

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**PROCESOS DE RECICLADO DE ALUMINIO  
ALTERNATIVA PARA MÉXICO.**

TRABAJO MONOGRÁFICO DE ACTUALIZACION

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

**INGENIERO QUÍMICO METALÚRGICO**

P R E S E N T A

GERARDO REYES ARRIAGA

MÉXICO, D.F.

2008



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. JOSE ALEJANDRO GARCÍA HINOJOSA

SECRETARIO Prof. IMELDA VELÁZQUEZ MONTES

1er suplente Prof. ADRIAN MANUEL AMARO VILLEDA

2do suplente Prof. AGUSTIN GERARDO RUIZ TAMAYO

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA.

SERVICIOS DE INFORMACIÓN DIGITAL  
FACULTAD DE QUIMICA. UNAM

ASESOR DEL TEMA

M. EN C. IMELDA VELÁZQUEZ MONTES

SUSTENTANTE

GERARDO REYES ARRIAGA

## ***Agradecimientos.***

*Gracias a **Dios** por la oportunidad de vida y todas la bendiciones que me ha dado durante mi existencia.*

*A la honorable **Universidad Nacional Autónoma de México** que me dio la oportunidad desde el **Colegio de Ciencias y Humanidades**, continuando por la **Facultad de Química**.*

*A mis **profesores**, por toda la paciencia y dedicación y sobre todo por compartir el conocimiento.*

*A mis **padres** por el gran esfuerzo que realizaron para que consiguiera mi meta de dejarme una gran herencia que me ayudara por el resto de mi vida. Por todas sus enseñanza que me servirán y que me servirán para mi bienestar y el de mi familia.*

*A mis hermanos por ser el ejemplo de disciplina y constancia que muestran en el día a día. Y que con las dificultades a las que se enfrentan salen triunfadores y con miras para un mejor futuro, **Juan Alberto, María Elvira, Anabel, Rosalinda, Carmen Y Betito**.*

*A mi esposa **Pilar** que con su ayuda y comprensión pude realizar esta gran obra gracias amor y espero que siempre sigamos juntos y quiero que sepas que te amo mucho y que eres el amor de mi vida.*

*A mi hijo **Héctor** al cual quiero mucho y admiro y espero trasmitirle todas las enseñanzas para bien y así pueda crecer y como un hombre de bien.*

*A mi asesora la **Maestra en Ciencias Imelda Velázquez Montes** por toda su ayuda y paciencia y de la cual no podría haber terminado este trabajo, lo cual solo me que da darle las gracias maestra muchas gracias.*

*A mis compañeros de la carrera la cual marcaron y cambiaron mi vida un reconocimiento a todos aquellos, algunos una bola de Borrachines: Jaime Romero, Arturo Ogaz, Luis Merced, Jose Luis Sosa (Carnitas) Oscar Santander, Socrates, Charly, Tonahuac Solis, Rafael Arreguin, Osacar Garay, Abelardo Chavelas, Lalo Trejo, Omar Celis, Lalo Tinoco, Pablo Gómez, Irving, Lupillo, Ajax , Campo Verde, Nadia, Erika, Blondy, Carmen y a todos aquellos los cuales me faltaron por mencionar con los cuales pasamos buenos y malos momentos*

*A mis compañeros de trabajo y Jefes de trabajo por su gran amistad y sus apreciables conocimientos en la aplicación de los Ensayos No destructivos y Soldaduras: Arnulfo Zarate Vargas (Fito), Mauricio Izquierdo Candelerero (El Negro), Ernestino Peña Salazar (Tino), Ulises Reyes (Licho), Renato Peña (Nato), Javier (Pelón), Julián Sánchez Daza, Miguel Flores Rangel. Ing. Miguel Ángel Burgos, Ing. Jorge Petisme Malcom, Ing. Miguel Ángel López Hernández (Maligno)*

---

---

*Agradezco también a la **Empresa Calidad y Técnica Industrial S.A de C.V.** Por mostrarme como es la metalurgia de campo y de desarrollo.*

*Un reconocimiento también a la empresa **Buffalo Forge S.A de C.V:** por las facilidades para la terminación de este trabajo.*

**“La verdadera victoria es la victoria sobre uno mismo”  
Morihei Ueshiva**

## ÍNDICE

Resumen.....	1
Antecedentes y Justificación.....	2
Introducción.....	6
Capítulo 1. Producción de aluminio en México y en el mundo.....	9
1.1. Producción mundial de aluminio.....	9
1.2. Producción en México.....	10
1.3. Beneficios del reciclado.....	11
1.3.1. Beneficios ambientales.....	11
1.3.2. Beneficios sociales.....	13
1.3.3. Beneficios económicos.....	14
1.3.4. El mercado nacional del reciclado del aluminio.....	14
1.4. Acopio y separación.....	17
Capítulo 2. Legislación ambiental.....	19
2.1. Aspectos legales del reciclaje en México.....	19
2.2. Clasificación de la basura en la Ciudad de México.....	25
2.3. Cuantos residuos se generan en la Ciudad de México.....	26
Capítulo 3. Importancia del reciclado en el mundo y en México.....	30
3.1. Principio del reciclado a nivel mundial.....	30
3.1.1. El aluminio como desperdicio.....	32
3.1.2. Reciclaje y medio ambiente.....	34
3.2. Ciclo cerrado.....	36
3.2.1. Ciclo abierto.....	37
3.3. Importancia del reciclado a nivel mundial.....	37
3.4. Panorama del reciclado a nivel mundial. Compartir costos y responsabilidades.....	41
3.5. Panorama internacional del reciclado de aluminio de las empresas automotrices.....	41
3.5.1. Acopio en escuelas a nivel primaria.....	42
Capítulo 4. Procesos actuales del reciclado de aluminio.....	45
4.1. Una nueva técnica para reciclar los trozos de aluminio por conversión directa.....	46
4.1.2. Nuevos métodos de reciclado para aleaciones de aluminio, al reciclar virutas.....	48
4.1.3. Propiedades mecánicas de los compuestos de aleaciones base aluminio, que se produjeron a partir de virutas de Aluminio..	51
4.1.4. Compuestos del aluminio-hierro-cromo producidos a partir del reciclado de virutas.....	53
4.1.5. Partes de aluminio para ser usadas por una nueva técnica.....	55
4.2. Impacto en los parámetros de cambio, en la recuperación de aluminio en un horno rotatorio.....	57
4.2.1. Hulett Aluminium, un centro flexible de reciclado y fundición.....	59
4.2.2. Nuevas herramientas para fundir aluminio secundario en un horno rotatorio.....	60
4.2.3. El metal secundario suministrado y la calidad del metal del aluminio reciclado.....	62

4.2.4. Fusión de la chatarra de aluminio, en un horno (tipo de reverbero) de cámaras gemelas libre de sales.....	64
4.3. Diseño de optimización en el proceso de reciclado de aluminio utilizando la técnica Taguchi.....	66
4.3.1. Modelado numérico de un horno rotatorio para el proceso de reciclado de aluminio.....	68
4.3.2. Alimentación continua y refusión de trozos de aluminio rolados por el proceso de fusión continua.....	71
4.4. Reciclado de aluminio, por matriz de compósitos en el metal utilizando líquidos iónicos: Efecto en las variables de proceso y en la eficiencia en la corriente y características del depósito.....	73
4.6. Máxima eficiencia en un horno para temple de aluminio y reducir costos en la fusión.....	75
Análisis de resultados.....	78
Conclusiones.....	81
Bibliografía.....	83
Glosario.....	93

## **Resumen.**

En México no existen yacimientos naturales de bauxita, mineral del cual se extrae el aluminio, por lo cual se importa, ya sea como concentrado de bauxita o bien comprándolo directamente en lingotes, para los diferentes usos en la industria y en la vida cotidiana.

Una de las alternativas a la importación es el proceso de reciclado, para obtener, aluminio secundario para abastecimiento del mercado nacional. Desde el punto de vista energético, se sabe que al utilizar la chatarra de aluminio, el consumo de energía para producir una pieza es del 5% al 10% con respecto a la energía necesaria que cuando se produce aluminio primario, partiendo desde el mineral. Este ahorro de energía es la razón principal para que se deban establecer procesos de reciclado, así como el hecho de que se esté utilizando cada vez más aluminio secundario.

Por esta causa es importante que en México se inicien los estudios para diseñar la manera de recuperar la gran cantidad de latas, perfiles, partes de automóviles, etc., para reciclar todo el aluminio que sea posible, además es importante cuidar el medio ambiente, siendo que al realizar los procesos de reciclado es factible el ahorro energía, agua etc. Esto hace posible que los contaminantes que actualmente se tiran al medio ambiente puedan ser reducidos.

En el primer capítulo se investiga la producción mundial de aluminio, revisando datos estadísticos de producción en diferentes países, donde se produce aluminio primario (aluminio obtenido del mineral), además de mencionar los beneficios para los países que los usan, como son: Ahorro de energía, disminución de la contaminación y la implementación de fuentes de empleo, por mencionar algunos.

En el segundo capítulo se menciona la incidencia de la legislación ambiental, donde se revisan las leyes concernientes al reciclado, su separación y acopio del aluminio, que son fundamentales para el desarrollo de los procesos de reciclado, para obtener los máximos beneficios de recuperación del aluminio, evitando así problemas legales, tanto de clasificación de chatarra, como de contaminación por los procesos usados.



En el tercer capítulo se investiga la importancia del reciclado en el mundo, además se hace hincapié en la importancia del reciclado que hay a nivel mundial y de las acciones que toman los gobiernos de otros países en materia de educación y a la importancia de reciclar aluminio y desechos del mismo.

En el cuarto capítulo se mencionan los procesos actuales, que existen en entorno al reciclado, ya sea, procesos investigados a nivel matemático y computacional (simulaciones), plantas piloto o que se apliquen en plantas industriales con mejoras a los procesos ya existentes, para que sirva de referencia para estudios posteriores del reciclado de aluminio, además de mencionar los aspectos técnicos de los procesos mencionados en este trabajo de investigación.

Posteriormente se hace un análisis y discusión de los resultados obtenidos de esta investigación, haciendo propuestas de implementación en México; de manera que al final se llegan a las conclusiones de este trabajo monográfico, de actualización.

### **Antecedentes y justificación**

El aluminio puro es un metal suave, blanco y de peso ligero, al ser mezclado con otros aleantes como: Silicio, Cromo, etc., se producen una serie de aleaciones, con propiedades específicas que se pueden aplicar para propósitos diferentes. Los compuestos de aluminio forman el 8% de la corteza de la tierra y se encuentran presentes en la mayoría, de las rocas y minerales aunque sea en pequeñas cantidades.

México ocupa los últimos lugares en producción de aluminio (esta producción es de concentrado de alumina que se importa), pero el uso de aluminio es importante para la elaboración de perfiles para edificios, además la industria automotriz lo está utilizando en motores de automóviles. El reciclado de aluminio permite obtener una gran variedad de productos, no simplemente latas, hay otros productos como son: láminas, moldes, perfiles de aluminio, diversos componentes para automóviles, etc., por ejemplo en USA una de las primeras opciones para el

reciclado de aluminio es el uso de latas de bebidas, A nivel mundial se estima que un 80%, de todas latas fabricadas son de aluminio.<sup>1</sup>

Los métodos de reciclar latas, y desperdicios de aluminio depende en gran medida de la recolección, porque requieren adecuados métodos de clasificación, acopio y conciencia social para el rehúso de las latas; de este modo se puede recuperar una gran cantidad de aluminio (alrededor de un 90%). Otra consideración es que la naturaleza del mercado secundario del aluminio depende, de los costos de operación y de aranceles, donde alrededor de un 60% de las latas, se reciclan, cubre el proceso de reciclaje, además de utilizar un circuito cerrado y además un 40%, se clasifica en aleaciones para la industria automotriz. Es común que las compañías que producen latas o lámina para latas de aluminio aseguren la compra total de todas las latas que puedan ser recuperadas e incluso provean a las comunidades de equipos para comprimir las y transporte hacia las plantas recicladoras. A pesar de que las latas representan un bajo porcentaje de peso, significan un elevado porcentaje de ingreso en los programas de colecta selectiva y centros de acopio de residuos reciclables.

Aunque el reciclaje es muy favorecido por la sociedad, en ciertos casos puede tener algunos aspectos negativos.

Sin embargo, en muchos casos se han creado expectativas irreales acerca de la contribución que el reciclar puede convertirse en un sistema de manejo integral de residuos. El reciclar es un proceso complejo que en sí consume recursos durante el transporte, selección, limpieza y reprocesado de los materiales reciclables, además, en este proceso también se producen residuos, por todo ello, el reciclaje debe ser considerado como parte de una estrategia integral para manejar los residuos, no como un fin en sí mismo, y promoverse únicamente cuando ofrece beneficios ambientales globales.

Un manejo sustentable de residuos, que proporcione mejoras ambientales reales de una manera económica y socialmente aceptable, sólo puede ser alcanzado a través de metas, que sean parte de objetivos ambientales más amplios, tales como: reducción de gases invernadero, disminución de tasas de residuos que llegan a rellenos sanitarios y maximización del aprovechamiento de recursos <sup>2</sup>

El beneficio ambiental de reciclar varía entre los materiales y también conforme a las tasas de reciclaje, de manera que altas tasas de reciclaje generarían necesariamente mejoras ambientales globales, por ejemplo, se ha encontrado que bolsas de plástico no reciclables son mejores que botellas reciclables en términos de consumo de energía, emisiones al aire y al agua y generación de residuos sólidos, ya que desde un inicio usaron mucho menos material. Los beneficios obtenidos del reciclar son mayores donde existen materiales de residuos limpios y disponibles en grandes cantidades; por ejemplo, de fuentes comerciales e industriales, de tal manera que el mayor esfuerzo debe de ir dirigido hacia estas fuentes. También, se considera que la selección obligatoria de materiales reciclables a nivel domiciliario e institucional, constituye una acción esencial para el éxito de cualquier programa de reciclado. Los residuos domiciliarios contienen pequeñas cantidades de muchos materiales mezclados y frecuentemente contaminados, no todos los cuales pueden ser reciclados. La separación de residuos domiciliarios (hogares), es potencialmente un gran recurso en donde pueden reciclar varios materiales incluyendo latas de aluminio, Además de crear consciencia de los residuos que generan en los hogares.

Por esta causa es importante que en México se inicien los estudios para diseñar la manera de recuperar la gran cantidad de latas, perfiles, partes de automóviles, etc., para reciclar la mayor cantidad de aluminio posible.

El proceso para reciclar aluminio no es muy contaminante, así la seguridad del personal obrero no es de alto riesgo, y no es necesario que utilicen trajes aluminados para protegerse del calor, que radia el metal fundido como es el caso de hierro fundido.

Además de utilizar mascarillas purificadoras de aire, utilizaran solamente, guantes de carnaza, espinilleras de carnaza, etc., lo cual no implica un gran gasto para el empresario, como es el caso del reciclado del acero, cobre, bronce, etc. Ya que en estos procesos se necesitan gran seguridad para el personal que labora dentro de la planta debido a las altas temperaturas de fusión de estos metales.

Además se tiene que cuidar el ambiente ya que dichos proceso de reciclado se ahorra energía, agua etc.

Esto hace que se los contaminantes tenga menor impacto hacia el medio ambiente.<sup>3</sup>

En México hace falta una cultura del reciclaje, además de una legislación bastante clara, por que es muy importante hacer algo para mejorar o proponer métodos de reciclaje del aluminio de los otros materiales ya mencionados, que se pueden reciclar ó reutilizar esto es una gran oportunidad de negocio y desarrollo para México.

## **Introducción.**

Proteger el ambiente, evitar desaprovechamientos de recursos naturales no renovables y utilizar la energía mas racionalmente, son las mayores preocupaciones de la sociedad mexicana y de muchos países industrializados.

La administración de los desechos es un importante factor del cuidado del medio ambiente, y debe ser la preocupación de los científicos, industriales, consumidores y legisladores (responsables de la definición de las políticas), en el sentido de equipar y mantener el progreso técnico y el crecimiento, preservando e incrementando al mismo tiempo el bienestar de la población y el medio ambiente.

La sobre explotación del medio ambiente, racional e irracionalmente pone a pensar a los especialistas de distintas áreas, en que los recursos naturales se tendrán que terminar algún día, por lo que hay que buscar, alternativas y soluciones para no acabar con los recursos que aun existen.<sup>4</sup>

Una de estas alternativas o soluciones es el reciclar recursos ya existentes (como es el caso de vidrio, papel, metales etc.)

En este trabajo se presenta las investigaciones mas recientes acerca del reciclaje de aluminio, revisando desde procesos industriales, situación económica, expectativas de desarrollo del reciclado de aluminio, e implementación, en el país en cuanto al tema de reciclado de aluminio, con esto se puede ir poco a poco, con la finalidad de estar a la vanguardia en cuanto al tema de reciclado de este metal, tan valioso que incluso puede ser estratégico para México.

También se mencionan investigaciones hechas alrededor, del mundo de simulaciones matemáticas, pulvimetalurgia y reciclado en solución acuosa.

Es importante estar actualizados en relación a estos procesos, ya que esto significa desarrollo y oportunidades de negocios para la fabricación de piezas, más económicas y de mejor calidad, y con un costo bajo, lo cual se vería reflejado, en un beneficio para empresarios y la sociedad en general.<sup>5</sup>

## **Reciclado.**

Al final de la vida útil, (al ser utilizado como lata y después de vaciar el contenido, sobras de la manufactura de piezas en tornos, perfiles, etc.) el aluminio puede ser utilizado una y otra vez sin que se pierda su calidad, ahorrando energía y materiales en bruto. Reciclando un kilogramo de aluminio se pueden ahorrar 8 kilogramos de bauxita, 4 kilogramos de productos químicos y 14 kW/hr de electricidad. Cualquier cosa hecha de aluminio puede ser reciclada repetidamente: no solo latas, también hojas, láminas, moldes, marcos de ventanas, muebles de jardín, componentes de automóvil que pueden volver a fundirse y utilizarse para hacer productos nuevos. La tasa de reciclaje para latas de aluminio está ya por encima del 70% en algunos países del mundo. La industria del aluminio ha iniciado varios proyectos, para alentar su reciclaje en varios países. El material de desecho en todas sus fases es meticulosamente recolectado y clasificado por tipos de aleación por todas las compañías de aluminio. A diferencia de otros metales, el aluminio de desecho tiene un valor significativo y buenos índices de precios en el mercado. Las compañías de aluminio han invertido en dedicarle un lugar, en las plantas de reciclaje, al procesamiento de la transformación secundaria del metal.

En el caso de las latas de bebidas, el proceso utiliza gas recolectado de las sustancias volátiles, que están en las superficies de las latas que proveen calor al proceso. En Europa, las latas de bebida de aluminio ya alcanzaron el objetivo mínimo marcado por la directiva europea en Empaque y Desecho para el año 2001. Suecia con 92% y Suiza con 88% son los campeones europeos de reciclaje de latas. El promedio europeo es de 40%, aumentando 10% desde 1994. El reciclaje de latas de bebida de aluminio elimina desperdicios, ahorra energía y conserva los recursos naturales. Las latas de aluminio son buenas para el medio ambiente, para la economía y son 100% reciclables.<sup>6,7</sup>El aluminio es el único material de empaque que cubre más allá de su costo de recolección, proceso y traslado al centro de reciclaje.

La industrial del aluminio está trabajando con los fabricantes de componentes de automóviles para permitir que los carros con componentes de aluminio sean fácilmente desmantelados y que los desechos sean clasificados y reutilizados para partes nuevas idénticas. En la mayoría de otros proyectos de reciclaje, los desechos de material son rara vez reutilizados para su misma aplicación, este tiene que ser degradado a una aplicación que tiene menos propiedades de metal. La tasa de reciclaje para aplicaciones de construcción y transporte va desde el 60 al 90% en varios países. El metal es reutilizado en aplicaciones de alta calidad. <sup>8,9</sup>

### **Objetivo general.**

Proponer alternativas de abastecimiento para México, por medio del estudio de los procesos más importantes de reciclado de aluminio a nivel mundial.

Para el logro de este objetivo, se proponen los siguientes objetivos particulares

### **Objetivos particulares**

- Presentar los procesos más importantes del reciclado de aluminio.
- Revisar, analizar y comparar los distintos enfoques del reciclado de aluminio a nivel mundial así como las ventajas y desventajas de los métodos analizados.
- Proponer alternativas de regeneración de aluminio para México.
- Analizar y comparar los procesos de reciclado, así como revisar la investigación mas reciente, para realizar estudios que sirvan a México y así proponer metodologías para el máximo beneficio del reciclado de aluminio.

## Capítulo 1.

### Producción de aluminio en México y a nivel mundial.

#### 1.1 Producción mundial de aluminio.

La industria mundial, produce alrededor de 22 millones de toneladas de aluminio primario al año. La mayor parte de este metal, proviene aproximadamente, de 120 fundidoras de aluminio primario, localizadas en todo el mundo, que reportan sus cifras al International Primary Aluminum Institute (IPAI) y se incluyen en el sistema estadístico del mismo, estas fundidoras son las responsables del 90% de la producción de aluminio primario; pero excluyen a china quien planeaba producir 2.7 millones de toneladas. Hay registradas 100 fundidoras en china aunque la mayoría son pequeñas.

La proporción de aluminio producido del desecho (aluminio secundario), ha ido aumentando rápidamente.<sup>10, 11</sup>

Para la industria del aluminio, la conservación de la energía es más que una simple responsabilidad. El proceso en el cual se extrae la bauxita (mineral con alto contenido de aluminio), requiere de electricidad, aproximadamente 16.5 Kw/hora por cada kilogramo de metal producido, con el reciclado se ahorra un 95% de la energía para la obtención de aluminio secundario, sin contar con la gran cantidad de agua que se utiliza en el proceso, por lo tanto se ahorra energía y agua al fabricar nuevas piezas de aluminio para los distintos sectores que se requieran.<sup>12</sup>

La producción de aluminio a partir de materia prima (bauxita) se resume a continuación.

1. La bauxita rica en compuestos de aluminio se explota en los yacimientos.
2. La bauxita es refinada para quitarle impurezas como es el óxido de hierro, este proceso de refinamiento es de multietapas y produce un polvo blanco muy fino, llamado alúmina, el cual está compuesto por óxido de aluminio.
3. La alúmina es transportada a una planta de reducción, donde es depositada dentro de una celda generalmente de 6 metros de longitud por 1.8 metros de ancho y 0.91 metros de profundidad.



5. Una planta típica de reducción opera cientos de celdas. Una vez que la alúmina se encuentra en las celdas, una corriente eléctrica continua es utilizada para la separación del aluminio y el oxígeno. Al momento que la corriente se aplica, el aluminio fundido se deposita en el fondo de las celdas.
6. El aluminio fundido se transfiere de las celdas a un horno, donde pequeñas cantidades de otros metales añadidos por ejemplo silicio para generar las características deseadas en el producto metálico final.
7. La aleación metálica fundida es depositada dentro de moldes o lingoteras para su requerimiento de fabricación final.<sup>13</sup>

El ahorro de energía que el reciclado de aluminio provee a la industria, se encuentra en que los pasos de explotación, refinación y reducción, dichos pasos son innecesarios, siendo él último de estos el que representa el mayor consumo de la energía necesaria para la producción de aluminio.<sup>14</sup>

## **1.2 Producción en México.**

En México, la producción de aluminio primario es prácticamente nula con respecto a nivel mundial, por lo tanto sólo se importa; a continuación se presentan los volúmenes que se importan a nuestro país (tabla 01), tanto de aluminio como de mineral bauxita (tabla 02). Estos datos justifican la importancia del reciclado, para evitar lo menos posible la importación, ya que así los costos se reducen.<sup>15</sup>

Tabla 01 Importación de aluminio.

	Valor(dls)	Volumen(Kg)	Valor(dls)	Volumen(Kg)	Valor(dls)	Volumen(Kg)
País	2000	2000	2001	2001	2002	2002
Estados Unidos	869,926	371,296	861,474	598,558	757,014	185,376
Alemania	0	0	1,115	318	0	0
Italia	0	0	2.05	90	0	0
Francia	0	0	186	50	0	0
Canadá	193	14	3.9	631	90,888	17,649
Reino Unido	1,249	157	50.06	9,314	78,597	15,252
Corea del Sur	0	0	0	0	345	75

Fuente: Gaceta del Instituto Mexicano del Aluminio. No.165 [citado 26 Noviembre 2004] disponible en:URL:<http://www.world-aluminium.org/pubication.html>

Tabla 02 Importación de Bauxita.<sup>101</sup>

	Valor(dls)	Volumen(Kg)	Valor(dls)	Volumen(Kg)	Valor(dls)	Volumen(Kg)
País	2000	2000	2001	2001	2002	2002
Estados Unidos	777,144	9,875,556	1,157,161	11,157,849	1,580,487	13,202,172
Brasil	103,745	622,965	89,441	474,558	0	0
China	2,955,882	30,768,574	1,508,869	14,611,392	1,549,668	16,125,441
Guyana Francesa	115.482	635,419	30,948	124,894	0	0

Fuente: Gaceta del Instituto Mexicano del Aluminio. No.169 [citado 26 Noviembre 2004] disponible en:URL:<http://www.world-aluminium.org/pubication.html>

### 1.3 Beneficios del reciclado.

#### 1.3.1 Beneficios ambientales

El problema de la basura es difícil de visualizar por que no se presenta en forma inmediata, sino a largo plazo, cuando la contaminación rebasa cualquier magnitud manejable. La contaminación debe evitarse con medidas apropiadas, pues de otra manera, se pasa lentamente a un progresivo envenenamiento del ambiente y del patrimonio común.

A primera vista, el ciclo ecológico de la basura parece no ser un problema tan urgente como otros que apremian al país, pero esta no es la razón para ignorarlo y posponerlo, por el contrario, es el momento de analizarlo y plantear alternativas de acción que resulten en una mejora significativa de la situación actual.<sup>16</sup>

El reciclado de aluminio, es una alternativa viable para ir desahogando el problema de la basura, en una buena proporción.

Los principales beneficios ambientales que se encuentran en el reciclado de latas de aluminio y piezas de automóviles, se tiene: El que la gente no tenga que desechar este material a la basura en sus hogares, lo cual se traduce en menor cantidad de desechos sólidos en la basura; aunque la proporción de latas de aluminio y piezas automotrices en las corrientes de desechos es grande, y están bien organizados, el volumen que representan en los basureros municipales puede ser mayor debido a la disminución de las labores de los departamentos de limpia de cada ciudad de la república, lo que les permite otorgar servicios más eficientes, al concentrar sus esfuerzos en la limpia de la vía pública, efectuar un manejo de la basura.

Si bien nuestro país no es productor de bauxita y por lo tanto mucho menos de aluminio, pero produce una buena cantidad de aluminio secundario, aunque todavía no satisface el mercado nacional, esto representa<sup>17</sup> un ahorro en los recursos naturales, mientras las importaciones de aluminio primario se verán disminuidas con el paso del tiempo, reciclarlo traerá beneficios económicos importantes.

El reciclado de aluminio es tan importante, que los embotelladores de refrescos y cervezas, recomiendan con mensajes impresos en cada lata reciclar estos envases. Esto es una clara muestra de la preocupación de los productores y distribuidores de bebidas, no-solo en la calidad de sus productos, sino también en la calidad del ambiente.<sup>18</sup>

### **1.3.2 Beneficios sociales.**

El reciclado debe verse como una oportunidad de negocio, y por lo tanto como un generador de empleos, debido a la infraestructura que debe de crearse en nuestro país, ya que se debe proporcionar al consumidor (abastecedor primario de desechos de aluminio) lugares cercanos a su domicilio, donde puedan vender sus desechos. Este centro de acopio es solo una parte de los negocios que pueden crearse, ya que todo involucra una cadena productiva, donde son necesarios muchos otros servicios.

Con un programa enfocado a la recolección y reciclado del desecho de aluminio (cualquiera que este sea) en forma masiva, se creará en los consumidores conciencia, que los lleve a modificar sus preferencias comerciales hacia los productos con empaques reciclables, modificando también sus hábitos en la manera de desechar la basura, por que verán beneficios económicos no solamente en la venta de aluminio de desecho sino también de otros productos.<sup>19</sup>

El valor económico que tendrían los desechos de aluminio, propiciara que diversas asociaciones de calidad, escuelas, orfanatos, asilos y un número de organizaciones recolectaran, desperdicios de aluminio para su beneficio económico. Como es el caso del programa de recolección que es llevado a cabo actualmente por escuelas en países industrializados.

Debe considerarse que para cierto número de programas, los recolectores (pepenadores, compradores de fierro viejo), los tiraderos, deben tomarse en cuenta como parte fundamental de cualquier estrategia de reciclado. Con su experiencia y uso de la tecnología barata, se ha dado muestra de retribución económica, elevando su nivel de vida. Además esto derribaría en buena parte una barrera importante para el funcionamiento de estos programas, ya que estos no se verían afectando su forma de vida.<sup>20</sup>

Se considera prudente mencionar que todas las acciones de reciclado en las comunidades serán de gran ejemplo para los niños, en cuanto tienen que cuidar los recursos con los que se cuenta para que, no se vean afectados en el futuro.<sup>21</sup>

### **1.3.3 Beneficios económicos**

Aunque el tema de esta tesis esta enfocada al reciclado de aluminio, existen diversos materiales con reciclado potencial (cartón, vidrio, plásticos, papel, etc. ) que pueden tomar las mismas medidas, reduciendo entonces la basura a desechos sólidos biodegradables o poco contaminantes. Los beneficios económicos asociados con el reciclado de aluminio con la fuerza directriz que se encuentra detrás de su continuo crecimiento y éxito.<sup>22</sup>

Como ejemplo en los Estados Unidos de Norte América, los consumidores reciclan actualmente sus latas de aluminio en aproximadamente 10.000 empresas. La naturaleza de las latas de aluminio hace que su recolección, almacenamiento y su recuperación sea más conveniente. Las latas y desechos de partes automotrices son ligeras y de fácil compatibilidad. Estas características hacen que el almacenamiento sea eficiente y su transporte a los centros de reciclado es menos problemático que con otro tipo de metales, como por ejemplo el acero, cobre, bronce, etc., que son mas pesados.

Estos beneficios, asociados con el alto precio que se paga con el desecho de aluminio, han hecho que las compañías de reciclado de aluminio sean más atractivas para millones de Norteamericanos, ya que para algunos significa ingresos extras, hasta formas de ganarse la vida.<sup>23</sup>

### **1.3.4 El mercado nacional del reciclado del aluminio.**

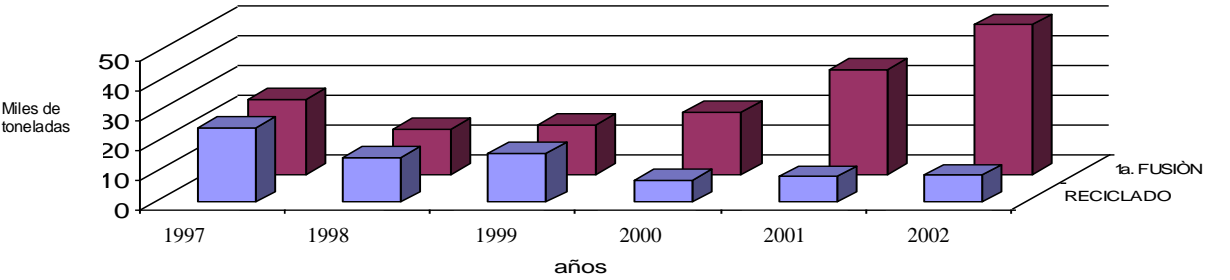
Como ya se mencionó a principios del capítulo, en México no existen yacimientos de bauxita mineral de la cual se extrae el aluminio, dicho aluminio se obtiene a partir de importaciones de bauxita, en otras palabras, casi la totalidad del aluminio que existe en México es importado.

Las importaciones de aluminio que se realizan incluyen tanto lingotes de primera fusión, productos semielaborados y terminados, que representaron en 1999 aproximadamente el 47% del consumo nacional aparente de aluminio; mientras que la producción de aluminio mexicano, únicamente representó el 21% sin incluir el reciclado, el cual fue equivalente al 26%, como se muestra en la **Grafica 01** donde se aprecia la cantidad de aluminio primario que se obtiene, y la cantidad de

aluminio reciclado, con ello se observa una pequeña participación en la obtención de aluminio secundario.<sup>24</sup>

Grafica01

Importación de lingotes



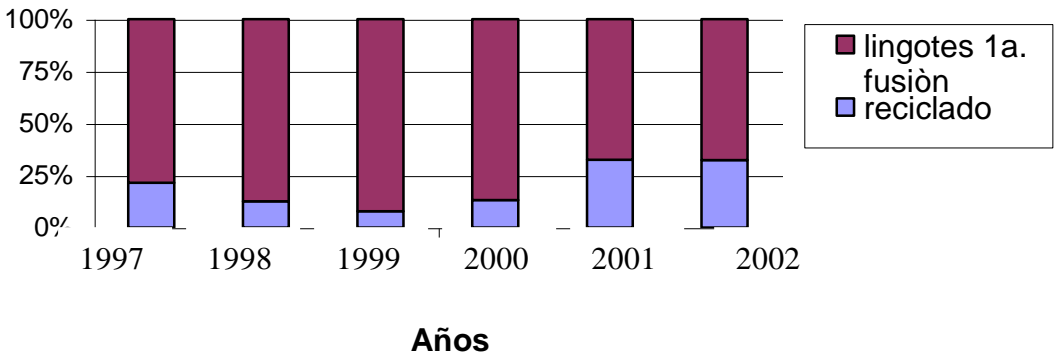
Grafica: 01 Importación de lingotes a México, comparado con los niveles de reciclado que hay en el país.

Para el año 2000, el consumo nacional aparente de aluminio fue de 243,135 toneladas, tomando en cuenta las importaciones y exportaciones de productos terminados y semi terminados.

A continuación, en la gráfica 02, se tiene un esquema para el consumo nacional de lingotes de aluminio de primera fusión que de un 65% aproximadamente, mientras que los lingotes de reciclado corresponde a un 35% aproximadamente.<sup>25</sup>

Grafica 02

Reciclado con respecto al consumo nacional de lingotes

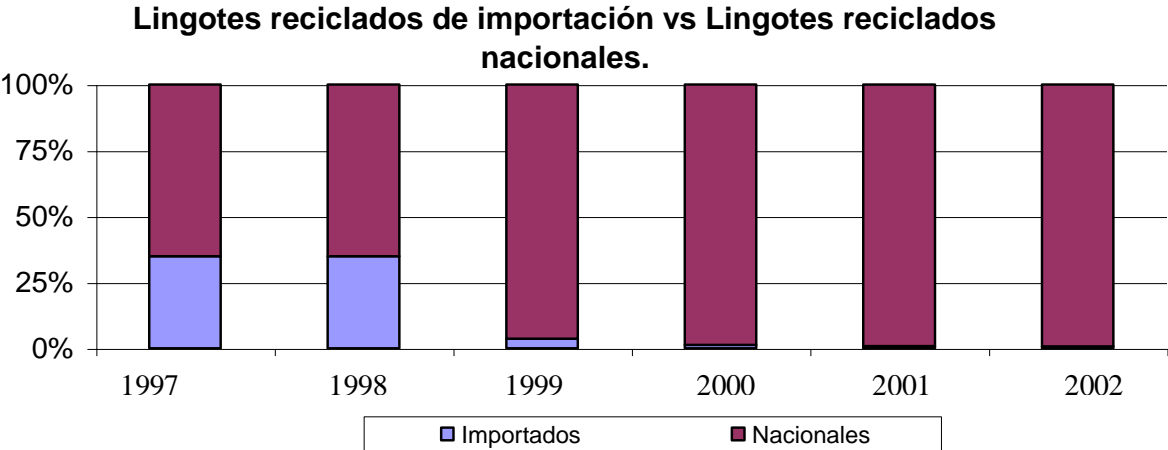


Grafica: 02 Porcentaje lingotes reciclados de importación vs lingotes de reciclados en México.

Existen importaciones de lingotes de aluminio reciclados, aportando un 4% al total de lingotes consumidos; es de llamar la atención que el reciclado nacional es la fuente con mayor aportación de lingotes, siendo de un 38.8% aunque esto ayuda a la economía nacional reduciendo las importaciones de aluminio, existen aplicaciones potenciales, sin explotar, lo cual disminuirá aun más las importaciones de aluminio, además que el reciclado actual no ha sido explotado a su máximo nivel.<sup>26</sup>

A continuación se muestra en la gráfica 03 las importaciones de lingotes reciclados nacionales, con lo cual se observa la disminución de la importación de lingotes y el aumento de aluminio en la producción a nivel nacional.

Grafica 03



**Grafica: 03** Porcentaje lingotes reciclados de importación vs lingotes de reciclados en México.

El bajo desarrollo del reciclado Mexicano se debe principalmente a que la tecnología utilizada es de ciclo abierto, es decir el producto reciclado no vuelve a ser un producto similar utilizado, y todos los productos de aluminio son reciclados en una misma mezcla, sin considerar que las aleaciones pueden ser distintas, generando así un producto sin una composición determinada, que solo sirve para productos de bajo valor agregado.

Uno de los segmentos que se ve beneficiado con el desarrollo del reciclado de aluminio es el de los envases y piezas automotrices, ya que estos son fabricados con aluminio. Para su reutilización, es necesario que una vez que estén los Lingotes, estos pueden ser utilizados para los distintos usos industriales o artesanales.<sup>27</sup>

#### **1.4 Acopio y Separación.**

En México existen hasta ahora 4 estrategias de acopio y separación en general, a las que se pueden recurrir: 1) separación de origen, 2) separación en planta procesadora, 3) centros de recolección y comercialización de materiales reciclables y 4) recolección y comercialización de materiales por los recolectores (pepenadores y compradores de fierro viejo), detallando:<sup>28</sup>

1. - La separación de origen requiere que los usuarios del sistema de limpia separen la basura de acuerdo al tipo de material: vidrio, cartón, papel, aluminio, acero y otros desechos orgánicos. Sin embargo este método representa varios retos.

Se necesita regularizar el sistema vigente de recolección de basura. Es difícil pensar que se pueda organizar la separación de origen si no existe un servicio de recolección que de servicio a toda la población, y en cuanto a muchas colonias de la ciudad los ciudadanos simplemente depositan la basura en ciertos depósitos y en peores casos la tiran en parque o avenidas.<sup>29</sup>

2. - La separación de materiales en una planta procesadora de basura, no requiere que los ciudadanos la separen. Esta se recolecta normalmente y se lleva a la planta, donde se clasifican los materiales que circulan en bandas transportadoras. Estas plantas utilizan personal para ciertas funciones, pero además recurren a sistemas de separación por corrientes de aire, por magnetismo, cribados en mallas y otros métodos. Este tipo de separación será viable en la medida que se privatice el sistema de limpia.<sup>30</sup>

3. - Se establecen centros de recolección móviles o fijos, con grandes contenedores para cada tipo de material.



4. - La separación a cargo de recolectores se efectúa en muchos países. En el DF. las actividades de recobrar los materiales que pueden ser reutilizable o que tengan, un valor de venta.<sup>31</sup>

## **Capítulo 2**

### **Legislación Ambiental**

#### **2.1 Aspectos legales del reciclaje en México.**

En este capítulo, se habla del reciclaje de residuos sólidos municipales (RSM) en México que es un aspecto que no se ha trabajado mucho en materia de legislación ambiental, en la Ciudad de México, ya se están llevando a cabo iniciativas de ley para separar la basura. En comparación con otros sistemas jurídicos, en materia ambiental, el que actualmente se tiene, se encuentra rezagado. La regulación del manejo de residuos sólidos está vinculada con una serie de instituciones y categorías ambientales que también pueden tener un fin económico.

El manejo de residuos sólidos, se encuentra regulado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) que es la encargada de expedir la ley general para la prevención y gestión integral de los residuos. Como se indica en el artículo 5 del capítulo único del ámbito y aplicación de la ley.<sup>7, 36</sup>

Artículo **XXXIII**. Residuos Sólidos Urbanos: Los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por esta Ley como residuos de otra índole. Esto es importante ya que la chatarra se encontraría en este rubro, ya que en este apartado, la población es donde genera más desechos.

Artículo **XXXIV**. Responsabilidad Compartida: Principio mediante el cual se reconoce que los residuos sólidos urbanos y de manejo especial son generados a partir de la realización de actividades que satisfacen necesidades de la sociedad,

mediante cadenas de valor tipo producción, proceso, envasado, distribución, consumo de productos, y que, en consecuencia, su manejo integral es una corresponsabilidad social y requiere la participación conjunta, coordinada y diferenciada de productores, distribuidores, consumidores, usuarios de subproductos, y de los tres órdenes de gobierno según corresponda, bajo un esquema de factibilidad de mercado y eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social; además está estipulado que hay que controlar los residuos y que el municipio o delegación puede conceder autorización para uno o más permisos, para hacerse cargo de los residuos sólidos urbanos, como se menciona en el Artículo **XXXIII**.

**III.** Controlar los residuos sólidos urbanos

**V.** Otorgar las autorizaciones y concesiones de una o más de las actividades que comprende la prestación de los servicios de manejo integral de los residuos sólidos urbanos

**XXVI.** Reciclado: Transformación de los residuos a través de distintos procesos que permiten restituir su valor, económico evitando así su disposición final, siempre y cuando esta restitución favorezca un ahorro de energía, y materias primas sin perjuicio para la salud, los ecosistemas o sus elementos

Esto es de gran importancia ya que el reciclado del aluminio cumple perfectamente con esta disposición, con lo cual es importante comenzar a hacer propuestas y alternativas para México.

Como se ha mencionado el manejo de los residuos sólidos es un asunto que le corresponde a los gobiernos locales, estatales y básicamente a los gobiernos municipales. Sin embargo, hay reglamentos principalmente en materia del servicio público de limpia; en casi todos los estados se encuentra este tipo de reglamentaciones, y lo único que hacen es establecer una serie de disposiciones, para regular los dos aspectos siguientes:

- La posibilidad de otorgar concesiones para la prestación del servicio público.

- Establecer una serie de disposiciones demasiado genéricas sobre recolección y disposición final.

En materia de residuos sólidos municipales, la ley se limita a dividir jurisdicciones con las entidades federativas y los municipios, a las autoridades locales les corresponde autorizar y supervisar directamente, todas las actividades, desde su recolección hasta la disposición final de residuos; mientras que la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE) se queda a cargo del control de residuos peligrosos. Con respecto a los residuos sólidos, a SEDUE se le asignan una participación bien limitada que incluye, la publicación de normas técnicas para la operación de rellenos sanitarios, y promover acuerdos de coordinación y asesoría con gobiernos estatales y municipales, para establecer mejores sistemas de manejo de residuos sólidos, así como para buscar alternativas de reutilización y con propuestas de circuitos de recolección, para una mejor disposición de los mismos.

La ley deja en claro una buena disposición para cambiar, las estrategias de manejo de residuos. Recomienda reducir el monto de desechos, buscar alternativas y establecer acciones de reciclaje y rehúso de materiales. Designa a SECOFI (secretaría de comercio y fomento industrial) como promotora de la producción y uso de empaque que minimicen los residuos; pero las buenas intenciones no se han materializado en los planes, de acción concretos, que convezan de los cuales habrá cambios para mejorar en materia de ecología y desechos sólidos. Esto se hace evidente cuando consigna la disposición final de residuos en rellenos sanitarios, siendo que tiene poco control real sobre ellos.

No hay ninguna disposición en materia de rehúso, reciclaje, tratamiento, almacenamiento, etc., como las hay en otros sistemas; como por ejemplo, Brasil donde se esta regulando los residuos sólidos y sobre todo aquellos en donde pueden obtener recursos económicos en este caso del desperdicio de aluminio.

Desde la legislación ambiental, la LGEPA, el manejo de materiales y residuos sólidos y peligrosos se realiza mediante disposiciones en materia de prevención y control de la contaminación del suelo. La ley, diferencia dos tipos de residuos que son los residuos sólidos y residuos peligrosos.

En cuanto a los residuos sólidos la ley simplemente señala sólo aquellos no peligrosos que pueden ser reciclados, lo cual dificulta la aplicación de la ley, así como ejercer los actos de autoridad. Esta es una cuestión muy importante que hay que resolver; los residuos sólidos, simplemente se dice: Son aquellos que no son considerados peligrosos, que proviene de actividades que se desarrollan en casa-habitación, en sitios y servicios públicos, o residuos industriales, que no provienen de su proceso. Todo este conjunto de desechos son los que desde la ley se consideran como residuos sólidos.

En cuanto al reglamento de limpia, se propone una estrategia novedosa de manejo de los residuos domésticos y municipales para la Ciudad de México.

Así el reglamento refleja un cuidadoso análisis de las condiciones y necesidades actuales en materia de residuos y contaminación. Parece más preocupado en buscar la limpieza y que los ciudadanos hagan conciencia de la importancia de clasificar la basura, para su reducción, reutilización y reciclaje, además de comenzar a aplicar sanciones monetarias a los ciudadanos que no quieran cumplir con esta disposición. La población sólo tiene cabida como usuario, al depositar su basura en el lugar y horario asignado, ya no se va a limitar a mantener limpio el frente de su domicilio o propiedad y tirar su basura donde sea, lo cuál es su objetivo.

Entre las principales preocupaciones que dan lugar a una nueva *ley en el Programa de gestión integral de residuos sólidos para el Distrito Federal*, están: El limitado espacio con el que se cuenta para disponer los desperdicios y los costos económicos y ambientales que trae consigo la producción de basura.

Por ello, el objetivo más importante del programa es disminuir la generación de basura a través de medidas de separación de residuos desde la fuente, es decir, desde las casas, oficinas, comercios y empresas.

¿En dónde se aplicará?

El programa operará en las 16 delegaciones del Distrito Federal, no incluye a los municipios conurbanos del Estado de México. Por ley, todas las delegaciones tienen la obligación de aplicarlo.

¿Qué tipo de residuos se contemplan?

No se incluye el manejo de todos los residuos. El programa atiende los residuos identificados como Residuos Urbanos (provenientes de domicilios y vías públicas) y los Residuos de Manejo Especial, que son todos aquellos que requieren sujetarse a planes de manejo, como son los desechos de la construcción, las llantas usadas, los generados en terminales de transportes, los derivados de actividades industriales y agrícolas y los provenientes de servicios de salud, entre otros. No se atiende a los residuos peligrosos, pues éstos, por ley, deben ser manejados por el gobierno federal.

¿De qué manera se realizará la separación doméstica?. En cuanto al manejo de residuos urbanos, el programa contempla la separación de residuos en dos categorías: orgánicos e inorgánicos. Esta separación, aunque limitada, permitirá el aprovechamiento de orgánicos para la producción de composta y facilitará la separación de cada uno de los materiales inorgánicos que son reciclables. El resultado final será la disminución en el volumen de desperdicios que se depositan en el relleno sanitario, el mejoramiento de áreas verdes a partir de la aplicación de fertilizante orgánico y el incremento en el reciclaje de diversos materiales. ¿Quiénes son los principales actores del programa de reciclaje?

El principal reto es, sin duda, que los ocho y medio millones de habitantes del Distrito Federal separemos nuestros residuos en orgánicos e inorgánicos. De igual importancia es garantizar la recolección y disposición de los desperdicios separados como parte de las funciones del sistema de limpia de cada una de las delegaciones.

Lograr que la ley y el programa funcionen es tarea de todos, pero tienen una responsabilidad relevante los maestros, las amas de casa y el personal de servicio doméstico. También es de central importancia, la función del personal de limpia, ya que jugará el papel de educar y dirigir la forma en la que se manejen los residuos.

A continuación se mencionan los artículos más importantes de la ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal<sup>5</sup>.

**Artículo 69** fracción II de Octubre de 2004 todos los habitantes del Distrito Federal debe separar los residuos en: ORGANICOS e INORGANICOS mediante el uso de dos recipientes.

**Artículo 3** fracción XXXII de Residuos ORGANICOS: Todos los residuos sólidos biodegradables. Estos son pan, tortillas, cáscaras de frutas y verduras, residuos de alimentos, cascarones de huevo, hojarasca, poda de pasto, ramas, etc.

**Artículo 3** fracción XXXIII de residuos INORGANICOS: Todo residuo que no tenga características de residuo orgánico y que pueda ser susceptible a un proceso de valoración para su reutilización y reciclaje, estas son: vidrio, papel, cartón, latas, envases de aluminio, ropa, textiles, utensilios de cocina, artículos de oficina, cerámicas, etc.



Figura 01. Tríptico de la separación de la basura repartida, a los habitantes en el D.F. e información en Internet.

### **Sanciones.**

Se multará por no separar los residuos (basura) que se genere en la casa de 10 a 150 días de salario mínimo vigentes en D.F.

### **2.2 Clasificación de la basura en la Ciudad de México.**

En la ciudad de México se concentra casi la cuarta parte de los residuos sólidos que se generan en todo el país. Esta enorme cantidad de basura es causa y a la vez expresión de graves desequilibrios ambientales, que para la mayoría de los habitantes de la ciudad son desconocidos. Por otro lado, el manejo de estos grandes volúmenes de desperdicios representa problemas de difícil solución y enormes costos económicos para los gobiernos de la ciudad.

A partir del primero de enero del 2004, la nueva Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal obliga a separar nuestros residuos en orgánicos e inorgánicos. El propósito es reducir la generación de residuos a través del reciclaje. Para poner en práctica la nueva Ley el Gobierno del Distrito Federal, en coordinación con las 16 delegaciones, inició la operación del Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos para el Distrito Federal.



Figura 02 Separación de basura por medio de distintos botes.



### **2.3 ¿Cuántos residuos se generan en la Ciudad de México?**

La generación de residuos en la Ciudad de México ha ido cambiando en las últimas décadas: mientras en 1950 generábamos diariamente 0.37 kilogramos por persona, en la actualidad se estima que cada uno de nosotros genera un promedio de 1.4 kilogramo de residuos al día.

En el Distrito Federal se generan 12,000 toneladas de residuos al día, lo que aproximadamente equivale a llenar el Estadio Azteca en tres meses. Se considera que la zona conurbada del Estado de México, actualmente se generan 21,000 toneladas diarias de residuos.

¿En dónde se producen más residuos sólidos?

La mayor producción de residuos sólidos sale de los hogares. Se estima que de los hogares proviene el 47% del total de los desperdicios, de los comercios el 29%, de los servicios el 15%, de los controlados el 3% y de otras actividades el 6%.

¿Quiénes generan más residuos sólidos? La cantidad y el tipo de residuos que sale de los hogares no son siempre los mismos. Depende de los hábitos de consumo y del poder adquisitivo que se tenga. Los grupos sociales de mayores ingresos producen más desperdicios que aquellos que no tienen los mismos niveles de ingreso.

El Relleno Sanitario Bordo Poniente es el único relleno en operación en el Distrito Federal. Los rellenos sanitarios de Santa Catarina y San Juan de Aragón recientemente fueron clausurados por llegar a su límite de espacio. Se estima que al relleno de Bordo Poniente le queda una vida útil de sólo dos años, hasta el año 2007.

¿Qué se puede hacer?

La solución al problema de los residuos sólidos es disminuir al máximo la generación de basura. ¿Cómo? A través de la aplicación de las tres R: Reducir, Reutilizar y Reciclar.

Para reducir: Hay que comprar alimentos frescos, no procesados y evitar aquellos con excesivo empaque; preferir el uso de canastas y bolsas de mandado a las bolsas de plástico y utilizar botellas retornables; Evitar la compra de productos que no son necesarios.

Para reutilizar: Hay que aprovechar bien los artículos antes de deshacerse de ellos. Las posibilidades de hacerlo son muchas, por ejemplo, utilizar las hojas de papel por los dos lados y rellenar las botellas de aguas y refrescos con aguas preparadas en casa.

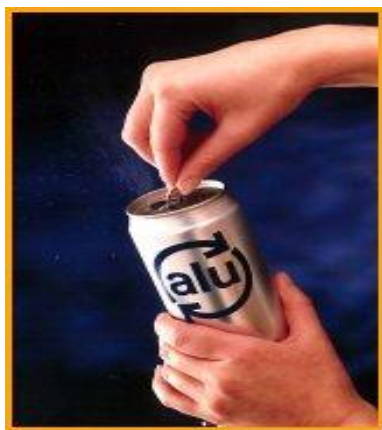


Figura 03 Se presenta imágenes al público para la que tome conciencia de la importancia de reciclar.

### **Al reciclar:**

- Se ahorra energía, agua y combustibles utilizados en los procesos de producción de materias primas originales, es decir, se ahorran recursos naturales.
- Se disminuye la contaminación del medio ambiente, así como los problemas provocados por los problemas de fabricación a partir de recursos naturales.
- Se prolonga la vida útil de los rellenos sanitarios.

La condición para iniciar un proceso de reciclaje es separar los residuos. La separación se puede hacer a través de la pepena o desde nuestras casas y lugares de trabajo.

Hay distintos grados de separación. La separación más simple, pero sumamente útil, consiste en distinguir entre desperdicios orgánicos e inorgánicos.

¿Cuál es la composición de los residuos sólidos en el Distrito Federal?

Los residuos que producimos en el Distrito Federal están compuestos de la siguiente manera: 43% son desperdicios orgánicos (residuos de jardinería y de alimentos), 18% papel y cartón, 8% vidrio, 9% plástico, 7% pañales desechables y sanitarios 5% aluminio, 2% ropa vieja, 2% de fierro, 1% latas y 5% de objetos diversos.

De estos residuos más del 80% son aprovechables.

¿Cuánto se aprovecha de los residuos sólidos que producimos en el Distrito Federal?

De las 12,000 toneladas diarias de residuos que se generan en el Distrito Federal, las plantas de separación sólo reciben 300 toneladas para fines de reúso o reciclaje. Es decir, sólo se aprovecha el 2.5% del total de los residuos sólidos que se generan. En cuanto al aprovechamiento de desperdicios orgánicos, aunque existe una planta para la producción de composta a partir de residuos de parques y jardines, la producción es mínima.

¿Qué posibilidades y limitaciones enfrenta el reciclaje?

La mayoría de productos industrializados que se convierten en desperdicios son reciclables. Sin embargo, al depender de la pepena, la cantidad de materiales separados que se llegan a acopiar es muy reducida. Se acopian sólo los materiales menos sucios, más fácilmente separables y de mayor valor económico como son el aluminio, el vidrio, el papel y el cartón y algunos plásticos. A ello se agrega que en México aún no se cuenta con la tecnología y la infraestructura adecuadas para aprovechar todos los materiales que podrían ser reciclados.

Por otro lado, la mezcla de desperdicios hace prácticamente imposible la separación y aprovechamiento de una gran proporción de los residuos orgánicos que producimos a nivel doméstico. Si aprovecháramos la totalidad de los residuos orgánicos y todos los inorgánicos que son reciclables, sólo produciríamos el 17% de la basura que actualmente se genera.

En conclusión, la legislación vigente, apoya el reciclado total del aluminio en México, que actualmente se va a depósitos de basura, el cual podría ser recuperado.

## Capítulo 3

### La importancia de reciclar a nivel mundial y en México.

#### 3.1 Principio del reciclado a nivel mundial.

En este capítulo se hace hincapié en la importancia, de reciclar a nivel mundial, y de las acciones que toman los gobiernos, de otros países en educación, así como en la importancia, de reciclar aluminio y desechos del mismo para beneficiarse, tanto en ecología como en costos en los productos. Además de la importancia, de empezar ya con el reciclado en nuestro país, hay que documentarse adecuadamente, para proponer en México sistemas, y leyes que nos beneficien, no simplemente copiarlas, ya que las condiciones son diferentes.

A principio del siglo XX, los desperdicios de aluminio son considerados, como basura o desperdicios, pero actualmente, se consideran materia prima, tanto desde el punto de vista social, como industrial y político; el reciclado ha tomado, tal importancia en el mercado del aluminio, que se mencionan algunos eventos concernientes a nivel mundial, ver tabla 03.

**Tabla. 03 Producción de aluminio primario en miles de toneladas métricas.**

Área	2000	2001	2002	2003
1. – África	631	1015	1106	1243
2. – norte América	5546	5860	5930	6086
3. – América latina	2058	2107	2116	2175
4/5. – Asia	1656	1624	1910	2943
6ª. –Europa occidental	5885	3192	3297	3749
6b. –Europa oriental y central	-----	-----	3316	3819
7. –Oceanía		1656	1804	1934
Total mundial	17342	18639	19479	19949
Promedio diario mundial	47.51	50.93	53.37	54.65

Descripción de áreas.

1. - Camerún, Egipto, Ghana, Nigeria, Sudáfrica.

2. - Canadá y Estados Unidos

3. - Argentina, Brasil, Surinam, Venezuela

4/5. - China, India, Indonesia, Irán, Japón, Turquía, Corea del Norte, Corea del Sur

Fuente: [http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/133/manejo.html?id\\_pub=133](http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/133/manejo.html?id_pub=133)

El reciclado no es un descubrimiento reciente, ya se recuperaron latas usadas durante la segunda guerra mundial, debido a la escasez de materia prima. En Suiza, los desechos de aluminio eran lavados y recortados en milímetros, posteriormente se fundían para obtener latas, para empacar alimentos.<sup>34</sup>

A principios de los setenta, un nuevo problema ambiental se vislumbro, ya que los sitios de depósito de basura comenzaron a saturarse, así como la posibilidad de apertura de nuevos sitios, los cuales son caros y escasos; aunado a esto, los activistas pro-ambientales, argumentaban la presencia de latas (aluminio, lamina de acero), envases de plástico, etc., tirados en carreteras, ríos, parques públicos, playas y áreas de campismo.<sup>35</sup>

La posición de la industria era económicamente entendible, desde el punto de vista de un negocio, no era factible que la misma compañía pudiera producir latas, perfiles, etc., fueran la misma que recolectaran de los desechos y/o desperdicios de lo que producían; en esta época las compañías de aluminio estaban preocupadas, por la naturaleza cíclica del mercado. Durante los periodos de producción baja, la industria no necesitaba y no querían, fuentes de metal de desperdicio. Esto retrasaría la utilización de la capacidad de producción, en los tiempos de repunte en cambio, de una materia prima a otra, además de la inversión masiva de capital que representaban. En aquellos días en los que la electricidad, era una fuente de energía con un costo bajo, el producir aluminio era más económico que el costo de reciclar las latas usadas, perfiles, rebaba, etc., ya que los costos de recolección, preparación, y transportación tenían que sumarse a los originados por la tecnología, aún en desarrollo de reciclado y como desarrollar ciclos de reciclado. Además de esto sé tenía el inconveniente de la calidad de composición de los desperdicios recolectados.<sup>36, 37, 38</sup>

Entre 1973 y 1974, debido al embargo petrolero, comenzó el alza del costo de la energía, junto con la necesidad de cumplir con las leyes ambientales impuestas a las compañías manufactureras. Esto originó nuevos costos en los metales, provocando la necesidad de desarrollar tecnologías de recolección de latas, perfiles, rebabas, etc.

### **3.1.1 El aluminio como desperdicio.**

El uso del aluminio como materiales útiles (latas, escaleras, perfiles, etc.) ha ido creciendo en todo el mundo. Por ejemplo, en el caso de las latas para la aplicación en los alimentos, como: salchichas, carne, atún, sardinas, postres listos para ser servidos, etc., el aluminio encuentra su mayor aplicación en el envasado tanto para la cerveza como para refrescos.<sup>39</sup>

Para considerar los nuevos usos del aluminio, es importante entender el comportamiento corrosivo del aluminio. La excelente resistencia del aluminio a la corrosión atmosférica, se debe a una capa protectora de óxido de aluminio, dicha capa es muy compacta y evita que el oxígeno que hay en el aire siga degradando al aluminio. Además de este hecho, se puede anodizar al aluminio para seguir protegiendo con la capa de óxido de aluminio, dando así la ventaja de una mejor presentación (en diferentes colores).<sup>40,41</sup>

La continua degradación del medio ambiente ha forzado a especialistas de diversas disciplinas a analizar sus causas y a buscar posibles soluciones. Para poder hablar de reciclaje, es necesario abordar el tema de los residuos sólidos ó “basura”, ya que están íntimamente relacionados, para comprender la importancia de reciclar.

Al reciclar se contribuye a la salvación de grandes cantidades de recursos naturales renovables y no renovables, ya que reciclando se disminuye el consumo de energía, agua, árboles, etc.<sup>42</sup>

Una de las respuestas más inteligente a esas preocupaciones, es la eficiencia en la utilización de los materiales de reciclado. El reciclado o sea, la obtención de materias primas derivadas del producto final utilizado, representa "una mina superficial" que puede ser renovada indefinidamente. Cuando esa operación resulte económica, las leyes del mercado la tornarán una actividad industrial evolucionada y confiable. Estas consideraciones son altamente aplicables a la industria del aluminio, que en todo proceso de beneficio y transformación, posibilita la recuperación de recortes generados en el mismo proceso, así también, desarrolla una notable industria de reciclado.<sup>43,44,45</sup>

Reciclar el aluminio representa un ahorro del 91% al 95% de la energía que se requiere para renovarlo, además evita las altas emanaciones de gases a la atmósfera y con ello se reduce la contaminación del aire.

Como en México no hay yacimientos de alúmina, como materia prima para obtener aluminio primario (obtenido electroquímicamente y de primera fusión), es necesario buscar la mayor información en el ámbito mundial acerca del reciclaje de aluminio, para poner al país a la vanguardia acerca de este tema, ya que casi todo se ve reflejado en la economía de los empresarios y por ende en la economía del país.<sup>46,47</sup>

Las tres R's y otras paradojas en el reciclado:

Muchas personas conocen el concepto de reciclar, reutilizar y reducir, pero ¿Por qué no se hace nada? El reutilizar es importante desde el punto de vista ecológico y de costos, ya que estos dos conceptos se ven beneficiados mutuamente. El reciclar aluminio depende, en mucho, de la aleación que se necesite o que sea más rentable, a continuación se presentan las aleaciones más importantes en USA.<sup>48,49</sup>

- La serie 380 para aleaciones para fundición.
- La serie 3105 para piezas de forja
- La serie 3004/3104 también para forja.

Requerimiento sustentable para el reciclado de metales ligeros:

Para hacer sustentables y autosuficientes los sistemas de reciclado de chatarra ó desperdicios de aluminio, es necesaria la adecuación de nuevas tecnologías, principalmente para la fabricación de lingotes (adecuación de composición química y estar libre de impurezas); haciendo un análisis del costo de los sistemas requeridos se tiene:

- Aleaciones relativamente libres de impurezas y que ésta misma aleación se realice en un circuito cerrado, para evitar pérdidas por estar ajustando la composición química del lingote en cuestión.



- Volúmenes altos de aleaciones secundarias para el proceso de reciclado, para contar con metal disponible para fusiones posteriores y no tener desabasto.
- Abaratando costos, usando tecnología apropiada, además de obtener financiamiento del gobierno y sectores privados.
- Restringir el flujo de importaciones para controlar los costos del aluminio, para que después no resulte más cara la producción de aluminio secundario, que importar aluminio primario.

Al cumplir con estas simples indicaciones se ayuda a los sistemas de reciclaje, que hoy en día están funcionando y a futuros proyectos de reciclado, de este modo se satisfacen los requerimientos de costos y sistemas de reciclado, evitando también la corrupción en sus diferentes aspectos.<sup>50, 51, 52</sup>

### **3.1.2 Reciclaje y medio ambiente.**

El potencial de reciclado de los desperdicios, generalmente depende de factores económicos, así como de cantidades suficientes disponibles, calidad del desperdicio, valor en el mercado de los productos recuperados, disponibilidad de equipo para el acopio, el proceso y el costo laboral.

El término reciclado, es comúnmente aplicado al proceso de convertir los materiales en otros productos que pueden o no ser iguales al original.

El reciclado de un material es la única alternativa que existe para dañar lo menos posible el medio ambiente, evitando así el hecho de estar rodeado de montones de chatarra y residuos. Si además sucede que se trata de una actividad rentable y aplicada a un material moderno de gran futuro, mucho mejor. En el caso del aluminio, la industria del reciclado se ha desarrollado beneficiando a la sociedad y al medio ambiente.<sup>53</sup>

Al final de la vida útil de materiales que contienen aluminio, éstos pueden ser utilizados una y otra vez, sin que se pierda su calidad, ahorrando energía y materiales en bruto.

Reciclando un kilogramo de aluminio, se pueden ahorrar 8 kilogramos de bauxita, 4 kilogramos de productos químicos y 14 kW/hr de electricidad.<sup>54</sup>

Beneficios al medio ambiente.

- En el proceso de reciclado no cambian las características del material, ya que se obtiene un producto con las mismas propiedades. Además el aluminio puede reciclarse indefinidamente y no disminuye la calidad del mismo.
- El 99% de aluminio reciclado puede ser recuperado.
- El aluminio es un residuo de fácil manejo: Ligero, no se rompe, se oxida pero su óxido es muy estable, lo cual evita que se degrade, por lo tanto son fáciles de transportar.
- Los botes, partes de automóvil, ollas de cocina, etc. Se pueden aplastar y cortar fácilmente, ocupando un menor volumen, para fundirlo dentro del crisol.<sup>55,56</sup>

Las consideraciones del ahorro de energía se basan, en la distribución, de la obtención del aluminio primario, en los Estados Unidos de América (USA), la producción de aluminio primario es de 19.5 millones de toneladas y en el año 2002 fué de 25.9 millones de toneladas, actualmente sigue creciendo cada año en promedio del 3.1%, según reportes de la asociación del aluminio. Esto indica un aumento en el consumo de energía, de ahí la importancia del reciclado en cuestión, que permita ahorro de energía. Las implicaciones a lo que esto conlleva, es una disminución en los costos de producción.<sup>57,58</sup>

El crecimiento en el reciclado de aluminio conforme pasan los años: Estas cuestiones son muy importante, debido a que se tiene proyectado reciclar toneladas de chatarra de aluminio producidos hasta el año 2030, además se debe de tomar en cuenta la obtención lingotes de aluminio secundario.<sup>59,60</sup>

Estas consideraciones del ahorro de energía podrían significar un factor importante, en los procesos de aluminio alrededor del mundo, claro que no hay que descuidar todos los factores, que rodean a la chatarra de aluminio.

Para conseguir estos resultados es necesario comenzar a investigar y desarrollar nuevas tecnologías, para evitar seguir consumiendo los recursos naturales del planeta, que bien se sabe son agotables, ayudando a disminuir los impactos de contaminantes, que se están produciendo hoy en día.

### 3.2.- Ciclo cerrado.

El reciclado es un círculo cerrado, llamado ciclo de reciclado, al que se somete a un material, en este caso el aluminio, para poder ser reutilizado tantas veces como sea necesario o el material a reciclar lo permita, como lo muestra la figura 04.

La duración del ciclo cerrado varia de acuerdo a cada producto, por ejemplo, en el caso de las latas de aluminio, normalmente para envasar bebidas, la duración del ciclo es de aproximadamente 45 días, en cambio, la del aluminio utilizada en perfiles para el sector de la construcción, es de aproximadamente 40 años.<sup>61</sup>



Figura 04 ciclo cerrado o círculo cerrado<sup>46</sup>

#### 3.2.1 Ciclo abierto.

En este proceso, las latas de aluminio también se recogen junto con otros tipos de basura, cuando se empaqueta, se recicla y posteriormente se usa, en un sistema de anillo abierto con el otro desecho de aluminio, para producir el lingote secundario, que se utiliza en bastidores de automóviles es una cuestión de calidad de la separación de los desechos y es económico para separar latas de un montón de diversos desechos.<sup>62</sup>



Figura 05 ciclo abierto o círculo abierto.

### 3.3 Importancia del reciclado a nivel mundial

La actividad del reciclado hace dos décadas era "marginal" y prácticamente sin mayor reconocimiento dentro del escenario industrial. Su enfoque primordial no estaba dirigido al medio y la tecnología incluida no estaba perfeccionada.

Todavía el reaprovechamiento de bienes industriales es una tendencia mundial, tanto por el aumento de la conciencia de preservación ecológica, como por el aprovechamiento económico del material (en este caso desperdicios de Aluminio). Los países europeos se están enfrentando a esa escasez de lugares aptos para enterrar desechos sanitarios, lo que ha motivado la aplicación de las leyes ecológicas, tendientes a frenar la cantidad de residuos que se generan. Varias leyes específicas sobre embalajes, así como iniciativas de empresas privadas, han sido puestas en práctica, como son:

En Alemania, los supermercados actualmente están obligados a recibir de vuelta el 10% de los envases de los productos vendidos (para ser reciclados), y en 1999 ese límite será del 60%. En Alemania los envases de bebidas deben respetar la proporción de 72% reutilizables y 28% descartables.<sup>63</sup>

El aluminio en Europa y en Alemania: Las aplicaciones de este metal, son muy parecidas al resto de Europa. Esto se debe a que en Alemania se realiza investigación y el gobierno de ese país apoya a la investigación y a la industria. Además, donde se aplica más este metal es en transporte y en el área de forja. Seguimiento del área de construcción.

Actualmente se intenta ir incrementando un 3% anual, el crecimiento de las aplicaciones del aluminio. El valor de este metal dentro del desarrollo del país Alemán, es de suma importancia debido a los precios y a los sistemas de recolección que existen. Estos sistemas de recolección son el secreto del éxito para reciclar aluminio, y simplemente constan de 3 niveles, que son:

- Primer nivel: Recolección. Este paso es sencillo, debido a que la legislación y la ayuda de los ciudadanos para separar y clasificar la basura, hace más fácil la obtención del aluminio (chatarra); como se muestra en la figura 06.
- Segundo nivel: Materiales en proceso. En este segundo paso simplemente se funde el aluminio en hornos rotatorios de ciclos completos, evitando al máximo las pérdidas de metal por oxidación y escorificado.
- Tercer nivel: Fusión, refinación y procesos de fundición. En este tercer paso se conjuntan los procesos de fundición, para la obtención del lingote de aluminio listo para su uso, ver figura 06.

Con estos tres sencillos niveles, es como se lleva a cabo una buena recolección para obtener al final un producto de aluminio. Hay que hacer hincapié que en la recolección se incluye calidad de la chatarra suministrada, para un mejor aluminio secundario.

El gobierno italiano, se dio cuenta de que producían muy poco aluminio primario, por lo cual después de la primera guerra mundial, puso en marcha fábricas de aleaciones ligeras y se abrió paso a la inversión extranjera, en este caso Alemania, con fábricas de aleaciones ligeras, pero su auge comenzó en la segunda guerra mundial, con la producción de productos para la guerra contra los aliados.<sup>64,65,66</sup>

Al terminar la guerra se instalaron en Milán y Turín plantas de reciclado de aluminio, con el paso del tiempo fueron refinando mejor cada vez el aluminio, y con el éxito en transporte: automóviles, ferroviarios, aviación y navales para el año 2009 tiene previsto un gran desarrollo tanto con el reciclado de aluminio, así como en nuevas aleaciones base aluminio.

En Brasil no hay leyes que regulen el reciclado, pero la recuperación de latas es alta, además tienen 15 centros de recolección en diez estados.

Se estima que la recolección brasileña de latas de aluminio genera 205 millones de dólares anuales, las escuelas y centros de recolección son pagados por cualquier lata devuelta a las compañías fundidoras de aluminio secundario y esto se debe también a que los centros de acopio de latas están ubicadas en áreas pobres de las ciudades del Brasil.<sup>67</sup>

La empresa IMCO utiliza aluminio en su planta de Saginaw Country Michigan, donde se funde el aluminio, dentro de un horno de reverbero, tecnología proporcionada por JT Thorpe & Sons. Dicho proceso facilita la designación de la idea que se tiene de expandir lo que se tiene planeado, como para aumentar y mejorar la producción.

Dentro de la empresa General Motors (GM), se desea implementar otros dos hornos adicionales para la producción en la planta de GM, asesorados por IMCO, pero para los de IMCO es algo complicado, debido a que el transporte es lo más costoso y la instalación dentro de la planta de GM es complicada, debido a que hay que modificar el "lay-out" de la planta en lo relativo a los procesos de fundición, debido a la poca experiencia en el reciclado de aluminio que tiene GM, se contrata a IMCO para asesorarlos, para implementar los cambios en fundición de aluminio, además de implementar los hornos, asesoría técnica, etc.

El reciclado de aluminio en Alemania atrae la inversión y desarrollo donde hay sistemas de recolección que van de los procesos más fáciles y económicos, pasando a por los sistemas más sofisticados y costosos del mundo.

Por estas razones, el desarrollo de inversiones en el aluminio secundario, crecen y seguirán creciendo. Hay un estimado de crecimiento asegurado hasta el año 2010, tiempo suficiente, para recuperar inversiones y ayudar a disminuir la contaminación y el consumo de energía.<sup>68</sup>

Las compañías de aluminio, han invertido en dedicarle un lugar especial en las plantas de reciclaje, al procesamiento de la transformación secundaria del metal. En el caso de las latas de bebidas, el proceso utiliza gas recolectado de las sustancias volátiles, que están en las superficiales de las latas que prevén calor al proceso.

En Europa las latas de bebida de aluminio ya alcanzaron el objetivo mínimo marcado por la directiva europea en empaque y desecho para el año 2001. Suecia con 92% y Suiza con 88% son los campeones europeos de reciclaje de lata.<sup>69</sup>

El reciclaje de latas de bebida de aluminio elimina desperdicios, ahorra energía y conserva los recursos naturales.

Las latas de aluminio son buenas para el medio ambiente, para la economía y son 100% reciclables.

El aluminio es el único material de empaque que cubre más allá de su costo de recolección, proceso y traslado al centro de reciclaje. Las industrias (como IMCO) del aluminio están trabajando con los fabricantes de componentes de automóviles para permitir que los carros con componentes de aluminio sean fácilmente desmantelados y que los desechos sean clasificados y reutilizados para partes nuevas idénticas. En la mayoría de otros proyectos de reciclaje, los desechos de material son rara vez reutilizados para su misma aplicación, este tiene que ser degradada a una aplicación que tiene menos propiedades que el metal. La tasa de reciclaje para aplicaciones de construcción y transporte va desde el 60 al 90% en varios países.<sup>70</sup>

**3.4.- Panorama del reciclado a nivel mundial. Compartir costos y responsabilidades.** Los fabricantes de automóviles creen que debe haber una cierta forma de responsabilidad compartida, de los costos que implican a los fabricantes, a los desmanteladores, a las desfibradoras y a los dueños y esto se está persiguiendo actualmente en varias naciones.

Los metales utilizados en los motores, para reciclar el aluminio y el acero, esto es un mercado muy valioso, para desmanteladores y desfibradores de autos, principalmente, y además de obtener los metales para el reciclaje, también venden piezas que todavía son útiles como refacciones.

Las dificultades vienen con el resto del coche: Los plásticos, el caucho y el cristal que tienen valor virtualmente cero como desecho.

Este valor bajo hace estos materiales económicamente difíciles de separarse y de reciclar, aunque en teoría es técnicamente factible. En el momento que, todos entran generalmente derecho a la desfibradora y terminan como basura inservible. La incineración de tal basura que genera la desfibradora, no es útil para el medio ambiente.<sup>53</sup>

### **3.5.- Panorama internacional del reciclado de aluminio de las empresas automotrices.**

Las otras empresas que se preocupan por el reciclaje crean alianzas estratégicas, como la compañía Ford de Chicago y industria ALCAN que está creando el primer sistema de reciclaje de circuito cerrado, para la hoja de aluminio utilizada en el vehículo.

La idea que tiene Ford en cuanto al aluminio es la de conservar su valor, así como para poder reutilizar posteriormente en productos de alto grado.



Ford utiliza cerca de 1.3 millones de piezas de aluminio al año para sus automóviles y además produce 6 millones de toneladas de desecho, lo cual es importante para recuperar el aluminio.

Para recuperar algo de esas 6 toneladas de aluminio, hacen una inversión de \$400,000, donde posteriormente se lleva a una planta recicladora a las afuera de la ciudad de New York, que pertenece a la compañía ALCAN.<sup>71</sup>



Figura 06. Recolección de chatarra, (ya sea aluminio y acero) para ser reciclados.

Como la industria utiliza materiales metálicos (entre ellos el aluminio), tiene la responsabilidad de reutilizar todo los metales para la reutilización y así no generar mas residuos sólidos.<sup>74</sup>

### **3.5.1 Acopio en escuelas a nivel primaria.**

En muchas escuelas del Reino Unido (U. K.), recogen las latas y la hoja del aluminio como manera de combinar un programa del reciclaje práctico con la educación sobre el ambiente. La venta del material recogido, a través de un efectivo local para el acopio de latas, puede proporcionar los recursos adicionales valiosos para las escuelas, por medio de las asociaciones de padres para una educación ambiental, que es la adquisición de libros, comprar plantas y herramientas para un club ecológico.<sup>72</sup>

Si en las escuelas se están buscando maneras de cambiar la educación, con una nueva agenda ciudadana, sobre el medio ambiente, sería factible hacer un proyecto local, en su comunidad donde la gente done papel, latas de aluminio, etc.<sup>73,74</sup>

Consejos para proyectos de recolección:

1. Comience por decidir, junto con los miembros de la asociación que hacer con el dinero recolectado, de la venta de las latas de aluminio.
2. Fije una meta que sea realista.
3. Utilice una grafica para trazar, sus logros y progresos.
4. Comuníquese con los demás padres de familia, negocios y la prensa local, para pedir ayuda, cuénteles acerca de sus progresos.
5. Haga una pequeña representación de en cada escuela, para conseguir mas miembros y obtenga mas latas de aluminio.
6. Proporcione recipientes especiales, para la recolección de latas a lado del bote, de basura.
7. Cerciórese de que el proyecto esté planeado y manejado eficientemente, sobre todo en aspectos como: El almacenaje y el transporte, los cuales necesitan ser determinados desde el principio.



Figura 07. Niños de Reino Unido recolectando latas, como parte de los proyectos de educación y reciclaje.<sup>76</sup>

Dentro de las escuelas primarias se da un curso, donde se pone el material que se recicla, en el contexto del mundo natural. El curso anima a los niños que tomen las decisiones que ayuden a proteger al planeta, ver figura 07.

Esto se hace con tarjetas de fotografías, en donde se muestra la interacción, de la naturaleza y los niños. Los profesores amplían la actividad para descubrir lo importante que cuidar el medio ambiente.<sup>75</sup>

Y con ayuda de las empresas, que se dediquen al reciclado de metales y papel para llevar acabo premios o estímulos a las escuelas participantes.

Estos proyectos de países industrializados, son de gran importancia ya que integran a los niños y a la comunidad, haciendo conciencia de la importancia, de reciclar y cuidar los recursos naturales.<sup>76</sup>

Los procedimientos serán viables para México, ya que se podrá invitar a la población a que participen a cambio de incentivos mínimos como pago por Kg de latas o bien entregando bonos canjeables por mercancía.

## Capítulo 4

### Procesos actuales del reciclado de aluminio.

En este capítulo se describen los procesos y estrategias que actualmente se están utilizando e implementado a nivel mundial para reciclar el aluminio a partir de latas, perfiles, virutas (obtenidas del maquinado de piezas), etc.

Estos nuevos métodos abarcan desde hacer metalurgia de polvos, modelos matemáticos, electrodeposición, metodologías para la recolección y diseño de hornos, como por ejemplo el horno rotatorio. Se describe lo mas importante de cada método, indicando en cada investigación la(s) ventajas que cada si ofrece y la(s) limitaciones que presentan.

Los métodos que más se utilizan son aquellos que han hecho mejoras en las llamadas conversiones directas y el avance en los hornos de fundición, ya que estos métodos son más eficientes y menos contaminantes. También se mencionan el reciclado del aluminio por medio de electrodeposición, en un cátodo de cobre que es un método limpio y consume menos Energía. Se considera que es mejor método es la conversión directa, donde se gasta menos energía y por lo tanto, el método que genera un menor costo.

Con estos avances la metalurgia avanza considerablemente, en México seria importante realizar este tipo de investigación, tanto en Universidades e industrias, para estar a la vanguardia en lo que respecta a este tipo de procesos de reciclado o por lo menos, conocer lo que se hace en investigación para el desarrollo de pequeñas y medianas empresas, lo cual contribuye al bienestar de la sociedad.

#### 4.1 Una nueva técnica para reciclar los trozos de chatarra de aluminio por conversión directa.<sup>77</sup>

Durante los pasos en la producción de aluminio en la fusión del metal, se genera gran cantidad de desechos de aluminio, debido al maquinado y la producción de piezas. Por consiguiente, es un asunto interesante reciclar los desechos del aluminio manufactura, como se muestra en la siguiente figura.08. debido a las aplicaciones que se pueden tener de este metal y la eficacia de los procesos para reciclarlos.

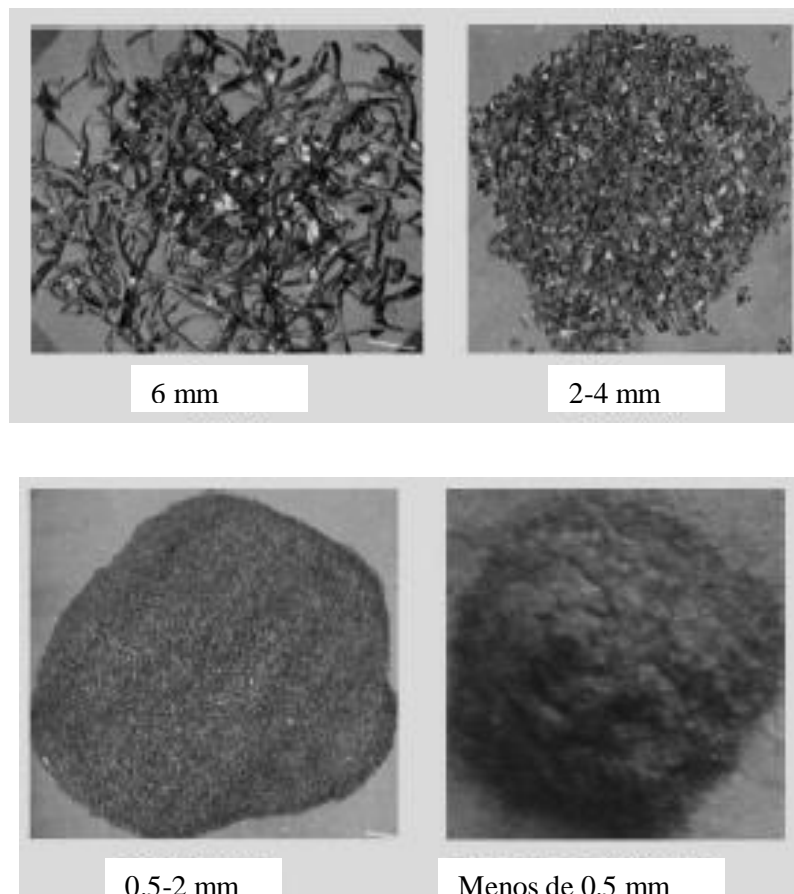


Figura 08. Diferentes muestras de los tamaños de los desperdicios de aluminio

Esta nueva técnica de reciclar trozos de chatarra de aluminio, llamada técnica de conversión directa, misma que se lleva a cabo en la etapa de fundición, consiste en limpiar la chatarra, una vez limpia pasa a través de una trituradora, ver figura 09; diseñada especialmente para este propósito, una vez obtenido el grado de

comminución adecuado (menos de 0.5 mm), se coloca en moldes cilíndricos, y se comprime el polvo de aluminio (conocido como compactación), posteriormente se introduce a un horno donde sufre un proceso llamado sinterización.

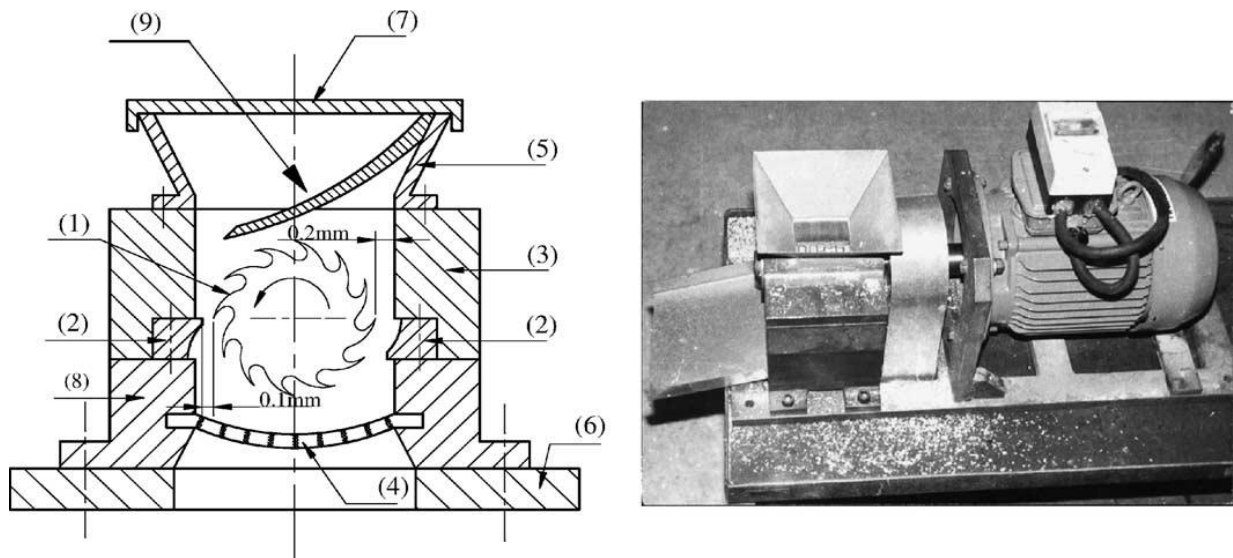


Figura 09. Trituradora especialmente diseñada para la molienda de trozos de aluminio.

Esta investigación propone una nueva técnica directa para reciclar los desechos y la chatarra de aluminio, con un consumo y un gasto mínimo de energía, con intervención de los procesos de Pulvimetalurgia ó metalurgia de polvos. Las propiedades que se evalúan son: Densidad en verde, fuerza de compresividad y dureza; todas estas propiedades son de piezas realizadas con el nuevo método de conversión directa.

Los resultados experimentales que se obtuvieron, muestran que la técnica por conversión directa para el reciclado de aluminio, proporciona una alta productividad de piezas hechas de polvo de aluminio, y aproximadamente un 80% de la densidad en verde, (antes del proceso de sinterizado). Además, la nueva técnica produce emisiones bajas de contaminantes y del metal que es recuperado, además de que se ahorra mucho mas en energía reduciendo así costos, que los métodos convencionales de reciclado.

Ventajas de la técnica de conversión directa.

- Se ahorra energía.
- Se reduce la contaminación (emisión de gases).
- Se produce polvo de aluminio a partir de desperdicios, sin la necesidad de un atomizador y grandes equipos de producción.
- La llamada química limpia que se utiliza remueve la película de óxido de aluminio ( $Al_2O_3$ ), que se crea en la superficie, cuyo resultado es altamente aceptable para la densidad en verde (aproximadamente un 80% antes del sinterizado).
- El costo del producto final es un 59% más económico que cuando se usa el proceso convencional.

Limitaciones:

- La construcción del molino para la trituración de aluminio.
- La gran cantidad de residuos generados, en la limpieza del aluminio.
- Las propiedades mecánicas no son muy buenas, en piezas que requieren una especificación de norma adecuada.

#### **4.1.2 Nuevos métodos de reciclado para aleaciones de aluminio, al reciclar viruta.<sup>78</sup>**

Cuando los productos de metal son manufacturados en cantidades considerables, la pérdida del metal en forma de viruta, es aproximadamente un 10% de pérdida por maquinado y rectificación de dimensiones. Esta viruta que se desprende se puede enviar a fundir de nuevo para la fabricación de piezas nuevas, así como el metal que es recuperado de los desperdicios del maquinado de piezas se aprovecha el tamaño de las virutas de aluminio, para la fabricación de piezas nuevas, que se realizan usando la metalurgia de polvos para procesos de producción y piezas de geometría complicada, como ejemplo, los engranes.

Como ya se mencionó, las pérdidas de metal durante el maquinado y rectificación de las piezas son considerables ya que, no se investiga como recuperar adecuadamente dicho material (en este caso las virutas de aluminio).

Se propone una nueva estrategia que se ha desarrollado sistemáticamente, en los recientes

años, que es la fabricación de productos de sinterizado con propiedades predeterminadas, como se muestra en el diagrama de la figura 10. Se ha demostrado que pueden fabricarse tales productos con desechos de aluminio. El método consiste directamente en la conversión de los desechos, para obtener un producto acabado cuyas propiedades mecánicas no son despreciables.

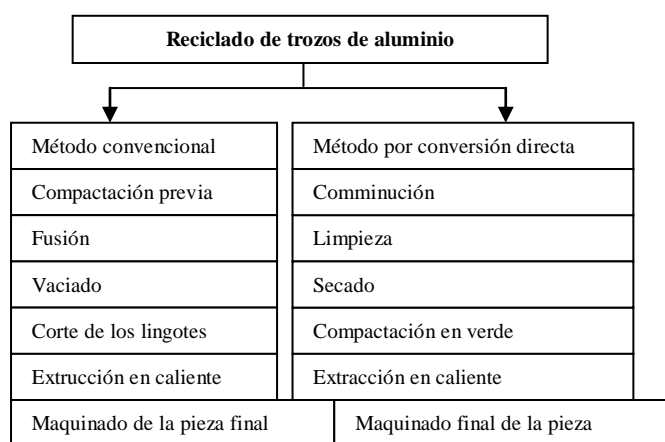


Figura 10. Diagrama de Flujo del reciclado de aluminio por el método de conversión directa y por el método convencional.

En esta investigación se evalúan las propiedades de los sinterizados, pero se adecuan a materiales compósitos, estos compósitos son  $AlMg_2W$ ,  $AlCu_4W$  y  $AlWO$ , ver tabla 04; ya que dichos materiales tiene propiedades similares a las aleaciones comerciales y se caracterizan por tener buenas propiedades mecánicas, y de tener una buena resistencia a la tensión, a una temperatura elevada. Este ensayo, se realizo dentro de una cámara de tratamiento especial para este estudio. Además se obtiene un buen producto, con ayuda del proceso de Pulvimetalurgia, aplicando los pasos de obtención de polvo, compactación y sinterización. Es importante investigar como hay que recuperar el aluminio y reutilizarlo ya que con ello se ahorrar energía y dinero, para aprovechar el mercado, reduciendo costos de producción.



Designation of material	Chemical composition (wt.%)		
	Mn	Mg	W
AlW0	–	–	–
AlW0,3	–	–	0,30
AlW0,6	–	–	0,60
AlW0,75	–	–	0,75
AlMg2W0	0,52	2,10	–
AlMg2W0,7	0,50	2,09	0,70
AlMg2W1,2	0,49	2,08	1,20
AlMg2W1,5	0,49	2,07	1,50
AlCu4W0	0,63	0,68	–
AlCu4W0,6	0,58	0,74	0,62
AlCu4W0,8	0,72	0,61	0,80
AlCu4W1,6	0,69	0,64	1,60

Tabla 04. Composición química de los compuestos a evaluar

#### Ventajas:

- El aluminio aleado, pueden ser reciclado por el método de la conversión directa, que se caracteriza por el bajo consumo de energía y el ahorro material y de este modo evitar el desperdicio.
- Las densidades relativas de los compuestos después de la compactación y que con el proceso de sinterización son casi idénticas a los valores teóricos.

#### Limitaciones:

- Para la fabricación de piezas con un control de calidad, deben cuantificarse y analizar bien la cantidad de elementos aleantes y obtener así piezas homogéneas.
- Durante el proceso, no es fácil recolectar y clasificar el aluminio aleado, por esto hay que tener cuidado al fundir las piezas para que cumplan con la especificación química correspondiente.

#### 4.1.3 Propiedades mecánicas de los compuestos de aleaciones base aluminio, que se produjeron a partir de virutas de aluminio.<sup>79</sup>

En esta investigación se presentan, los resultados de la fabricación y evaluación de las distintas propiedades de algunas aleaciones de aluminio, producidas al reciclar virutas de aluminio. Estas aleaciones fueron producidas en un molde para compactación en frío y posteriormente pasan por un horno de sinterizado, a una temperatura de 520°C con un grado de cominución de aluminio aleado con cobre. El coeficiente de fricción de los compósitos producidos son determinados como una función del porcentaje de la fase de solución sólida de aluminio-cobre, que se trituro y paso por un proceso de molienda de las virutas y la carga que se aplicó por medio de un extensómetro longitudinal, acoplado a las probetas de tensión.

Las pruebas se realizaron a temperatura ambiente, con estas condiciones se encontraron los coeficientes de fricción, de la aleación (CuAl<sub>13</sub>), utilizando probetas y un disco diseñado para el cálculo de los coeficientes de fricción, ver figura 11; además se realizan las pruebas mecánicas de porcentaje de reducción de área, porcentaje de elongación, resistencia a la tracción, ver tabla 05. Esto da la pauta para investigar más acerca del reciclado del aluminio para obtener en un futuro piezas que resistan mas el desgaste, que sean más ligeras, y económicas principalmente.

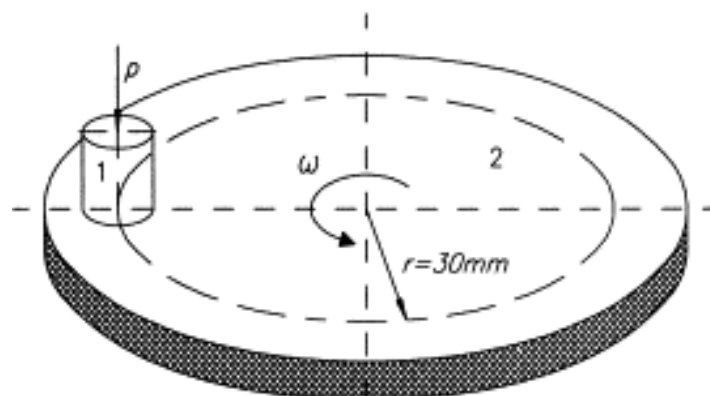


Figura 11. Diagrama de la prueba para calcular el coeficiente de fricción. : 1 — probeta; 2 marca de la probeta a seguir,  $P$ - fuerza axial que ejerce sobre la probeta;  $\omega$ -velocidad angular del disco.

Materials (%)	Tensile test				Compression test		
	Fraction (mm)	$R_e$ (MPa)	$R_m$ (MPa)	Elongation, $A_5$ (%)	Reduction in area, $Z$ (%)	$R_e$ (MPa)	$R_m$ (MPa)
AlCuAl13-15	<2	58,9	76,6	11,5	10,0	45,0	52,7
AlCuAl13-22	<2	55,7	73,6	11,2	8,7	51,1	64,9
AlCuAl13-30	<2	53,7	62,6	7,5	4,3	56,2	75,6
AlCuAl13-15	2-4	63,6	79,6	11,9	8,1	41,7	60,1
AlCuAl13-22	2-4	59,7	76,7	7,0	6,8	54,8	71,2
AlCuAl13-30	2-4	55,0	72,6	5,2	4,4	67,0	82,6

Tabla 05. Resultados de los ensayos mecánicos realizados

#### Ventajas:

- Los compuestos de aluminio aleados con cobre, refuerzan las fases que se forman para obtener, propiedades de fricción.
- Las propiedades de fricción son mejores para compuestos que contienen 22% de cobre y aproximadamente el rango de cominución es 2-4 mm.
- Los resultados corroboran que los materiales, compuestos producidos en esta investigación, pueden ser generados usando, los materiales de desechos.

#### Limitaciones:

- El tamaño de grano influye en las propiedades mecánicas como a mayor tamaño es más difícil obtener buenos resultados.
- Hay que obtener un tamaño de partícula lo mas homogéneo posible, ya que de no ser así, habría problemas, esto debido a que las propiedades cambian con cada tamaño del polvo obtenido y así obtener, estructuras metalúrgicas mas homogéneas.
- Se debe investigar demasiado para el diseño de obtención de resultados satisfactorios, por lo que hay que hacer gran cantidad de experimentos, lo cual implica costos en la investigación.

#### **4.1.4 Compuestos del aluminio-hierro-cromo producidos a partir del reciclado de virutas.<sup>80</sup>**

En esta investigación se describe un nuevo método de reciclar aluminio y se presentan las virutas y desechos de aluminio. El método consiste directamente en la conversión de las virutas producidas durante el maquinado de piezas. El método se ha aplicado a la producción de compuestos caracterizados por las propiedades de resistencias y elevadas temperaturas. Con una fase reforzada de  $\text{FeCr}_{25}$  (compuesto intermetálico), con un tamaño de partícula por debajo de  $75 \mu\text{m}$  el uso de la cantidad de esa fase se fue variando de 0 al 14 wt%, ver figura 12; para ir cuantificando los contenidos de intermetálico  $\text{FeCr}_{25}$ . El proceso se realizó con los siguientes pasos: La molienda de virutas, la mezcla de virutas granuladas, con adiciones de  $\text{FeCr}$  en polvo, posteriormente se cubre con Zinc, dando así una buena consolidación y un excelente recubrimiento anticorrosivo. Se utiliza una mezcla en la producción de metalurgia de polvos y extruido en caliente evaluando así las diferentes temperaturas de presinterización. El efecto de la cantidad de  $\text{FeCr}$ , en la presinterización, afecta las propiedades mecánicas de los pasos en el proceso de extrusión y así se variaron, a diferentes temperaturas para su estudio además también se estudió la microestructura de la aleación, ver figura 13. Los compuestos producidos presentan propiedades mecánicas aceptables realizadas en una cámara de relevado si a temperaturas elevadas se establece la estructura metalúrgica. De manera diferente, los productos desechados que ahora se reciclan por medio de un proceso de conversión directa, este tipo de reciclado no se puede aplicar solamente al aluminio, sino también a una serie de diferentes aleaciones de cobre y en algunas circunstancias al hierro colado.

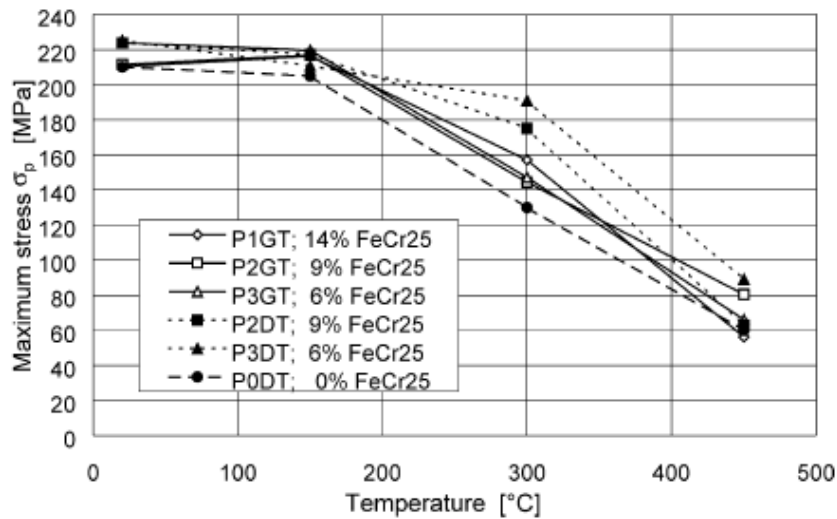


Figura 12. Donde se observa los resultados de los diferentes porcentajes de FeCr<sub>25</sub>, y además la evaluación de el esfuerzo máximo vs la temperatura.

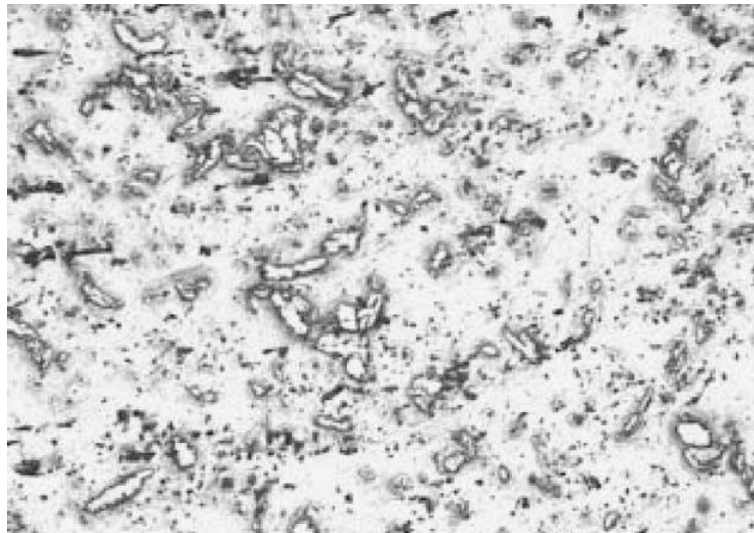


Figura 13. Microestructura vistas a X150 donde se observa el compuesto de intermetalico FeCr<sub>25</sub>.

#### Ventajas:

- El efecto del FeCr<sub>25</sub> satisface las propiedades mecánicas básicas de la prueba de tensión y a más alta temperatura, la fase se refuerza con un 6%, obteniéndose mejoras en los resultados.
- El método puede utilizarse para la fabricación de productos para tubería de alta resistencia, a altas temperaturas, ya que pueden formarse con longitudes amplias.

Limitación:

- Falta hacer más estudios y pruebas para decidir su comportamiento ante la corrosión.

#### **4.1.5 Partes de aluminio para ser usadas por una nueva técnica.<sup>81</sup>**

Un nuevo método esta marcando la manera de reciclar aluminio, usando una nueva técnica, esto es, saber utilizar la metalurgia de polvos como proceso y tecnología del futuro, además el proceso es económico, limpio, y requiere menos energía, con perdidas mínimas y en general se obtienen buenas propiedades mecánicas comparado con los procesos convencionales.

La metalurgia de polvos es el proceso industrial para formar o fabricar piezas hechas de polvo de metales, en este caso de aluminio, y consiste en la siguiente secuencia: obtener el metal en polvo (1 mm a micrómetros), para reducir el óxido, es importante la atomización, es decir, la desintegración del metal fundido bajo un motor de reacción de gas, este proceso es conveniente para el grado de conminución y de la compactación y la sinterización del material, para productos de forja (nuevos), dentro de varias fases que este pueda presentar. En la combinación del polvo se mezcla, se llena al tope y se compacta apropiadamente dependiendo de las propiedades deseadas, al comprimir el polvo se conoce como compactación en verde, ver figura 14 y esta compactación, es lo suficientemente fuerte, para que la pieza no pueda desbaratarse, durante su manejo para introducirlo dentro del horno de sinterizado.

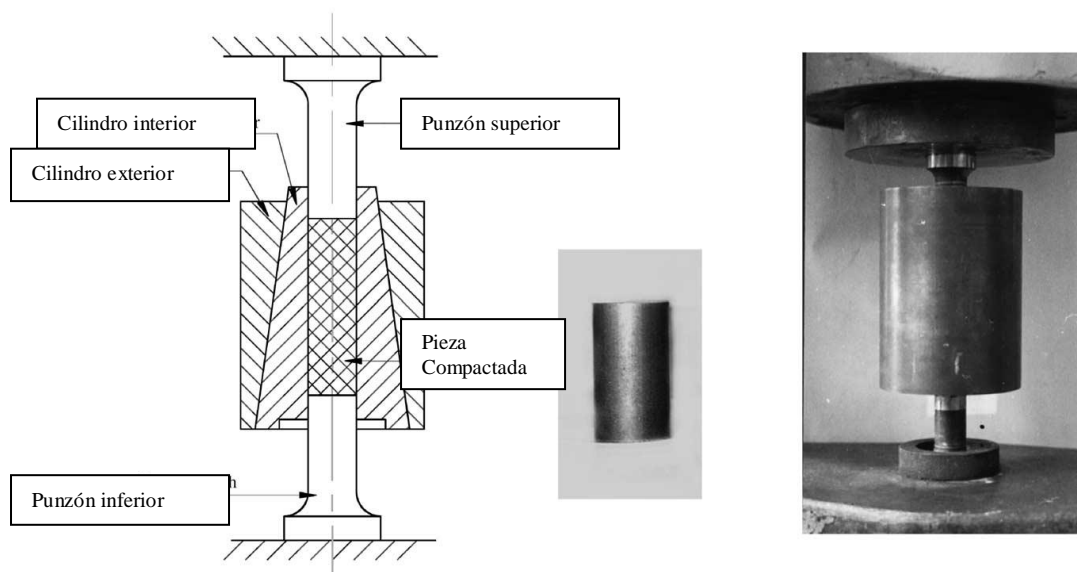


Figura 14. Esquema y muestra del dispositivo de compactación.

Durante el sinterizado, las piezas sufren una dilatación con la temperatura, pero siempre, por debajo del punto de fusión, la temperatura es controlada por una atmósfera reductora (gas inerte o gas natural), para definir el periodo de tiempo de enfriamiento y así determinar su valor.

El sinterizado de probetas, se componen de varias operaciones secundarias, donde intervienen las propiedades físicas y mecánicas, como son: la de reducción del área, porcentaje de elongación, resistencia a la tracción, la tolerancia en las dimensiones y apariencia para su acabado final.

Ventajas:

- El proceso ahorra más energía, que el usado para obtener aluminio primario (se ahorra cerca de un 80% de energía).
- Se pueden realizar piezas con geometrías complejas.
- Se elimina el maquinado en las piezas ya hechas, además de obtener un buen acabado superficial.
- Se puede automatizar el proceso y obtener una gran cantidad de piezas producidas.
- Mantiene una buena tolerancia en las dimensiones de las piezas realizadas.

Limitaciones:

- Se desconocen muchas propiedades de las aleaciones de la metalurgia de polvos, ya que se han hecho mezclas de diferentes aleantes que generan diferentes propiedades mecánicas, etc.
- No es recomendable utilizar, este proceso para piezas donde se requieren propiedades mecánicas elevadas, como altos valores de resistencia a la tracción, altos impactos, etc.

#### 4.2 Impacto en los parámetros de cambio, en la recuperación de aluminio en un horno rotatorio.<sup>82</sup>

En el proceso de fundición del reciclado de aluminio, hay una fracción del metal que se encuentra dentro de un horno rotatorio, es lo que se investiga en este estudio, además de buscar los efectos de la cantidad de sal, como fluorita y óxido de aluminio, así como de controlar la temperatura y la velocidad del horno rotatorio, también se estudia la composición de las escorias y su constitución para evitar pérdidas mínimas de metal.

El metal recuperado de los desechos fundidos del aluminio del horno rotatorio, cuyas dimensiones son 2 metros de longitud por 0.70 metros de diámetro, es utilizado en este estudio específico, ver figura 15.

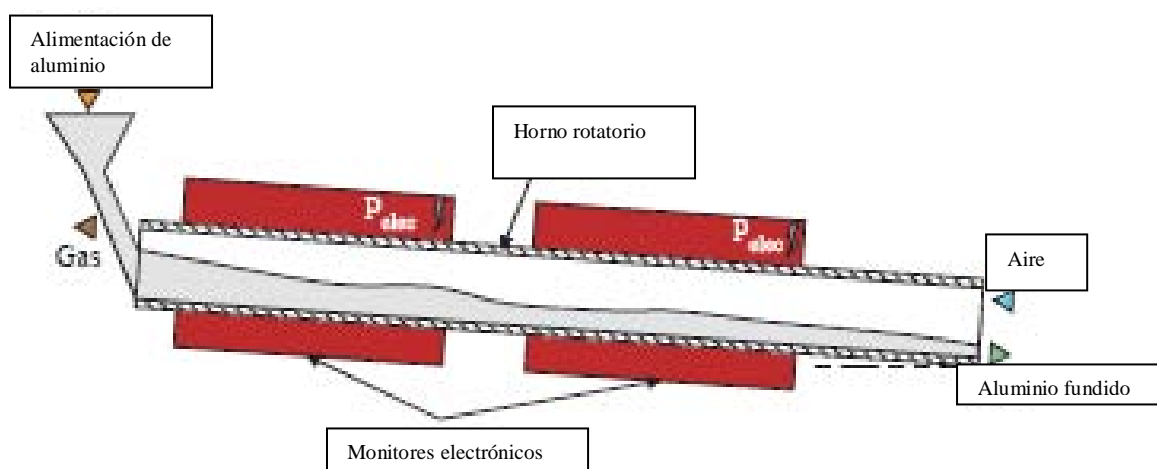


Figura 15. Representación esquemática del horno rotatorio.



Se han estudiado los efectos de la concentración de fluorita, dentro del horno rotatorio y el aluminio aleado, así como la temperatura de coalescencia de las gotas de aluminio y del flujo de sal que presenta, se investigaran para explicar el comportamiento del  $\text{CaF}_2$  en una sección poli-térmica, se utiliza un sistema ternario de  $\text{NaCl-KCl-CaF}_2$ , para los cálculos del flujo de sal para su estudio al agregarse al aluminio. Estos reactivos se agregan a la carga durante la fusión del metal, evitando la pérdida del mismo durante la eliminación de la escoria, ya que el ión fluoruro es utilizado por su actividad en disolución para promover la coalescencia este ión se afecta la tensión superficial en el aluminio. El flujo de sal realiza la función de eliminar la escoria del metal y así obtener perdidas al mínimo de aluminio. Este proceso es nuevo y falta implementarlo en fábricas, donde seguramente sus costos se reducirían, ya que al retirar la escoria del metal se pierde alrededor de un 6% del total de la carga de aluminio, antes de realizar el vaciado a los moldes. Además se desarrolla una ecuación matemática, muy sencilla de entenderlo ya que explica muy bien lo que sucede, con la adición de sal al introducirlo al aluminio.

#### Ventajas:

- Aplicando las ecuaciones para interpretar la adición de sal al metal fundido, incluyendo el contenido de impurezas en el metal que se obtiene experimentalmente para el reciclado de aluminio, se encontró que es muy factible y no es costoso.
- El incremento en la temperatura (de  $750^\circ\text{C}$  a  $850^\circ\text{C}$ ), así como el flujo de fluorita (de 0 a 5%) enriquece la concentración en del metal fundido.
- El incremento en la concentración aumento el flujo de alúmina en proporción del flujo de escoria.

#### Limitaciones:

- El agregar más fluorita afecta la coalescencia del aluminio.
- El aluminio tendría flúor, en la aleación final, lo cual implicaría la contaminación del metal.

- No funciona para todos los hornos rotatorios, el estudio fue realizado en un horno pequeño (2 metros de longitud por 0.70 metros de diámetro).
- El proceso actualmente es experimental, por lo que falta implementarlo a nivel industrial.

#### 4.2.1 Hulett Aluminium, un centro flexible de reciclado y fundición.<sup>83</sup>

La mejora continua de reciclar materiales es de gran importancia, por eso, la situación de Hullet Aluminium, en la población de Pierter Maritzburg, en el oeste de Sudáfrica, se preocupa continuamente y presenta su proceso como ejemplo, en el reciclado de aluminio, utilizando la tecnología de punta disponible en el mercado, además de contar con instalaciones de primer mundo. Este proceso comienza con dos estaciones esenciales, comenzando por suministrar un sistema llamado, Granutech-Saturn Systems of Texas, donde la recolección de aluminio, latas y virutas se clasifican y se eliminan las impurezas como todo tipo de acero y hierro y al mismo tiempo se limpia las latas de bebidas (conocido a nivel mundial por sus siglas en ingles UBC's) por medio de agentes químicos. El sistema Index (nombre y procesos de sus propios hornos rotatorios), tiene la capacidad de fundir aluminio, en un rango de carga de 7.5 toneladas/hora. Además de tener un estricto control en la contaminación, ver diagrama de procesos figura 16.

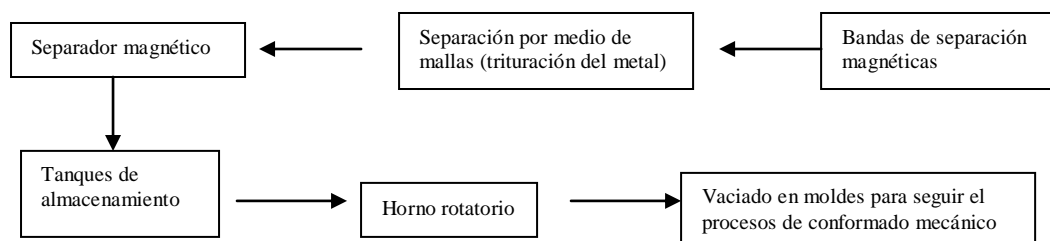


Figura 16. Representación esquemática del centro de reciclado Hulett Aluminium.

En los hornos de fusión Hullet Aluminium, se cuenta con dicho horno, con una capacidad de 7,000 kg. Lo cual se transfiere a un sistema de colada con una capacidad de 25,000 kg. En la cual los moldes son enfriados con agua para una solidificación mucho mas rápida y así alimentar continuamente el proceso de colada, el proceso se realiza herméticamente, lo cuál reduce al mínimo la oxidación y la emisión de gases a la atmósfera. Este tipo de tecnología, es de gran importancia y ejemplo para el mundo en desarrollo y avances en cuestión de reciclado.

Ventajas:

- Se cuenta con la mejor tecnología que hay en el mercado.
- Contamina menos, ya que se controlan todas las emisiones de gases.
- Es de gran capacidad de producción de aluminio.
- Selecciona la chatarra y separa adecuadamente para su fusión.

Limitaciones:

- Los costos de operación son altos.
- No se controla la composición final del aluminio.
- Se requieren grandes complejos industriales para implementar este proceso.

#### **4.2.2 Nuevas herramientas para fundir aluminio secundario, en un horno rotatorio.<sup>84</sup>**

La fundición de los desperdicios del aluminio y los suministros de escoria, están marcando cambios en la industria, con respecto a la obtención de aluminio secundario, el control de las emisiones orgánicas y la optimización del flujo de sal, sólo son dos ejemplos sencillos de los desechos que contienen materiales y componentes orgánicos, tal como esmaltes y aceites, ya que estos generan emisiones que podrían producir efectos negativos al medio ambiente. Estos pueden contener un límite en la composición de compuestos orgánicos permitibles dentro de la carga, ya que de no hacerlo se ve afectado la sanidad del aluminio secundario.

El nuevo proceso Wastox, se controla con una lanza de oxígeno, una lanza de oxi-combustible, que arde en la dirección de la chatarra a fundir y en la dirección del horno rotatorio para optimizar más el calor proporcionado.

Usando el proceso Wastox, se presenta un proceso que permite utilizar los desechos con altos niveles de contaminantes orgánicos, en este proceso se reducen costos y además es productivo, ya que se puede mejorar dependiendo de los elementos contaminantes que contenga la chatarra de aluminio. La reducción o eliminación de las impurezas es primordial en el proceso de este horno rotatorio.

La eficiencia en el proceso de reciclado mejora con el cumplimiento de los estatutos del control de calidad del metal y del medio ambiente.

El nuevo horno rotatorio libre de sales por sus siglas en inglés Rotatori Salt Free (RSF), utiliza lo que se conoce como fundición, baja en sales o libre de sales.

La fundición del aluminio secundario es esencial y para ello se utiliza la tecnología que hay en el mercado.

El horno consiste en un eje fijo, una línea del refractario en el cilindro la cual está rotando (girando) durante el proceso, la energía es completada por un quemador.

En los últimos 10 años, se ha adaptado un nuevo quemador de combustible que utiliza oxígeno, en este proceso la adición del flujo de sal en el balance, forma un óxido en la escoria y los desechos del aluminio durante la carga, reduciendo al mínimo las pérdidas de aluminio fundido. Estas grandes cantidades de escoria en la sal que se producen no tiene importancia, cuando se añade esto al costo de producción. El cual se puede almacenar para recuperar posteriormente el aluminio en la escoria. En los próximos años AGA Y Hoovens Aluminium y Voerde, desarrollado en Alemania, se está patentado dicho proceso y así poner dentro de una operación, comercial de la empresa Alerec, el proceso del horno rotatorio para fusión de la escoria la cantidad de sal requerida se contempla que se reduzca a un 50%, el horno rotatorio inclinado es una buena opción de compra en los mercados.

Todas estas opciones que se ofrecen por parte de las empresas AGA, Alerce, Hoovens Aluminum y Voerde, están ofreciendo grandes ventajas para adquirir tecnología de primera calidad y entre más se investiga los procesos, se incrementa la tecnología para el reciclado de aluminio para el futuro.

Ventajas:

- Los procesos están automatizados en su totalidad y controlados por medio de computadoras.
- El nuevo proceso RSF se produce menos cantidad de escoria, se requiere menos adición de sal al proceso, el consumo de combustible también es menor en comparación con otros procesos.
- La utilización del oxígeno al 100% de pureza y enriquecido con gas metano hace más eficiente el proceso que si sólo utilizara aire enriquecido con oxígeno.
- Este proceso RSF contamina mucho menos, ya que todo el proceso es hermético y los gases contaminantes son capturados y tratados, haciendo que el metal obtenido sea mucho más limpio y libre de impurezas.

Limitaciones:

- El proceso RSF tiene gastos altos por el mantenimiento de los hornos y equipos automatizados.
- Existe pérdida de energía debido a que la carga del horno RSF no es continua ya que se carga en 4 tiempos, cada tiempo la carga es de 23 ton.
- El proceso está controlado por sistemas de PLC, los cuales hay que calibrar y dar mantenimiento constantemente, además de que los termopares se pueden dañar o descalibrarse, esto traería problemas al proceso de fusión del aluminio.
- En estos procesos, si no se controla el flujo de sal para descorificar, hay pérdidas y hay el riesgo de perder el control del proceso.

#### **4.2.3 El metal secundario suministrado y la calidad del metal del aluminio reciclado.<sup>85</sup>**

El diseño de la fundición puede estar sujeto a las necesidades de producción, lo primero que concierne es la composición química correcta, en los límites especificados, se requiere un control de las impurezas. Una vez establecida la composición, el otro diseño concerniente de gran importancia es el que tiene incluida la concentración de hidrógeno y de metales alcalinos incluyendo las inclusiones metálicas y no metálicas ya que ambos afectan la calidad del metal en la fundición. Para la obtención del metal secundario es más simple, ya que hay factores que son: Químicos y de control de las impurezas; el equipo de fundición utilizado en el proceso es el usado para la obtención del metal secundario. El cuidado y la atención también deben ser tomados en cuenta, así como un diseño en la planta de proceso que afecta el grado de la calidad del metal; se observa que en altas temperaturas el metal dentro del molde presenta turbulencia, esto puede significar defectos en los moldes (si son de arena) y así afectar la calidad del metal, además de que se esta incrementando la disolución de hidrógeno. En muchas plantas donde se hacen fundiciones, se tiene la práctica y la apropiada manipulación, así como el tratamiento del metal dentro del molde para evitar la turbulencia, de este modo asegura la calidad y la fiabilidad del metal obtenido.

Ventajas:

- La producción del metal secundario es parecida a la del aluminio de la primera fusión.
- El origen de las variaciones en las aleaciones y los elementos son irrelevantes a lo largo y dentro del intervalo correcto.
- Como proceso secundario el cambio es mínimo, durante la obtención de la aleación del aluminio.

Limitaciones:

- Este proceso funciona dentro de la planta IMCO (ubicada en Tennessee USA), la cual no revela detalles de su proceso, debido a los derechos de propiedad industrial.

- El proceso es rentable para la planta IMCO, pero el costo de mantenimiento es alto.
- Las variables a controlar son complicadas ya que el producto final se ve afectado por que el ciclo de obtención del AlSi<sub>9</sub>Mg al ser un proceso que consta de 5 hornos.

#### **4.2.4 Fusión de la chatarra de aluminio, en un horno con cámaras gemelas libre de sales.<sup>86</sup>**

El horno con cámaras gemelas, está diseñado con dos cámaras separadas y es desarrollado para ser menos contaminante y las ventajas se encuentra en la fusión, libre de sales, lo cual ocasiona pérdidas de aluminio durante la eliminación de la escoria (quitar la capa de óxido formada durante la fusión que es ocasionada por el contacto del metal fundido y el oxígeno contenido en aire). El horno con cámara gemela (HCG) es descubierto y desarrollado para la fusión de la chatarra de aluminio, ya que dicha chatarra contiene diferentes tipos de contaminantes como son: Caucho, materiales plásticos, lacas y aceites. El único concepto que permite a la chatarra complementar el proceso en el horno, sin la necesidad de utilizar un precalentamiento y sin utilizar sales para descorificación. Normalmente la carga del horno, consiste en 30% de material limpio y un 70% de chatarra que contiene un estimado de 10% de contaminantes, ya antes mencionados. El HCG combina la ventaja de una fusión libre de sales y la fusión de la chatarra de aluminio, así como una optimización de la energía y de baja contaminación. El principio de operación consiste en, el diseño de hornos separados por dos cámaras de procesos continuo (una cámara es donde se realiza la fusión y en la otra cámara para la chatarra). Las dos cámaras están conectadas entre si, la cámara de la chatarra tiene una conexión llamada puente y en donde la chatarra del aluminio se limpia por medio de mallas colocadas en puente. Estas mallas limpian el metal, de ahí su nombre de libre de sales, ya que al agregar sales hay pérdidas durante el retiro de la escoria del metal, ver figura 17.

Posteriormente, el metal ya que se encuentra en estado líquido, es impulsado a la otra cámara por medio de una bomba, la cual al impulsar el metal ejerce una convección forzada, el metal se mezcla, lo que hace que tenga una mejor homogeneidad, tanto de temperatura como de composición química. Posteriormente el metal se traslada a una cámara de calentamiento, donde existen tres quemadores, que mantienen al aluminio en estado líquido, para posteriormente ser vaciado a los moldes, ya sean moldes permanentes, cerámicos, lingoteras, etc. Otra de las ventajas es que el horno puede permanecer en estado estacionario, este tipo de hornos están totalmente programado por medio de PLC durante la carga de la chatarra del aluminio y el riesgo de sufrir accidentes y cometer errores es mínimo.

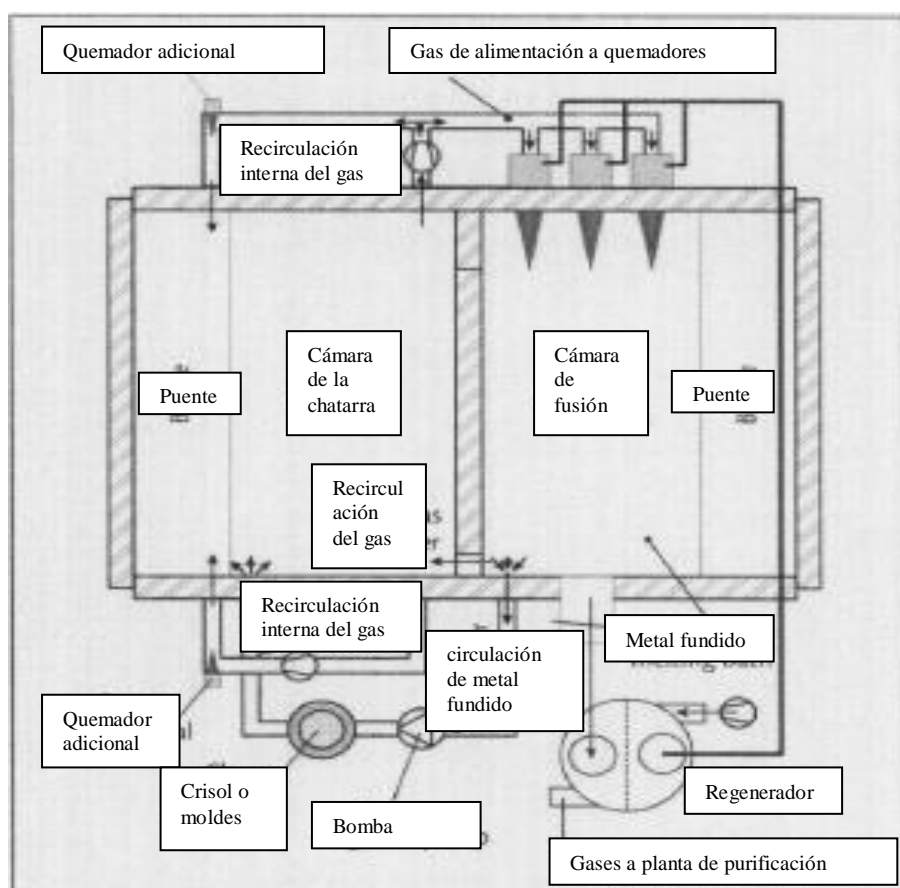


Figura 17. Representación esquemática del horno de cámaras gemelas.



Ventajas:

- La carga se hace por máquinas automatizadas, lo cual reduce el tiempo de contacto del metal fundido con el oxígeno del aire.
- Durante la fusión del aluminio, éste queda libre de sales, esto disminuye las pérdidas de aluminio.
- Cuando el metal es impulsado a la otra cámara por medio de la bomba, hace más homogéneo el metal, tanto en temperatura como en composición química.
- Se ahorra tiempo y personal durante el proceso de carga y fusión del aluminio, además el aluminio es de buena calidad, eso depende de la composición que requieran los clientes.

Limitaciones:

- Al estar automatizado todo el proceso, corre el riesgo de que si se descompone el horno, entonces se para todo automáticamente ocasionando pérdidas, ya que el personal para repararlo sería técnicos especializados.
- Los costos de inversión son altos, se debe hacer un buen cálculo de riesgo de inversión.

#### **4.3 Diseño de optimización en el proceso de reciclado de aluminio, utilizando la técnica Taguchi.<sup>87</sup>**

Este método de optimización se desarrolla para reducir el costo y mejorar la calidad del aluminio reciclado. En este estudio se investigan los parámetros de proceso y se presentan para determinar una configuración óptima de dichos parámetros y diseñar un plan para obtener un buen desempeño, calidad y costo. El método de Taguchi es inicialmente aplicado para planear un número mínimo de experimentos, con arreglos y técnicas ortogonales, es un método de experimentación e investigación de varios parámetros. La matriz utilizada para el experimental utiliza: L4 normales y L9 ortogonal de arreglos, que se emplea “n” para evaluar los efectos de parámetros del reciclado, de la escoria de aluminio y de materiales de desperdicio. Un análisis estadístico de proporción signo-ruido realiza un análisis de variación (ANOVA), que estima los niveles óptimos y determina la magnitud relativa del efecto de factores involucrados.

Finalmente, se hace un análisis de datos históricos basados en la metodología de superficie, que se usa para el análisis ortogonal de Taguchi. Además, se muestran los resultados experimentales para la matriz ortogonal L18, los cuales se ilustran un buen acuerdo de los niveles de factor de óptimas proporciones del signo-ruido que se sugieren para la obtención de las respuestas de superficies. Esta investigación se realiza en la planta IMCO Recycling, ver figura 18, en donde se investigó el mando del proceso, donde se toman medidas de todos los parámetros que se pueden medir, incluso la carga, el flujo con que se alimenta al horno, la temperatura de fusión, la rotación, la velocidad del horno y las presiones del flujo de gas que son utilizadas, conociendo todas estas variables es como se componen los arreglos tanto ortogonales como normales, para la evaluación del proceso de reciclado de aluminio.

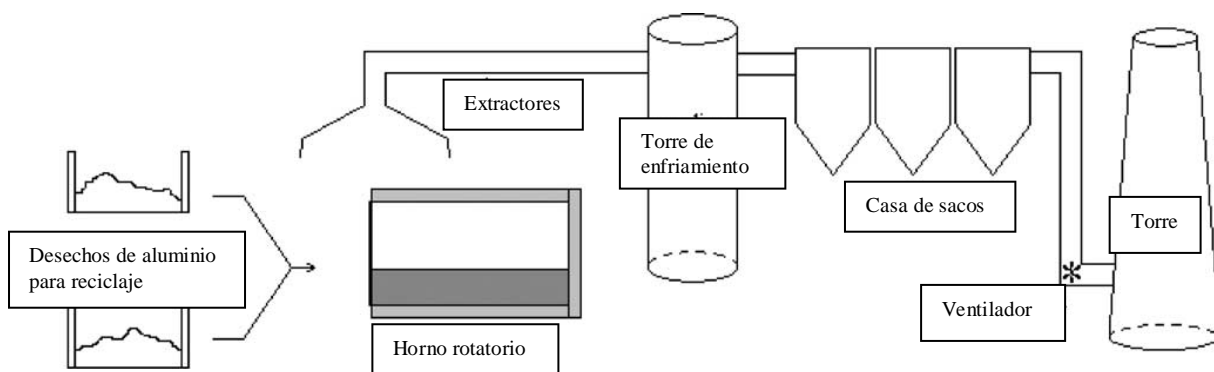


Figura 18 representación esquemática del proceso de reciclado de aluminio en la planta IMCO.

#### Ventajas:

- La técnica Taguchi se usa para mejorar la productividad durante el reciclado de aluminio, que se realiza durante el proceso, para que puedan fabricar los productos de calidad superior a bajo costo.
- La técnica de arreglo ortogonal se describió en el plan experimental, él reduce el número de experimentos esto exigió investigar un juego de parámetros y minimizar tiempo así como costo, mientras se realizan los experimentos que se utilizaban en la planta de producción de aluminio.

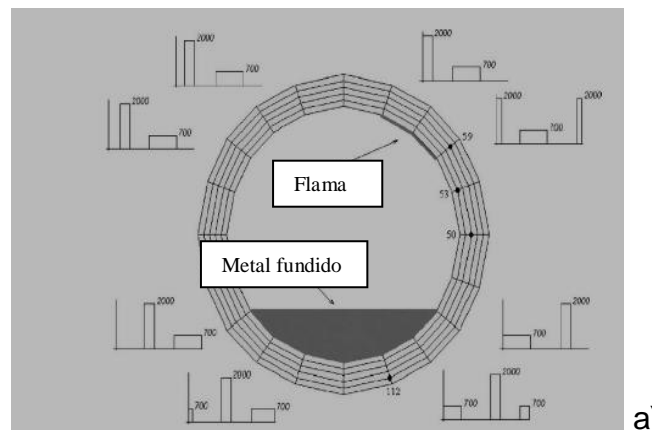
- Para su estudio se usa una L4 en los ensayos en el trozo de material, donde la serie ortogonal indicó un nivel alto del peso de la carga, junto con los niveles bajos de temperatura del horno y hechura de proporción de flujo de los niveles, aquí resulto ser más alta la recuperación que la proporción de flujo, dicho factor es más eficaz en la variación total de recuperación.
- En el experimento se emplea una serie L9 ortogonal, esto sugiere que un nivel bajo de peso y carga, así como un alto nivel de temperatura del horno y se obtienen niveles más altos de recuperación.

Limitaciones:

- La técnica es empleada para una empresa en particular, lo cual indica que para cada caso hay que hacer un estudio particular.
- Los factores no son muy complejos, la técnica tiende a tener un error mínimo, hablando estadísticamente.
- Los diseños de este tipo de experimentos, deben de conocer bien sus variables de procesos, ya que dichas variables afectan la recuperación del reciclado de aluminio y al diseño del experimento.

#### 4.3.1 Modelado numérico de un horno rotatorio, para el proceso de reciclado de aluminio.<sup>88</sup>

Se presenta una simulación numérica que involucra el flujo de fluido y el transporte de energía, en este proceso de reciclado de aluminio, para mejorar su comportamiento y comprensión. El modelo del elemento finito (ELFEN), se emplea para simular la rotación del horno y analizar los flujos de energía dentro del horno, ver figura 19.



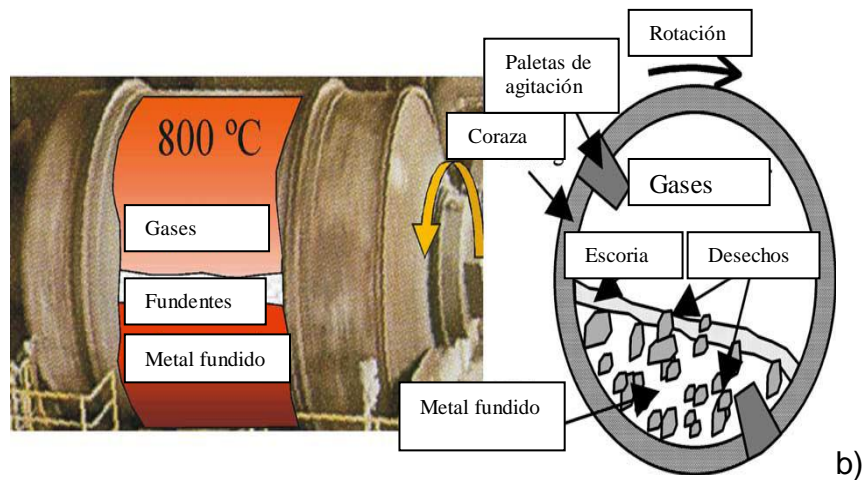


Figura 19 a) modelado numérico y condiciones iniciales y a la frontera del horno rotatorio. b) la representación esquemática del horno rotatorio.

Un análisis dinámico se lleva a cabo, para predecir la evolución y distribución de temperaturas en un horno rotatorio, por el modelado y analizado del horno bajo, así como las diferentes posiciones de la flama, que es proporcionada por el quemador. El sistema de modelado de elemento finito, ELFEN, se usa para desarrollar, un modelo de horno. Los resultados indican la distribución de temperatura claramente, para las velocidades angulares diferentes, junto con una comparación de la variación de temperatura, bajo posiciones de la flamas. Es mas eficiente la transferencia de calor en un horno cilíndrico, esto se conoce por medio de modelos matemáticos; en esta investigación se evalúan los perfiles de temperatura, a través de las paredes del horno, ya que una vez conocidos estos perfiles, se puede calcular la transferencia de calor por medio de radiación, obtenidos con la suma de estos mecanismos; es mas eficiente este horno, además el introducir la rotación al horno, hace que sea mas homogénea la distribución de la temperatura, haciéndose óptimo el procesó de reciclaje, ver figura 20.

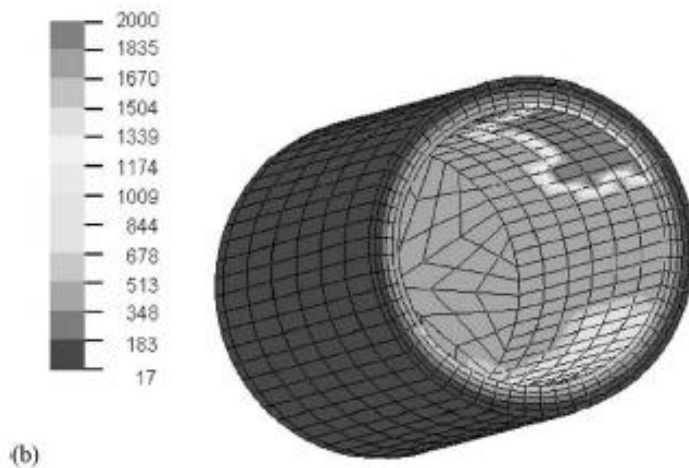
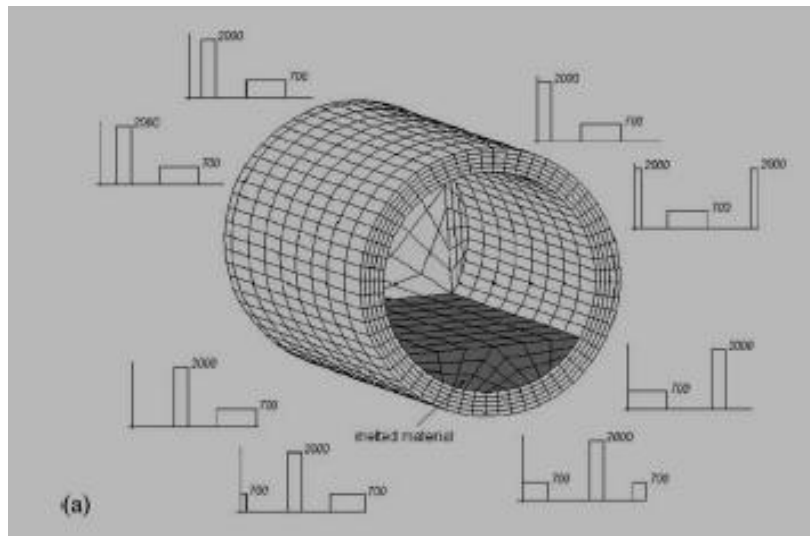


Figura 20. Distribución de la temperatura y un análisis dinámico transitorio a  $t = 20000$  s. a) modelado por elemento finito b) horno visto en 3D.

#### Ventajas:

- Se describen los recientes logros en modelos del proceso que involucran flujo de fluidos y la transferencia de calor, con esto se predijo la evolución y la distribución de temperaturas en el horno rotatorio, por el modelado y analizando el horno bajo las diferentes posiciones de la flama.

- El sistema de modelado de elemento finito (ELFEN), fue empleado para desarrollarse en 2D y 3D, lo cual abarca todas las direcciones de la transferencia de calor que genera el quemador.
- Finalmente se hizo una comparación de la distribución de temperaturas en distintas posiciones del quemador, además de utilizar un análisis dinámico en 2D, en el horno rotatorio.
- El trabajo en conjunto con la investigación realizada para la técnica Taguchi, hacen más completo el desarrollo de la planta IMCO, para la optimización de su proceso de reciclado de aluminio.

Limitaciones:

- El modelo funciona para este horno en particular ya que fue construido con las propiedades físicas y químicas conocidas del gas, refractarios y del metal.
- Las latas deben de estar libres de impurezas ya que las impurezas afectarían a la recuperación del aluminio y además se perdería gran cantidad de metal en la escoria.
- El desarrollo del software es muy complejo, lo cual hace alto el costo de este método.

#### **4.3.2 Alimentación continua y refusión de trozos de aluminio rolados por el proceso de fusión continua.<sup>89</sup>**

La pérdida del metal durante la fusión es común en el reciclado de aluminio. Las pérdidas de este metal podrían llevar a costos altos y substanciales en los experimentos de alimentación continua de trozos de aluminio ya fundidos que se fabrican y se estudia.

Un simple modelo matemático estudiado puede ser desarrollado e implementado, si se conocen los perfiles de temperatura que tanto influyen en la fusión, además se incluyen variables como son la velocidad de alimentación, el recalentamiento y los coeficientes de transferencia de calor en estado sólido y líquido, incluyendo la capa solidificada del lingote o placa según sea el caso. El criterio de formación de la escoria, también es tomada en cuenta en la formulación matemática.

Los resultados pueden ser aplicados para entender sistemas complejos, donde la escoria una vez hecha trizas es alimentada dentro del aluminio ya fundido, el presente modelo podría ser de interés cuando es alimentado, por ejemplo un rollo de escoria dentro del aluminio líquido, hace recuperar el aluminio y es reutilizada la escoria, ya que generalmente esta escoria es desperdiciada y cabe recordar que es rica en óxido de aluminio. Este proceso se realiza usando la escoria producida, durante la fundición del aluminio sobre la superficie del metal antes del vaciado en moldes, como la escoria tiene grandes cantidades de aluminio, este puede recuperarse, por medio de una nueva fusión, de aluminio a reciclar.

Ventajas:

- Un simple modelo matemático de una dimensión de la fusión del metal en una placa delgada (modelo de trozo rolado), explica el comportamiento de la fusión del aluminio.
- Usando el modelo matemático se obtiene la profundidad de penetración y el perfil de temperatura alrededor de las placas.
- Para describir el sistema cuando un perfil es grueso, como el trozo rolado que se agrega, deben emplearse los métodos numéricos. Un paquete de latas compactado es un ejemplo del uso de una referencia para el cálculo.

Limitaciones:

- El modelo matemático solo funciona, para espesores delgados y no así para grandes espesores solamente funciona para las placas de espesor delgado.
- Una excepción cuando, una cáscara solidificada no se forma el modelo matemático no funciona.

#### 4.4 Reciclado de aluminio por matriz de compósitos, en el metal utilizando líquidos iónicos: Efecto en las variables de proceso y en la eficiencia de la corriente y características del depósito.<sup>92</sup>

La matriz del compuesto en el aluminio, produce beneficios semejantes como son: Una alta resistencia a la fatiga y buenas propiedades térmicas. Hay un gran interés en la manufactura, para aplicaciones estructurales, automotrices y aplicaciones en la industria armamentista y defensa. La ventaja en la matriz de compósitos es mayormente utilizada en la industria automotriz, ya que dan un buen resultado y los costos son más bajos en comparación con las aleaciones comerciales.

La matriz del compuesto en el metal es utilizada por vía de líquidos iónicos (LI) se investiga y reporta a baja temperatura.

El electrolito fundido incluye una sustancia llamada, 1-butil-3metilimidazolio-clorhídrico (BMIC) y anhídrido de  $AlCl_3$ , la matriz del compuesto de aluminio es duralcan, ( Al-380,20% de SiC ), es que es electroquímicamente disuelto, en un ánodo de aluminio y depositado en un cátodo de cobre, ver figura 21.

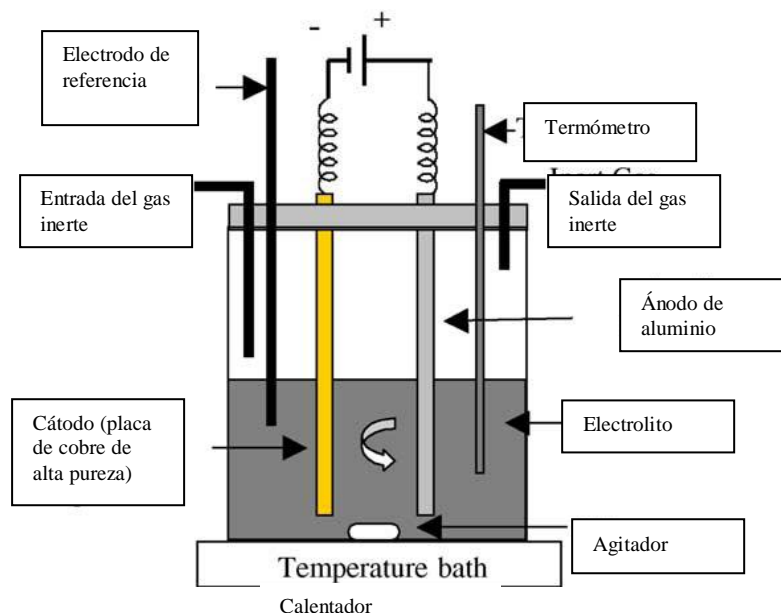


Figura 21. Representación esquemática para la recuperación electrolítica del aluminio.



La influencia de los parámetros experimentales, es semejante a la concentración del compuesto, el estudio del reciclado es realizado a un intervalo de temperatura de  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ . La aplicación de altos voltajes y concentraciones de  $\text{AlCl}_3$  es de una densidad de corriente utilizada para los fines de esta investigación, en un intervalo de  $200 - 500 \text{ Amp/m}^2$  y la eficiencia de la corriente está en el intervalo de 70-90%. Los depósitos son caracterizados, con microscopio electrónico de barrido, difractómetro de rayos X, espectrómetro de masa y espectrómetro de absorción atómica; las características de la micro estructura del metal depositado está en un rango que va de estructura columnar a estructura esférica, ver figura 22.

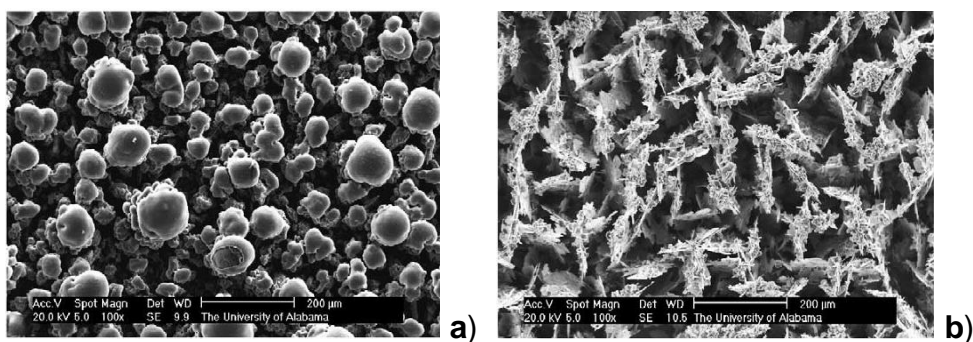


Figura 22. Efecto de los distintos depósitos de aluminio en el cátodo de cobre. a) se muestra obtenida a 1.8V a una temperatura de  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ . b) muestra obtenida a 1.0 V a una temperatura de  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ .

El consumo de energía está en el intervalo de 3.2-6.7 Kwh./Kg.-Al, la condición óptima que se encontró es: La aplicación de una corriente mínima, en el consumo de energía para el depósito de aluminio en el cátodo. Además se reporta que una alta concentración de electrolito y una aplicación de corriente baja. Se obtiene una eficacia del metal depositado en el cátodo. En este proceso las ventajas son claras, con respecto a obtener el aluminio por medio de fusión, ya que al fundir el aluminio existe una pérdida por escoriación, lo cual representa una pérdida, esto no ocurre en este proceso, ya que se deposita por medio de electrolisis. Este es uno de los métodos de obtener purzas elevadas, otra ventaja común es el ahorro de energía, en comparación al proceso de obtención de aluminio primario.

Ventajas:

- Se obtiene aluminio de alta pureza ( >98% )
- Las corrientes utilizados en esta investigación es de 200 – 500 Amp/m<sup>2</sup> y la eficiencia de corriente es de 70 – 90%.
- La energía consumida es de 3.2 – 6.7 kWh/kg-Al. Lo cual indica que no podría ser rentable si se utiliza en procesos industriales.
- Se reduce la contaminación y la energía, en comparación con la obtención de aluminio primario.

Limitaciones:

- Se necesitan grandes cantidades de reactivos, para realizar la electrodeposición.
- Los trabajadores deben tener cuidado, con los reactivos a manejar, porque hay riesgo en la salud, debido a estos reactivos, (se utilizan a temperaturas de 103 °C como máximo).
- Falta realizar más investigación en relación, a las propiedades mecánicas, ya que en esta investigación no se mencionan.

#### **4.5 Máxima eficiencia en un horno para temple de aluminio y reducir costos en la fusión.<sup>93</sup>**

Solamente una porción del calor que se genera en un horno para los procesos de fundición de aluminio, se emplea adecuadamente para fundir el metal. Utilizando el esquema sencillo de pérdida de calor, ver figura 23; se muestran las variaciones de calor en la producción de aluminio líquido. Las pérdidas de calor a través de las paredes, la superficie del metal, ineficiencia del quemador, el diseño del horno e inconsistencia en los controles de temperatura, contribuyen a tener las pérdidas y esto se ve reflejado en el costo que se estima, la pérdida de calor por radiación, en la superficie del metal es aproximadamente de 704°C. Esto se puede evitar siguiendo estos consejos:

- Hay que precalentar la carga antes de introducirla en el horno de fusión.
- Verificar, reparar el refractario de las paredes del horno.
- Seleccionar adecuadamente el material refractario para el horno.
- Adecuar la carga que se introduce en el horno, para que la fusión sea más rápida.
- Calibrar los pirómetros y obtener valores reales de temperatura.

En lo concerniente a las emisiones de  $\text{NO}_2$ , hay que evitarlo, en la medida de lo posible, ya que contribuyen a la lluvia ácida, cuando este se libera al medio ambiente, además el  $\text{NO}_2$  daña la coraza del horno. Por esta razón hay que precalentar la carga para que no se vea afectada la flama del quemador y aumente la eficiencia de éste. Para evitarlo se pueden seguir estos sencillos pasos:

- Seleccionar un reductor catalítico (SCR), este es eficiente en un 90%.
- Seleccionar un reductor no catalítico (SNCR), este es eficiente en un rango 70-80%.
- Seleccionar una gas con alto poder calorífico o gas natural libre de impurezas, el mejor rango de temperatura es de 60-75%.

Para controlar la eficiencia del horno durante las operaciones diarias, es necesario hacer una revisión después de cada carga, para verificar que no halla escoria en las paredes y estas afecten la composición química y tenga sanidad el metal. Además el desgasificado se debe controlar, ya sea que se introduzca  $\text{N}_2$  o algún gas inerte como Ar, He o mezclas de ambos, el gas debe estar a temperatura de  $30^\circ\text{C}$  para garantizar que se elimine el oxígeno y otras impurezas. En lo que respecta al gas para el quemador, éste debe ser enriquecido con oxígeno para aumentar el poder calorífico y hacer mas eficiente la fusión, la mezcla debe ser en proporción de 10:1; se debe tener cuidado, ya que si se enriquece mas el gas con oxígeno hay peligro de que ocurra una explosión. Con estas sencillas recomendaciones, se obtiene un máximo de beneficios al horno y así se evita la perdida de calor durante el proceso de fusión, esto no lo saben muchas fundidoras, por lo que es importante la difusión, ya que dichas fundidoras también consumen energía y es importante desarrollar la máxima optimización.

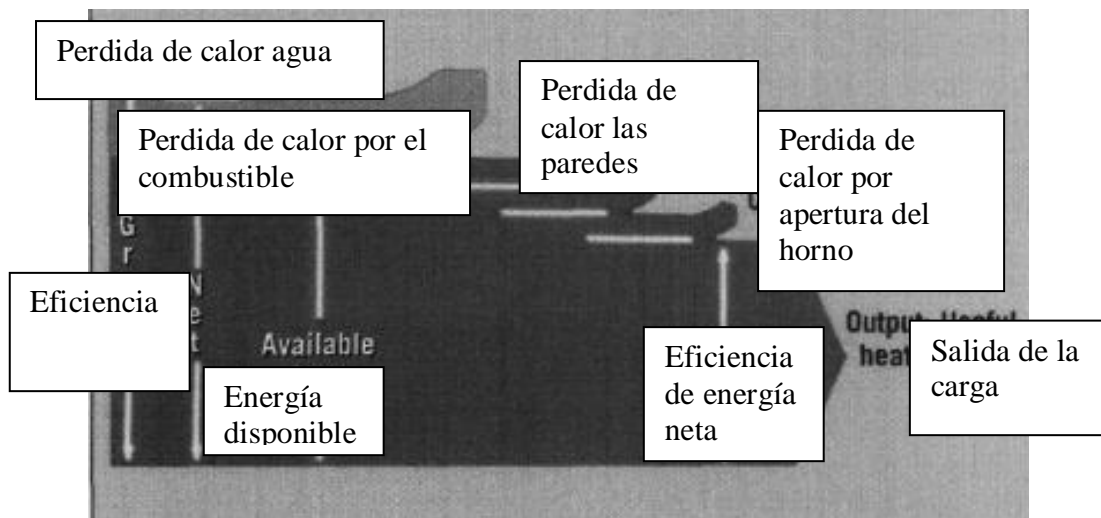


Figura 23. Esquema de la representación de pérdidas de calor de un horno durante la fusión del aluminio.

#### Ventajas:

- Los consejos son sencillos, por lo que no es indispensable personal altamente calificado; puede ser el mismo personal de mantenimiento de la planta quien lo puede realizar.
- Adecuar correctamente el gas del quemador para obtener un máximo de beneficios, durante la fusión de la carga de aluminio.
- Divulgar la información para las pequeñas empresas, que están comenzando no tengan tantas pérdidas y sean autosuficientes.

#### Limitaciones.

- Los costos de implementar estos consejos no se harían todos juntos, debido a que no se obtendría el máximo de eficiencia al inicio.
- No se indican si los catalizadores son costosos y además al no utilizarlos se tiene el problema de las emisiones de  $\text{NO}_2$ .
- Con lo que respecta al quemador hace falta un diseño innovador y no tan costoso, y no simplemente enriquecer el gas que utiliza oxígeno.

### **Análisis de resultados.**

La importancia del aluminio se ve reflejada en las cifras reportadas a nivel internacional, algunas organizaciones se encargan de censar un estimado de producción de aluminio, lo que indica que la importancia de este metal va en aumento.

Por sus características físicas y químicas, el aluminio esta alcanzando valor, tanto económico, social, industrial etc., además su recuperación, es mas importante hoy en día, por razones ecológica y económicas, sobre todo en los países productores de aluminio a nivel mundial como África, que es el país productor numero uno seguido de América del norte y de América latina. No se puede descartar a los países del continente Asiático, ya que el desarrollo de la tecnología digital y de maquinaria vienen de esos países. Esto significa que donde se produce más aluminio es en el continente americano, desafortunadamente en México no hay yacimientos ricos en bauxita. La razón es que deben mejorar sus procesos para después vender el aluminio (como lingotes, perfiles, tochos, etc.), innovando productos y nuevas aplicaciones para el Al.

Con lo que respecta a la legislación, la ley no especifica claramente la clasificación de chatarras ( de metales ), pero si se define lo que es residuo sólido urbano (RSU), así como la responsabilidad de que hacer de acuerdo con la ley de la Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT); además se define claramente que es el reciclado, estas leyes son claras pero no se definen los procedimientos para tratar los RSU, por lo que las Secretarías debieran trabajar con equipos multidisciplinarios (biólogos, químicos, juristas etc.), para poner en claro los procedimientos a seguir. Otra innovación importante, es la ley del Distrito Federal, donde todos los habitantes del D. F. tienen que separar sus residuos sólidos, comúnmente llamada “basura” y depositarla en donde se especifica; separar los residuos orgánicos de los inorgánicos y en caso de no hacerlo, habrá sanciones que van de 10 a 150 días de salario mínimo vigente en el D. F., este tipo de acciones son excelentes, hay que esperar que la gente este tomando conciencia y acciones como éstas son necesarias no solo en D. F.,

sino en todas las ciudades de la republica Mexicana y en todo el mundo.

En cuanto a la importancia de reciclar a nivel mundial, se esta creando conciencia de cuidar los recursos naturales. El reciclado y el medio ambiente, ambos conceptos están ligados y resultan que son benéficos para la humanidad.

Hay nuevos conceptos utilizados a nivel mundial, que son el circuito cerrado ó ciclo cerrado, que consiste en obtener un producto de aluminio y este a su vez es un producto finito que al ser recolectado se puede ampliar su vida útil, como por ejemplo, una lata una vez vaciado su contenido no se puede volver a llenar del liquido que contenía anteriormente, se envía a un procesador donde son retiradas las impurezas y posteriormente se funde para estar nuevamente a la venta al consumidor ya sea en producto original o en otra presentación, esta ventaja la adoptó Brasil ya que en este país las latas de aluminio vendidas al publico regresan en un 90% a las plantas fundidoras.

La educación en el reciclaje es primordial, en cualquier sociedad, en la educación de los niños se crea conciencia, a todos los niveles en donde se tiene que cuidar el medio ambiente y de este modo no agotar tan rápido los recursos naturales, un ejemplo de esto es el Reino Unido (UK), en donde las compañías ofrecen algún tipo de incentivo a los niños y a las escuelas, por juntar latas de aluminio, como se observa en las imágenes de esta tesis figura 07(pág. 40, Cáp. 3 ); en México se puede implementar algún tipo de estrategia similar, con la ayuda de las escuelas, padres de familia e industrias se puede llevar acabo la recolección de botes de aluminio para reciclarlas.

Con lo que se muestra en los procesos actuales, se aprecian dos aspectos de investigación que son: Los procesos de conversión directa (PCD), metalurgia de polvos y los avances en procesos de fundición (tipos de hornos), estas son la principales líneas de investigación encontradas en la literatura, a la fecha. Dentro de estas dos grandes líneas de investigación se está avanzando rápidamente, en procesos de metalurgia de polvos, debido a que hay una rápida disposición en cuanto a tiempo y dinero, pero no están instalados a escala industrial.

Mientras que el proceso de fundición (PF), se está llevando a cabo a nivel industrial, alrededor del mundo, lo cual implica que se tuvo que realizar una investigación donde se están aplicando estos procesos de fundición. En lo que respecta a los demás artículos, el reciclado de aluminio continúa cambiando y no está nada rezagado o ya estudiado, por lo que es necesario conocer y difundir todo lo investigado.

Las ventajas de utilizar la técnica de conversión directa, muestra un mayor ahorro de energía, debido a que se toma el aluminio preferentemente de perfiles y se hacen los pasos de triturar, moler, tamizar, compactar y sinterizar, para obtener piezas con formas que convengan; en México es una buena forma de comenzar por este método, no se producen polvos de aluminio en el país, lo cual proporcionaría una gran ventaja, las únicas limitantes, iniciar el proceso para la construcción de la trituradora y comenzar a clasificar adecuadamente la chatarra, para obtener propiedades homogéneas como son la composición química, la homogeneidad en las propiedades mecánicas, etc.

Con los hornos rotatorios comienza la investigación, debido a que se ahorra energía, las ventajas de este método de fusión de aluminio es que no hay tantas pérdidas de aluminio por la oxidación en el medio ambiente, lo cual aumenta la eficiencia de este tipo de hornos; en México se puede comenzar a implementar este tipo de hornos, aunque sea a nivel piloto, pero se necesita la ayuda del sector privado y de universidades que estén interesadas en el reciclado de aluminio, para desarrollar hornos y procesos que se implementen en México.

En cuanto a los modelos matemáticos son de gran importancia a nivel de proyectos a futuro, este tipo de investigación es la que pone a la vanguardia a países industrializados en cuestión de investigación; en México es importante que esté a la vanguardia con este tipo de estudios, para fomentar que los investigadores y las industrias tengan referencias al momento de implementar procesos e investigaciones que se desarrollen en México.

Estos son los puntos mas importantes en cuanto al reciclado de aluminio, hay que trabajar para beneficio de México y poco a poco lograr avances, así como tratar de no solamente copiar modelos ya hechos en otros países, lo mas importantes es adaptar lo que ya se tiene, ya que cada país se adapta a las circunstancias que lo rodean, lo mismo hay que hacer en México.

### **Conclusiones**

- En México no hay yacimientos de aluminio, por lo que todo el aluminio es de importación, ya sea concentrado de alúmina o lingotes de aluminio primario, por lo que hay que proponer soluciones como son: La investigación para poder reciclar la mayoría del aluminio que actualmente se desperdicia, ya que es un metal esencial para el desarrollo de México.
- El reciclado de aluminio es tarea de todos, no solamente de las empresas y gobierno, hay que tomar conciencia sobre todo en la juventud, para recuperar todo el aluminio para disminuir las importaciones y el agotamiento de los recursos naturales aun existentes.
- La legislación debe ser adecuada en cuanto al reciclado de los metales no solamente de aluminio, para así ser más eficientes en su recolección y recuperación y proporcionar todas las facilidades para optimizar el proceso de reciclado, de este modo es posible que se ayuden a las personas que estén interesadas, que quieran trabajar en dichos procesos de recuperación.
- Al reciclar el aluminio se eliminan costos de importación, lo cual lleva a un ahorro de energía y de recursos naturales y poco a poco a la independencia de los grandes productores de aluminio.
- Los procesos actuales indican que el reciclado no están complicado y que en algunos países que han mostrado que es importante tener un grado de inversión para la realización de estos procesos a cabo a escala industrial; en México es necesario estudiar todo lo concerniente al reciclado de aluminio, para que sea una alternativa como metal estratégico para el desarrollo del país.



- Trabajando en conjunto tanto empresas como instituciones de nivel superior o centros de investigación, para beneficio mutuo y poner el proceso del reciclado de aluminio como una actividad prioritaria para el desarrollo de México.
- Promover nuevas empresas para el desarrollo del reciclado o que las mismas empresas que ya están consolidadas incursionen en invertir, para mejorar las técnicas de reciclado de aluminio y así obtener los beneficios económicos.
- En cuanto a la investigación, esta nunca se detiene, siempre hay algo que investigar ó renovar, no importa el tema, para estar a la vanguardia en investigación de primer nivel, en todo tipo de investigaciones no solamente en el tema del aluminio.
- Que gobierno fomente subsidios a instituciones privadas para la creación y desarrollo de nuevas empresas, dedicadas a la obtención de aluminio secundario por cualquier método de reciclado, como los mostrados en este trabajo.

## Bibliografía.

1. Moreno García Germán., Reciclado de envases de aluminio para bebidas en México. UNAM, Pág. 12-35, Facultad de química 1993.
2. Castillo Espinosa Héctor Eduardo., Caracterización y recuperación (reciclado) de chatarra de aluminio (Latas). UNAM, Pág. 21-41, Facultad de química 1995.
3. Barreda Maza Ernesto., Estudio de factibilidad del establecimiento de centros de acopio de latas de aluminio para su reciclaje en la ciudad de México. UNAM, Pág. 35-55, Facultad de ingeniería 2003.
4. Censo Industrial, Censos económicos 1999., Industrias manufactureras: Subsector 37. Industrias metálicas básicas, producción y materias primas, año 2000.
5. Anuario estadístico de la minería mexicana 2000. Consejo de recursos minerales secretaria de economía: Coordinación general de minería. Edición 2001 INEGI.
6. Energy and the aluminium beverage can. Gaceta del instituto mexicano del aluminio No.165 [citado 26 Noviembre 2004] disponible en:URL:<http://www.world-aluminium.org/publication.html>
7. Careaga Juan Antonio., Manejo y reciclaje de los residuos de envases y embalajes. Instituto Nacional de Ecología. Series monográficas, No. 4, año 1999. [Citado el 23 de julio 2004] disponible en: URL [http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/133/manejo.html?id\\_pub=133](http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/133/manejo.html?id_pub=133)
8. Energy and the Aluminum beverage can., World Aluminum Repot, No 243, September 2000. [Citado el 28 de Julio 2004] disponible en Internet URL: <http://www.word-aluminium.org/search/recycling/aluminium/beverajecan/html>
9. Gaceta del Instituto Mexicano del Aluminio. No.165 [citado 26 Noviembre 2004] disponible en:URL:<http://www.world-aluminium.org/pubication.html>
10. Gobierno del D.F., Ley de residuos sólidos del D. F., [citado 15 febrero 2005] disponible en URL:<http://www.sma.df.gob.mx/rsolidos.html>
11. Profepa. Ley de residuos sólidos., [Citado 16 febrero 2005] disponible en URL:[http://www.profepa.gob.mx/sección.asp?sec\\_idcomid=0](http://www.profepa.gob.mx/sección.asp?sec_idcomid=0)

12. Semarnat. Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos. [Citado 19 de febrero 2005] disponible en URL:[http://www.semarnat.gestion\\_integral\\_de\\_los\\_residuos.html](http://www.semarnat.gestion_integral_de_los_residuos.html).
13. Ecología y medio ambiente., Enciclopedia temática ilustrada. Editorial Grijalbo, Pág. 125-158, México D. F., 2003.
14. Manejo y reciclaje del aluminio., Instituto mexicano del aluminio gaceta No123, 2002, [ citado el 25 de julio 2004] disponible en Internet: URL:<http://www.imeldal.com.mx/busqueda/gaceta/recicladodealuminio.html>
15. M.A. Reuter, U.Boin, P.Rem., The optimization of recycling integrating the resource. Technological and life cycles. Journal of Metals, August 2004, Pág. 33. [citado 16 agosto 2004], disponible en PROQUEST database.
16. Subodh K. Das, W. Jerry. , Energy implications of the changing world of aluminum metal supply. Journal of Metals, August 2004, Pág.14. [citado 19 agosto 2004] disponible en PROQUEST database.
17. Subodh, K., Das, W. Jerry Long III., Wayne Hayden, John A.S., Energy implications of the changing world of aluminum metal supply. Journal of Metals, August 2004, Pág. 14. [citado 23 agosto 2004] disponible en PROQUEST database.
18. A.Van Schaik and M.A. Reuter., The optimization of end-of. Life vehicle recycling in the European Union. Journal of Metals, August 2004, Pág. 39. [citado 27 agosto 2004] disponible en PROQUEST database.
19. Gesing Adam., Assuring the continued recycling of light metals in end-of-life vehicles: A global perspective. Journal of Metals, August 2004, Pág. 118. [citado 10 agosto 2004] en: EBSCOHOST Search Data Base.
20. Johnson Jim., Recovery of aluminum scrap. Automotive news Detroit 8 de Nov 2002, Vol. 77, Pág. 208 ONE. [citado 11 agosto 2004] en: EBSCOHOST Search Data Base.
21. Friedrich,B; Jessen, K., New recycling technique. Metal casting technologies (Australia), vol.48, no.1, Pág. 44, feb.2002. [citado 17 agosto 2004] en: EBSCOHOST search data base.

22. Kirchner Günther., Aluminum recycling-challenges and opportunities. Aluminium International, Today, Nov/Dec2003, Vol. 15 Issue 5, Pág. 3. [Citado 30 agosto 2004] en Cambridge science abstract internet database service.
23. Kirchner Günther., Aluminum recycling on the advance. Aluminium International Today, Mar2002, Vol. 14, Pág. 22. [citado 06 septiembre 2004] en Cambridge science Abstracts internet database service.
24. Scott Ken., New roles for Conform-recycling to space research. Aluminium Today, Apr/May2000, Vol. 12, Pág. 26. [citado 17 septiembre 2004] en: EBSCOHOST Search Data Base.
25. Joaquín Male., Los chatarreros recuperan el 70% del total de los envases de Aluminio. [citado el 14 octubre, 2002] disponible en Internet URL:[www.aluminio.org/Arpal.pdf](http://www.aluminio.org/Arpal.pdf)
26. Jesús Díaz., Diseño y construcción de un horno de fundición para latas de aluminio. Diseño para Expocien. [citado el 26 octubre, 2004] disponible en internet URL:[www.tupublicas.com/docs/05-03-2004-28-expocien.pdf](http://www.tupublicas.com/docs/05-03-2004-28-expocien.pdf)
27. Steel Karen M.; Patrick, John W. Oxygen., Lances for post combustion in recycling processes, Aluminium International Today, Nov. 2004. [Citado el 10 noviembre, 2004] disponible en Database: Business Source Premier.
28. Blake Anthony., Supplying liquid aluminum to foundries, Aluminum International Today, [Citado el 13 noviembre, 2002] disponible en Database: Business Source Premier.
29. Millbank, Paul., Aluminium recycling vital to global supply chain. Aluminum International Today, September 1, 2004, Vol. 16, [citado el 13 noviembre, 2005] Disponible en Database: Business Source Premier.
30. Atkinson Gerard., Recirculating flux gases to increase performance, Aluminum International Today, September 1, 2004, Vol. 16, Issue 5. [Citado el 15 noviembre, 2005] disponible en Data base: Business Source Premier.
31. White David W., Energy effective melts shop practice in IMCO, Aluminum International Today, March 1, 2004, Vol. 16. [Citado el 17 noviembre, 2004] disponible en Database: Business Source Premier.

32. Fogagnolo J. B., Martinez M. A., Recycling of aluminium. Journal of Materials Processing Technology, Vol. 143-144, Pág. 792-795, 20 Dec. 2003. [citado el 19 noviembre, 2004] disponible en Cambridge science abstracts internet database service.
33. John Smith., Ashwater Alupro. Recycling and ecology. [citado el 29 enero, 2003] disponible URL:<http://www.alupro.com.uk/recycling/school/html>
34. Worden Edward., Alcan sees 'three-way win' in barrel recycling project. American Metal Market, 12/12/2001, Vol. 109 Pág. 240. [citado 07 septiembre, 2004] en: EBSCOHOST Search Data Base.
35. Worden Edward., UK feasts on aluminum UBCs from US. American Metal Market, 9/10/2001, Vol. 109. Pág. 17. [citado 09 septiembre, 2004] en: EBSCOHOST Search Data Base.
36. Kirchner Gunter., Impact of the EU. Aluminium Today, Jul/Aug2001, Vol. 13, Pág. 23. [citado 08 septiembre, 2004] en: EBSCOHOST Search Data Base.
37. Beale, David W., Aluminum for future generations. Aluminium Today, Dec2000, Vol. 12, Pág. 15 [citado 10 septiembre, 2004] en: EBSCOHOST Search Data Base.
38. Furukawa, Tsukasa., Two Japanese firms planning aluminum can recycling plant. American Metal Market, 08/17/2000, Vol. 108, Pág. 11. [citado 12 septiembre, 2004] en: EBSCOHOST Search Data Base.
39. Kohl Christian., European trio marketing aluminum recycling furnace. American Metal Market, 05/01/2000, Vol. 108, Pág. 13. [citado 13 septiembre, 2004] en: EBSCOHOST Search Data Base.
40. Scott Ken., New roles for Conform--recycling to space research. Aluminium Today, Apr/May2000, Vol. 12, Pág. 26. [citado 17 septiembre, 2004] en: EBSCOHOST Search Data Base.
41. Pinkham Myra., Mom and pop hand over recycling to consolidators. Aluminium Today, Jun/Jul98, Vol. 10, Pág. 4. [citado 19 septiembre 2004] en: EBSCOHOST Search Data Base.

42. Pinkham Myra., US moves closer to 75% can recycling goal. Aluminium Today, Jun/Jul98, Vol. 10, Pág. 17 [citado 20 septiembre 2004] en: EBSCOHOST Search Data Base.
43. Anyadike Nnamdi., Directive augers well for aluminium. Aluminium Today, Aug/Sep97, Vol. 9, Pág. 12, [citado 20 septiembre, 2004] en: EBSCOHOST Search Data Base.
44. J. Jody; E. J. Daniels; P. V. Bonsignore; D. E. Karvelas., Recycling of aluminum salt cake. Technical Information Center Oak Ridge Tennessee, Dec 00, Pág. 18. [citado 20 septiembre, 2004] en: Kluwer online.
45. McIntyre John., Recuperative aluminium recycling plant. A demonstrations. Corporate authors: Department of Energy, London (England). Energy Efficiency Office.; Warren Spring Lab., Stevenage (United Kingdom). TIC Foreign Exchange Reports. Apr 91, Pág. 29. [citado 22 septiembre, 2004] en: Kluwer online.
46. McGregor Axel., Aluminum Smelter Implementing Recycling and Remediation Technologies to Address SPL Effectively Dec 4 2005, Pág. 1. [citado el 25 septiembre, 2006] disponible en Internet URL:[www.33metalproducing.com/search.php](http://www.33metalproducing.com/search.php)
47. Doting Bill., Imco to adopt recycling operations. Tolling agreement has it set to take over Ohio ingot facility sep 2, 2003, Vol. 1. [citado el 26 septiembre, 2004] disponible en Internet URL:[www.33metalproducing.com/search.php](http://www.33metalproducing.com/search.php)
48. Smith Kevin., Alba Orders Continuous Homogenizing/Sawing Lines. Two Hertwich installations for 200,000 mtpy, Nov 13 2003, Pág. 1, [citado el 28 septiembre, 2004] disponible en internet URL:[www.33metalproducing.com/search.php](http://www.33metalproducing.com/search.php)
49. Samara Belaya K., Alcoa Agrees to Buy Two Russian Plants. produce flat-rolled, extrusions, forgings. May 05 2003, Pág.1. [citado el 29 septiembre, 2004] disponible en Internet URL:[www.33metalproducing.com/search.php](http://www.33metalproducing.com/search.php)
50. Sinkkonen, Seija; Paasivirta, Jaakko; Lahtiperä, Mirja; Vattulainen, Antero. Screening of halogenated aromatic compounds in some raw material lots for an aluminium recycling plant. Environment International, May2004, Vol. 30 Issue 3,

Pág. 363. [citado 28 agosto, 2004] en Cambridge science abstracts internet database service.

51. Darlington K., Recycling initiative swaps cans for trees. Aug 20, 2003, Pág.06. [citado el 30 septiembre, 2004] disponible en Internet URL: <http://proquest.umi.com/pqdlink>.

52. Chennai. O., Aluminium can recycling rates show different trends Metal Bulletin Monthly. London: Jun 2003, Pág. 60. [citado el 01 octubre, 2004] disponible en internet URL: <http://proquest.umi.com/pqdlink>

53. Bury St. Edmunds., Aluminium recycling slashes costs in IMCO. Metal Bulletin Monthly, London Oct 16, 2002, Vol. 15, Pág. 4. [citado el 02 octubre, 2004] disponible en internet URL: <http://proquest.umi.com/pqdlink>.

54. Ljomah A., Influence of anodisation on recycling of aluminum scrap in ALCAN Materials Science and Technology. London: Oct 2002. Vol. 18, Pág. 1221. [citado el 04 octubre, 2003] disponible en PROQUEST database

55. Darlington. F., Recycling efforts that made thigs happen. Northern Echo. Darlington (UK): Aug 13, 2002. Pág. 04. [citado el 06 octubre,2003] disponible en PROQUEST database.

56. Darlington. F., Recycling can help pupils with maths Northern Echo (UK): May 24, 2000. Pág. 06. [citado el 08 octubre, 2005] disponible en PROQUEST database.

57. Ling Gupta., Recycling of aluminium based metal matrix composite using disintegrated melt deposition technique. Materials Science and Technology. London: May 2000. Vol. 16, Pág. 568. [citado el 10 octubre, 2005] disponible en PROQUEST database.

58. Brussels Y., Metals: Aluminium industry boosts can recycling rate to 41% Europe Environment. Jun 30 1999, Pág. 1. [citado el 11 octubre, 2004] disponible en PROQUEST database.

59. Chennai A., Indian Aluminium: Well-fabricated. Businessline. Mar 2, 1999. Pág. 1. [citado el 11 octubre, 2004] disponible en PROQUEST database.

60. Bury St. Edmunds.,Aluminium recycling irons out impurities Professional Engineering. (UK) Aug 5, 1998. Vol. 11, Pág.12. [citado el 11 octubre, 2004] disponible en PROQUEST database
- 61.C. Lim, D. H. Kim, C.H Lee, E.P Yoon., Aluminium alloy in aluminium recycling process. Materials Science and Technology. London: Oct 1997, Vol. 13, Pág. 859. [citado el 12 octubre, 2004] disponible en PROQUEST database.
62. Bethesda K., Recycling of aluminium furnace. Access Czech Republic Business Bulletin. Jul 8, 1995, Pág. 5. [citado el 14 octubre, 2005] disponible en PROQUEST database.
63. Rock Stuart., Alcan Aluminium to Build Plant, Expand Operation. Wall Street Journal (Eastern edition). New York, N.Y.: Jan 30, 1997. Pág. 1. [citado el 14 octubre, 2005] disponible en Internet URL: <http://www.mail.inenco.net/~asadedit/avermas/averma4/04-13.pdf>
65. Male Joaquín ., Los chatarreros recuperan el 70% del total de los envases de Aluminio. [citado el 14 octubre, 2004] May 15, 2003, Pág. 1. disponible en Internet URL:[www.aluminio.org/Arpal.pdf](http://www.aluminio.org/Arpal.pdf)
66. Osares Moreira Valeria Cristina., Lixo urbano e reciclaje de latas de aluminio. [citado el 16 octubre, 2003] disponible en Internet URL: [www.univap.br/biblioteca/hp\\_julho\\_2002/Monografia%20Revisada%20julho%202002/09.pdf](http://www.univap.br/biblioteca/hp_julho_2002/Monografia%20Revisada%20julho%202002/09.pdf)
67. Chieco Shinzato M., ¿Como reciclar aluminio? May 15, 2003, Pág.1. [citado el 16 octubre, 2004]. disponible en internet URL: [cienciahoje.uol.com.br/materia/resources/files/chmais/pass/ch169/primeira.pdf](http://cienciahoje.uol.com.br/materia/resources/files/chmais/pass/ch169/primeira.pdf)
68. Gálvez Carlos, Mata Alejandro., Reciclaje de Aluminio. Jan 5, 2002, Pág. 2. [citado el 18 octubre, 2003] disponible en Internet URL: [genesis.uag.mx/posgrado/revistaelect/calidad/cal010.pdf](http://genesis.uag.mx/posgrado/revistaelect/calidad/cal010.pdf)
69. Recycling at San Diego International Airport. Sep 7, 2002, Pág. 1. [citado el 16 octubre, 2003] disponible en Internet URL: [http://www.san.org/documents/environmental\\_ffairs/recycle\\_brochure\\_61204.pdf](http://www.san.org/documents/environmental_ffairs/recycle_brochure_61204.pdf)



70. Amarante Andrade Maria Lucia., Latas para cervezas o desafío aluminio Xaco. Oct 6, 2002, Pág. 1. [citado el 16 octubre, 2003] disponible en Internet URL: [www.bndes.gov.br/conhecimento/bnset/setlatas.pdf](http://www.bndes.gov.br/conhecimento/bnset/setlatas.pdf)
71. Shinzato M.C, Hypolito R., Solid waste from aluminum recycling process: characterization and reuse of its economically valuable constituents. May 4, 2002, Pág. 1. [citado el 18 octubre, 2003] disponible en [elservierescience@direct](http://elservierescience@direct) database.
72. Beerli Palacio Asunción, Díaz Meneses Gonzalo., El modelo de habito de reciclado según el perfil socio demográfico de los consumidores. [citado el 20 octubre, 2005] año 2004, disponible en Internet URL: [www.epum2004.ua.es/aceptados/222.pdf](http://www.epum2004.ua.es/aceptados/222.pdf)
73. González Saldivia, Jenny., Medio ambiente y participación ciudadana. [citado el 23 octubre, 2004] año 2002, disponible en Internet URL: [www.sanpedrodelapaz.cl/tramites/Bolet%EDn%2012-2002.pdf](http://www.sanpedrodelapaz.cl/tramites/Bolet%EDn%2012-2002.pdf)
74. Martínez Leonardo., Estudio sobre la recuperación de envases de aluminio año 2003. informe de Arpal. [citado el 24 octubre, 2005] año 2003, disponible en Internet URL:[www.recuperacion.org/informeresumen.pdf](http://www.recuperacion.org/informeresumen.pdf)
75. González J. Juan. Diseño y construcción de un horno de fundición para latas de aluminio. Diseño para Expocien. [citado el 26 octubre, 2005] disponible en Internet URL:[www.tupublicas.com/docs/05-03-2004-28-expocien.pdf](http://www.tupublicas.com/docs/05-03-2004-28-expocien.pdf).
76. Solares M. Ignacio., Programa de reciclaje. Consultores ambientales, planificación urbana e inspección de obras. Plangestión A.C. [citado el 29 octubre,2004] año 2003, disponible en Internet URL: [www.planigestion.com/Diptico%20Programa%20Reciclaje.pdf](http://www.planigestion.com/Diptico%20Programa%20Reciclaje.pdf)
- 77.- Samuel M., A new technique for recycling aluminium scrap. Journal of materials processing technology, Volume 135. April 2003, Pág. 117-124[citado el 16 enero, 2004] disponible en [Elservier](http://Elservier) Science Direct, database.
- 78.- Gronostajski J., Marciniak H. and Matuszak., New methods of aluminium and aluminium-alloys chips recycling. Journal of materials processing technology, Volume 92-93 august 1999, Pág. 35-41. [citado el 16 enero, 2004] disponible en [Elserviere](http://Elserviere) Science Direct, database.

79.- Chumura W. and Gronostajski J., Mechanical and tribological properties of aluminium-base composites produced by the recycling of chips. Journal of materials processing technology, Volume 106. October 2000. Pág. 23-27. [citado el 18 enero, 2004] disponible en Elseviere Science Direct, database.

80.- Gronostajski J. Z., Marciniak H. and Samuel M., Aluminium-ferro-chromium composites produced by recycling of chips. Journal of materials processing technology, Volume 119, december 2001, Pág. 251-256. [citado el 20 enero, 2004] disponible en Elseviere Science Direct, database.

81.- Misbahul Amin M., Ku Halim, Ku Bulat and Hamdan Suhaimi., Aluminium parts from scrap using new technique. Ultra science, Vol.12(2), Pág. 178-182 february 2000.

82.- Sydykov A., B. Friedrich, A. Arnold., Impact of parameters change on the aluminium recovery in a rotatory kiln. Lights metals 2002, Pág. 1045-1052. The minerals metals & material society, 2000.

83.- Richard Evans. Hulett aluminum's flexible recycling remelt center. Light metal age, February 2001. Pág. 30-35.

84.- Gripenberg H., Lidingo, Londin J., Sundbyberg, O. Falk, Almhult and F.Niedermaier., New tools for meeting of secondary aluminium in rotatory furnace. Aluminium vol. 78, september 2002, Pág. 1-5.

85. Petru Moldovan, Gabriela Popescu, Ioana Apostolescu, Cristian Popescu., Recycling of the metallic phases resulted after reclamation of Al/SiC<sub>(p)</sub> scrap composites. Light metals 2002, Pág. 1019-1025. edited The minerals metals & material society, 2002.

86.- Herman J. Meyer., Salt-free aluminum scrap melting in twin-chamber furnace. Industrial heating troy feb. 2003, vol. 70, Pág. 30-34. [Citado el 22 enero, 2004] disponible en Proquest database.

87.- Khoei A. R., I. Masters, D.T.Gethin., Design optimization of aluminium recycling processes using Taguchi technique. Journal of materials processing technology. Volumen 127, September 2002, Pág. 96-106 [Citado el 20 enero, 2004] disponible en Elsevier Science Direct: database.

88.- A.R Khoei, I. Masters, D.T.Gethin., Numerical modeling of the rotatory furnace in aluminium recycling processes. Journal of materials processing technology. Volumen 139, August 2003, Pág. 567-572 [Citado el 20 enero, 2004] disponible en Elsevier Science Direct: database.

89.- Snorre Farner, Freder Frisvold and Thorvald Abel Engh., Remelting by continuous feeding of rolled scrap into melt. Light metals 2000. Pág. 699-704. edited. The minerals metals & material society.

90. Ray Peterson., El metal secundario suministrado y la calidad del metal del aluminio reciclado. IMCO recycling Inc. 397 Black Hollow Road, Rockwood, USA. Light metals, 2003.

91. V. Kamavaram, D Mantha and R:G Reddy., Recycling of aluminium, metal matrix composite ionic liquids: effect of process variables on current efficiency and deposit characteristics. Journal of materials processing technology. Volumen 139, december 2004, Pág. 8 [Citado el 20 marzo, 2005] disponible en Elsevier Science Direct: database.

92. George Tackes., Maximize furnace efficiency to temper aluminum melt costs. Modern Casting Des Planies. January 2002, vol. 92, Pág. 35-37. [Citado en febrero, 2005] disponible en Proquest database.  
URL:<http://www.proquest.umi.com/pqweb?RQT=309&VInst=prod&VName=PQD&Name=PQD> ‘9otpñt8fui

## **Glosario.**

**Alumina:** Concentrado de mineral obtenido de procesos químicos, desarrollados por el químico Austriaco Kart Joseph Bayer, que consiste en la obtención de óxido de aluminio, por medio de reacciones químicas. Se obtiene de la mezcla de bauxita molida con sosa cáustica líquida y calentada a baja presión.

**Compósitos:** Es cualquier material constituido por más de un componente.

**Colada:** Es la etapa central en la fabricación de piezas metálicas. Consiste en verter el material fundido al molde, donde se encuentra, el molde de la pieza que se está trabajando.

**Conminución:** Pasos que tiende a disminuir un material hasta un tamaño adecuado, no más fino que lo absolutamente necesario, y si se quiere, también se puede separar los gruesos de los finos para tratarlos aisladamente de la manera más adecuada, para cada uno de ellos.

**Forjabilidad:** Facilidad con la que un metal pasa, a través de uno o más dados.

**Crisol:** Cavidad inferior del horno en que se recoge el material fundido.

**Escoria:** Material constituido en un 90% o más de sílice, con algún contenido de metal residual, que se separa de la mezcla fundida en el interior del horno o crisol, y por densidad queda en la parte superior donde, es retirada en forma de nata.

**Extrusión:** Técnica de procesamiento por deformación mediante la cual un material es empujado a través de la abertura de un dado.

**Proceso Hall-Heroult:** Tratamiento electrolítico mediante el cual se extrae el aluminio de su mineral (bauxita).

**Precipitador:** También conocido como tanque de reposo, donde por medio de gravedad y diferencia de densidades, se separa partículas sólidas del líquido.

**Proceso Söbenburg:** Proceso por el cual se funde el aluminio, por medio de electrodos.

**Pulvimetalurgia o metalurgia de polvos:** Método para la producción de componentes metálicos; los polvos metálicos se compactan en un molde, mismo que a continuación es calentado para permitir que la fusión y el sinterizado una a los polvos, formado una masa sólida.

**Sinterización:** Tratamiento a temperatura elevada, que se utiliza para unir partículas pequeñas. La difusión de los átomos hacia los puntos de contacto genera puentes entre partículas. Una difusión adicional llenara los huecos restantes.

**Tocho:** Pieza de metal con dimensiones mínimas de 1x1.5 m. su función es alimentar los procesos de forja, trefilado, laminado, etc.,

**Tribología:** Es una ciencia que investiga la interacción entre dos superficies en contacto y en movimiento relativo, interacción que principalmente se manifiesta como fricción, y esta relacionada en forma implícita con el desgaste mecánico.

**Reciclar:** Reciclar es aprovechar los materiales que fueron desechados y que aún sirven para elaborar otros productos o refabricar los mismos.