una gran expansión del uso de aluminio, especialmente en aeroplanos y muchas de estas aplicaciones requirieron pintura.

El óxido protector posee un gran problema para ser pintado; la capa de óxido es delgada suave y porosa y reacciona muy fácilmente con otros químicos. La pintura no se adhiere bien a la superficie, las partículas corrosivas penetran la capa a través de pequeñas cavidades en la pintura, y estas atacarán al óxido poroso de la superficie que se encuentra debajo causando un desprendimiento de la pintura.

Se ensayaron varios procesos diferentes antes de ser desarrollados los sistemas modernos de pretratamiento, como por ejemplo, una mezcla de ácido fosfórico y alcohol originalmente desarrollado para el tratamiento del acero, fue adoptado para el aluminio en el siglo XIX. Más tarde se hicieron mejoras al añadir éter o agentes humectantes sintéticos. Las ventajas del ácido crómico y las sales de cromato fueron desarrolladas en los años 30's; algunos aeroplanos de la Segunda Guerra Mundial fueron pretratados anodizandolos en ácido crómico. En los años 40's se desarrolló el proceso llamado "Recubrimiento de Conversión por Fosfato de Cromo", y con algunas modificaciones, aún hoy en día es el proceso de pretratamiento más popular. Los revestimientos por conversión actualmente "convierten " químicamente la superficie para permitir que la

pintura se adhiera y al mismo tiempo provee una superficie estable debajo de la pintura a la cual protege contra el desprendimiento y la corrosión.

El uso propio del cromo, por ser un metal pesado, requiere un cuidado extra para evitar daños al ambiente. Muchos pretratamientos sin cromo han sido probados pero ninguno ha sido tan efectivo. Cuando es pretratado el aluminio puede ser recubierto con cualquiera de las pinturas disponibles en el mercado, e históricamente han sido pintados con pinturas convencionales tales como alquídicos, acrílicos y poliésteres.

Mientras que estas pinturas funcionan bien en muchas aplicaciones, se descubrió que después de una exposición larga al ambiente y a los rayos solares intensos estas pinturas se decoloraron y se carcomieron. Como resultado un nuevo tipo de pintura de “alto desempeño” fue desarrollado en los 60's basado en fluorocarbonos y llamados PVF2 (KYNAR). Estas pinturas abrieron varias aplicaciones arquitectónicas nuevas para el aluminio pintado, debido a que ofrece una excelente resistencia al medio ambiente y a los intensos rayos ultravioleta solares.

La mayoría de las pinturas líquidas consisten en pigmentos y otros aditivos suspendidos en solventes orgánicos base petróleo, los cuales se evaporan conforme la pintura se seca, éstos vapores pueden contribuir a la contaminación del aire, por lo que es necesario controlarlos.

Existen tres maneras básicas para poder controlar dichos vapores:

1. Cambio de fórmula de la pintura (reducción del 50% de solventes)

2. Coleccionar los vapores y removerlos por incineración o convertidor catalítico.
3. Convertir la pintura líquida a pintura de polvo, la cual no usa solventes.

Las plantas europeas empezaron a tratar este problema desde hace 20 años, es decir, el aluminio es ahora pintado principalmente con pinturas de polvo, dando como resultado un desarrollo en este tipo de pinturas y en nuevos métodos de aplicación.

En contraste, en Estados Unidos el desarrollo ha sido más lento, por lo que se siguen usando pinturas líquidas con bajo solvente e incineradores para remover los vapores.

PINTURAS EN SUPERFICIES DE ALUMINIO

Como ya se mencionó, el aluminio es químicamente muy reactivo, ya que inmediatamente se combina con el oxígeno del aire para formar óxido en todas las superficies expuestas; este óxido no provee una superficie uniforme y estable para la adherencia de la pintura, y no resiste a la corrosión de sales y ácidos, es muy delgado, suave, poroso y reactivo.

Por otro lado, las superficies de aluminio no tratadas presentan condiciones galvánicas sobre la superficie; esto quiere decir que hay pequeños asientos catódicos y anódicos sobre la superficie, similarmente a baterías de estaño, que produce pequeños flujos de corriente eléctrica de estaño. Estos son causados por la presencia de diferentes elementos aleatorios en los límites de la estructura granular e impurezas en la aleación. La acción galvánica da como resultado una corrosión muy intensa en superficies no tratadas. Si la superficie es pintada sin un pretratamiento, este efecto llega a ser peor,

debido a que éste es concentrado y se rompe o hace cavidades pequeñas en el recubrimiento. Por lo tanto, la función primaria del pretratamiento es reducir las diferencias en los potenciales eléctricos a través de la superficie. Este proceso es llamado "pasivador", ya que hace pasiva la superficie (sin respuesta) a la actividad eléctrica.

Los cuatro pretratamientos principales son fosfatos (zinc y hierro), fosfato-cromo, cromato y libre de cromo. Los cuatro ofrecen mejoras para la adhesión de la pintura, a la resistencia a la corrosión y su elección depende de las especificaciones sobre su uso final.

Revestimientos de Fosfatos: no proveen el mismo grado de adhesión o protección a la corrosión como los revestimientos por conversión de cromo, por lo que su uso está restringido a aplicaciones menos severas. La protección a la corrosión puede ser mejorada con un enjuague final en un sellador que contenga cromo. Estos revestimientos son más baratos debido a que su requerimiento de equipo y energía son menores, el proceso es fácilmente controlado y los costos de los químicos son bajos.

Revestimientos de Fosfato-Cromo: éstos dan una excelente adhesión a la pintura y buena protección a la corrosión. Son usados ampliamente para extrusiones y botes de bebidas, las cuales tienen una excelente capa de pintura. Una de las ventajas de este revestimiento es que la base ácida sirve como un limpiador, en plantas donde el diseño del equipo no es suficiente para una buena limpieza de las superficies antes del pretratamiento, el ácido provee una mejor limpieza y grabado.

Revestimientos por conversión de Cromato: para utilizar este proceso se debe realizar una limpieza previa. Los cromatos dan una excelente adhesión a la pintura y una resistencia a la corrosión superior. Tiene la habilidad de “auto curado” en un medio corrosivo, es decir, si la película es rayada a través de la superficie de aluminio, el cromato en la película se extenderá para proteger continuamente el área dañada. Después del pintado, éste sistema da una buena protección contra fallas del mismo y en el borde.

Revestimiento libre de Cromo: son relativamente nuevos y su uso es muy limitado; elimina los peligros y problemas de contaminación del agua con cromo. Se han encontrado algunas aplicaciones en la industria de los botes para bebidas; sin embargo, éste usa una mezcla complicada de diferentes químicos, los cuales introducen nuevos problemas. Su efectividad no es considerada igual a la de los cromatos en la actualidad, pero puede llegar a mejorarse.

Las plantas de aluminio usan de 3 a 9 pasos de pretratamiento, dependiendo del grado de protección requerida. Los pasos típicos son:

1. Limpiador alcalino
2. Enjuague
3. Limpiador ácido
4. Enjuague
5. Desoxidante
6. Enjuague
7. Capa por conversión de cromato

8. Enjuague

9. Enjuague final de cromo ácido

Pulverizado (rociado) o aplicación por inmersión: dependiendo del tipo de producto y la relación de producción requerida, el proceso puede usar tanques de inmersión o una lavadora de pulverizado continuo; éstas últimas están localizadas en línea con los sistemas de pintado. Las partes son colocadas en un transportador al principio de la planta y transportadas automáticamente a través de las etapas de pintura y curado, las plantas pueden lograr una relación de producción más alta y usando menos personal con una lavadora de pulverizado; sin embargo, el costo de inversión es más alto y el control de calidad es más crítico. Los tanques de inmersión cuestan menos y pueden hacer el trabajo mejor, debido a que las partes están totalmente sumergidas en los químicos líquidos y hay un contacto completo.

Después de haber sumergido las partes en el pretratamiento, los productos de aluminio a pintar se colocan manualmente en un transportador especial para su pintado. Mediante una cadena aérea, los ganchos se van moviendo a través de las áreas de colgado, pintado, curado y descarga.

Se puede obtener una alta calidad en el pintado al utilizar el método tipo electrostático. Con pintura líquida, la pintura primeramente es atomizada, usualmente con una alta velocidad a través de una tobera giratoria. Tanto a las gotitas de pintura y al objeto que se este pintando se le aplican cargas eléctricas opuestas, de tal manera que la pintura será atraída por la electricidad estática únicamente hacia la superficie a pintar. Como resultado hay un pequeño "sobre atomizado" y la pintura cubre alrededor de los

contornos del perfil que está siendo pintado, aún hasta en los lados posteriores y hasta en las áreas escondidas más pequeñas. El mayor porcentaje de pintura es aprovechado y muy poca pintura es la que se desperdicia.

La pintura en polvo también es aplicada por atomización y usando carga electrostática. El polvo pigmentado se adhiere a la superficie del perfil de aluminio por medio de esta carga eléctrica hasta que sea curada permanentemente en el horno de curado, posteriormente ésta se disolverá y se mezclará para hacer un acabado completamente liso y brillante. Debido a que el polvo es más caro que la pintura líquida. Es importante recolectar y reciclar cualquier excedente de polvo, por lo que normalmente existe un sistema de vacío para recoger este material y regresarlo para ser reutilizado. Un sistema colector por separado es puesto para cada uno de los diferentes colores estándar, para permitir un cambio rápido de color.

Como ya se mencionó, toda la pintura deberá ser curada en un horno; algunas pinturas líquidas eventualmente se secarán en el horno conforme los solventes se evaporen, pero los hornos se usan también para acelerar el proceso de tal manera que las partes puedan ser quitadas del transportador lo más pronto posible después de haber sido pintadas. Otras pinturas "termofraguables" requieren calor para convertirlas a un acabado duro y permanente. De cualquier manera, la mayoría de los solventes son evaporados en el horno de curado.

La pintura en polvo nunca se cura sin calor, ésta deberá ser calentada a 160-210 °C, por un periodo de 8 a 20 minutos. En la pintura de polvo no se usan solventes.

Inmediatamente después de dejar el horno de curado, las partes son enfriadas con aire para su fácil manejo por temperatura y pueden ser empacadas y embarcadas.

CONSIDERACIONES AMBIENTALES

Existen algunos pasos que hay que tomar en cuenta para proteger el medio ambiente cuando el aluminio es pintado. Lo más importante concierne al cromo y los solventes.

CROMO: es un metal pesado, existe la posibilidad de algunos problemas de toxicidad si los desperdicios no se manejan adecuadamente, la tecnología moderna nos ofrece soluciones buenas y económicas para remover el cromo del agua que se desperdicia en la operación de lavado de tal manera que pueda disponerse de ella apropiadamente. Esta tecnología incluye ajustes del pH; conversión del cromo de la forma hexavalente a una forma segura trivalente y la filtración para remover todos los trazos de cromo en el agua de desperdicio. El equipo de tratamiento necesario se obtiene rápidamente a bajo costo, en forma de planta paquete, el cual reúne completamente los estándares que han sido propuestos para el cuidado del medio ambiente.

SOLVENTES: los solventes evaporados usados en las pinturas líquidas contribuyen a las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV), añadiendo humo fotoquímico. De tal manera que la cantidad de éstos COV'S que son originados en las plantas de pintado de aluminio es casi insignificante comparada con fuentes como las de los automóviles. Sin embargo es más fácil requerir límites en unas pocas fuentes industriales que en varias fuentes pequeñas, de tal manera que las plantas de pintura han sido requeridas para que tome uno de los pasos como el reducir el porcentaje de

solventes en las pinturas, coleccionar y remover los vapores o cambiar de pintura líquida a pintura en polvo.

Estas tecnologías son muy avanzadas permitiendo a las plantas de pintura de aluminio reunir los estándares más elevados para el cuidado del medio ambiente a un costo razonable mientras que se mantienen estándares más altos en la calidad del producto.

Introducción: Debido a que las latas y otros productos deben ser pintados para mejorar su aspecto y su resistencia a la corrosión. En el momento del reciclado estas pinturas pueden desprender humos y polvos peligrosos para el medio ambiente además de reducir el rendimiento del metal que se está reciclando.

PROCESO ALCOA

El proceso que mayor aceptación tiene para el reciclado de latas de bebidas es el Proceso ALCOA ya que se preparan las latas para la fusión. Este método separa los dos tipos de aleaciones diferentes basándose en la diferencia de temperaturas de fusión entre ellas, siendo para la aleación AA5182, 580-636°C, y la aleación AA3004, 629-654°C; se hacen pasar las latas a través de un horno rotatorio hasta la temperatura de fusión incipiente de la aleación AA5182 lo que produce su fragmentación. Para su posterior separación, se realiza un tamizado dividiendo las partículas de acuerdo al tamaño.

ALEACIONES DE ALUMINIO

COMPOSICIÓN QUÍMICA

Una de las principales dificultades en el reciclado de latas de bebidas es que son fabricadas de dos diferentes aleaciones: AA5182 utilizada para la fabricación de la tapa y la AA3004 para el cuerpo, al fundirlas juntas da como resultado una aleación diferente en composición química a las dos anteriores.

El rápido crecimiento del mercado de latas para bebidas ha provocado un incremento considerable en el uso del aluminio más que cualquier otro producto. En 1984, en los Estados Unidos más de 3.2 billones de libras (1.5 millones de toneladas) de hojas fueron manufacturadas para producir arriba de 61.5 billones de latas para bebidas. La facilidad para ser recicladas en hojas y producir latas nuevamente, es una de las razones por las que este mercado ha crecido de manera significativa.

La industria del aluminio reconoce varias ventajas que ofrece el reciclado de latas de aluminio. La principal razón técnica es que la refusión requiere solamente el 5% de la energía necesaria para producir latas a partir de aluminio primario cuyo origen es el procesado de la bauxita.

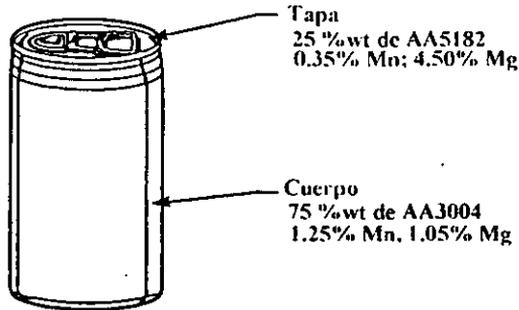


Figure 3. Alloy mixture in aluminum beverage cans.

Figura 3. Composición química de los componentes de una lata de aluminio para bebidas (ref.3).

Al observar la figura 3, se puede ver que las latas contienen mucho manganeso para ser convertida totalmente en AA5182 y demasiado magnesio para ser convertida a AA3004.

Por esto es necesario la adición de aluminio primario para diluir éstos elementos aleantes necesarios a niveles aceptables.

Las máximas concentraciones de hierro y silicio son:

0.20% Si y 0.35% Fe para AA5182,

0.30% Si y 0.70% Fe para AA3004.

El silicio entra al sistema como arena o vidrio, los cuales reaccionan con el aluminio fundido y se introduce al metal. El hierro se mezcla en forma de chatarra con el aluminio.

Las temperaturas de fusión que presentan las dos aleaciones que componen a la lata son:

Tabla 7. Temperaturas de fusión de las diferentes aleaciones de la lata (ref.3).

ALEACIÓN	TEMPERATURA (°C)*
AA5182	580 - 637
AA3004	629 - 654

TIPO DE HORNOS.

La fusión del aluminio, normalmente, es hecha en diferentes tipos de hornos; dentro de los cuales tenemos: hornos de crisol, de reverbero y eléctricos de resistencia.

HORNOS DE CRISOL.

Los hornos de crisol ya casi no se utilizan en fábricas de transformación, sin embargo, existen todavía algunos hornos basculantes en fundiciones pequeñas; normalmente están equipados con un crisol de carburo de silicio o de arrabio recubierto con pintura refractaria, con una capacidad de 50-250 Kg. El calentamiento se efectúa con gas y la flama producida por el quemador ataca tangencialmente la base del crisol con el fin de que los gases de combustión giren alrededor de él con un movimiento ascendente y helicoidal. Los modelos mas recientes de estos hornos basculan alrededor del pico de colada, para mantener una altura constante de caída del metal mientras dura el movimiento de basculamiento. La transmisión de energía al metal que se quiere fundir,

al realizarse indirectamente a través de la pared del crisol, causa un escaso rendimiento térmico y un consumo de combustible importante, además; la necesidad de reemplazar periódicamente los crisoles aumenta el costo de la fusión.

HORNOS ELÉCTRICOS DE RESISTENCIA

En los hornos eléctricos de resistencia, la energía necesaria para la fusión se obtiene por efecto Joule en las resistencias dispuestas en la bóveda del horno. Es irradiada directamente sobre el metal. Las resistencias están constituidas por alambres en espiral, formados por aleaciones refractarias como: Ni-Cr (80-20%), Ni-Cr-Fe, o Cr-Al-Fe-Co.

Las resistencias se instalan sobre la bóveda: parcialmente, embebidas en ladrillos de forma rectangular; montaje practicado sobre todo para alambres en espiral o como resistencias suspendidas de la bóveda.

HORNOS DE REVERBERO

Los hornos de reverbero: son hornos calentados por medio de combustible líquido o gaseoso, la energía necesaria para la fusión se produce por uno o varios quemadores alimentados por éstos tipos de combustibles; cuyas flamas inciden directamente sobre la carga metálica. Los gases de combustión provocan, en la atmósfera del horno, movimientos intensos de convección que mejoran los cambios térmicos con el metal que se funde, por estas razones, la velocidad de fusión es mayor y el consumo de combustible es menor que en el caso de los hornos de crisol.

Este tipo de horno lleva algunas veces una solera de fusión inclinada, sobre la que se introduce la carga metálica. El metal fluye por el hogar a medida que transcurre la fusión, permaneciendo los óxidos en la solera, que periódicamente es desescoriada.

Estos hornos presentan una forma mas o menos rectangular, también se utilizan algunos de forma circular en Estados Unidos, los cuales tienen una bóveda móvil, de manera que se puede efectuar la carga rápidamente por la abertura superior del mismo.

En la disposición más normal, los quemadores están colocados sobre uno de los lados pequeños del horno, las puertas de carga y desescoriado se colocan en los lados pequeños y grandes del horno. En algunos casos los quemadores se montan en oposición en las cuatro esquinas del horno, ésta disposición debe de evitarse ya que tiende a provocar una zona de presión en el centro de éste, que perturba el funcionamiento de los quemadores. Es preferible adoptar una posición en la que la distancia recorrida por los gases sea la mayor posible, de manera que se incrementen los intercambios térmicos con la carga metálica; dichos intercambios se pueden mejorar considerablemente al inclinar la bóveda ante los quemadores, esto permite aumentar la energía irradiada por la bóveda y aproximar los gases de la combustión a la carga.

Los quemadores empleados son del tipo de inducción de aire y en los hornos más modernos, del tipo de mezcla preliminar si se trata de combustible tipo gas. En caso de utilizar este combustible, tenemos un mejor control del caudal de aire primario, del aire secundario y del combustible. En Francia existen hornos de reverbero de combustible, con una capacidad de 33 toneladas. Estos hornos resultan relativamente poco costosos y sus gastos de mantenimiento son reducidos. El revestimiento refractario puede durar de

La 3 años, en marcha continua, dependiendo de la naturaleza de la carga y la forma de efectuarla, etc. Estos hornos presentan ciertos inconvenientes:

La aportación de calor es irregular, pueden originarse “golpes de fuego” que den lugar a sobre calentamientos locales (sobre todo en el caso de quemadores de combustibles líquidos), esto se puede remediar, en cierta forma, alejando la llama de los quemadores de la superficie del baño e instalando una regulación pirométrica en los quemadores.

Los productos de combustión, al estar en contacto con la carga y con el baño, provocan cierta oxidación del metal y absorción de hidrógeno; esto se puede reducir bastante al situar los quemadores en el fondo de la cámara de combustión y evitando dirigir la llama contra la carga.

Las pérdidas por oxidación del metal llamadas “Pérdidas por Quemado” se pueden reducir al proteger la carga durante la fusión con fundentes especiales y dejando un “pie de horno” líquido, después de cada fusión, de modo que se pueda sumergir rápidamente el metal sólido desde el comienzo de la carga. Este “pie de horno” tiene la ventaja de desempeñar el papel de acumulador térmico y de acelerar de ésta forma la fusión.

En hornos de reverbero con quemadores de combustibles líquidos, el “pie de horno” representa del 25-50% de la capacidad total del mismo.

Los hornos calentados por medio de combustibles líquidos o gaseosos necesitan una instalación de extracción de gases y polvos bastante costosa, ya que pueden contener

productos sulfurados. Estas se emplean en las fundiciones de hornos de reverbero fijos (que son preferidos en los Estados Unidos por sus bajos costos) o basculantes (utilizados en Europa por la facilidad de colada).

En estos hornos, la energía necesaria para la fusión se produce por uno o varios quemadores alimentados por combustibles líquidos o gaseosos, cuyas llamas inciden directamente en la carga metálica. Los gases de combustión provocan, en la atmósfera del horno, movimientos intensos de convección que mejoran los cambios térmicos con el metal que se funde; por éstas razones, la velocidad de fusión es mayor y el consumo de combustible es menor,

Los combustibles empleados en Francia son los combustibles líquidos, tanto ligeros como pesados, el gas natural, y con menos frecuencia el gas de ciudad o gasógeno. Se utiliza, de la misma manera, el carbón pulverizado, sobre todo en Alemania.

Estos hornos llevan, algunas veces, una solera de fusión inclinada, sobre la que se introduce la carga metálica; el metal fluye por el hogar a medida que transcurre la fusión, permaneciendo los óxidos en la solera, la cual es desescoriada periódicamente.

Estos hornos presentan una forma rectangular. En la disposición más normal, los quemadores están colocados sobre uno de los lados pequeños del horno y los gases de combustión se evacuan por una chimenea situada en el lado opuesto. Las puertas de carga y desescoriado están colocadas en los lados pequeños y grandes del horno. En algunos casos, los quemadores se montan en oposición en las cuatro esquinas del horno,

pero esto debe ser evitado, porque tiende a provocar una zona de presión en el centro del horno, que perturba el funcionamiento de los quemadores.

Es preferible adoptar una disposición en la que el recorrido de los gases de combustión en el horno, antes de su evacuación por la chimenea, sea el mas largo posible, de manera que se incrementen los intercambios térmicos con la carga metálica.

Se pueden mejorar notablemente los intercambios térmicos al inclinar la bóveda ante los quemadores, y esto nos permite aumentar la energía irradiada por la bóveda y aproximar los gases de la combustión a la carga antes de su evacuación por la chimenea, de esta manera pueden ceder de manera útil una parte importante de su calor sensible.

Los quemadores empleados son del tipo de inducción de aire, y en los hornos más modernos, son del tipo de mezcla preliminar, si se trata de gas, o son del tipo proporcional o aire total si se trata de fuel; en este ultimo caso, hay un control preciso del caudal de aire primario, del aire secundario y del combustible.

En Francia existen hornos de fusión de reverbero de combustible, con una capacidad de hasta 33 toneladas; éstos hornos resultan relativamente poco costosos y sus gastos de mantenimiento son reducidos. El revestimiento refractario puede durar de uno a tres años con un funcionamiento continuo, según la naturaleza de la carga y la manera de efectuarse.

El consumo de combustible, en funcionamiento continuo, es del orden de 80 a 130 l/t en el caso de los combustibles líquidos, y de 110 a 130 m³/t en el caso del gas natural.

Estos hornos presentan ciertos inconvenientes como son:

- Una aportación de calor irregular al originarse “golpes de fuego” que den lugar a un sobrecalentamiento local (sobre todo al usar quemadores de combustibles líquidos). Esto se remedia al alejar la llama de los quemadores de la superficie del baño e instalando una regulación pirométrica en los quemadores.
- Los productos de combustión, al estar en contacto con la carga que se va a fundir y con el baño, provocan cierta oxidación del metal (pérdidas por quemado) y absorción del hidrógeno.

Es posible reducir tales inconvenientes al situar los quemadores en el fondo de la cámara de combustión y evitando dirigir la llama contra la carga.

Los primeros hornos basculantes lo hacían sobre rodillos alrededor de un gran eje; esta disposición tenía la ventaja de ser mecánicamente muy sencilla, pero presentaba el inconveniente de que con el movimiento se originaba un cambio de posición del pico de colada con relación al suelo, es decir, cambiaba la altura de caída del metal.

Los hornos basculantes más modernos lo hacen alrededor de un eje que pasa por un extremo del pico de colada, lo que asegura una altura invariable de la caída del metal durante la colada. El basculamiento se realiza por medio de cilindros hidráulicos o mecánicos.

Es un horno que utiliza una flama para fundir los metales; la flama no pega directamente en el metal sino que es reflejada en las paredes del horno. El metal es fundido por el calor irradiado por las paredes y el techo del horno.

El horno de reverbero es utilizado para procesos de fundición continuos de aleaciones ferrosas o no ferrosas, como por ejemplo, cobre, zinc, aluminio y magnesio.

Típicamente, el horno de reverbero tiene una capacidad de 2 000 a 20 000 lb de aluminio. Este tipo de hornos también recibe el nombre de hornos de corazón y su “auge” comenzó a mediados de los años 70s.

Tipos de hornos de reverbero:

El nombre “reverbero” viene desde la Segunda Guerra Mundial, donde el combustible más común era el coque.

Existen hornos de corazón húmedo y seco, los cuales se describen a continuación.

- Los hornos de corazón húmedo: Son aquellos en que los productos de la combustión están en contacto directo con la superficie del baño metálico y la transferencia de calor esta dada por convección y radiación.
- En hornos de corazón seco: Se carga el metal arriba del baño metálico, por lo que la carga se encuentra en contacto con los gases calientes. El calor es

absorbido por la carga sólida. Las altas temperaturas y la flama pueden causar oxidación y otro tipo de residuos que se acumulan en los depósitos del refractario. Con una limpieza periódica se puede controlar éste problema. De este tipo de horno se obtiene un material de buena calidad.

Las altas temperaturas y la flama pueden causar la formación de óxidos y otros tipos de residuos acumulables en los intersticios del refractario, esto se puede evitar con una limpieza continua y periódica. Este tipo de horno provee un material de buena calidad.

Condiciones para fundir aleaciones de Aluminio en horno de reverbero

A) La tabla siguiente muestra las temperaturas y cantidades requeridas para fundir diversas aleaciones base los siguientes elementos.

Tabla 8. Energía requerida para fundir varias aleaciones (ref.2).

Metal	KJ/Kg	BTU/lb
Fe	1240	534
Al	1060	457
Cu	675	290
Zn	280	120
Sn	116	50
Pb	65	28

Es interesante notar que la cantidad de energía requerida para fundir una libra de aluminio a 660 °C ó 1220 °F es alrededor del 85% en comparación con la misma cantidad de acero a 1260 °C ó 2300 °F.

B) En la siguiente tabla se enlistan las cantidades de calor y porcentaje del total de energía requerido para calentar al aluminio a varias temperaturas. Esto nos indica la importancia del precalentamiento, esto es, se toma el 41% de la energía del horno para calentar aluminio a 425 °C; por lo que al precalentar la carga, se incrementa la capacidad de fusión del horno y se reduce el tiempo de fusión del mismo.

Tabla 9. Energía Especifica requerida para calentar aluminio a diferentes rangos de temperatura.

°C	°F	KJ/kg	BTU/lb	% Total	% Acumulado
20 - 450	70 - 800	484	208	41	41
425 - 600	800 - 1200	186	80	16	57
Liq - Sol	Liq - Sol	395	170	33	90
660 - 770	1220 - 1420	116	50	10	100

C) El baño caliente debe ser menos denso, mientras que el metal fundido "frío" y los sólidos no fundidos deben irse al fondo.

El baño no presenta mucha circulación o convección y esto se debe a que el metal fundido "frío" es más denso o pesado que el caliente.

Por el diseño del horno, se calienta la superficie por lo que el fondo del baño tiende a estar a una menor temperatura que la superficie.

D) En el horno se presentan dos tipos de depósitos en el refractario:

I.- Depósitos en el piso del horno: son depósitos formados por materiales que son los últimos en fundirse, como el hierro, manganeso, cromo, silicio y cobre; si no son limpiados y removidos, éstos depósitos van creciendo al mismo tiempo que baja la eficiencia del horno. Al reducir la diferencia de temperaturas, en 4 °C, entre la superficie y el fondo del horno con una mejor circulación, se puede incrementar el rango de fusión en un 30%.

II.- Depósitos en Líneas: los óxidos de aluminio, arena, y materiales ligeros flotan y son recolectados en la superficie del baño. Frecuentemente se forman ciertas composiciones con el refractario y éstas se depositan en las paredes del horno. Para evitar éste tipo de problema es recomendable una limpieza periódica.

E) La fusión de aluminio resulta en la formación de óxidos que varían en densidad, por lo que pueden flotar o hundirse. Esto es minimizado al usar un horno de corazón seco.

La escoria puede ocasionar:

I.- Dependiendo de la cantidad de metal requerida, un exceso de escoria fundida que frecuentemente ocasiona filtraciones, etc.

II.- Al estar la escoria muy caliente, se oxida el aluminio en la superficie y esto da como resultado pérdidas de aluminio y elementos de aleación.

F) Optimización de la calidad del metal y prolongación de la vida del horno.

I.- Control de la Temperatura: el aluminio es muy activo y lo es más a temperaturas altas. Se debe saber que el rango de oxidación del aluminio es 770-800 °C, por lo que no es recomendable pasarnos ya que se podría tener una menor eficiencia en los procesos de control para la porosidad por hidrógeno, refinamiento de grano, modificación por silicio y pérdidas de aleantes como magnesio, berilio, boro, sodio, y litio.

II.- Efecto de la temperatura del refractario en la vida del mismo: una operación continua sin períodos de “enfriamiento” extiende la vida del horno. El cambio de temperaturas causa fracturas. El usar métodos infrarrojos u ópticos es una ayuda para checar las fallas en el piso o paredes del refractario. El horno debe ser precalentado antes de cargar, esto permite que el refractario se expanda y cierre las fracturas; si es fundido el metal en un horno frío, el metal llenará las ranuras o fracturas y el refractario será más débil.

III.- Efecto de las Técnicas de carga al horno en la calidad del Metal: la carga debe ser compactada, secada y precalentada. El procedimiento es el siguiente:

A. Si se adicionan metales ligeros como el sodio, calcio, litio y magnesio deben ser sumergidos para prevenir pérdidas.

B. El silicio flota por lo que debe ser sumergido en el metal antes de que ocurra la oxidación de la superficie.

C. Metales pesados como el cobre y plomo se hunden, y esto ocasiona que no se disuelvan rápidamente, por lo que deben ser suspendidos en el baño por medio de una canasta.

D. Por último, el zinc y el estaño causan problemas especiales, ya que son pesados y de bajo punto de fusión y se evaporan, una carga equivocada de éstos materiales puede provocar hoyos en el fondo del horno. Por ejemplo, cuando se carga zinc directamente, este se evapora, el vapor se escapa por los poros del refractario y se condensa cuando llega al piso, se solidifica y se expande fracturando el refractario. Para evitar esto, el zinc y estaño deben ser cargados usando una canastilla de acero arriba del piso del horno.

IV.- Los quemadores utilizan generalmente una mezcla de gas-aire, se debe controlar dicha mezcla y la flama; también deben ser limpiados periódicamente.

Seguridad.

- El horno y las cargas deben ser precalentados.
- El área alrededor del horno debe estar libre.
- Los herramientas deben estar limpios.
- Deben precalentarse los herramientas antes de usarse.
- Se deben usar guantes, lentes y equipo de seguridad.

III) DESARROLLO EXPERIMENTAL.

La experimentación realizada para éste trabajo comenzó con la construcción del horno de reverbero en el que se efectuaron las fusiones de las latas de bebidas de aluminio, posteriormente se realizó una recolección de dicho material. Al realizar los experimentos se mantuvo un control en los parámetros necesarios, de tal forma que los experimentos fueran reproducibles y determinantes.

Los experimentos se realizaron en este tipo de horno debido a su facilidad para su construcción, fácil manejo, ahorro de energía, y facilidad de carga.

DISEÑO EXPERIMENTAL.

Los experimentos se diseñaron de la siguiente manera:

Variables Fijas:

- Cantidad de Carga
- Temperatura de trabajo

Variables a probar:

- 1er. Nivel: Sin uso de Fundentes.
- 2do Nivel: Uso de Fundente. Mezcla de sales al 50% de cloruro de potasio y 50% de cloruro de sodio como fundente.

MATERIAL Y EQUIPO.

Los materiales que se utilizaron fueron:

- a) Latas de aluminio de bebidas comerciales.
- b) Mezcla de cloruro de potasio y cloruro de sodio (50%-50%).

Los materiales utilizados fueron comerciales; siendo la composición de la lata la que se muestra en la tabla siguiente:

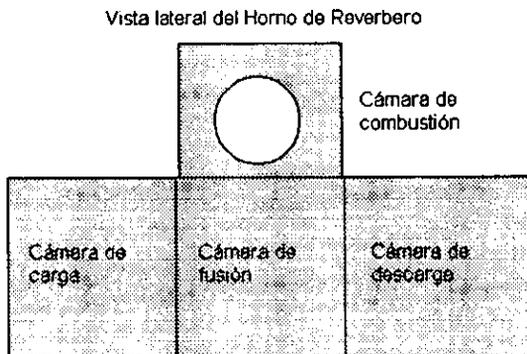
TAPAS: 25%wt AA5182, 0.35%Mn, 4.50%Mg.

CUERPO: 75%wt AA3004, 1.25%Mn, 1.05%Mg.

El equipo que se utilizó fue un horno de reverbero con una capacidad aproximada de 7 Kg, que fue fabricado en el laboratorio de fundición. El cuerpo del horno es de acero de una forma rectangular, cuyas dimensiones son: longitud 32 cm, ancho 17 cm, altura 20 cm, y se recubrió con una capa de aproximadamente 3 cm de cemento refractario; el horno se dividió en tres secciones o cámaras con las siguientes dimensiones: cámara de carga, longitud 10.5 cm, ancho 11 cm, altura 17 cm; cámara de fusión, longitud 7 cm, ancho 11 cm, altura 17 cm; y cámara de descarga, longitud 10.5 cm, ancho 11 cm, altura 17 cm. Sobre la cámara de fusión se colocó la cámara de combustión, la cual tiene las siguientes dimensiones: longitud 8.5 cm, ancho 17 cm, altura 9 cm; se recubrió con cemento refractario, de 1.5 cm de espesor por lo que las dimensiones interiores de la cámara son:

longitud 5.5 cm, ancho 14 cm, altura 6 cm, ésta cámara tiene una perforación lateral de 5 cm de diámetro para poder colocar el quemador, el cual utiliza una mezcla de aire-gas L.P.

A continuación se muestran en las figuras 4 y 5 la vista lateral y la vista superior del horno respectivamente:



Dimensiones del Horno:

Longitud 32 cm

Ancho 17 cm

Altura 20 cm

Dimensiones de la cámara de combustión:

Longitud 8.5 cm

Ancho 17 cm

Altura 9 cm

Figura 4. Vista lateral.

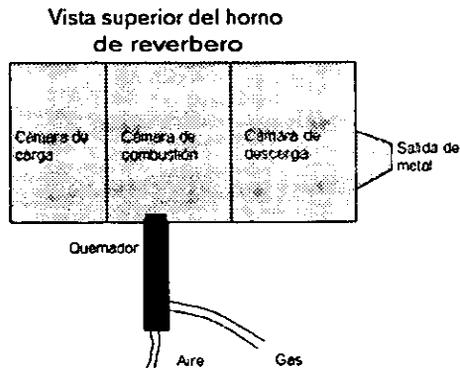


Figura 5. Vista superior.

La temperatura fue medida con un multímetro del laboratorio de fundición, al igual que los termopares utilizados, se tuvo cuidado para hacer las mediciones siempre con el mismo equipo para que fueran más confiables los resultados obtenidos.

ACCESORIOS PARA LA FUSIÓN.

Se utilizó equipo de protección como guantes de asbesto, bata y careta de protección; pinzas, maneral de vaciado, herramental de madera para la escorificación y para la introducción de la carga al baño metálico, y una lingotera para poder vaciar el material fundido.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

Después de haber definido las variables y parámetros del proceso, y tomando como referencia la metodología para la fundición y reciclado de aluminio, se pueden definir varias etapas como:

a) Limpieza y revisión del equipo.

Para realizar cada experimento es indispensable garantizar el buen funcionamiento del equipo.

El equipo debe de encontrarse en condiciones óptimas, es decir, sin residuos de otras fusiones, el refractario no debe presentar fisuras y en caso contrario, se tendrá que realizar la limpieza correspondiente antes de usarlo y, de ser necesario, las reparaciones pertinentes.

b) Preparación de la carga y limpieza de la misma.

En un horno de crisol de funde previamente 2 Kg de latas de aluminio y es cargado al horno de reverbero que debe ser precalentado.

La carga es compactada y secada para evitar residuos de líquidos; antes de ser cargada al horno es precalentada para eliminar humedad. Es pesada cuidadosamente y debe ser 3 Kg más para tener un total de 5 Kg en nuestro horno de reverbero.

Después de haber sido precalentada la carga, se va introduciendo a la cama de metal fundido previamente colocado en el horno, esto se va haciendo con herramientas de

madera para evitar la presencia de hierro en el producto. Esto se realiza con el fin de evitar la oxidación del metal por lo que es introducido en su totalidad en el baño líquido.

Al ir subiendo de nivel el aluminio fundido, va saliendo y cayendo en las lingoteras.

Si se desea agregar fundente, se sigue el procedimiento anterior y al introducir la carga, se agrega la mezcla de KCl y NaCl al 50%.

PREPARACIÓN METALGRÁFICA DE LAS MUESTRAS.

Una vez obtenidos los lingotes de aluminio, se cortan en muestras pequeñas y manuales. Se desbastan en lijas 240, 320, 400 y 600. Posteriormente son pulidas a espejo con alúmina 0.3 y tartrato de amonio para evitar la oxidación del aluminio.

Las muestras no son atacadas para poder observar al microscopio las inclusiones y porosidades presentes en las muestras.

Las muestras se mandaron a analizar para poder conocer su composición sobre la base de ciertos elementos específicos.

IV) RESULTADOS

Los experimentos se realizaron con una variante. En los primeros no se utilizaron fundentes, posteriormente se agregó un fundente cuya composición es una mezcla de cloruro de sodio y cloruro de potasio (50%-50%), esto se realizó para determinar si existió una mejoría en la recuperación de aluminio reciclado.

La cama de metal fundido es de aproximadamente de 2 Kg de latas de aluminio agregado ya fundido desde un horno de crisol, y los 3 Kg faltantes fue de carga sólida para llegar a un total de 5 Kg, son agregados directamente al horno tratando de que se cubra por la cama de metal líquido.

Los resultados de los experimentos mostrados en la tabla 10 se realizaron sin el uso de fundentes y la carga directa se realizó al horno de reverbero, esta carga fue de 3 Kg y no se usó la cama de metal líquido.

TABLA 10. Experimentos realizados sin fundente.

Nº CORRID	FUNDICION	RECUPERACION	%
1	3	1.700	56.6
2	3	1.750	58.3
3	3	1.900	63.3
4	3	1.900	63.3
5	3	1.900	63.3

En la tabla 11 se muestran los resultados obtenidos al usar un fundente y cargar el horno con 2 Kg de latas, usando la cama de metal líquido previamente fundida en el mismo.

TABLA 11. Experimentos realizados con el uso del fundente.

No.	FUNDICIÓN (HORNO DE GAS)	FUNDICIÓN (H. REVERBERO)	RECUPERACIÓN (Kg)	RECUPERACIÓN %
6	2.430	2.570	3.465	69.3
7	3.465	2.030	3.500	70
8	2.070	2.930	3.850	77
9	2.300	SE TAPO		
10		2.300	2.300	46
11	2.300	2.700	3.756	75.12
12	2.065	2.935	3.800	76
13	2.070	2.930	3.950	79
14	2.100	2.900	4.000	80
15	2.050	2.950	3.975	79.5

Después de realizar cada fusión, el material recuperado fue pesado y se tomaron ciertas muestras para ser analizadas, mientras que otras muestras se cortaron y se trabajaron metalográficamente, es decir, pasaron por un proceso de desbaste y pulido a espejo para poder ser observadas bajo el microscopio. Durante el proceso de pulido se utilizó alúmina y una solución de tartrato de amonio en agua para evitar, en lo posible, la oxidación de las muestras.

Al ser observadas las muestras de aluminio recuperado nos damos cuenta de la presencia de porosidades y precipitados de Cu_3NiAl_6 , que fueron identificados de acuerdo a la ref.2 Las porosidades pueden ser ocasionadas por los gases atrapados

Al ser observadas las muestras de aluminio recuperado nos damos cuenta de la presencia de porosidades y precipitados de Cu_3NiAl_6 , que fueron identificados de acuerdo a la ref.2. Las porosidades pueden ser ocasionadas por los gases atrapados dentro del metal líquido durante el proceso de fusión; los precipitados son debidos a la presencia de cobre y níquel en el material recuperado, el aluminio del material recuperado reacciona con estos elementos y como resultado tenemos los precipitados.

Para determinar los cambios en composición química del material reciclado se decidió realizar el análisis químico del material obtenido a través del proceso ideado. Las muestras se tomaron de cada fusión y se rebabeo. Se enviaron a analizar al Consejo de Recursos Minerales: CENTRO EXPERIMENTAL TECAMACHALCO, dicho análisis fue realizado utilizando el método de espectrometría de absorción atómica. Los resultados de este análisis se encuentran en la siguiente tabla.

Tabla 12. Composición química de las muestras de aluminio recuperado.

	% Cobre	% Hierro	% Manganeso	% Níquel	% Silicio
Muestra 1	0.2500	0.3300	0.8800	0.0200	0.1100
Muestra 2	0.1300	0.3500	0.9000	0.0100	0.2200

Las mismas muestras se analizaron con un equipo de Espectrometría de Emisión Atómica, perteneciente al Departamento de Ingeniería Metalúrgica de la Facultad de Química de la UNAM.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 13. Composición química de las muestras de aluminio recuperado y analizadas por espectrometría de emisión.

	% Cobre	% Hierro	% Manganeseo	% Magnesio	% Niquel	% Silicio
Muestra 1	0.1722	0.2373	0.8420	1.1410	0.0860	0.2854
Muestra 2	0.1404	0.3094	0.8655	0.5295	0.0044	0.1819

En la tabla 12 y 13 se observan dos muestras, la muestra 1 corresponde al material fundido sin utilizar ningún tipo de fundentes, y la muestra 2 es la correspondiente al material obtenido al usar el fundente ya mencionado.

A continuación se muestran fotografías de la microestructura del aluminio recuperado, en las cuales se observan porosidades y precipitados encontrados en el mismo.

Foto 1. Aluminio recuperado sin fundente 100x. Se observa la presencia de porosidades.



Foto 2. Aluminio recuperado sin fundente 500x. Precipitados de Cu_3NiAl_6 .

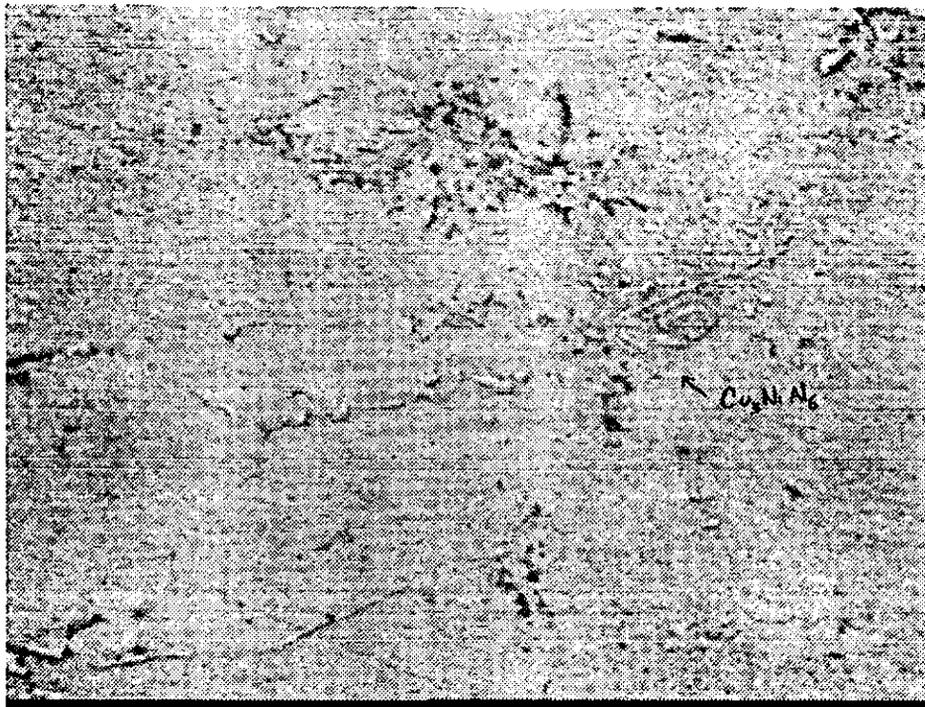
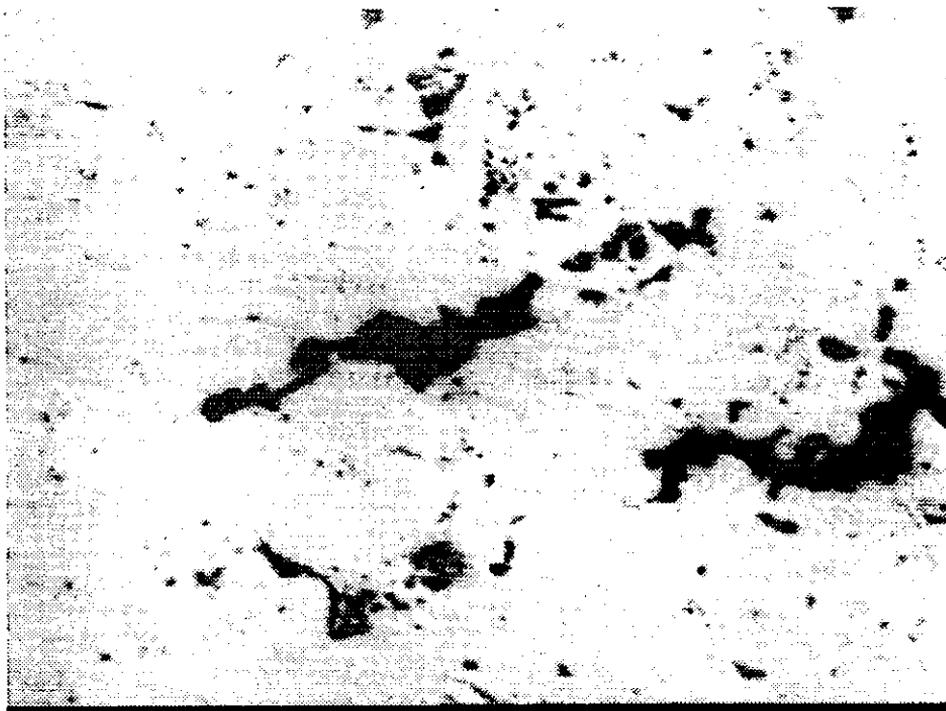
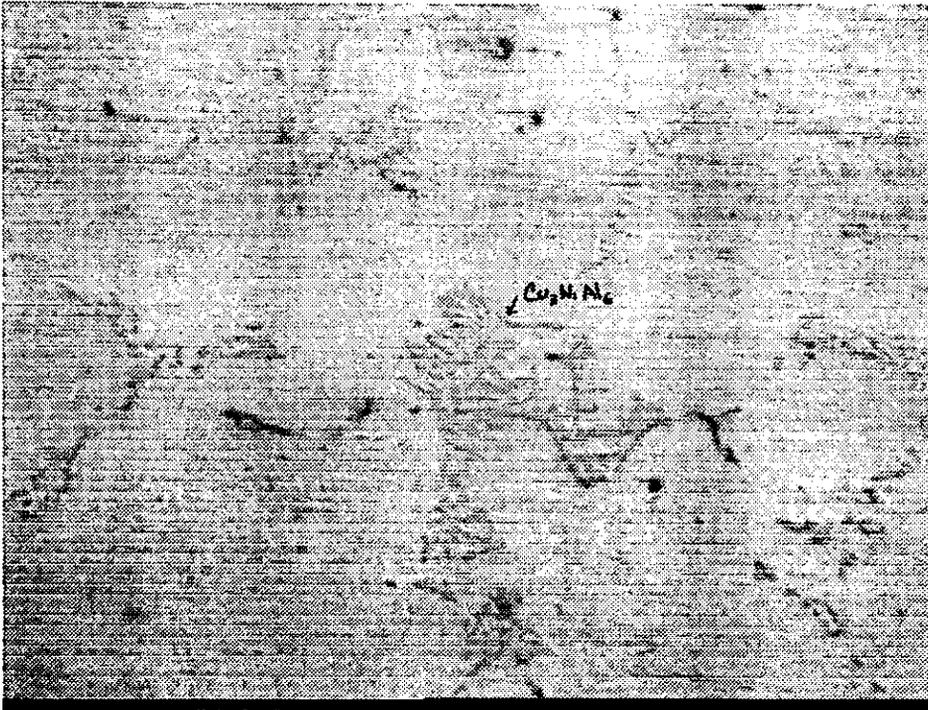


Foto 3. Aluminio recuperado con fundente 100x. Se observan porosidades.



**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

Foto 4. Aluminio recuperado con fundentes 500x. Precipitados de Cu_3NiAl_6 .



V) ANALISIS DE RESULTADOS

Se realizaron una serie de experimentos en los cuales el principal objetivo fue incrementar el porcentaje de recuperación de aluminio a partir de la fusión de latas de bebidas de aluminio.

Durante la fusión, se mantuvieron constantes las siguientes variables: la temperatura del horno (temperatura promedio), y la cantidad de carga de latas de aluminio.

Al pesar el material recuperado y calcular el rendimiento se aprecia un aumento en este cuando se protege al material líquido con una capa de fundente. Al empezar la serie de experimentos los resultados mostraron que el horno de reverbero presentaba una eficiencia de recuperación de, aproximadamente, un 60%; al seguir con las fusiones y al agregar la mezcla de fundentes de cloruro de sodio y cloruro de potasio (50% - 50%) se logra aumentar la eficiencia hasta un 80% aproximadamente.

Para realizar las metalografías, las muestras fueron cortadas y se pasaron por un proceso de desbaste y pulido para su observación al microscopio con el fin de determinar la presencia de inclusiones y porosidades en las mismas

Los precipitados observados son del tipo Cu_3NiAl_6 y presentan una forma de script chino, son de color gris medio y son debidas a la interacción del aluminio con el cobre y níquel. También se observan porosidades (sopladuras) que se deben a la presencia de gases (principalmente hidrógeno) a consecuencia de la atmósfera producida por el funcionamiento del horno.

VI) CONCLUSIONES

El horno de reverbero construido presentó una eficiencia del 60% inicialmente, al finalizar este trabajo se logró aumentar dicha eficiencia a un 80% aproximadamente.

Al tener un parámetro de comparación respecto a los resultados del material recuperado con fundente y sin él, al utilizar dicho fundente se mejora la calidad del aluminio reciclado. Esto se refleja en el material recuperado que presenta menos porosidades y se aumenta el porcentaje de recuperación final.

Se determinó la presencia de precipitados de Cu_3NiAl_6 , debido a que en el producto reciclado se tienen cobre y níquel en pequeñas cantidades.

Al analizar los resultados, se puede observar que en todos los elementos, la composición del material recuperado se mantiene por debajo del rango promedio entre la tapa y el cuerpo de la lata, adicionalmente se tiene la presencia de elementos como cobre y níquel en cantidades pequeñas.

VII) RECOMENDACIONES

A partir de la composición obtenida en este trabajo se pueden realizar estudios para determinar la calidad del producto y sus usos en la fabricación de aleaciones de aluminio compatibles con los elementos de aleación.

Al hablar del aluminio reciclado, se sabe que hay muchos tipos de fundentes diferentes para su mejoramiento, por lo que se pueden realizar distintos experimentos con otro tipo de fundentes para mejorar la calidad y recuperación del producto obtenido.

VIII) BIBLIOGRAFÍA.

1. Alonso M.; Juan Carlos y Ortega Gómez, Gustavo F.; “ Aleaciones de Aluminio”; Memorias del tercer Panel Internacional del Procesamiento del Aluminio; tomo 1; IMEDAL, A.C.; Cancún, Q.R.; (26-29 de Mayo, 1992); pp. 147-168.
2. ASM; Metals Handbook, Formerly Ninth Edition; volume 15; Casting; USA; 1988.
3. Bowman, Kenneth A.; “ ALCOAs used beverage cans (UBC) alloy separation process”; First International Symposium on Recycle and Secondary Recovery of Metals; Metallurgical Society of AIME; TMS; (December, 1985); pp.429-443.
4. Eckert, C. Edward Jr.; “ The Origin and Identification of Inclusions in Foundry Alloys”; Proceedings of 3rd International Conference on Molten Aluminium Processing; AFS; (November, 1992); pp.17-50.
5. Flores V; Alfredo et al; “Desarrollo de Fundentes Protectores para Aleaciones de Aluminio Liquidas”; Moldeo y Fundición; pp. 35-40.
6. Friend, W. Earl Jr.; McCormick H, William, et al. ; “Engineering Considerations for the Design of New Aluminium Recycling Facilities”; (1986); pp. 457-463.
7. González, Ricardo; “pintura para perfiles de Aluminio en la planta de CUPRUM”; pp. 117-127.
8. Herberston, J. Dimayuga; F. Harris, R ; “ Vacuum Refining as a Process option in Recycling Aluminium Scrap”; First International Symposium on Recycling and

Secondary recovery of Metals; Metallurgical Society of AIME; TMS; (December, 1985); pp. 97-105.

9. Ingenieros del Grupo Pechiney; Enciclopedia del Aluminio. Metalurgia Estructural del Aluminio, fusión y colada de placas y tochos, fabricaciones anexas"; vol. 2; Ed. URMO; España; 1968.

10. Kanicki, David P.; "Processing Molten Aluminium – part 2 -: Cleaning up your Metal"; Modern Casting; vol. 80; No. 2; (Febrero, 1990); pp. 55-58.

11. Kogan, Michael H.; "Design and Development of Fluxing Agents for the Aluminium Foundry Alloys"; Proceedings of 2nd International Conference on Molten Aluminium Processing; AFS; (1989); pp. 1-12.

12. Lewy Eisner, Salomón; "Situación de la Recuperación del Aluminio en México"; Memorias del tercer Panel Internacional del Procesamiento del Aluminio; tomo 1; IMEDAL, A.C.; Cancún, Q.R.; (26'29 de Mayo, 1992); pp. 56-66.

13. Mondolfo, L.F.; " Aluminium Alloys: Structure and Properties"; Ed. Butterworths; England 1976.

14. Murphy, J.E.; Lukasko, J.J.; "Vacuum Distillation of Magnesium and Zinc from Aluminium Scrap"; Light Metals 1993; The Minerals, Metals & Materials Society; Subodh K. Das, (1982), pp. 1061-1065

15. Neff, David V.; "Chlorination Technology in aluminium Recycling"; Light Metals 1993; The Minerals, Metals & Materials Society; Sobodh K.Das; (1982); pp. 1053-1060.
16. Pietsch, Wolfgang; "Briquetting of Aluminium Swarf for Recycling"; Light Metals 1993; The Minerals, Metals & Materials Society; Subodh K, Das; (1982); pp.1045-1050.
17. Román Moguel, Guillermo J.; "Propuesta de norma de chatarra de Aluminio al IMEDAL"; Memorias del tercer Panel Internacional del Procesamiento del Aluminio; tomo1; IMEDAL, A.C.; Cancún, Q.R.; (26-29 de Mayo, 1992); pp. 67-74.
18. Román Moguel, Guillermo J.; "Estrategias y Sistemas de Recuperación de Chatarra de Aluminio"; Moldeo y Fundición; No.81; año XIV; (junio, 1992); pp.42-48.
19. Román Moguel, Guillermo J.; Alonso Villanueva, José Luis; Tovar Francisco, Salvador; "Aluminiu Secundario: clasificación, procesamiento y expectativas"; Moldeo y Fundición; No.85; año XIV; (Febrero, 1993); pp.48-56.
20. Roth, David J.; Marmugi, Ugo; " Prensa para Procesamiento de escoria"; Memorias del tercer Panel Internacional del Procesamiento del Aluminio; tomo 1; IMEDAL, A.C.; Cancún, Q.R ; (26-29 de Mayo, 1992); pp. 91-95.

21. Sanders, R.E. Jr and McBride, J.K.; " Recycling and Fabrication of used Beverage cans (UBCs) into 3004 alloy can sheet"; (December, 1985); pp. 407-415.
22. Toscano, G. José A.; " Estudio de Fundentes para la Recuperación de Chatarra de Aluminio"; Tesis para obtener el grado de Licenciatura; UNAM; Facultad de Química; 1995.
23. Van Linden, J.H.L.; "Aluminium Recycling – from Junkyard to Board Room"; First International Symposium on Recycle and Secondary Recovery of Metals, Fort Lauderdale, (December, 1985); Ed. Taylor, Sohn, Jarret; pp.35-45.
24. Van Linden, J.H.L.; "The Aluminium Industry and Recycling a Synergistic Partnership"; Memorias del tercer Panel Internacional del Procesamiento del Aluminio; tomo 1; IMEDAL, A.C.; Cancun, Q.R.; (26-29 de Mayo, 1992); pp.41-53.