

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**RECICLADO DE LATAS DE BEBIDA DE ALUMINIO
FRACCIONADAS EN UN HORNO DE REVERBERO
INCORPORADAS EN LA CAMARA DE CONTENCIÓN
MEDIANTE LA AGITACIÓN DE UNA PROPELA.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO METALÚRGICO

PRESENTA

JESUS ORTIZ MENDEZ

MÉXICO, D.F.

2006



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 Cándido Atlatenco Tlapanco

Vocal Prof. Gerardo Aramburu Pérez

Secretario Prof. Adrián Manuel Amaro Villeda

1er suplente Prof. Sergio García Galán

2do suplente Prof. Agustín Gerardo Ruiz Tamayo

Sitio donde se desarrollo el tema:

UNAM
FACULTAD DE QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA METALÚRGICA
LABORATORIO DE FUNDICIÓN

Asesor del tema: I.Q.M. Adrián Manuel Amaro Villeda

Supervisor Técnico: Dr. José Alejandro García Hinojosa

Sustentante: Jesús Ortiz Méndez

DEDICATORIA.

Tengo que agradecer a una persona en especial, que sin lugar a dudas, le debo los logros que he obtenido, la familia que tengo y amistades que he logrado.

Entre otras cosas le debo unos padres, de los cuales recibí apoyo y paciencia, además de unos hermanos que son de mi mayor apreciación y cariño. ¡GRACIAS! a Cenorina Méndez Caminos, Casiano Ortiz Eligio, y Hermanos, gracias de corazón.

Agradezco el honor de haber conocido a gente tan diversa y de gran calidad humana, pues debo decir que han sido excelentes compañeros y ahora son mejores como amigos.

Comienzo con Oscar Vásquez Gómez y Guillermo Altamirano Ortiz, de los cuales guardo gratos recuerdos como compañeros de secundaria, y aun son mis amigos.

Otras personas de las cuales puedo presumir como amigos y con los cuales curse la escuela preparatoria: I.Q. Reynaldo Ramírez Maldonado; M.V.Z. Juan Carlos Hernández Herrera y Lic. Mauricio Dávalos Alonzo, con los cuales compartí una de las mejores etapas de la vida, gracias por su amistad y lealtad.

En la facultad de Química conocí a muchas personas, de las cuales he aprendido mucho y de los cuales obtuve lo más valioso que podía obtener de ellas, su amistad: Q.A. Alonso Ortega Carrillo, Poncho gracias por ser mi amigo, vamos pa' adelante. I.Q. José López; I.Q. Jorge Ortiz Carrillo y demás que me faltan, nos vemos a la vuelta.

Ya en la carrera: Edgar, Israel, Octavio, Arturo, Omar y José de Jesús. Sin lugar a dudas los mejores compañeros y amigos. ¡Nos estamos viendo!

A demás de: Roberto, Lalo, Gerardo, Oscar, Abelardo, Pablo, Luciano, y demás que me faltan, ¡Excelentes Compañeros!

Especialmente a:

Universidad Nacional Autónoma de México, por la oportunidad de estudiar en la máxima casa de estudios, de forma directa a la Facultad de Química.

A mi asesor I.Q.M. Adrián M. Amaro Villena, por la oportunidad, dedicación y compromiso en este proyecto.

A los miembros del jurado por el tiempo, interés y comentarios

I.Q.M. Eusebio Candido Atlatenco Tlapanco.

I.Q.M. Gerardo Aramburo Pérez

Por todo esto, por la consolidación de esta etapa, por la oportunidad de vivir, por todas las cosas buenas que he tenido y no tan buenas, de todo se aprende, por no dejarme solo y por dejarme continuar. ¡Gracias Señor!

INDICE.	
OBJETIVOS	1
INTRODUCCIÓN	2
1. ANTECEDENTES.	3
1.2 Tipos de chatarra	4
1.3 Reciclado de latas de aluminio	6
1.4 Alto rendimiento energético	8
1.5 Chatarra en México	9
1.6 Procesamiento de la chatarra de aluminio	11
1.7 Método ALCOA	12
1.8 Recubrimientos	14
1.9 Pinturas en superficies de aluminio	16
1.10 Tipo de Horno	20
Horno crisol	20
Horno eléctrico de resistencia	21
Horno de reverbero	22
Calentamiento	24
Carga	25
2. DISEÑO DEL HORNO DE REVERBERO.	26
2.1 Tina de la cámara de contención	26
2.2 Cámara de fusión y contención	30
2.3 Diseño de los quemadores	31
2.4 Sistema de flujo de gas y aire	35
2.5 Tapa y chimenea	36
2.6 Sistema de vaciado	37
2.7 Dispositivo de agitación	38
2.8 Adquisición de datos de temperaturas	39
2.9 Material de construcción	40
3. DISEÑO DE EXPERIMENTOS.	42
4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.	44
5. RESULTADOS.	46
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS.	54
7. CONCLUSIONES.	60
8. Bibliografía	

OBJETIVOS

- Implementar un dispositivo de agitación al horno de reverbero para mejorar la eficiencia de recuperación, al incorporar:
 - a) Recorte de lata de bebida de aluminio con pintura.
 - b) Laminilla de lata de bebida de aluminio tratada en un horno rotatorio para delaqueado.
 - c) Laminilla de lata de bebida de aluminio tratada en un horno rotatorio para delaqueado, y tamizada.

- Determinar las condiciones de trabajo, en el que se obtienen el mayor rendimiento de recuperación de aluminio.

- Determinar el gasto energético para:
 - a) Recorte de lata de bebida de aluminio con pintura.
 - b) Laminilla de lata de bebida de aluminio tratada en un horno rotatorio para delaqueado.

Laminilla de lata de bebida de aluminio tratada en un horno rotatorio para delaqueado, y tamizada.

INTRODUCCIÓN

La industria del aluminio esta en constante crecimiento, las propiedades del aluminio lo hacen un material adecuado para las industrias de transporte, construcción, empaques, enseres domésticos, etc. Existen algunos problemas como la disponibilidad, el precio, la calidad, aspectos ecológicos y de impacto ambiental.

El reciclado de aluminio es favorable estratégica y energéticamente, ya que para producir una pieza de aluminio a partir de chatarra se requiere solo del 5% de la energía que se necesita si se partiera del mineral de bauxita. México importa grandes cantidades de Bauxita, chatarra o lingotes de aluminio primario, que el reciclado eliminara gradualmente.

Los requerimientos de preservación del medio ambiente son mas estrictos, el desarrollo de tecnologías mas eficientes son necesarias, obligan a las industrias a implementar nuevas tecnologías para su producción, el reciclado de latas de aluminio es una opción, originando infraestructura de acopio y clasificación de la chatarra de aluminio; evitando procesar chatarra sucia (con ferrosos y no ferrosos, papeles, plásticos, aceites, etc.) incrementando los rendimientos de recuperación en los procesos de reciclado..

Existen diversos procesos para reciclar lata de aluminio, enfocados principalmente a la producción de nueva lata, afectando lo menos posible al medio ambiente. El proceso más conocido es: ALCOA utilizado en EE.UU.

La problemática abordada, es el estudio de reciclado de latas de aluminio. El problema con los procesos es el alto índice de desperdicio de material, debido a el gran volumen de escoria producida por la pintura presente en latas antes de la fusión. La formación de finos en el proceso de delaqueado contribuye a la perdida de aluminio en la fusión.

El presente trabajo, realiza un estudio sobre el reciclado de hojas de lata de bebida de aluminio, incorporadas por medio de agitación, determinando las mejores cualidades de estas para ser procesadas y obtener un mejor rendimiento en su recuperación en el proceso de fusión; así como un menor gasto energético.

1. ANTECEDENTES

El mineral del cual se puede obtener aluminio primario se llama BAUXITA, la cual regularmente puede ser encontrada en minas de depósito abierto. Para lograr uniformidad en el material se tritura y con agua a presión se lava para eliminar otros materiales y sustancias orgánicas. Posteriormente el material se beneficia para obtener alúmina, lo que ya es un material comercial con el que se pueden obtener lingotes por medio del proceso de fundición.

La creciente demanda de materiales ferrosos y no ferrosos ha hecho necesario un mayor abastecimiento, lo que ha conducido al reciclaje y los productos obtenidos son llamados metales secundarios.

El aluminio es un material metálico cuyas propiedades y características no se ven afectadas cuando ha sido transformado en un determinado producto. Este metal y sus aleaciones han tenido gran aceptación en diferentes ramas de la industria tales como:

- Construcción.
- Eléctrica.
- Automotriz.
- Empaques.
- Aeronáutica, etc.

Teniendo entonces, que la mayor parte del aluminio secundario (reciclado) es consumido por el ramo de transporte. [1]

Este metal, puede ser reciclado y reutilizado todas las veces que sean necesarias sin perder su calidad. Conserva el gran valor de este metal y ofrece un incentivo económico suficiente para que pueda ser recogido, tratado, fundido y reutilizado de una forma similar o comparable al final de la vida útil del producto.

Es importante, por tanto, hacer notar la importancia del reciclar el aluminio, y más en México, ya que no cuenta con yacimientos de bauxita. Teniendo que importar materia prima (BAUXITA) o aluminio en lingotes.

La tabla 1. Muestra los usos principales del aluminio por sector en México.

Tabla 1. Distribución de productos de aluminio en México.^[2]

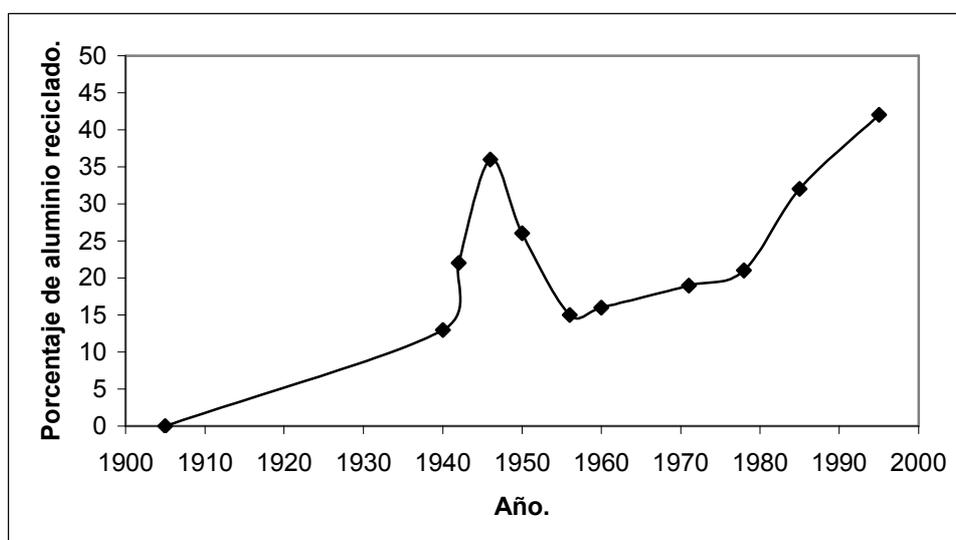
Industria usuaria	%
Transporte	20
Eléctrica	20
Empaques	17
Construcción	12
Domestico	10
Química	6
Otras	15
TOTAL	100

1.2. Tipos de chatarra.

A inicios del siglo XX, se inicia la producción de aluminio reciclado, y desde entonces, esta industria ha crecido constantemente, como resultado de los beneficios tecnológicos, energéticos, ecológicos y económicos. El reciclado de Aluminio permite obtener una gran variedad de productos, ya que no solo las latas, sino también hojas, láminas, moldes, marcos de ventana, muebles de jardín, componentes de automóviles, etc., pueden ser reciclados y el material utilizado nuevamente para hacer el mismo producto u otro.

La figura 1 [3], nos muestra la evolución del reciclado de aluminio a lo largo del siglo veinte, teniendo un incremento en los años cuarenta, debido a la demanda generada en la segunda guerra mundial

Figura1. Desarrollo del reciclado de aluminio.



En las décadas de los 60's y 70's, momento de gran crecimiento en la industria del aluminio, la mayor preocupación del sector estaba en la producción del aluminio primario. La crisis del petróleo de la década de los setentas, puso en evidencia la necesidad de la industria de preocuparse por el uso eficiente de la energía. En los años ochentas la producción secundaria de aluminio (reciclado) comenzó a ganar importancia, culminando en la década de los noventas, como una actividad económica/ecológica fundamental para la industria del aluminio.

La importancia del reciclado es tal, que el LME (London Metal Exchange), hasta ese momento el que determinaba los precios del aluminio primario, pasará a definir también los precios del metal secundario (obtenido por reciclado). Los materiales reciclables son clasificados en tres categorías:

1. Chatarra industrial: recortes generados durante el proceso de fabricación de un producto, que utiliza aluminio.
2. Chatarra de envases de ciclo de vida corto y chatarra de latas (UBC).
3. Chatarra de obsolescencia: chatarra generada por equipamientos, productos de ciclo de vida largos (marcos, piezas de auto, etc.).

1.3. Reciclado de las latas de aluminio.

El reciclado de las latas es el programa más importante y el de mayor éxito en el reciclado de aluminio, ya que ha logrado involucrar e incluir a la industria del aluminio, a los productores, distribuidores y al consumidor final.

Ese programa fue iniciado en los Estados Unidos, a través de Reynolds en 1968 y posteriormente, las demás productoras de aluminio también se adhirieron a esa actividad.

Las figuras 2 y 3 muestran la evolución de material reciclado en relación con el volumen de latas producido en EEUU. La producción total de latas de aluminio en EEUU es del orden de 91 billones por año, correspondiendo a aproximadamente 1.65 millones de toneladas de aluminio equivalente a 30% de la demanda americana de aluminio.

Figura.2.- Porcentaje de latas recicladas- USA. [3]

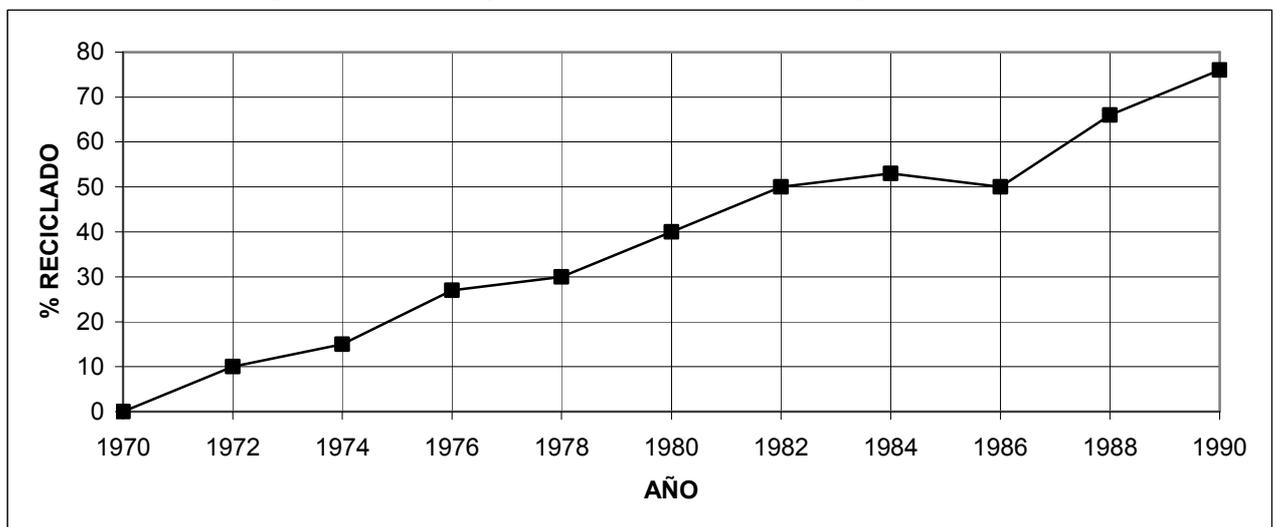
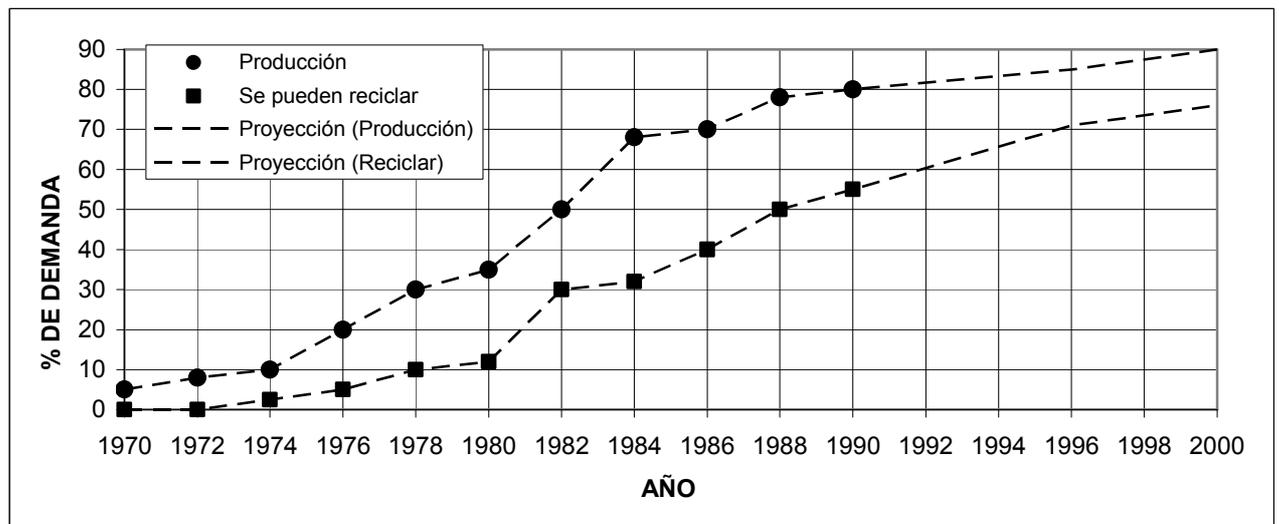


Figura. 3.- Evolución de la demanda de reciclado [3]



El reciclado en Europa está surgiendo en estos últimos años, ya que anteriormente el mercado de bebidas utilizaba más latas de acero y envases de vidrio. En función de la actual tendencia de la legislación europea de exigir la utilización de envases reciclables, se está produciendo un notable incremento en el uso de latas de aluminio, con el consiguiente aumento en la tasa de reciclado. La cantidad de latas recicladas en Europa presenta diferentes tasas, variando del 86% en Suecia hasta 5,5% en el Reino Unido, y con valores bajísimos en Alemania (donde prevalecen las latas de acero).

El reciclado de las latas, además de resolver el problema de los residuos urbanos para este tipo de envases, es un importante factor de preservación de energía.

El proceso de fundición utilizado para reciclar las latas, no produce polución. Las principales etapas de ese proceso son:

- "deballer", operación mecánica para desembalar las latas de aluminio prensadas.
- "shreding", operación mecánica de picar latas, reduciéndolas a pequeñas dimensiones (10x40/70mm).
- "decoating", los fragmentos de las latas pasan por un horno continuo para quemar la capa de barniz y tinta. Los compuestos volátiles son incinerados.

- Refundición, los trozos del aluminio son fundidos en hornos rotativos con sal o en hornos "side well" u hornos de inducción.

Esta última etapa puede generar residuos de sal utilizada en la fusión, los que podrán ser recuperados o dispuestos en basureros industriales. El rendimiento del proceso es del 88%, o sea por cada tonelada de latas se obtienen 880 kg de lingote de aluminio.

El éxito del proceso del 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 procesado dan un gran incentivo para recuperar el aluminio.
3. Presentan una composición constante, bajo nivel de contaminantes.
4. Disponibilidad de chatarra.
5. Facilidad de clasificación.

1.4. Alto rendimiento energético.

El gasto es de sólo alrededor de 0.75kwh para refundir (reciclar) 1 kilo de aluminio, lo que corresponde a 5% de la energía necesaria para producir 1 kilo de aluminio primario, por el proceso Hall Heroult.

El proceso Hall Heroult es la reducción electrolítica de alumina (proveniente de la bauxita) y consume en promedio 15kwh de energía eléctrica para producir 1kg de aluminio. El alto reciclado de los productos de aluminio, por lo tanto, diluirán los costos de energía, necesarios para producir el aluminio primario, que son del orden del 35% del costo total.

1.5. Chatarra en México.

Actual mente en México existen 10 tipos de chatarra de aluminio clasificados como se observa en la tabla 2. ^[4]

Tabla 2. Clasificación de chatarra de aluminio en México.

TIPO DE CHATARRA	OBSERVACIONES
Cable	Sin centro de acero
Perfil de prensas	
Perfil de patio	
Delgado	De prensa o troquel
Gruoso industrial	Piezas automotrices (industrial)
Gruoso patio	Piezas automotrices (deshuesaderos)
Bote	
Rebaba	
Revuelto	
Escorias	

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

- Chatarra interna: Retornos industriales, generados dentro de las plantas de producción (lingotes, descartados, sistemas de alimentación, cortes, rechazos, etc.) que se recicla en la misma planta.
- Chatarra nueva: es producida por los usuarios de material semiterminado como limaduras, rebaba, recortes, perforaciones, rechazos, etc.
- Chatarra vieja: generada por los productos que han completado su vida útil como latas de bebidas y comida, partes de automóviles, cables, etc.

Teniendo en cuenta la anterior clasificación, sabemos que son amplias las fuentes de chatarra de aluminio, y por ende, que existe un amplio rango de composición de elementos aleantes en aluminio. Como lo podemos ver en la tabla 3.

Tabla 3. Composición química de los productos de aluminio ^[6,7]

Aleación	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Uso
1235	0.65Si+Fe	-----	0.05	0.05	0.05	0.10	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/lata
8079	0.05-0.30	0.70-1.3	0.05	----	----	0.10	----	Foil p/hogar
3003	0.60	0.70	0.05-0.20	1.0-1.5	----	0.10	----	Platos p/comida
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	Laminas p/autos
5657	0.08	0.10	0.10	0.03	0.6-1.0	0.05	0.10	Contramarcos
7016	0.10	0.10	0.6-1.4	0.03	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 presión
390	16-18	1.3	4.0-5.0	0.10	0.45-0.65	0.10	0.20	Bloques p/motor
360	9.0-10.0	2.0	0.6	0.65	0.4-0.6	0.5	----	Colada presión
413	11.0-13.0	2.0	1.0	0.35	0.10	0.50	----	Colada presión
520	0.25	0.30	0.25	0.15	9.5-10.6	0.15	0.25	Moldeo arena
202	0.10	0.15	4.0-5.2	0.2-0.8	0.15-0.55	----	0.15	Moldeo arena
513	0.30	0.40	0.10	0.30	3.5-4.5	1.4	0.20	Moldeo coquilla
296	2.0-3.0	1.2	4.0-5.0	0.35	0.05	0.50	0.25	Moldeo coquilla

Dentro del aluminio secundario se encuentra las latas de bebidas y que son obtenidas mediante el proceso de laminación. Estos envases se dividen en lo que es el cuerpo y la tapa de la lata teniendo las siguientes composiciones [9].

Tapa: 25% en peso de la lata. Aleación AA5182 (0.35% Mn, 4.5% Mg).

Cuerpo: 75% en peso de la lata. Aleación AA3004 (1.25% Mn, 1.05% Mg).

Los límites de las aleaciones son reportadas por la Asociación de Aluminio (AA), como se observa en la tabla 4.

Tabla 4. Composiciones reportadas por la AA [9].

Aleación	%Mg	%Mn	%Si (máx.)	%Fe (máx.)
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

1.6. Procesamiento de la chatarra de aluminio.

Por la diversidad de elementos aleantes en aluminio y por la capacidad del aluminio de alearse con una gran variedad de elementos metálicos, provenientes de la misma materia prima o su integración. Su tendencia a oxidarse rápidamente en su superficie que esta en contacto con el oxígeno del medio, la facilidad de disolver el hidrógeno del medio, y de productos de los combustibles usados.

Todo esto hace que el reciclado de aluminio se haga complicado y requiera del desarrollo de nuevas técnicas y tecnologías para la eliminación de estos inconvenientes e incrementar la recuperación, ahorros de tiempo, dinero y energía.

El proceso de reciclado de la chatarra de aluminio se lleva a cabo en tres fases.

- 1.- Proceso antes de la fusión.
- 2.- Proceso durante la fusión.
- 3.- Proceso después de la fusión.

Los aspectos principales que determinan el tipo de circuito de procesamiento se exponen de manera general en la tabla 5 [2].

TABLA 5. Aspectos considerados en el diseño de un circuito de procesamiento de chatarra de aluminio.

CONCEPTO	CONSIDERACIONES
Cantidad	Tamaño, forma, tipo, análisis
Condición	Pacas, amarres, carros, sueltas
Problemas de aleación	
Preparación	Desmenuzar, despintar
Métodos de almacenaje	Bajo techo, descubierto
Transporte	Cantidad, por tren, por camión
Método de recuperación y análisis	
Inventario	Tipo, método de control
Densidad de chatarra	
Tipo de manejo de material	
Nivel de contaminación con aceites	

1.7. Método ALCOA (Aluminum Company of America).

El método ALCOA, es el proceso mas aceptado para preparar las latas de aluminio para la fusión.

Dentro de las dificultades para el reciclado de latas de aluminio es que son fabricadas de dos tipos diferentes de aleaciones: AA5182, que constituye la tapa, con 25 % en peso y AA3004, que forma el cuerpo, con 75 % en peso. La fusión conjunta de estas dos aleaciones da un contenido teórico de Mn de 1.03% y un contenido de Mg de 1.91%, pero en la practica el contenido de Mg es variable y depende del método de fusión y la alta reactividad del Mg a temperaturas de trabajo elevadas, llegando a tener en la practica un contenido para el Mg de 1.30 % y para el Mn de 1.03 % ⁽⁷⁾. Obteniendo una aleación inadecuada para la producción de nuevas latas, ya que el contenido de Mn es elevado para producir tapas y el contenido de Mg es elevado para producir cuerpos.

Mediante el proceso ALCOA se separan estas aleaciones antes de fundirlas, basándose en la diferencia de temperaturas de fusión de estas: AA5182 (580°-636° C), y para AA3004 (629°-654° C), haciéndolas pasar a través de un horno rotatorio hasta la

temperatura de fusión menor de la aleación AA5182 fragmentándola para ser separadas en un tamizado de acuerdo al tamaño. Como se puede apreciar en el diagrama 1.

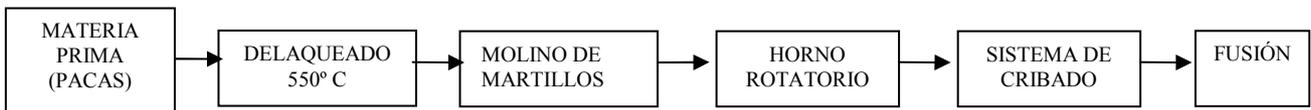


Diagrama 1. Proceso ALCOA para la preparación de latas antes de fundirlas.

Otro proceso, inicia con la llegada de pacas de latas, para ser desmenuzadas y obtener un material de mejor manejo, después son retirados polvo y otros finos de aluminio, para después hacerlos pasar un cuchillo neumático y después por una banda magnética para separar materiales ferrosos y no ferrosos, enseguida pasan a través de un horno para su delaqueado y precalentado, e inmediatamente es llevado a fusión, sumergiéndolas en un baño de aluminio líquido sobrecalentado. Como se aprecia en el diagrama 2 [8].

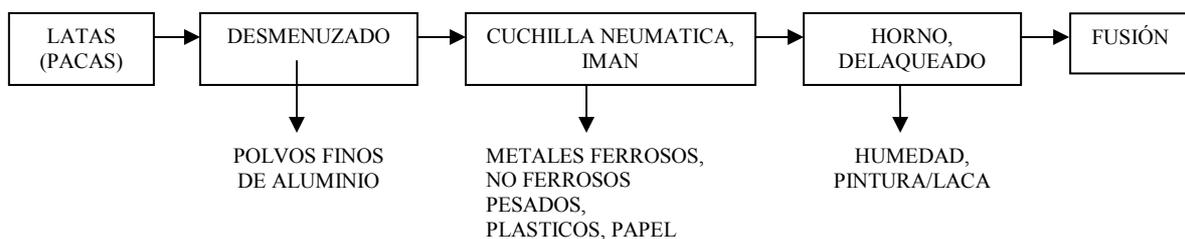


Diagrama 2. Proceso actual para el procesamiento de latas de aluminio.

1.8. Recubrimientos.

Los recubrimientos son de diferentes tipos de materiales como barnices y pinturas, que al ser utilizados en conjunto con el aluminio, obtenemos ciertas propiedades para un fin determinados: mayor resistencia a la contaminación, siendo posible dar diferentes acabados a diferentes tipos de productos en diferentes colores. Pero para obtener buenos resultados en los recubrimientos, es necesario emplear mucha tecnología en el precalentamiento, selección del recubrimiento y el curado.

El aluminio puro, forma su propia capa protectora de óxido de aluminio tan pronto como es expuesto al aire, la cual tiene buena resistencia en la superficie. La mayoría de los productos de aluminio están hechos de aleaciones de aluminio con otros metales y contienen impurezas que disminuyen la resistencia a la corrosión comparada con el aluminio puro.

Por supuesto en adición a la pintura hay otros acabados para el aluminio, por ejemplo el anodizado. Estos ofrecen varias propiedades físicas diferentes y pueden ser mejores en algunas aplicaciones.

La pintura para aluminio es una práctica nueva, de hecho la producción comercial del aluminio tiene un poco más de 100 años de antigüedad.

Cuando comenzó la segunda guerra mundial ocurrió una gran expansión del uso de aluminio, especialmente de aviones 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, reacciona fácilmente con otros químicos, y la pintura no se adhiere bien a la superficie.

Se ensayaron diferentes procesos antes de ser desarrollados los sistemas de pretratamiento, una mezcla de ácido fosfórico y alcohol originalmente desarrollado para el tratamiento del acero, fue adoptado para el aluminio en el siglo XIX.

Mas 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 mas 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 medio ambiente. Muchos pretratamientos sin cromo han sido probados pero ninguno ha sido 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 alquidalicos, 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 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 flouorocarbonos 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, estos 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 en 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 en 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.

1.9. Pinturas en superficies de aluminio.

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 este 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 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.

Revestimiento 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, despojado 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 inicio 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 muy 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 precalentamiento, 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 se esta pintando, aún hasta en los lados posteriores y hasta en las áreas escondidas mas 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.

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, esta 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 para ser empacadas y embarcadas [9].

1.10. Tipos de hornos.

La fusión de aluminio, es realizada en diferentes tipos de hornos, como los hornos de crisol, de reverbero y eléctricos de resistencia.

Hornos de crisol.

Los hornos de crisol ya casi no son utilizados en fabricas 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. Ver figura 1.10.1.

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 de crisol, causa un escaso rendimiento térmico y un consumo de combustible importante, además, la necesidad de reemplazar periódicamente los crisoles aumenta el costo [10].

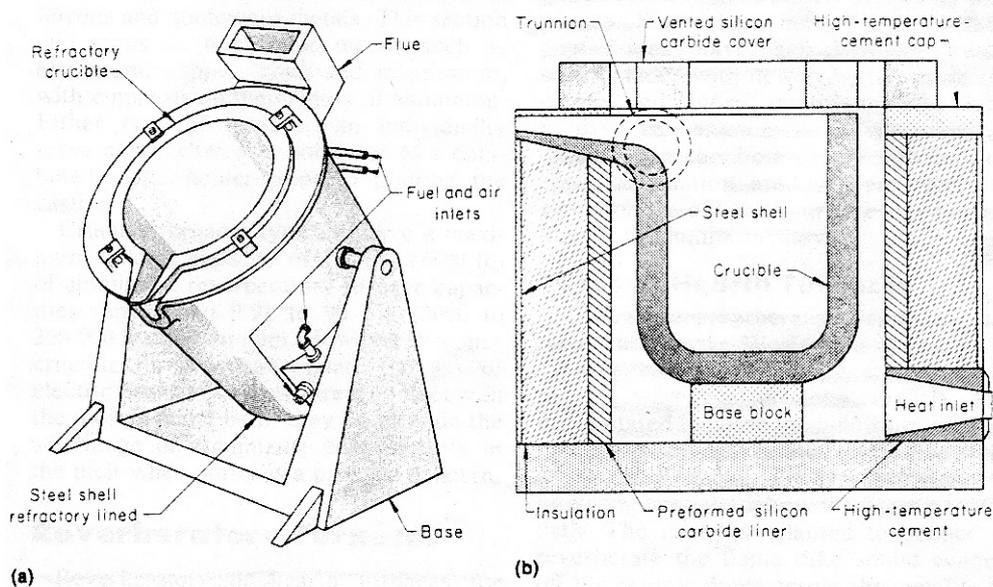


Figura 1.10.1. Horno de crisol

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. Ver figura 1.10.2. [10].

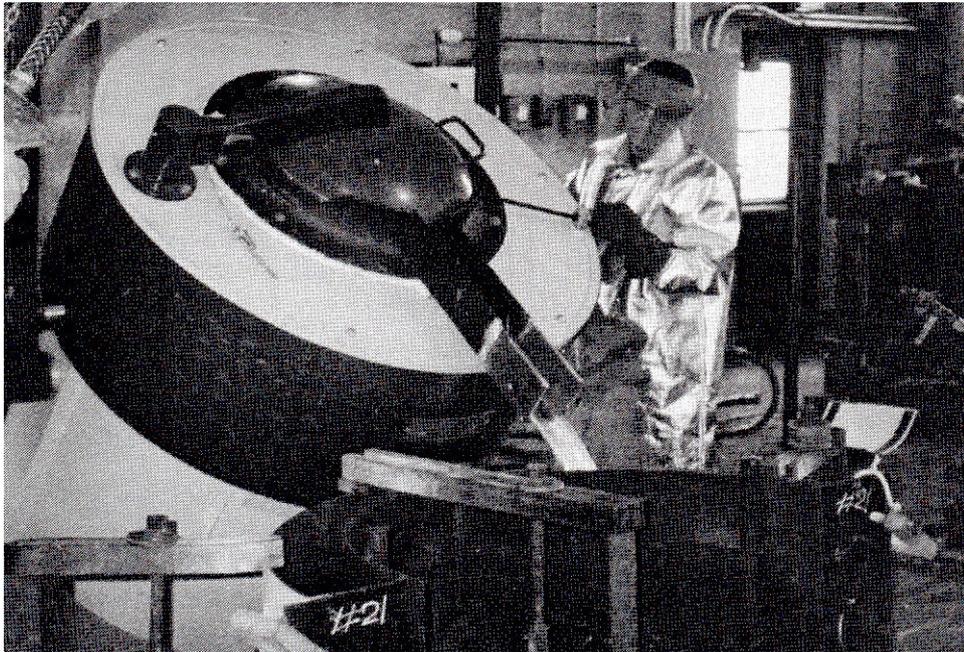


Figura. 1.10.2. Horno eléctrico de resistencia

Hornos de reverbero.

Estos hornos son del tipo de fuego directo, el cual proviene de la reacción combustible/aire. Estos pueden ser de dos tipos de diseño: de solera seca o mojada. En un horno de solera mojada, ver figura 1.10.3., los productos de combustión están en contacto directo con la superficie del baño fundido, y la transferencia de calor es por una combinación de radiación y convección. En un horno de solera seca, ver figura 1.10.4., la carga del aluminio sólido está colocada en una solera inclinada sobre el nivel del metal fundido de manera tal que la carga esté en contacto directo con los gases calientes. El calor es transferido a la carga sólida rápidamente, la cual funde y fluye por la pendiente de la solera.

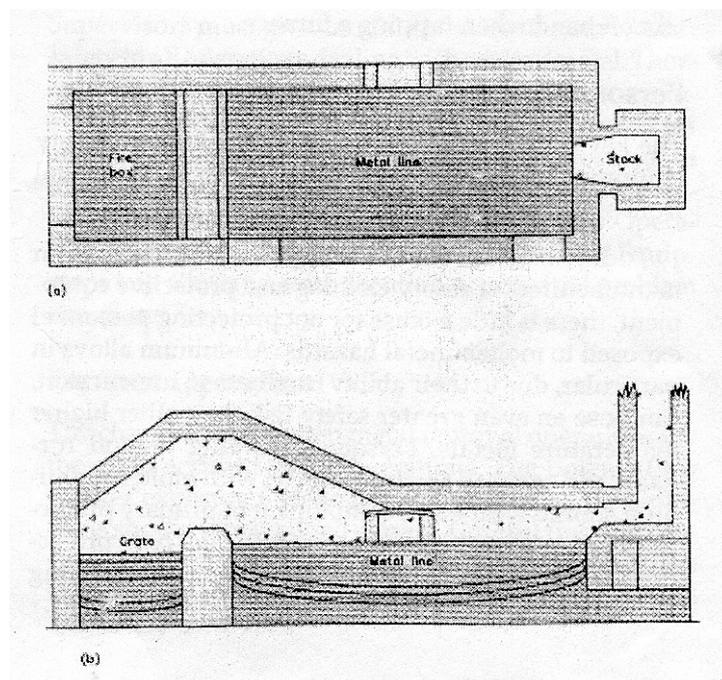


Figura. 1.10.3. Horno de reverbero de solera mojada.

Los hornos de solera seca pueden fundir más rápidamente que los de solera mojada, pero las pérdidas de metal por oxidación son mayores en los primeros que en los últimos. Otra desventaja de fundir en un horno de solera seca es que debe conservarse el piso limpio lo cual hace que esto sea una tarea laboriosa. De otra manera, si las impurezas permanecen en la solera el producto tendrá impurezas a base de hierro.

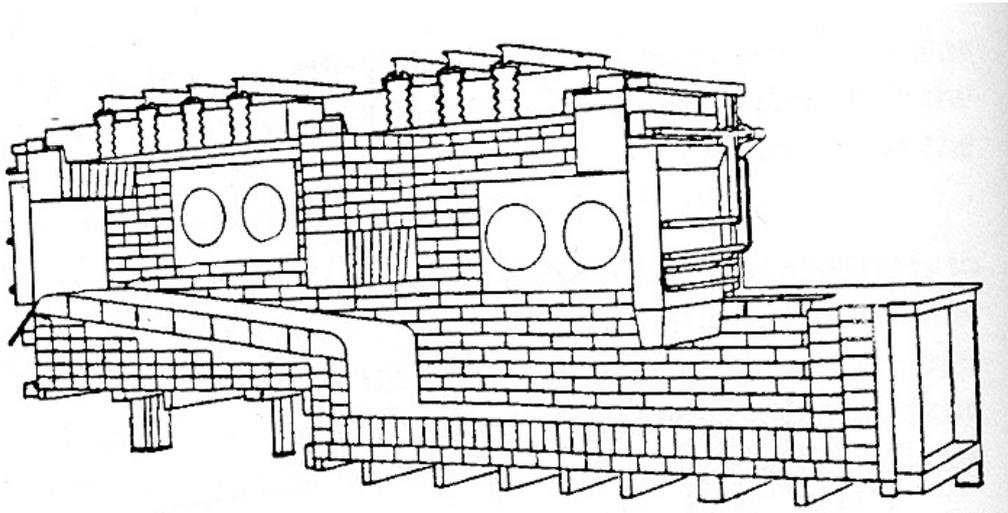


Figura. 1.10.4. Horno de reverbero de solera seca.

De los dos tipos de hornos de reverbero, los hornos de piso mojado son los más comúnmente usados. Este tipo de hornos es de dos diseños diferentes, uno es cargado directamente por dos paredes contiguas y el otro por medio de una plataforma de carga.

Los hornos de reverbero son usados generalmente para fundir grandes cantidades de aluminio para abastecer a los hornos de retención, o usados para refundir chatarra metálica, y pueden ser lo suficientemente grandes en forma tal que pueden llegar a contener hasta 90 ton. de aleación de aluminio fundido. Los más grandes son diseñados desproporcionadamente más largos y anchos que los hornos pequeños. Esto se debe a que la profundidad del baño debe mantenerse a un máximo de 30 pulgadas, independiente mente del tamaño del horno. La altura del techo arriba del metal fundido depende de la altura de la puerta de carga y del tipo de carga usada. La altura del techo depende también del factor de liberación de calor relativo al volumen del horno, como la energía de entrada. En general, los constructores de hornos prefieren no exceder $30,000 \text{ BTU/pe}^3$ ($266978.88 \text{ Kcal./m}^3$) de espacio de baño metálico [10].

Calentamiento de hornos de reverbero.

Los hornos de reverbero pueden ser calentados por gases o combustibles. Algunos quemadores pueden usar mezclas de gas y aceite. Esto dependerá de la disponibilidad y el costo del combustible. El tamaño y el número de quemadores para un horno son seleccionados de acuerdo a la velocidad de fusión que se requiera. Una eficiencia del combustible del orden del 30% en la fundición de aluminio, es considerada buena.

Los quemadores pueden ser de tobera de mezcla o de tipo de premezclado. Ambos tipos se consideran satisfactorios en instalaciones específicas; aunque los quemadores de tobera de mezcla son los más comúnmente usados. En los hornos de reverbero las flamas no inciden directamente sobre la superficie del metal, ya que esto causaría turbulencia, oxidación excesiva y captación de hidrogeno.

La mayoría de los hornos de reverbero utilizan el quemador con tobera de mezcla que lanza una flama larga haciendo uso de “alimentación de paso doble”. Esto comienza con una flama luminosa o semiluminosa, relativamente alta en la cámara de combustión que radia energía al refractario de las paredes y del techo. Como las paredes y el techo están incandescentes ellos radian el calor hacia el baño.

Por otra parte, por el campo de flujo de fluido en este tipo de hornos, el calor convectivo es transferido de los gases al baño. Este prevé una doble transferencia de calor; esto es radiación en el curso de la parte de salida y convección en el curso de regreso, lo que mejora los cambios térmicos con el metal que se funde, incrementando la velocidad de fusión y reduce el consumo de combustible. La puerta de escape de un horno de reverbero tiene un área de sección transversal que prevendrá una presión positiva en el horno durante la fusión.

Las pérdidas por oxidación del metal llamadas “pérdidas por quemado” se pueden reducir al proteger el baño durante la fusión con fundentes especiales.

Estos hornos deben contar con sistemas de extracción de gases y polvos, ya que pueden contener productos sulfurados.

La disposición más normal de los quemadores están colocados a un lado a un costado del horno y los gases de combustión se evacuan por una chimenea en el lado opuesto. Es preferible adoptar una disposición en la que la estancia de los gases dentro del horno sea la mayor posible, antes de ser evacuado, incrementando los intercambios térmicos con la carga.

Métodos de carga.

El horno de solera mojada se carga colocando el material de carga (sólido o líquido) directamente en la cámara o en la pared. Este procedimiento minimiza la oxidación del material de carga. El metal fundido debe ser cargado completamente en un ducto de colada (canal refractario).

La eficiencia de fusión en un horno de solera mojada se incrementa al precalentar los lingotes y la chatarra pesada. Los materiales de carga pueden ser precalentados, al colocarse cerca de la base de la chimenea antes de que se cargue en el horno. Esta práctica no solo incrementa la eficiencia del horno sino que evita un costo extra de combustible, sino también asegura que el material esté libre de humedad.

En los hornos de solera seca la chatarra se carga en éstos al colocar el material sólido sobre la solera. La solera se inclina con un ángulo de 10° a 15°, en la cual el metal se funde. Los óxidos de hierro y los otros materiales no metálicos permanecen en la solera en forma tal que el aluminio fundido se desplaza hacia el baño.

Transferencia de metal:

El metal se remueve del horno por medio de piqueras directas o por inclinación torrencial. Los sifones, bombas y cucharones de una mano también pueden ser usados.

Las piqueras son tapadas con conos refractarios falsos de arcilla o mezcla de arcilla y arena. Algunos hornos tienen una piqueta en un pozo para remover el lodo. Además, puede usarse una piqueta superior para derramar el metal líquido, algunos hornos usan bombas de aire para distribuir el metal en cantidades específicas.

2. DISEÑO DEL HORNO DE REVERBERO.

En la industria, el horno de reverbero es el más utilizado, el diseño esta basado en un horno de reverbero del tipo de solera seca o dry hearth, con capacidad para 20 Kg. de aluminio fundido.

2.1. Tina de la cámara de contención.

La capacidad propuesta para el horno de reverbero es de 20 Kg. de aluminio fundido. La consideración principal es cuánto volumen ocuparán 20 Kg. se tiene en consideración capacidad extra, debido al coeficiente de expansión del aluminio.

La densidad del aluminio puro es 2.7 g/cm^3 , siendo esta mayor a la presentada por aleaciones de aluminio, y tiene un coeficiente de expansión del 6 %.

De la definición de densidad ρ :

$$\rho = \frac{m}{V}$$

m = la masa del material y V = el volumen que ocupa.

Masa de aluminio = 20 Kg. = 20,000 g.

Densidad del aluminio = 2.7 g/cm^3 .

$$V = \frac{m}{\rho}$$

Por lo tanto: $V = \frac{20\,000 \text{ g}}{2.7 \text{ g/cm}^3} = 7\,407.407 \text{ cm}^3$ de aluminio.

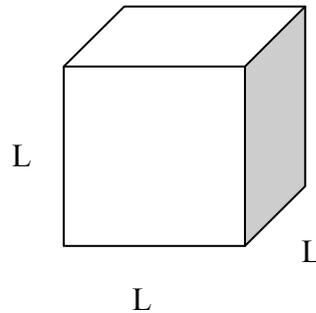
Considerando el 6 % de expansión de este volumen

$$V = \frac{20\,000 \text{ g}}{2.7 \text{ g/cm}^3} = 7\,407.407 \text{ cm}^3 + 6\% = 7\,852.0 \text{ cm}^3 \text{ de aluminio fundido.}$$

Volumen que ocupará el aluminio fundido.

Dimensiones de la tina del metal líquido.

Se parte de la figura mas simple, un cubo con un volumen de $V = 7\ 852.0\text{ cm}^3$.



$$V = L \times L \times L = L^3$$

Donde: V = volumen de la figura, y L = longitud por lado.

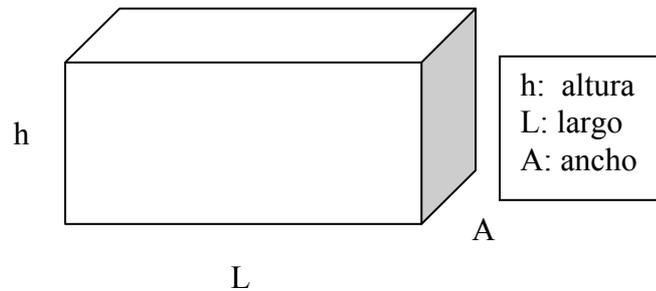
$$V = L^3 \therefore L = \sqrt[3]{V}$$

$$L = \sqrt[3]{7\ 852.0\text{ cm}^3} = 19.88\text{ cm}$$

Consideraciones.

- Modulo de solidificación (M_s), el que mejor cumpla con las necesidades del horno y mantenga por mayor tiempo la temperatura del aluminio líquido.
- Área de transferencia (A_T) del cubo. la transferencia de calor hacia el metal líquido y de este al medio, debe ser el óptimo para mantenerlo a la temperatura de trabajo deseada.
- Área de transferencia de calor del baño, la cual mantendrá al baño en contacto con la fuente de energía y mantener la temperatura del mismo.
- Altura del baño, mantiene el baño a una temperatura homogénea, evitando que solidifique en el fondo.

La configuración de un cubo, no es la indicada para el horno de reverbero, elegimos entonces, un prisma rectangular, se fijan algunas dimensiones y varían otras asta encontrar las dimensiones idóneas.



$$V = h * L * A$$

Fijando $h = 19.0 \text{ cm}$. y $A = 19 \text{ cm}$. calculamos L

$$L = \frac{V}{h * A}$$

$$L = \frac{7852.0 \text{ cm}^3}{19.0 \text{ cm} * 19.0 \text{ cm}}$$

$$L = 21.75 \text{ cm}$$

Calculo del área de transferencia.

$$A_T = (h * L) * 2 + (L * A) * 2 + (h * A) * 2$$

$$A_T = (19.0 * 21.75) * 2 + (21.75 * 19.0) * 2 + (19.0 * 19.0) * 2$$

$$A_T = 2375.052 \text{ cm}^2$$

Calculo del modulo de solidificación Ms:

$$Ms = \frac{V}{A_T}$$

$$Ms = \frac{7\,852.0\text{ cm}^3}{2\,375.052\text{ cm}^2}$$

$$Ms = 3.306\text{ cm}$$

Este procedimiento, se realiza hasta encontrar las dimensiones y Ms apropiados para un mejor comportamiento en el horno.

Teniendo entonces las dimensiones finales para la tina:

$$H = 10.0\text{ cm.}, A = 20.0\text{ cm.}, \text{ y } L = 39.5\text{ cm.}$$

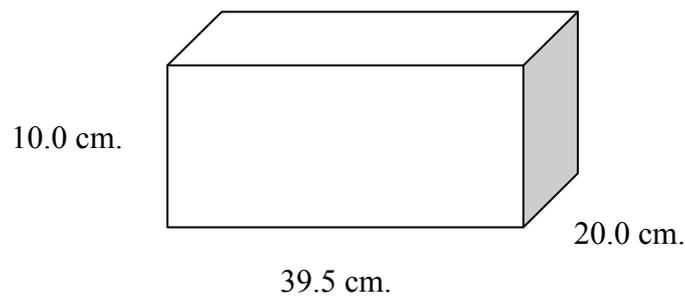
con el área de transferencia de:

$$A_T = 2\,755.6\text{ cm}^2$$

Y un modulo de solidificación de:

$$Ms = 2.8494\text{ cm.}$$

Figura.2.1. Dimensiones de la tina de la cámara de contención.



Las dimensiones que proporcionan una mayor superficie de contacto de la flama hacia el metal líquido y un Ms alto, por lo que éstas son las dimensiones finales de la tina de metal líquido de la cámara de contención.

2.2. Cámara de fusión y de contención.

Las dimensiones finales de la cámara de contención, esta en función de las dimensiones de la cámara de fusión, esta última se ubica por encima del nivel del baño. El piso de la cámara de fusión se encuentra inclinado a 15° para garantizar que el metal fundido fluya con facilidad hacia la cámara de contención.

El largo del piso de la cámara de fusión será del 60 %, de la longitud del piso de la tina de contención, y la altura de la cámara (en el límite de la cámara de fusión y la cámara de contención) será del doble a la altura del baño metálico, permitiendo cargar de 6 a 8 Kg. de aluminio en la misma.

Se necesita tomar muestras del aluminio líquido, por tanto, se tiene un área libre de 10.0 cm. al final de la tina, en dicha área se localiza el área de vaciado quedando fuera de la cámara de contención.

Se tienen paredes refractarias de 5.0 cm. de espesor, que son consideradas en las dimensiones finales de la carcasa del horno. Una pared refractaria del mismo espesor, divide a las cámaras con solo una abertura de 10.0 cm. X 5.0 cm. que permite la transferencia de aluminio entre ellas.

Dimensiones finales:

Figura. 2.2. Dimensiones internas del horno.

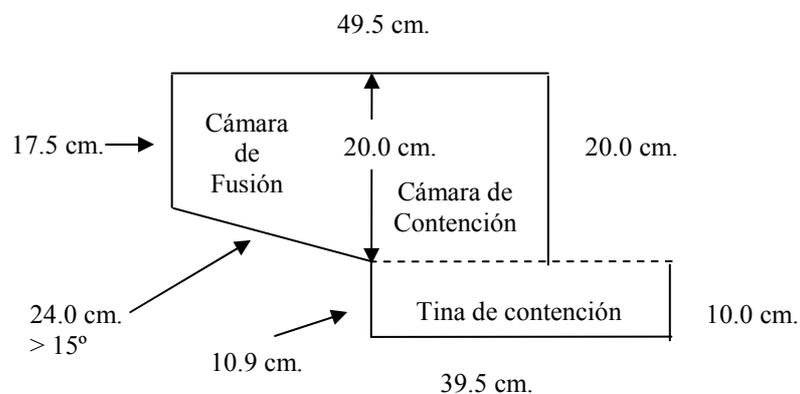
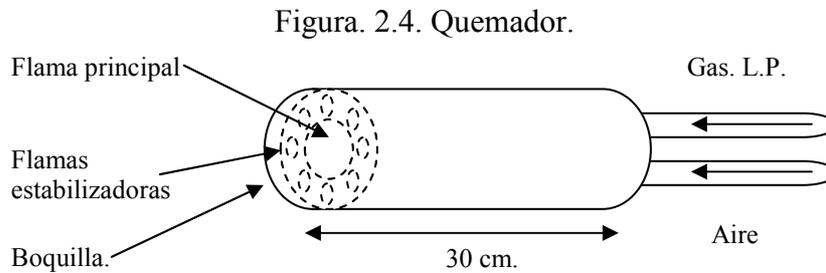


Tabla.2.1. Energía requerida por Kg. de aluminio.[11]

° C.	KJ/Kg.	Btu/lb.	% total	% acumulado
20-425	484	208	41	41
425-660	186	80	16	57
Sólido-Líquido	395	170	33	90
660-770	116	50	10	100

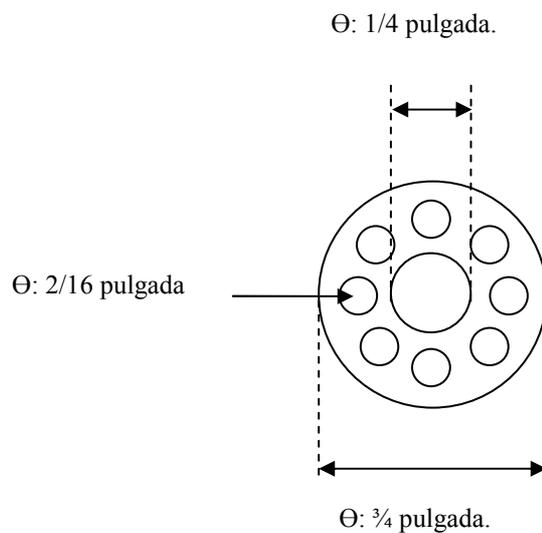
Para 20 Kg. de aluminio se requieren de 23,620 KJ, para obtener aluminio líquido.

Se determina una longitud y diámetro adecuado para garantizar una mezcla Gas-Aire óptima, y pérdida de presión mínima, ya que influye en la combustión y características de la flama.



La ubicación de los quemadores, depende de la posición de la carga en la cámara de fusión y del baño en la cámara de contención.

Figura 2.5. Boquilla.

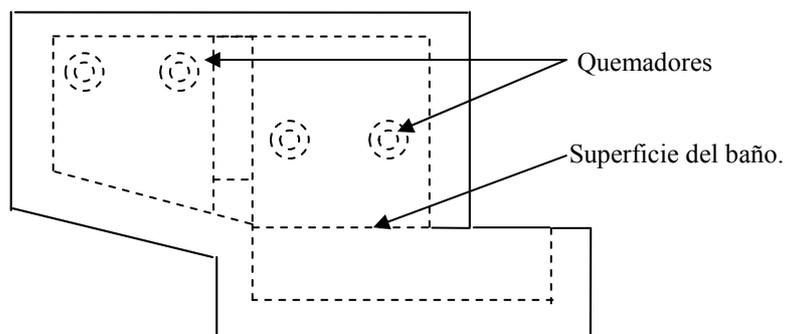


Condiciones de ubicación de los quemadores:

- Se tenga una mejor disposición de los quemadores sobre el material de carga, para una mejor transferencia del calor en la cámara de fusión.
- Se tenga una mejor disposición de los quemadores sobre el baño metálico, para que este conserve una temperatura apropiada de trabajo, y evitando el contacto directo con el baño, y este no se oxide.
- La transferencia de energía al inicio es por convección, alcanzada cierta temperatura, el mecanismo de transferencia es una combinación de convección por los gases calientes y radiación de las paredes al alcanzar cierta temperatura.

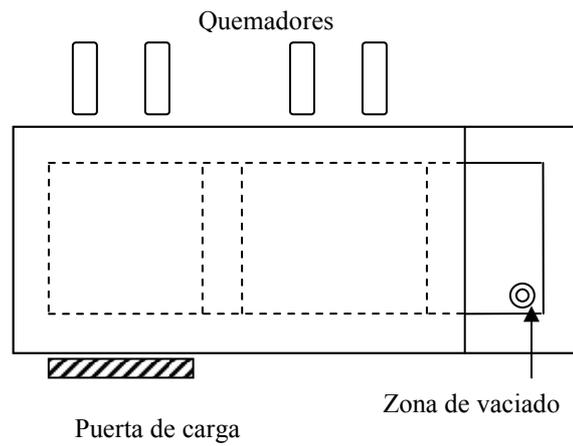
Los quemadores en la cámara de fusión, se ubican a 5 cm. de las paredes laterales y 7 cm. del techo del horno. Los quemadores de la cámara de contención se colocaron a 10 cm. del nivel máximo del baño de aluminio líquido y a 8 cm. de las paredes refractarias.

Figura. 2.6. Posición de los quemadores.



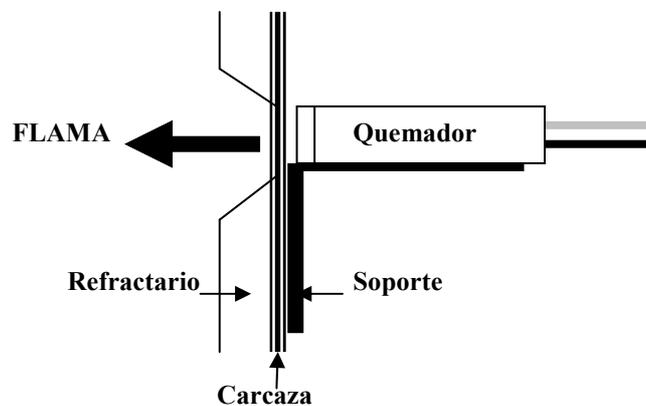
Este horno, es cargado de manera lateral, y es vaciado por la parte baja de la cámara de contención. Haciendo uso de un tapón permanente de hierro recubierto de pintura de zirconio, con el cual se tiene un control de la cantidad de aluminio líquido que es retirada del horno.

Figura. 2.7. Vista superior.



Los quemadores son colocados a una distancia de 2 cm. de la carcasa, para que la flama no incida sobre esta, evitando el desgaste prematuro, y el rebote de las flamas.

Figura. 2.8. Quemadores.

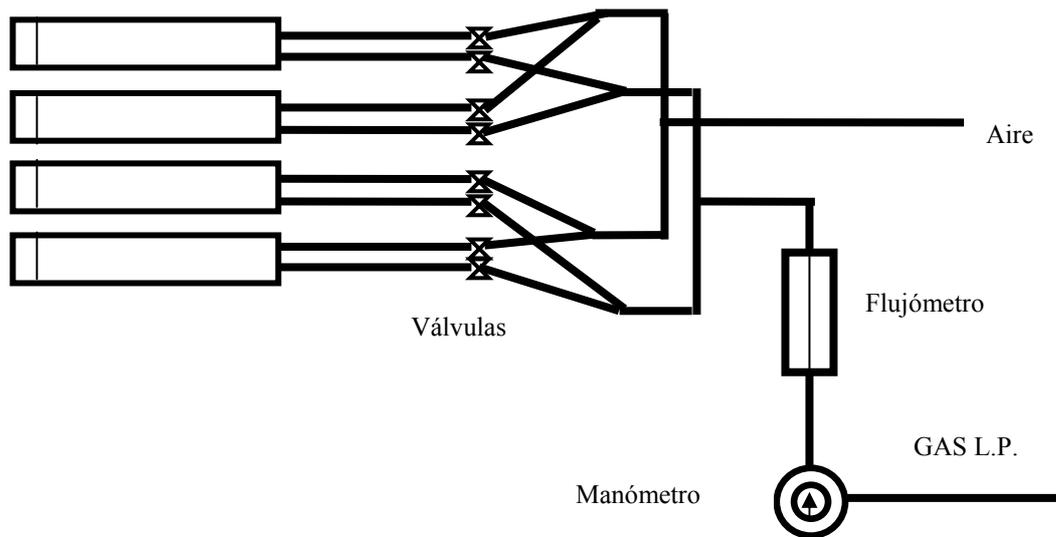


2.4. Sistema de flujo de gas y aire.

Para tener un mejor control de la temperatura y del gasto de gas en cada uno de los quemadores, las líneas que los alimentan son reguladas por válvulas de seguridad. Además de realizar una mejor mezcla Gas-Aire mejorando la combustión de la flama.

Para llevar un registro del gasto de gas, se cuenta con un flujómetro, y un manómetro para la presión en las líneas.

Figura. 2.9. Control de los quemadores.



2.5 Tapa y chimeneas.

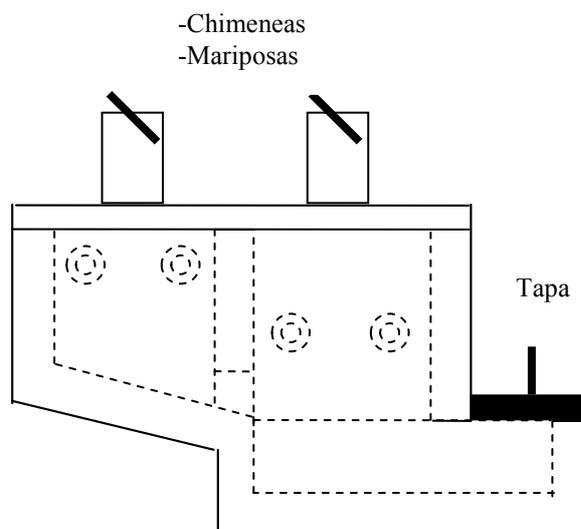
La permanencia de los gases calientes en las cámaras del horno, debe ser adecuada para un mejor calentamiento de las paredes y por tanto de la carga en el horno.

Consideraciones:

- La tapa para el horno debe tener una chimenea para cada cámara.
- Las chimeneas deben tener unas mariposas que permitan regular la salida de los gases calientes.
- La tapa, se debe remover fácilmente para la limpieza de la solera y del mantenimiento del refractario.
- La tapa y las chimeneas deben tener aislamiento térmico.

El área de toma de muestra, cuenta con una tapa que no permite pérdidas de energía y no interfiere con el sistema de vaciado.

Figura. 2.10. tapas y chimeneas.



2.6. Sistema de vaciado.

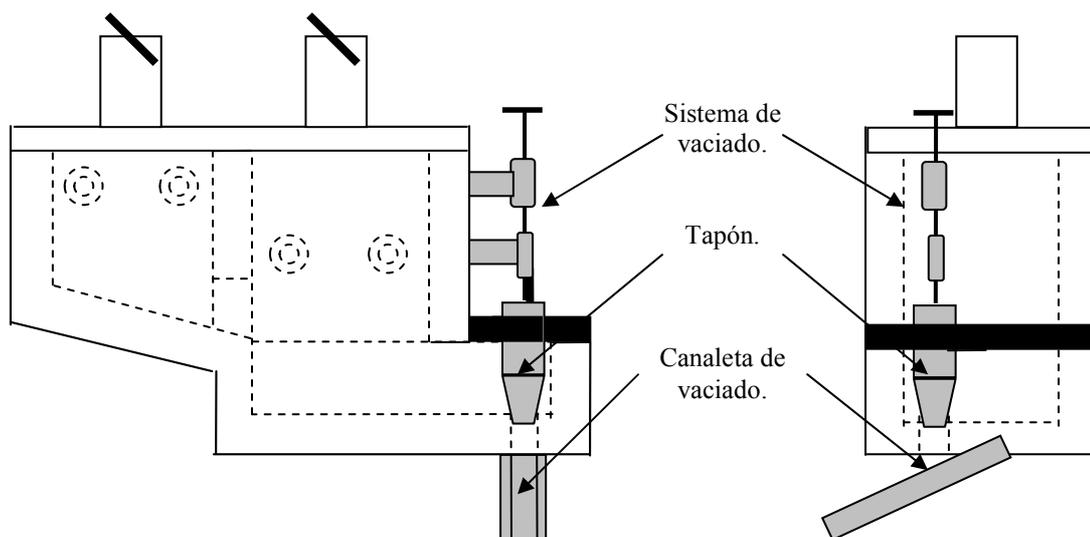
El sistema de vaciado se diseño bajo las siguientes consideraciones:

- Vaciar el horno de forma fácil y sin obstáculos.
- Permita tener control del flujo de material y cantidad.
- Se tenga un mejor sellado, evitando fugas.
- Permita ser removido para facilitar la limpieza del mismo y del horno.
- El tapón debe ser de un material resistente.

El sistema de vaciado esta ubicado a un costado de la zona de toma de muestra, para facilitar la adaptación de un dispositivo de agitación. Con un sistema que permita levantarlo y bajarlo fácilmente y selle a presión. El orificio de sangrado de la tina de contención se ubica en el piso de esta.

Una canaleta refractaria se ubica por debajo del orificio de sangrado, este recibe el aluminio líquido y lo lleva a un costado, facilitando el vaciado del horno.

Figura. 2.11. Tapón de vaciado.

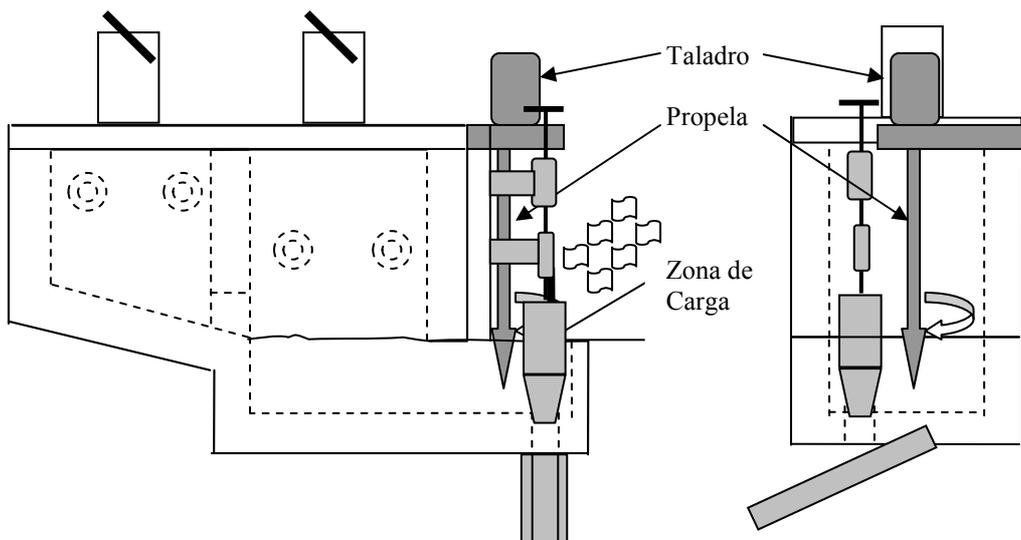


2.7. Dispositivo de agitación.

Para la incorporación en el horno, se construyó un dispositivo, al cual se pueden graduar las RPM y de esta forma tener un control de la agitación para la incorporación del recorte y laminillas de latas de bebidas de aluminio. Este dispositivo se encuentra en la zona de vaciado y toma de muestra del horno, situada en la parte baja de la cámara de contención.

Se diseñaron propelas para realizar la agitación e incorporación en el baño de aluminio.

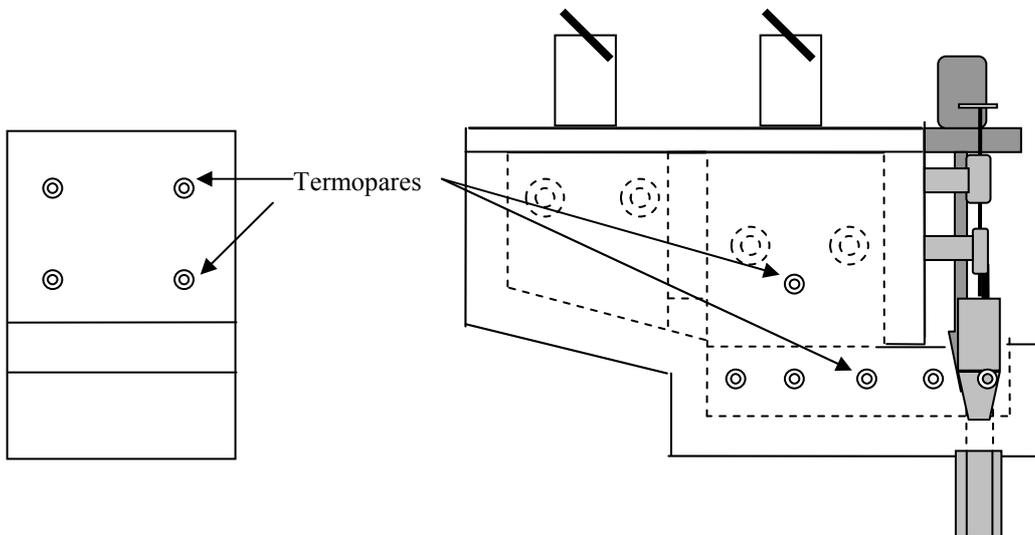
Figura. 2.12. Ubicación del dispositivo de agitación.



2.8. Adquisición de datos de temperatura.

Para el control y monitoreo de la temperatura, se hace uso de una serie de termopares ubicados en la pared refractaria, colocando 5 de ellos a lo largo de la cámara de contención por debajo del nivel máximo del baño de aluminio y uno más por arriba del nivel del baño. Cuatro termopares se colocaron a un costado de la cámara de fusión, y uno más para tomar la temperatura del baño de aluminio.

Figura. 2.13. Ubicación de los termopares.



Todos los termopares se conectaron a un dispositivo, que monitoreaba todo el tiempo las temperaturas del horno, y de esta forma tener un mejor control de las temperaturas de trabajo.

2.9. Material de construcción.

Carcaza:

Placa de acero de 4 mm. de espesor, para la base del horno.

Placa de acero de 2 mm. de espesor, para las paredes del horno, tapas y puerta.

Angulo de ½ pulgadas para el marco de la tapa y soportes de los quemadores.

Pared refractaria 80% sílice, 20% alumina, mezclado con arcilla.

Barro refractario de alta alumina para sellar grietas, y pintura de zirconio.

Fibra aislante para cubrir las tapas y puerta del horno.

Quemadores:

Tubo de ¾ de pulgada de diámetro y 2 mm. de espesor.

Placa de 3 mm. de espesor para las boquillas de los quemadores.

Pintura de zirconio para las boquillas.

Chimeneas:

Tubo de 5 pulgadas de diámetro y 2 mm. de espesor.

Fibra aislante para recubrir el interior.

Sistema de vaciado:

Tornillo sin fin para hacer subir y bajar el tapón de vaciado.

Tapón de vaciado de hierro recubierto de pintura de zirconio.

Angulo de 2 ½ pulgadas, canaleta de vaciado. Recubierto de fibra refractaria.

Pintura de zirconio para todo el sistema.

Sistema de agitación.

Taladro de revoluciones variables.

Propelas de acero, cubiertas por fibra refractaria y pintura de zirconio.

Herramental:

Rastrillos de acero.

Pintura de zirconio.

El horno se monto sobre una base, a 1 m. de altura sobre el piso para una mejor operación, y cuenta con ruedas en su base para facilitar su traslado.

3. DISEÑO DE EXPERIMENTOS.

Las pruebas de este trabajo se realizaron en un horno de reverbero de tipo de solera seca, que fue diseñado y construido para la fusión de las latas de aluminio, por su facilidad de carga y control del horno.

Teniendo presente el objetivo de incorporar recorte y laminillas de lata de aluminio al baño metálico de aluminio, por medio de agitación de una propela, del presente trabajo, el diseño de experimento se estructura de la siguiente manera.

Parámetros fijos:

- Cantidad inicial del baño metálico de aluminio.
- Cantidad de recorte y laminillas de lata de aluminio.
- Temperatura de trabajo.
- Revoluciones por minuto de la propela.

El tamaño de la rebaba de aluminio variara durante el desarrollo experimental, así como la limpieza de esta. Por tanto.

Parámetros variables:

- Recorte de latas de bebida de aluminio sucias (con pintura).
- Laminillas de lata de bebida de aluminio (limpias de pintura)
- Laminillas de lata de bebida de aluminio (limpias de pintura y separando los finos).

Para el recorte de aluminio sucio, se tiene un tamaño aproximado de $\frac{1}{2}$ pulgada cuadrada (de tamaños menores), mientras que para la limpieza de las latas de bebida de aluminio, se trataron en un horno rotatorio diseñado y construido para el quemado de pintura de estas, que además son fraccionadas en diferentes tamaños.

Material y equipo.

- A) Recorte de latas de bebidas de aluminio sucias (con pintura).
- B) Laminillas de latas de bebidas de aluminio tratadas.
- C) Laminillas de latas de bebidas de aluminio tratadas y tamizadas.

Las hojas de lata de aluminio fueron obtenidas del bote completo, teniendo la siguiente composición:

Tapa: 25% peso AA5182, 0.35% Mn, 4.50% Mg.

Cuerpo: 75% peso AA3004, 1.25% Mn, 1.05% Mg.

4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

Preparación de la carga:

En el horno se funden previamente de diez a once kilogramos de latas de bebida de aluminio, que fueron compactadas en pacas de aproximadamente 0.5 Kg. De esta manera se obtiene el baño para la incorporación de las hojas de latas de bebida de aluminio.

Una vez, que se tiene el baño de aluminio líquido, se registra su temperatura y en caso de ser necesario se lleva a la temperatura de trabajo, que debe de estar en un rango de 700° a 740° C, para poder incorporar los recortes y laminillas de lata de aluminio. Se toma una muestra del baño de aluminio para análisis químico inicial por espectrometría de emisión del mismo.

Se prepara el dispositivo de agitación, colocando el taladro firmemente sobre el aluminio líquido, dejando a la propela un poco por debajo de la superficie del baño líquido y se ajustan las revoluciones en un rango de 250 a 300 RPM para una agitación óptima que al mismo tiempo no se introduzca demasiado aire al aluminio líquido, y no se genere espuma.

Teniendo el proceso estable, se procede a incorporar el recorte y laminillas de lata de bebida de aluminio, cuatro kilogramos que son vertidos poco a poco evitando que se aglomeren en la zona del vortice formado por la agitación y puedan dañar la propela y la pared del horno. Durante este periodo, se monitorean las RPM, y la temperatura del baño metálico para un mejor control de la prueba.

Al término de la incorporación de las hojas del recorte y laminillas de bebidas de aluminio, se verifica la temperatura del baño, se retira la escoria, se toma una muestra del baño para realizar el análisis químico final, posteriormente se procede a vaciar en lingoteras.

Las corridas se realizaran por triplicado y se hará uso de tres tipos de material de lata de bebida de aluminio:

- Recorte de lata de bebida de aluminio sucia (con pintura).
- Laminilla de lata de bebida de aluminio tratada (sin pintura).
- Laminilla de lata de bebida de aluminio tratada y separando los finos (tamaños de 0.111 a $\frac{1}{4}$ de pulgada).

La razón por la cual se realiza el separado de tamaño de partículas, se debe, a que tamaños menores de 0.111” solo se aglomeran en la superficie del baño, y no se incorpora. Y tamaños mayores a $\frac{1}{4}$ ” dañarían la propela y la pared refractaria, provocando problemas en la incorporación.

5. RESULTADOS.

La cantidad de metal líquido, inicialmente es de aproximadamente de 11.0 Kg., para posteriormente ser agregados 4 Kg., de recorte o laminilla de lata de bebida de aluminio que es incorporada por agitación

Las pruebas de incorporación de hojas de lata de bebida de aluminio en los tres casos: lata sucia (con pintura), lata tratada (sin pintura) y lata tratada y tamizada (separando finos), se llevaron a cabo, en las condiciones mostradas en las tablas: 5.1., 5.3., 5.5., 5.9., 5.11., 5.13., 5.17., 5.19., y 5.21.,

Tabla. 5.1. Recorte de lata de bebida de aluminio sucia (con pintura) prueba 1.

Pi. (baño líquido) [Kg.]	11.10
Carga hoja de L [Kg.]	2.00
Pf. (baño líquido) [Kg.]	11.20
Peso escoria [Kg.]	1.80
Pf. + Escoria. [Kg.]	13.00
Recuperado [Kg.]	0.20
% Recuperado.	10.00
Temperatura de trabajo (° C).	700 – 730
Agitación (RPM)	260
Tiempo de prueba (min.)	60

Pi: peso inicial, Pf: peso final

Tabla. 5.2. Composición química.

Prueba 1.	%Mg	%Mn	%Si (máx.)	%Fe (máx.)
Composición I	1.511	0.783	0.2470	0.4141
Composición F	1.450	0.783	0.2386	0.4086

I: inicial, F: final

Tabla. 5.3. Recorte de lata de bebida de aluminio sucia (con pintura) prueba 2.

Pi. (baño líquido) [Kg.]	10.40
Carga hoja de L [Kg.]	4.00
Pf. (baño líquido) [Kg.]	11.40
Peso escoria [Kg.]	2.90
Pf. + Escoria. [Kg.]	14.30
Recuperado [Kg.]	1.10
% Recuperado.	27.50
Temperatura de trabajo del baño (° C).	700 – 740
Agitación (RPM)	260
Tiempo de prueba (min.)	78

Pi: peso inicial, Pf: peso final

Tabla. 5.4. Composición química.

Prueba 2.	%Mg	%Mn	%Si (máx.)	%Fe (máx.)
Composición I	1.419	0.782	0.2560	0.4066
Composición F	1.384	0.785	0.2387	0.4051

I: inicial, F: final

Tabla. 5.5. Recorte de lata de bebida de aluminio sucia (con pintura) prueba 3.

Pi. (baño liquido) [Kg.]	10.90
Carga hoja de L [Kg.]	4.00
Pf. (baño liquido) [Kg.]	11.90
Peso escoria [Kg.]	2.80
Pf. + Escoria. [Kg.]	14.70
Recuperado [Kg.]	1.20
% Recuperado.	30.00
Temperatura de trabajo del baño (° C).	700 – 725
Agitación (RPM)	279
Tiempo de prueba (min.)	97

Pi: peso inicial, Pf: peso final

Tabla. 5.6. Composición química.

Prueba 3.	%Mg	%Mn	%Si (máx.)	%Fe (máx.)
Composición I	1.485	0.810	0.1817	0.3997
Composición F	1.334	0.786	0.1780	0.660

I: inicial, F: final

Tabla. 5.7. Gasto de combustible. Recorte de lata sucia.

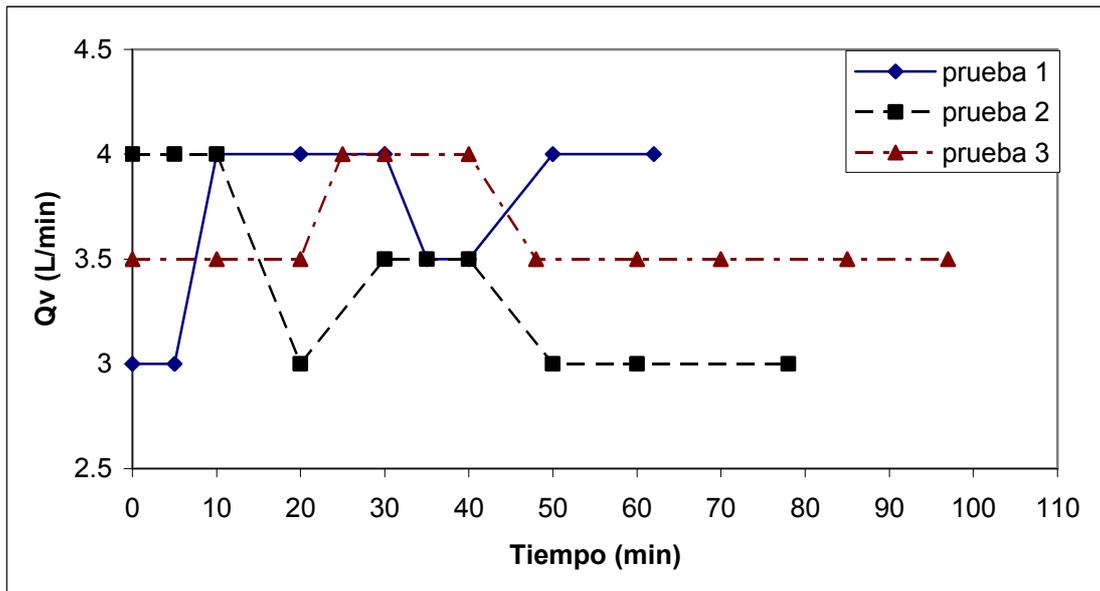
	Prueba 1			prueba 2			prueba 3	
tiempo (min)	Qv (L/min)	Qm (Kg./min)	Tiempo (min)	Qv (L/min)	Qm (Kg./min)	tiempo (min)	Qv (L/min)	Qm (Kg./min)
0	3	7.8E-3	0	4	10.4E-3	0	3.5	9.1E-3
5	3	7.8E-3	5	4	10.4E-3	10	3.5	9.1E-3
10	4	10.4E-3	10	4	10.4E-3	20	3.5	9.1E-3
20	4	10.4E-3	20	3	7.8E-3	25	4	10.4E-3
30	4	10.4E-3	30	3.5	9.1E-3	30	4	10.4E-3
35	3.5	9.1E-3	35	3.5	9.1E-3	40	4	10.4E-3
40	3.5	9.1E-3	40	3.5	9.1E-3	48	3.5	9.1E-3
50	4	10.4E-3	50	3	7.8E-3	60	3.5	9.1E-3
62	4	10.4E-3	60	3	7.8E-3	70	3.5	9.1E-3
			78	3	7.8E-3	85	3.5	9.1E-3
						97	3.5	9.1E-3

Tabla. 5.8. Costo total

	Gas L.P. (L _T)	L.P. (Kg. _T)	Costo (\$)
Prueba 1	227.333	0.591	5.29
Prueba 2	269.1	0.699	6.25
Prueba 3	352.727	0.917	8.20

El costo de 1 Kg de gas L.P. es de \$ 8.95 para el mes de mayo de 2006.

Grafica. 5.1. Recorte de lata sucia (con pintura)



Las siguientes tablas muestran los resultados de las pruebas realizadas para la incorporación de hojas de latas de bebida de aluminio, tratada (sin pintura).

Tabla. 5.9. Laminilla de lata de bebida de aluminio tratada, prueba 1.

Pi. (baño liquido) [Kg.]	11.80
Carga hoja de L [Kg.]	4.00
Pf. (baño liquido) [Kg.]	13.90
Peso escoria [Kg.]	1.80
Pf. + Escoria. [Kg.]	15.70
Recuperado [Kg.]	2.20
% Recuperado.	55.00
Temperatura de trabajo del baño (° C).	700 – 730
Agitación (RPM)	250
Tiempo de prueba (min.)	46

Pi: peso inicial, Pf: peso final

Tabla 5.10. Composición química.

Prueba 1.	%Mg	%Mn	%Si (máx.)	%Fe (máx.)
Composición I	1.549	0.796	0.1734	0.4264
Composición F	1.507	0.791	0.1704	0.4181

I: inicial, F: final

Tabla. 5.11. Laminilla de lata de bebida de aluminio tratada, prueba 2.

Pi. (baño liquido) [Kg.]	11.00
Carga hoja de L [Kg.]	4.00
Pf. (baño liquido) [Kg.]	13.10
Peso escoria [Kg.]	1.70
Pf. + Escoria. [Kg.]	14.80
Recuperado [Kg.]	2.30
% Recuperado.	57.50
Temperatura de trabajo del baño (° C).	700 – 740
Agitación (RPM)	256
Tiempo de prueba (min.)	43

Pi: peso inicial, Pf: peso final

Tabla. 5.12. Composición química.

Prueba 2.	%Mg	%Mn	%Si (máx.)	%Fe (máx.)
Composición I	1.361	0.802	0.1902	0.742
Composición F	1.380	0.794	0.1923	0.687

I: inicial, F: final

Tabla 5.13. Laminilla de lata de bebida de aluminio tratada, prueba 3.

Pi. (baño liquido) [Kg.]	11.00
Carga hoja de L [Kg.]	4.00
Pf. (baño liquido) [Kg.]	12.80
Peso escoria [Kg.]	2.00
Pf. + Escoria. [Kg.]	14.80
Recuperado [Kg.]	2.00
% Recuperado.	50.00
Temperatura de trabajo del baño (° C).	700 – 735
Agitación (RPM)	271.
Tiempo de prueba (min.)	45

Pi: peso inicial, Pf: peso final

Tabla. 5.14. Composición química.

Prueba 3.	%Mg	%Mn	%Si (máx.)	%Fe (máx.)
Composición I	1.336	0.784	0.2319	0.4255
Composición F	1.347	0.778	0.2180	0.4366

I: inicial, F: final

Tabla. 5.15. Gasto de combustible. Laminilla de lata tratada.

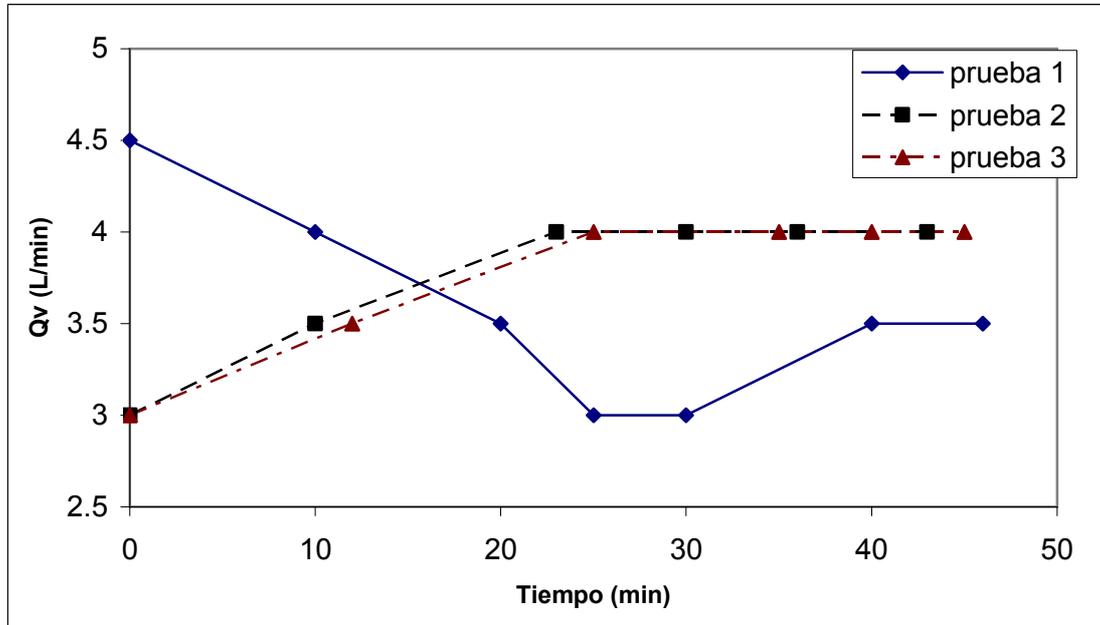
	Prueba 1			prueba 2			prueba 3	
tiempo (min)	Qv (L/min)	Qm (Kg./min)	Tiempo (min)	Qv (L/min)	Qm (Kg./min)	tiempo (min)	Qv (L/min)	Qm (Kg./min)
0	4.5	11.7E-3	0	3	7.8E-3	0	3	7.8E-3
10	4	10.4E-3	10	3.5	9.1E-3	12	3.5	9.1E-3
20	3.5	9.1E-3	23	4	10.4E-3	25	4	10.4E-3
25	3	7.8E-3	30	4	10.4E-3	35	4	10.4E-3
30	3	7.8E-3	36	4	10.4E-3	40	4	10.4E-3
40	3.5	9.1E-3	43	4	10.4E-3	45	4	10.4E-3
46	3.5	9.1E-3						

Tabla. 5.16. Costo total

	Gas L.P. (L _T)	L.P. (Kg. _T)	Costo (\$)
Prueba 1	164.285	0.427	3.82
Prueba 2	161.25	0.419	3.75
Prueba 3	168.75	0.438	3.92

El costo de 1 Kg. de gas L.P. es de \$ 8.95 para el mes de mayo de 2006.

Grafica. 5.2. Laminilla de lata tratada.



Las siguientes tablas muestran los resultados de las pruebas realizadas para la incorporación de hojas de latas de bebida de aluminio, tratada (sin pintura) y tamizada..

Tabla. 5.17. Laminilla de lata de bebida de aluminio tratada y tamizada, prueba 1.

Pi. (baño liquido) [Kg.]	11.00
Carga hoja de L [Kg.]	4.00
Pf. (baño liquido) [Kg.]	14.00
Peso escoria [Kg.]	.90
Pf. + Escoria. [Kg.]	14.90
Recuperado [Kg.]	3.10
% Recuperado.	77.50
Temperatura de trabajo del baño (° C).	690 – 730
Agitación (RPM)	240
Tiempo de prueba (min.)	62

Pi: peso inicial, Pf: peso final

Tabla. 5.18. Composición química.

Prueba 1.	%Mg	%Mn	%Si (máx.)	%Fe (máx.)
Composición I	1.503	0.788	0.1722	0.4304
Composición F	1.499	0.781	0.1698	0.4295

I: inicial, F: final

Tabla. 5.19. Laminilla de lata de bebida de aluminio tratada y tamizada, prueba 2.

Pi. (baño liquido) [Kg.]	11.00
Carga hoja de L [Kg.]	4.00
Pf. (baño liquido) [Kg.]	14.20
Peso escoria [Kg.]	0.70
Pf. + Escoria. [Kg.]	14.90
Recuperado [Kg.]	3.30
% Recuperado.	82.50
Temperatura de trabajo del baño (° C).	695 – 730
Agitación (RPM)	260
Tiempo de prueba (min.)	64

Pi: peso inicial, Pf: peso final

Tabla. 5.20. Composición química.

Prueba 2.	%Mg	%Mn	%Si (máx.)	%Fe (máx.)
Composición I	1.344	0.799	0.2080	0.692
Composición F	1.406	0.788	0.1802	0.550

I: inicial, F: final

Tabla. 5.21. Laminilla de lata de bebida de aluminio tratada y tamizada, prueba 3.

Pi. (baño líquido) [Kg.]	11.00
Carga hoja de L [Kg.]	4.00
Pf. (baño líquido) [Kg.]	14.10
Peso escoria [Kg.]	0.80
Pf. + Escoria. [Kg.]	14.90
Recuperado [Kg.]	3.20
% Recuperado.	80.00
Temperatura de trabajo del baño (° C).	710 – 740
Agitación (RPM)	225
Tiempo de prueba (min.)	64

Pi: peso inicial, Pf: peso final

Tabla. 5.22. Composición química.

Prueba 3.	%Mg	%Mn	%Si (máx.)	%Fe (máx.)
Composición I	1.477	0.779	0.2080	0.4885
Composición F	1.479	0.785	0.1978	0.4556

I: inicial, F: final

Tabla. 5.23. Gasto combustible.

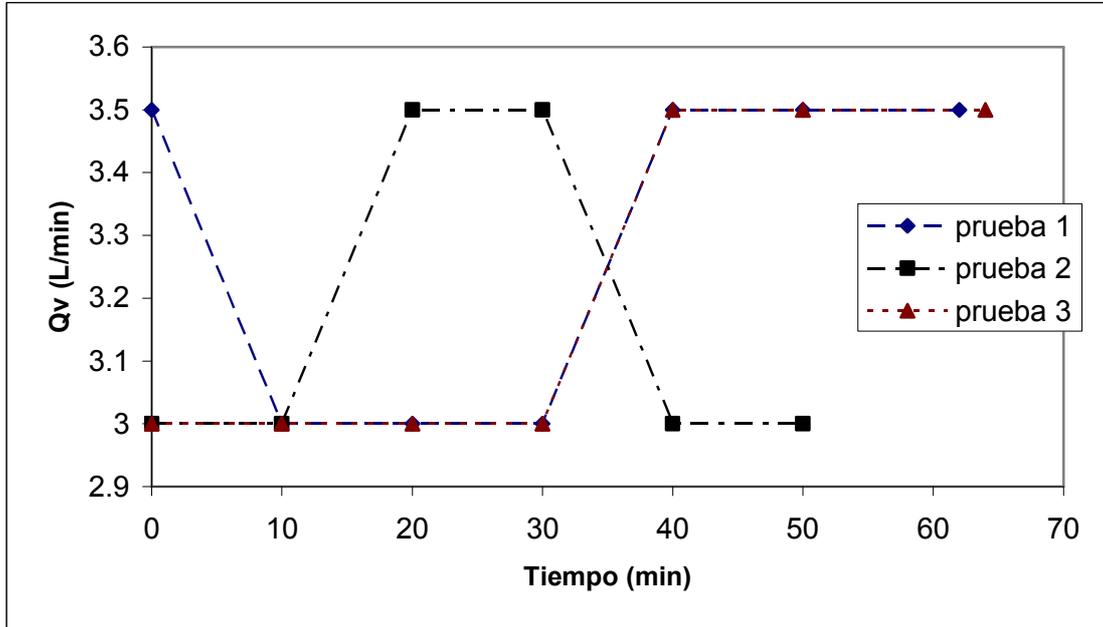
	prueba 1			prueba 2			prueba 3	
tiempo (min)	Qv (l/min)	Qm (Kg./min)	Tiempo (min)	Qv (l/min)	Qm (Kg./min)	tiempo (min)	Qv (l/min)	Qm (Kg./min)
0	3.5	9.1E-3	0	3	7.8E-3	0	3	7.8E-3
10	3	7.8E-3	10	3	7.8E-3	10	3	7.8E-3
20	3	7.8E-3	20	3.5	9.1E-3	20	3	7.8E-3
30	3	7.8E-3	30	3.5	9.1E-3	30	3	7.8E-3
40	3.5	9.1E-3	40	3	7.8E-3	40	3.5	9.1E-3
50	3.5	9.1E-3	50	3	7.8E-3	50	3.5	9.1E-3
62	3.5	9.1E-3	64	3	7.8E-3	64	3.5	9.1E-3

Tabla. 5.24. Costo total

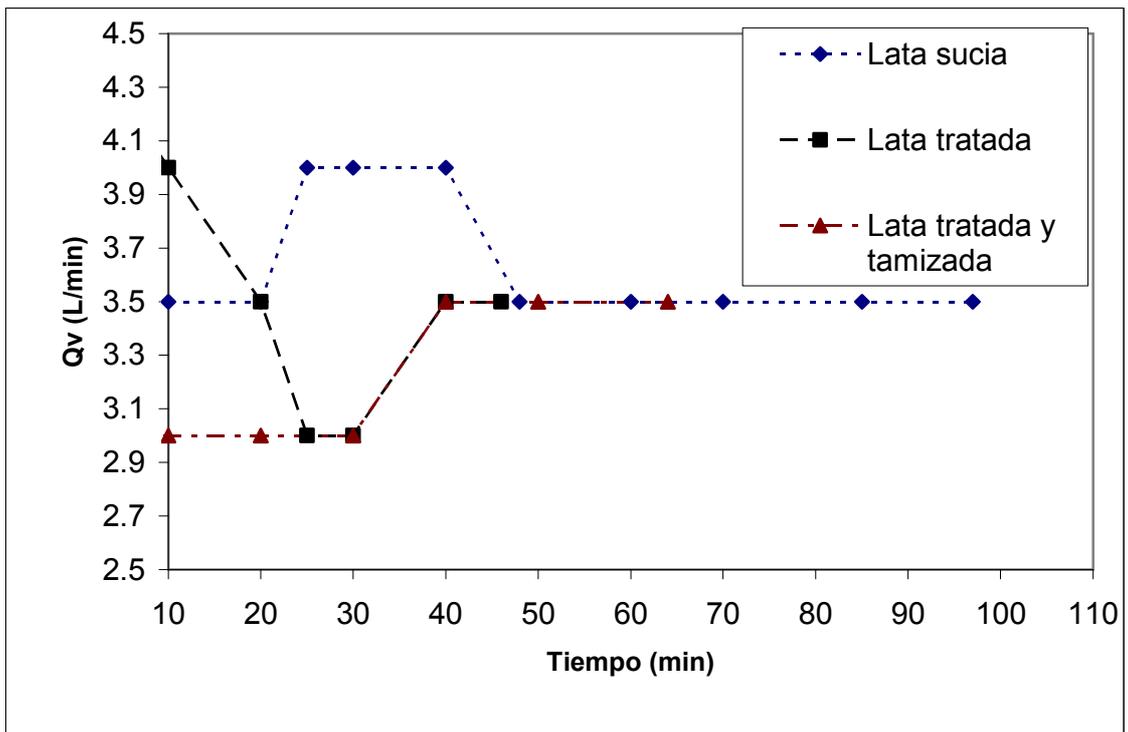
	Gas L.P. (L _T)	L.P. (Kg. _T)	Costo (\$)
Prueba 1	263.714	0.529	4.73
Prueba 2	201.143	0.523	4.68
Prueba 3	205.714	0.535	4.78

El costo de 1 Kg. de gas L.P. es de \$ 8.95 para el mes de mayo de 2006.

Grafica. 5.3. Laminilla de lata tratada y tamizada.



Grafica. 5.4. Comparativa.



6. ANALISIS DE RESULTADOS.

6.1. Pruebas de incorporación de recorte de lata de bebida de aluminio sucias (con pintura).

Al realizar la primer prueba, se noto que tamaños de recorte de lata de aluminio, mayores a ½ pulgada, no facilitaron la incorporación de estas provocando daño a la propela y pared refractaria, a esto se debe que en esta prueba, solo 2 kilos de los 4 kilos dispuestos para esta, se incorporaran, habiendo transcurrido una hora aproximadamente de la prueba se decidió detenerla.

Indico condiciones de operación para el desarrollo de las siguientes pruebas, tales como las RPM a las que debía trabajar la propela de agitación, teniendo por objetivo, la mejor incorporación, ya que introducía demasiado aire al baño provocando espuma en la superficie, siendo otro factor que impedía una buena incorporación.

Al no sumergir con rapidez las hojas de lata de bebida aluminio, estas quedaban en la superficie del baño, zona en la cual se quemaba la pintura y se oxidaba la hoja, no se incorpora al baño, lo cual es un factor generador de escoria, que aunado a la formación de espuma incrementaron la perdida de aluminio.

Al ser removida la escoria del baño, esta, era acompañada por espuma y aluminio que era arrastrado con ellas, teniendo una baja eficiencia como se observa en la tabla 5.1.

Pruebas 2 y 3.

Teniendo presente los datos de la prueba 1, y la información que esta nos sugirió, las pruebas 2 y 3 se desarrollaron con mayor eficiencia, pudiendo incorporar los cuatro kilogramos previstos, y el tiempo de estas pruebas, fue en promedio de 1 Hr. 30 mn.

Al tener un mejor control sobre las RPM de trabajo, la formación de espuma disminuyo, mejorando la incorporación; el tamaño del recorte de lata de aluminio al ser de menor tamaño, se incorporó de mejor forma.

La formación de escoria se redujo, y al ser removida también estaba acompañada por espuma y aluminio teniendo pérdidas considerables, de esta forma la eficiencia de recuperación se incrementó poco, hasta el 29 % en promedio, no siendo la eficiencia esperada, sin embargo se mejoró con respecto a la primera prueba.

La composición química para estas pruebas (Tablas. 5.4. y 5.6.), no sufrió pérdidas en sus elementos, considerando la composición química esperada, al fundir el cuerpo y tapa del bote de bebida de aluminio juntas la cual es reportada en la referencia [9].

6.2. Pruebas de incorporación de laminilla de lata de bebida de aluminio tratada (sin pintura).

Para estas pruebas, se introdujeron laminillas de lata de bebida de aluminio, tratadas en un horno rotatorio diseñado y construido para este fin, debido a esto, el tamaño de dichas laminillas es variado, así que para estas pruebas, solo se eliminó los tamaños mayores a ½ pulgada. Ya que podrían dañar la propela de trabajo y la pared refractaria como en la prueba 1.

Se mejora la forma de incorporación de las laminillas de lata de aluminio, de esta forma, los tiempos de cada prueba se reducen en 45 min. en promedio para las pruebas, así como se reduce el consumo de combustible.

La formación de la escoria, es menor, y la formación de espuma en la superficie se disminuye, lo que ayuda a mejorar la recuperación, al retirar la escoria del baño se observa, la formación de aglomerados, esto debido a la presencia de finos, que por su reducido tamaño, no son incorporados al baño, quedando en la superficie, donde se acumula y debido a las temperaturas de trabajo, se forman estos aglomerados.

La escoria presenta estas formaciones alrededor de ella, que son más oscuras que la escoria, y al estar acompañada de espuma, lleva consigo aluminio al momento de ser retirada.

La eficiencia obtenida en estas pruebas fue del 54% en promedio, mejorando notablemente con respecto a las pruebas de incorporación de recorte de lata de bebida de aluminio sucia (con pintura). Aun no es lo que se espera, pero se ha visto la inconveniencia de tener finos presentes, ya que, la cantidad de finos presentes en el material de trabajo si es considerable, y al no poder incorporarse al baño de aluminio, se pierde con la escoria, espuma formada y aluminio que es arrastrado.

Composición química.

Al igual que en las pruebas de incorporación de recorte de lata de bebida de aluminio sucia (con pintura), no hay perdidas considerables de los elementos presentes, manteniéndose la composición al inicio de la prueba y al final.

Salvo por la prueba 2 (Ver Tabla. 5.12), en el cual hay un incremento notable de Fe presente al inicio de la prueba, disminuyendo solo un poco al final de la prueba, siendo que en la prueba 1 y 3 el Fe presente es de 0.4% en promedio, en la prueba 2 el Fe presente es de 0.7%, lo que hace pensar en las posibles fuentes de este elemento, las cuales podrían ser el herramental con el que se trabajo.

Datos reportados en el trabajo de Bowman [9], indica que en la practica, al fundir cuerpo y tapa de bote de bebida de aluminio, se llega presentar Fe en 0.35%-0.7%, lo que también podría explicar el incremento de Fe.

6.3. Pruebas de incorporación de laminilla de lata de bebida de aluminio tratada y tamizada (separando los finos).

Tenemos laminilla de lata de bebida de aluminio, tratadas por el mismo proceso, se separan tamaños mayores a ½ pulgada y tamaños menores a 0.111 pulgadas, ya que como se ha visto, la presencia de finos en el material de trabajo reduce la eficiencia de recuperación.

La formación de escoria es menor, así como la formación de espuma, mejorando la cantidad de aluminio recuperado, y debido a la eliminación de finos, no hay formación

de aglomerados en la superficie del baño, dando esto como resultado, menores pérdidas de aluminio al retirarlos del baño.

Los tiempos de las pruebas se incrementaron con respecto a las de incorporación de laminilla de lata de bebida de aluminio tratadas, pero se mantienen por debajo de los tiempos de las pruebas de incorporación de recorte de lata de bebida de aluminio sucias (con pintura), teniendo una duración de 1 Hr. en promedio para las tres.

En estas pruebas se tiene un incremento en la eficiencia de recuperación, mejorando notablemente, teniendo en cuenta, que se incorpora laminilla de aluminio por medio de una propela al baño de aluminio, la eficiencia, la cual es del 80% en promedio.

Composición química.

Al igual que en las pruebas anteriores, no hay pérdidas significativas de sus elementos, estando dentro de la composición química esperada, solo en la prueba 2 (Ver Tabla. 5.10.2) de este apartado, se tiene un incremento en el Fe, estando presente en 0.69% al inicio y 0.55% al final de la prueba.

6.4. Gastos de combustible.

Estos varían en cada prueba, en general los gastos de gas L.P. son bajos, pero los diferentes tiempos de duración de cada prueba, y la eficiencia hacen la diferencia en ellas.

Para las pruebas de incorporación de recorte de lata de bebida de aluminio, el gasto de gas L.P. es bajo, y el costo por cada prueba es de \$ 6.58 en promedio, pero dada la eficiencia obtenida para estas, no representaría ganancias para nuestro proceso. En estas pruebas se recuperaron 0.9 Kg. de aluminio en promedio por cada prueba

Para las pruebas de incorporación de laminillas de lata de bebida de aluminio tratadas los tiempos de las pruebas se reducen así como el gasto de gas L.P. y la eficiencia se incrementa, teniendo entonces un costo por cada prueba de \$ 3.83 en promedio, incrementando las ganancias de nuestro proceso. En estas pruebas se recuperaron 2.1

Kg. de aluminio en promedio, así que por cada Kg. de aluminio recuperado tiene un costo de \$ 1.82.

Para las pruebas de incorporación de laminillas de lata de bebida de aluminio tratada y tamizada, los tiempos se incrementan un poco, además del gasto de gas L.P. pero se tiene una eficiencia de recuperación aceptable del 80%, y el costo de cada prueba en promedio es de \$ 4.73 , representando ganancias significativas para nuestro proceso. En estas pruebas se recuperaron 3.2 Kg. de aluminio en promedio, por cada Kg. de aluminio recuperado tuvo un costo de \$ 1.47

7. CONCLUSIONES.

Para las condiciones experimentales de este trabajo.

La eficiencia en el reciclado de recorte de lata de bebida de aluminio con pintura, con dimensiones de $\frac{1}{4}$ pulgada en promedio, incorporada mediante una propela en el horno de reverbero, es del 29%.

La eficiencia en el reciclado de laminilla de lata de bebida de aluminio tratada en un horno rotatorio para delaqueado, sin tamizar, incorporada mediante una propela en el horno de reverbero, es del 54%.

La eficiencia en el reciclado de laminilla de lata de bebida de aluminio tratada en un horno rotatorio para delaqueado, con partículas mayores a 0.111 pulgada, incorporada mediante una propela en el horno de reverbero, es del 80%.

Laminilla de lata de bebida de aluminio libre de pintura y en dimensiones mayores a 0.111 pulgada, forma escoria en menor cantidad y con menor atrapamiento de aluminio.

La implementación de este dispositivo, ha incorporado adecuadamente las laminillas de lata de bebida de aluminio, logrando recuperar hasta el 80% de estas. Sin variaciones significativas en su composición química. Para hojas de lata de bebida de aluminio tratada y eliminando partículas menores a 0.111 pulgada.

Se obtiene un alto rendimiento de recuperación con un gasto energético bajo y a un bajo costo, siendo este de \$1.47 por cada Kg. recuperado, para laminilla de lata de bebida de aluminio tratada y eliminando partículas menores a 0.111 pulgada.

En el proceso de tratamiento de las latas en el horno rotatorio para delaqueado, el evitar la formación de partículas menores a 0.111 pulgada ayuda a mejorar la eficiencia en el proceso de reciclado de aluminio con agitación durante la fusión.

8. BLIBLOGRAFIA.

1. Web de ASERAL Reciclado de Aluminio; <http://www.confemetal.es> astral principal.htm; consulta abril 2006.
2. Román Moguel, Guillermo J; Alonso Villanueva, José Luis; Tovar Francisco Salvador; “Aluminio Secundario: Clasificación, Procesamiento y Expectativas”; Moldeo y Fundición; no 85; año XIV;(febrero 1993); pp. 48-56.
3. Web; <http://www.ingenieroambiental.com>; consulta enero 2006
4. Román Moguel, Guillermo J; “Propuesta de Normas de Chatarra de Aluminio al IMEDAL”; Memorias del Tercer Panel de Internacional del Procesamiento del Aluminio; tomo1; IMEDAL, A.C.; Cancún, Q.R.; (26-29 de mayo de 1992); pp.67-74.
5. 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
6. ASM; Metals Handbook, Formerly Ninth Edition; Vol. 15 Casting; USA; 1988
7. Alonso M. Juan Carlos, 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 mayo de 1992); pp.147-168
8. Zorrilla Castellanos Luisa Fernanda; “Recuperación de Chatarra de Aluminio (latas de bebida) en un horno tipo reverbero”; Tesis para obtener el grado de licenciatura; UNAM; Facultad de Química; 2000.

9. Bowman Kenneth A.; "ALCOA's Used Beverage Cans (UBC) Alloy Separation Process"; First International Symposium on Recycling and Secondary Recovery of Metals; Metallurgical Society of AIME; TMS; (December, 1985); pp.429-443
10. Van Linden JHL; "The Aluminium Industry and Recycling a Synergistic Partnerships"; Memorias del Tercer Panel Internacional de Procesamiento del Aluminio; Tomo 1; IMEDAL, A.C.; Cancun Q.R.; (26-29 mayo, 1992); pp.41-53.
11. Gonzáles, Ricardo; "Pintura para perfiles de aluminio en la planta de cuprum"; pp.117-127.