



FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECANICA AUTOMOTRIZ

**“Caracterización del aluminio que se recicla en la ciudad de
Cuenca, en miras de aprovecharlo para la fabricación de
partes automotrices”**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:
INGENIERO MECANICO AUTOMOTRIZ.**

Autores:

PATIÑO NOVILLO CARLOS DARIO

SERRANO ULLAURI RAMIRO JOSÉ

Director:

ROBERT ESTEBAN ROCKWOOD IGLESIAS

CUENCA, ECUADOR

2016

DEDICATORIA

En la vida, a la familia le corresponde una importante labor, en la ayuda de la formación no solo personal y de valores sino también al formar parte en el desarrollo académico, desde temprana edad, sabiéndonos guiar, con ejemplos de trabajo duro, para poder llegar a una meta más, como es un título universitario y seguir en el apoyo que uno necesita para seguir cumpliendo las metas que nos proponemos, todo esto apoyándonos en Dios fortaleciendo los días difíciles que hemos pasado con largas noches de trabajo dejando de pasar tiempo con nuestras familias, soportando esos momentos difíciles en los que uno pierde la paciencia, por ello dedicamos este título a nuestros padres Carlos Patiño, Lourdes Novillo, Ramiro Serrano y María Augusta Ullauri quienes han sido nuestro ejemplo de lucha y perseverancia para no rendirnos en cada día de trabajo, también dedicamos esta tesis a nuestras hijas, Sofía Patiño, Valentina Serrano y Rafaela Serrano que han sido nuestro motor, nuestra fuerza para no desmayar ni un día, ya que uno trabaja para poder darles lo mejor de nosotros como es el ejemplo de valores, superación y crecimiento, yo Ramiro también dedico esta tesis a mis hermas y sobrina, Tuty, Aleja y mi pequeña Martina respectivamente.

Así también dedicamos y agradecemos el apoyo de nuestras parejas amadas, que con su paciencia, apoyo, cariño, nos dan la fortaleza, el aliento necesario y más que nada la confianza de poder cumplir nuestras metas ya que han comprendido el tiempo perdido con la familia y con ellas, por el trabajo, y los estudios, a ellas que son muy importantes en nuestras vidas... Gracias... Rebeca Astudillo y Diana Cevallos.

También no puede faltar el resto de la familia, Abuel@s, Ti@s, Prim@s, que por falta de espacio se nos hace imposible nombrar a cada uno de Uds. y agradecemos el apoyo brindado para cumplir esta meta.

No podemos dejar de un lado a los amigos con los que pasamos tantos años de compañeros que con su ayuda pudimos entender, aprobar las materias y cumplir este logro tan anhelado, que las amistades perduren para siempre.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo de Ing. Andrés López, PhD, ya que con su dirección en el desarrollo del diseño del trabajo de titulación, se organizó de una manera clara y eficiente las bases para el desarrollar del trabajo de titulación de una buena manera.

Agradecemos al Ing. Robert Rockwood, M.Sc, a quien con su ayuda dirigiendo este trabajo de titulación, se pudo lograr de una manera más efectiva las correcciones de cada capítulo logrando avances efectivos y concretos para este trabajo.

Así también agradecemos el apoyo de la Lcda. Diana Cevallos que gracias a su ayuda se obtuvo la información necesaria para el respaldo del análisis de los datos presentados.

Y nuestros mayores y especial agradecimientos a Ing. Edison Yanes, jefe de calidad de la empresa Cedal S.A. ya que fue una persona que nos ha brindado su generosa ayuda compartiendo sus conocimientos técnicos.

También agradecemos a los centros de acopio de la ciudad de Cuenca por su apertura en la información para el desarrollo del trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
INDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	1

CAPITULO I: RECICLAJE DE ALUMINIO, MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

1.1 Generalidades.....	3
1.2 Aluminio de alta resistencia en aplicaciones automotrices.....	4
1.3 El aluminio y sus aleaciones	6
1.3.1 Aluminios forjados:.....	7
1.4 Aplicaciones automotrices de las diferentes aleaciones de aluminio.....	8
1.5 Clasificación de las series de aluminios fundidos.....	10
1.5.1 Tipos de series:.....	11
1.6 Reciclaje de aluminio	18
1.7 El proceso de reciclaje	22
1.8 Fundición de aluminio	21
1.9 Chatarra Automotriz.....	22
1.10 Centros de acopio.....	23
1.10.1 Requisitos de operación	24
1.10.2 Normas de referencia	27
1.11 Clasificación de materia prima.....	28
1.12 Procesos industriales para el tratamiento del aluminio	31
1.13 Procesos industriales implementados en el país	32
1.13.1 Procesos previos a la fundición.....	32
1.14 Procesos de fundición	33

1.14.1 Escoria.....	38
1.15 Aplicaciones automotrices del aluminio reciclado	38
1.15.1 Partes del Motor	39
1.15.2 Características de las aleaciones del aluminio	40
1.16 Análisis de tendencias mundiales y locales	40

CAPITULO II: ANALISIS DE LA OFERTA Y DEMANDA DE ALUMINIO RECICLADO

44

2.1 Generalidades	44
2.2. Exportaciones de aluminio reciclado	45
2.3. Importaciones de aluminio y aleaciones de aluminio	50
2.4 Cadena de valor o cadena comercial.....	56
2.4.1 Análisis de la demanda de aluminio reciclado.....	57
2.4.2 Partes automotrices de industria nacional.....	58
2.4.2.1 Empresas Autopartistas.....	62
2.4.3 Análisis de la oferta de aluminio reciclado.....	64
2.4.4 Referencia de precios	65

CAPITULO III: CATEGORIZACIÓN DEL ALUMINIO QUE SE RECICLA EN LA CIUDAD DE CUENCA

72

3.1 Análisis de las muestras	72
3.1.1 Tamaño de las probetas.....	74
3.1.2 Proceso de fundición de las probetas de análisis	75
3.1.3 Análisis espectrográfico.....	79
3.2 Procesamiento de los datos	84
3.3 Análisis de los resultados.....	87

CAPITULO IV: ANALISIS DE LA EXPLOTABILIDAD DEL ALUMINIO RECICLADO DENTRO DEL PAIS.....

90

4.1 Obtención de lingotes de aleaciones de aluminio	90
4.2 Explotación de aluminio reciclado para la manufactura de partes automotrices	92
4.2.1 Características generales del sector autopartista.....	92

4.2.2 Cadena de Suministro	92
4.2.3 Segmentación por línea de negocio	93
4.2.4 Producción global de autopartes	94
4.2.5 Participación de la producción de autopartes de cada país, 2012.	95
4.2.6 Consumo y producción global	97
4.2.7 Mercado local.....	99
4.2.7.1 Proyección de inversiones en el sector autopartista.....	100
4.2.7.2 Situación actual del sector de manufactura de partes automotrices en el país...	100
CONCLUSIONES.....	101
ABREVIATURAS, SÍMBOLOS Y NOMBRES COMERCIALES.....	107
BIBLIOGRAFÍA.....	108
ANEXOS	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Consumo de aluminio para su uso final para el año 2005.

Figura 1.2 Tendencias de contenido de aluminio en los automóviles en los últimos 40 años.

Figura 1.3 Tipos de aleaciones y números de series.

Figura 1.4 Procesos de reciclado del aluminio.

Figura 1.5 Distribución del abastecimiento del aluminio en los EEUU desde 1940 a 1990.

Figura 1.6 Diagrama de flujo para el aluminio en los EEUU, aquí muestra el proceso de reciclaje en la industria. Reciclaje de chatarra, recolectores de chatarra procesadores, distribuidores y agentes, operadores de hornos y recuperadores de escoria.

Figura 1.7 Uso promedio de aluminio en automóviles a partir de 1946 a 1988. Los fabricantes de automóviles estadounidenses han utilizado más aluminio que los productores mundiales desde mediados de los 50s.

Figura 1.8 Layout o sectorización para centros de acopio de las recicladoras.

Fig. 1.9 Diagrama de flujo de movimiento de chatarra

Figura 1.10 Imagen aluminio puro.

Figura 1.11 Chatarra de perfilaría.

Figura 1.12 Imagen alambre reciclado.

Figura 1.13 Espectrómetro de emisión atómica.

Figura 1.14 Brazo mecánico.

Figura 1.15 Horno de fundición de reverbero.

Figura 1.16 Probetas normalizadas para las pruebas de composición de la colada en el espectrómetro de emisión atómica.

Figura 1.17a y 1.17b Elementos de horno de fundición de reverbero.

Figura 1.18 Cilindros de aluminio.

Figura 1.19 Cilindros de aluminio homogenizados.

Figura 1.20 Horno de homogenización.

Figura 1.21 Escoria procedente de los hornos de fundición.

Figura 1.22 Grupo de análisis de las perspectivas de desarrollo, banco mundial.

- Figura 2.1 Porcentaje de exportación de cada una de las empresas del 2013 al 2015.
- Figura 2.2 Los 5 principales países destino de exportación en dólares.
- Figura 2.3 Los 5 principales países destino de exportación en kilogramos.
- Figura 2.4 Variación mensual del Valor FOB de exportación de desperdicios y desechos de aluminio en el periodo 2013 a 2015.
- Figura 2.5 Evolución mensual de precio promedio de exportación de desperdicios y desechos de aluminio en el periodo del 2013 al 2015.
- Figura 2.6 Evolución FOB de los últimos 5 años.
- Figura 2.7 Evolución de la cantidad en kilogramos de los últimos 5 años.
- Figura 2.8 Principales empresas importadoras de aluminio en bruto.
- Figura 2.9 Valores totales de importación de las 2 principales partidas arancelarias de aluminio expresada en kilogramos.
- Figura 2.10 Cantidad importada de los 5 principales proveedores en kilogramos.
- Figura 2.11 Valores mensuales FOB de ingreso de aluminio desde el 2013 al 2015
- Figura 2.12 Evolución precio promedio mensual del kilogramo de aluminio importado desde el 2013 al 2015.
- Figura 2.13 Evolución precio de aluminio puro.
- Figura 2.14 Proyección anual de valores FOB de exportaciones de desperdicios y desechos de aluminio.
- Figura 2.15 Proyección precio promedio anual por kilogramo de exportaciones de desperdicios y desechos de aluminio.
- Figura 2.16 Proyección anual de valores FOB de importaciones de aluminio en bruto.
- Figura 2.17 Proyección precio promedio anual por kilogramo de importación de aluminio en bruto.
- Figura 2.18 Proyección anual de valores FOB de importaciones de aleación de aluminio.
- Figura 2.19 Proyección precio promedio anual por kilogramo de importación de aleación de aluminio.
- Figura 3.1 Molde tipo B.
- Figura 3.2 Aluminio estructural, perfilaría y grueso.
- Figura 3.3 Horno de fundición.
- Figura 3.4 a) Limpieza de escoria, b) Moldes de latas de acero, c) vertido de la colada.

Figura 3.5 a) Probetas Extraídas, b) Probetas Refrentadas, c) Probetas Marcadas.

Figura 3.6 a) Espectrómetro de emisión atómica b) Electrodo de Tungsteno.

Figura 3.7 Análisis de probeta.

Figura 3.8 a) composición de las muestras “Estructural” – ensayo realizado en espectrómetro de emisión atómica. b) Composición de las muestras de aluminio “Estructural” –ensayo realizado en espectrómetro de emisión atómica.

Figura 3.9 a) Composición de las muestras “Perfiles” – ensayo realizado en espectrómetro de emisión atómica. b) Composición de las muestras de aluminio “perfiles” –ensayo realizado en espectrómetro de emisión atómica.

Figura 3.10 a) composición de las muestras “aluminio grueso” – ensayo realizado en espectrómetro de emisión atómica.

Figura 4.1 Estructura de la cadena autopartista.

Figura 4.2 Composición del segmento “*aftermarket*” de partes automotrices, 2010.

Figura 4.3 Producción de autopartes por país año 2012.

Figura 4.4 Países de origen de las empresas.

Figura 4.5 Consumo por país 2012 en millones de dólares.

Figura 4.6 Ahorro en la manufactura de autopartes.

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Población y consumo de aluminio en países industrializados y en transición, per cápita y como porcentaje del consumo total.

Tabla 1.2 Sistema de clasificación de aleaciones de aluminio.

Tabla 1.3 Propiedades mecánicas típicas de las aleaciones de aluminio comunes.

Tabla 1.4 Precios en dólares por tonelada de enero a noviembre del 2015.

Tabla 2.1 Listado de empresas exportadoras con volúmenes en dólares y kilogramos.

Tabla 2.2 Los 10 principales países destino de exportación.

Tabla 2.3 Principales importadores de aluminio en bruto para el Ecuador.

Tabla 2.4 Principales 10 empresas importadores de aluminio en bruto para el Ecuador.

Tabla 2.5 Valores totales de importación de las 2 principales partidas arancelarias del aluminio.

Tabla 2.6 Principales países que proveen aluminio al Ecuador.

Tabla 2.7 Listado de principales centros de acopio de la ciudad de Cuenca.

Tabla 2.8 Precio aluminio por tonelada.

Tabla 2.9 Precio internacional de la chatarra de aluminio.

Tabla 2.10 Precio referenciales internacionales de la palanquilla.

Tabla 3.1 a) Resultados del análisis espectrográfico de 9 muestras obtenidas en el primer proceso de fundición. b) Resultados del análisis espectrográfico de 9 muestras obtenidas en el segundo proceso de fundición. c) Resultados del análisis espectrográfico de 9 muestras obtenidas en el tercer proceso de fundición.

Tabla 3.2 Estimación de la media poblacional para los diferentes aleantes de cada clase de aluminio analizado.

Tabla 4.1 100 principales empresas de autopartes en el mundo.

Tabla 4.2 Porcentaje de autopartes nacionales por modelo de vehículo producido.

Tabla 4.3 Sistema Eléctrico

Tabla 4.4 Carrocería interna y carrocería externa.

Tabla 4.5 Chasis

Tabla 4.6 Autopartes barias.

Tabla 4.7 Proyección de inversiones en autopartes.

ÍNDICE DE ANEXOS

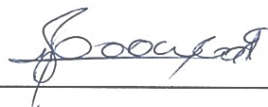
Anexo 1: Norma DIN 1725.....	113
Anexo 2: Norma NTE INEN 2505.....	114
Anexo 3: Norma NTE INEN 2250.....	123
Anexo 4: Norma ASTM E716-10.....	124
Anexo 5: Norma ASTM E876-89.....	129

CARACTERIZACIÓN DEL ALUMINIO QUE SE RECICLA EN LA CIUDAD DE CUENCA, EN MIRAS DE APROVECHARLO PARA LA FABRICACIÓN DE PARTES AUTOMOTRICES

RESUMEN

A partir de la revisión del estado del arte, se determinó la importancia que tiene hoy en día este metal en la manufactura de los vehículos, luego se levantó información sobre los procesos de reciclaje de este metal que se realizan en nuestra ciudad, se identificó que actualmente se exporta gran cantidad de chatarra de aluminio, y por otro lado se importa aluminio purificado a un costo mayor. Con el fin de conocer las aplicaciones idóneas que tendría esta fuente de materia prima se analizó la composición del aluminio que se recicla, y en base a ello se estimaron las aplicaciones más viables que tendría este material; para complementar el trabajo se analizó la situación actual de este sector.

Palabras Clave: aluminio, reciclaje, Cuenca, chatarra, investigación.



Robert Esteban Rockwood Iglesias

Director del Trabajo de titulación



Diego Francisco Torres Moscoso

Director de Escuela



Carlos Darío Patiño Novillo



Ramiro José Serrano Ullauri

Autores

CHARACTERIZATION OF RECYCLED ALUMINUM IN THE CITY OF CUENCA, IN VIEW OF MAKING USE OF IT FOR AUTOMOTIVE PARTS

ABSTRACT

The importance that aluminum has today in the manufacture of vehicles was determined on the basis of state of the art review. Then, information on the recycling processes of this metal carried out in our city is gathered. Consequently, it was possible to identify that large amounts of aluminum scrap are currently exported; on the other hand, purified aluminum is imported at a higher cost. In order to know the best applications that this source of raw material will have, the composition of recycled aluminum was analyzed. Based on this information, the most viable applications that this material will have, were estimated. Finally, in order to complement the research, the sector's current situation was analyzed.

Keywords: Aluminum, Recycling, Cuenca, Scrap Research.



Robert Esteban Rockwood Iglesias
Thesis Director



Diego Francisco Torres Moscoso
School Director



Carlos Darío Patiño Novillo



Ramiro José Serrano Ullauri

Authors

Patiño Novillo Carlos Darío

Serrano Ullauri Ramiro José

Trabajo de Titulación

Ing. Robert Esteban Rockwood Iglesias. Mgtr.

Octubre, 2016

CARACTERIZACIÓN DEL ALUMINIO QUE SE RECICLA EN LA CIUDAD DE CUENCA, EN MIRAS DE APROVECHARLO PARA LA FABRICACIÓN DE PARTES AUTOMOTRICES

INTRODUCCIÓN

El aluminio es el metal no ferroso de mayor producción a nivel mundial, actualmente su explotación es fundamental en la cadena de suministro de partes y piezas para las industrias automotriz y aeronáutica; principalmente por sus propiedades, pero también por su disponibilidad, ya que se considera que es el tercer elemento más abundante de la corteza terrestre, luego del oxígeno y del silicio. Sin embargo los procesos de explotación y purificación de aluminio obtenido de fuentes primarias (minerales) requieren de un gasto energético elevado. En cambio, el proceso de recuperación de aluminio a través de procesos de reciclaje requiere tan solo el 5% de esta energía; por esta razón el reciclaje de este metal resulta tan atractivo.

Sin embargo, en nuestro país la cantidad de aluminio que se recupera es muy baja, en realidad la mayor cantidad de aluminio reciclable se lo exporta como chatarra, y es procesada en países como China, Brasil, Estados Unidos, entre otros. Así en el país no se aprovecha este potencial para la producción, el mismo que asciende a aproximadamente 8140 toneladas anuales de este metal (análisis efectuado para el año 2015).

El presente proyecto, analiza el estado del arte de las características de este metal y sus aplicaciones en la industria automotriz, además de las características más relevantes del

proceso de su recuperación en nuestro medio. A partir del análisis químico se pudo conocer la composición equivalente de los tres grupos de aluminio que se clasifican en nuestro medio y así estimar las aplicaciones que podría tener esta fuente de materia prima. Al final se analizaron las características del mercado de partes y piezas automotrices en nuestro país y a nivel internacional, adicionalmente se analizó la situación actual de este mercado en nuestro país.

CAPITULO I

RECICLAJE DE ALUMINIO, MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

1.1 Generalidades

El aluminio es un metal no ferromagnético, que posee varias propiedades entre las cuales se destacan su ductilidad, conducción térmica elevada, resistencia y maleabilidad, es un material empleado para la fabricación de diversos tipos de productos.

El aluminio puro es blando y tiene poca resistencia mecánica, pero puede formar aleaciones con otros elementos para aumentar su resistencia y adquirir varias propiedades útiles. Las aleaciones de aluminio son ligeras, fuertes y de fácil formación para muchos procesos de manufactura. Estas son fáciles de ensamblar, fundir, maquinar y aceptan gran variedad de acabados. Por sus propiedades físicas, químicas y metalúrgicas, el aluminio se ha convertido en el metal no ferroso de mayor uso. El punto de fusión del aluminio es 660°C. (Lenntech, 2015)

El aluminio que se comercializa en la actualidad se produce desde hace tan solo 154 años, por lo que se considera como un metal joven. Hoy en día, la producción del aluminio es mayor a la suma de todos los metales no ferrosos. Gracias a esto, India y Jamaica amparan gran porcentaje de su economía en la producción del aluminio ya que cuentan con yacimientos de bauxita y alúmina.

El reciclaje del aluminio ha ido aumentando en los últimos años por su gran demanda en las industrias en general, pero con un mayor énfasis en el sector automotriz y aeronáutico, ya que con sus aleaciones se consigue un material tan resistente como el acero y mucho más liviano. Siendo esto de gran importancia para la industria automotriz, hoy en día su explotación es clave para mejorar la eficiencia de los vehículos.

1.2 Aluminio de alta resistencia en aplicaciones automotrices

En febrero del año 2014, la empresa Constellium¹, comunicó el lanzamiento de una nueva tecnología de asimilación de impactos con el aluminio de alta resistencia como material base, el mismo que fue colocado en la parte frontal como en la posterior de cada vehículo. Con este antecedente, sus sistemas de absorción de impacto evidenciaron una gran resistencia y propiedades físicas similares a las aleaciones de aluminio de serie 6xxx, la cual incluye maleabilidad, resistencia a la corrosión y absorción de energía.

Con la utilización de este material se llega a reducir las emisiones de dióxido de carbono. En este contexto, Jaguar Land Rover y Novellis, han desarrollado un modelo denominado RC5754, que contiene un 50% de partes manufacturadas con materiales reciclados. (James, 2014)

¹ Constellium, es uno de los más grandes productores de aluminio a nivel mundial.

Tabla 1.1: Población y consumo de Aluminio en países industrializados y en transición, per cápita y como porcentaje del consumo total

	Porcentaje de la población mundial	ALUMINIO	
		Kg/Cabeza	%Consumo
<i>PAISES INDUSTRIALIZADOS</i>			
Estados Unidos	4.6	22.3	24.4
Canadá	0.5	26.6	3.3
Europa Occidental	6.9	14.2	23.3
Japón	2.1	17.7	8.9
Australia	0.3	18.3	1.4
Promedio/Total	14.4	17.8	61.3
<i>PAISES DE TRANSICIÓN</i>			
Corea del Sur	0.8	17.6	3.3
Taiwan	0.4	22.8	2
Otros Asia SE	7.8	1.1	2
Ex URSS	4.8	3.1	3.5
Turquía	1.1	3.3	0.8
Europa del Este	1.8	6.5	2.8
América Latina	8.6	1.8	3.7
Promedio/Total	25.3	3.1	18.1
China e India	38.8	1.9	16.6
Africa y Medio Oriente	22.4	0.7	3.6

Fuente: CRU Internacional (CRU: Global Commodity Industry Pricing & Market Analysis).

Como se puede observar en la tabla 1.1, el consumo de aluminio ha alcanzado altos niveles por sus características y capacidad de ser combinados o aleados con otros metales para mejorar sus características físicas y químicas. Es por ello que se vuelve apto para el uso en vehículos terrestres, aéreos, para transmisión de calor, envases, en la industria de la construcción, etc.

“Esto ha convertido al aluminio en uno de los metales más utilizados en la vida moderna, en el año 2005 se consumieron 31.6 millones de toneladas de aluminio y se estimó que para el 2020 esta cifra se va a duplicar alcanzando los 60.6 millones de toneladas, esto convierte a la industria de este metal liviano en una de las más rentables y así lo demuestran las experiencias de países como Canadá, Argentina y Brasil y otras

naciones de Asia, donde la producción de aluminio primario se ha incrementado significativamente”. (Ricardo Neira N., 2005)

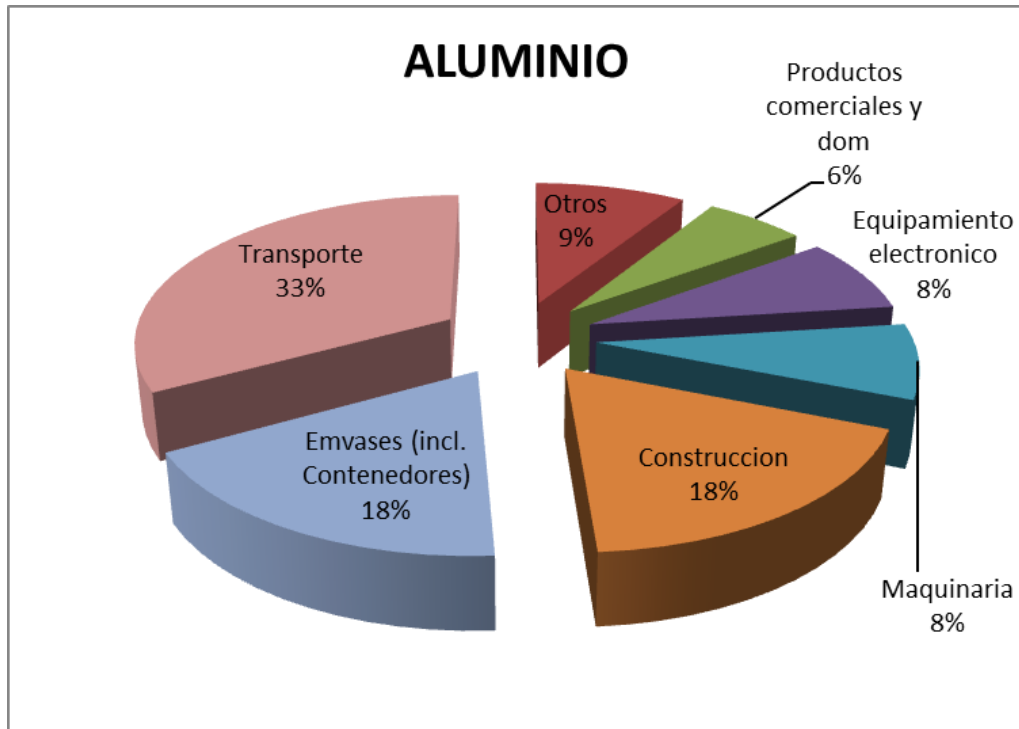


Figura 1.1: Consumo del aluminio para su uso final para el año 2005

Fuente: (CRU Internacional, 2005).

La figura 1.1 demuestra el alto índice de la demanda del aluminio en el área del transporte con un 33% superior a cualquier otra. Cabe indicar que la mencionada sección de transporte se refiere a la producción de vehículos y partes de vehículos de todo tipo.

1.3 El aluminio y sus aleaciones

El aluminio puro es un material poco usado, sin embargo cuando este es combinado con otros materiales, se obtienen aleaciones de gran utilidad y son aplicadas en diferentes industrias. Estas diferentes aleaciones se clasifican de acuerdo a los siguientes procesos:

1.3.1 Aluminios forjados:

Son utilizados en la industria de automoción y aeroespacial, las propiedades mecánicas son superiores a los obtenidos para las aleaciones de fundición de aluminio. Estas aleaciones representan el 85 % de las solicitudes de aluminio, esta ofrece un buen ajuste y conformidad en frío. La estructura de las aleaciones de aluminio forjado ofrece mejores propiedades mecánicas que las aleaciones de fundición.

La manufactura de productos a partir de aluminio forjado se clasifican en:

1. Los productos laminados: placas, hojas planas, hojas enrolladas y láminas.
2. Los productos extruidos: barras extruidas, formas macizas y huecas, perfiles o tubos.
3. Formación de productos: laminados o productos extruidos para lograr formas complejas.

La forja se divide en dos etapas, la primera que es, trabajo en caliente que se realiza a temperaturas sobre a la de recristalización que es cuando aparece una microestructura de granos nuevos que tiene pocas dislocaciones, la segunda que es trabajo en frío que realiza a temperatura debajo del punto de recristalización. El material se presiona con una prensa o se martilla haciéndolo pasar por un dado o molde; Las forjas de aleación de aluminio se realizan a dado abierto, dado cerrado o forja tipo anillo.

1.3.2 Aluminios fundidos:

Sus propiedades se resumen en presentar buena maleabilidad, ductilidad y resistencia a la corrosión, por lo que esta categoría ha permitido, incluso, sustituir el acero y hierro fundido para la producción de componentes críticos.

Este tipo de aleación de aluminio pueden tener elementos aleantes como:

- Silicio: es uno de los más importantes y utilizados para aleaciones de aluminio fundido. Se presenta un contenido de entre 5-12% en peso. El silicio se utiliza

para mejorar las propiedades de moldeo, soldabilidad y resistencia a la corrosión, disminuye el coeficiente de expansión térmica.

- Cobre: aumenta la resistencia mecánica y la maquinabilidad de las aleaciones no obstante, tiene un efecto negativo sobre la resistencia a la corrosión de las aleaciones.
- Magnesio: permite aumentar las propiedades mecánicas, además de mejorar la resistencia a la corrosión y la soldabilidad de las aleaciones. Cuando el magnesio no se disuelve completamente, ocasiona el debilitamiento localizado del componente, siendo este punto el inicio de las fallas por fractura.
- Manganeso: mejora las propiedades de tracción, incrementa la resistencia a la fatiga e incrementa el nivel de resistencia a la corrosión de la aleación.
- Hierro: esta es la impureza más común e inevitable en aleaciones de fundición de Al-Si. Puede formar diferentes tipos de compuestos intermetálicos; pero, estos compuestos son quebradizos y tienen un efecto perjudicial sobre la resistencia mecánica de los componentes. (Castella, 2015)

1.4 Aplicaciones automotrices de las diferentes aleaciones de aluminio

De acuerdo a Bakewell J. (2004) la demanda del aluminio en la industria del automóvil ha ido creciendo significativamente en las últimas décadas, por lo que ha llegado a representar nuevos y mayores desafíos a los departamentos técnicos de los fabricantes de aleaciones de metal. (James, 2014)

En el estudio realizado por Castella (2015), se menciona que durante los últimos 40 años, la demanda sobre de los componentes del aluminio en la industria automotriz ha incrementado considerablemente para la producción de partes automotrices, dada la necesidad de disminuir el peso de los vehículos.

De esta forma, se ha venido sustituyendo el acero ($\rho \approx 7.8 \text{ gr/cm}^3$), por aluminio ($\rho \approx 2.7 \text{ gr/cm}^3$), magnesio ($\rho \approx 1.7 \text{ gr/cm}^3$) y aleaciones. A partir de ello se ha logrado disminuir el peso de los vehículos, con ello disminuye el consumo de combustible y se reduce, a su vez, la emisión de gases contaminantes y de efecto invernadero como el CO₂.

En la Figura 1.2, se puede observar el incremento del uso de aluminio en los vehículos, en los últimos 40 años. (Castella, 2015)

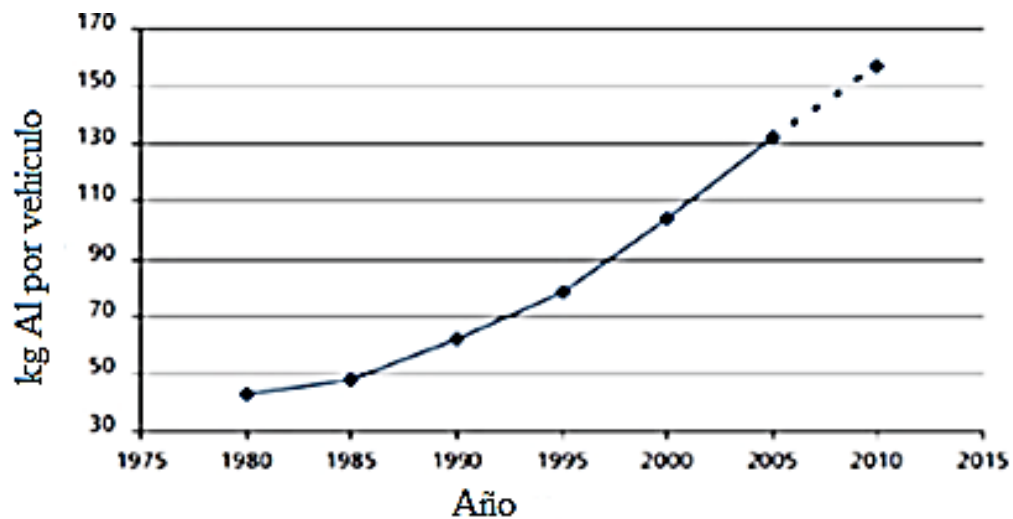


Figura 1.2. Tendencia del contenido de aluminio en los automóviles en los últimos 40 años.

Fuente: *Self hardening aluminum alloys for automotive applications*. En: ASM Handbook Committee.

La industria del aluminio predice que la demanda de las empresas de vehículos se duplicará para el 2025. (Castella, 2015)

1.5 Clasificación de las series de aluminios fundidos

En la industria del aluminio, las diferentes aleaciones se han clasificado en series, de acuerdo a la presencia de los diferentes aleantes, las series más comunes se presentan en la figura 1.3.

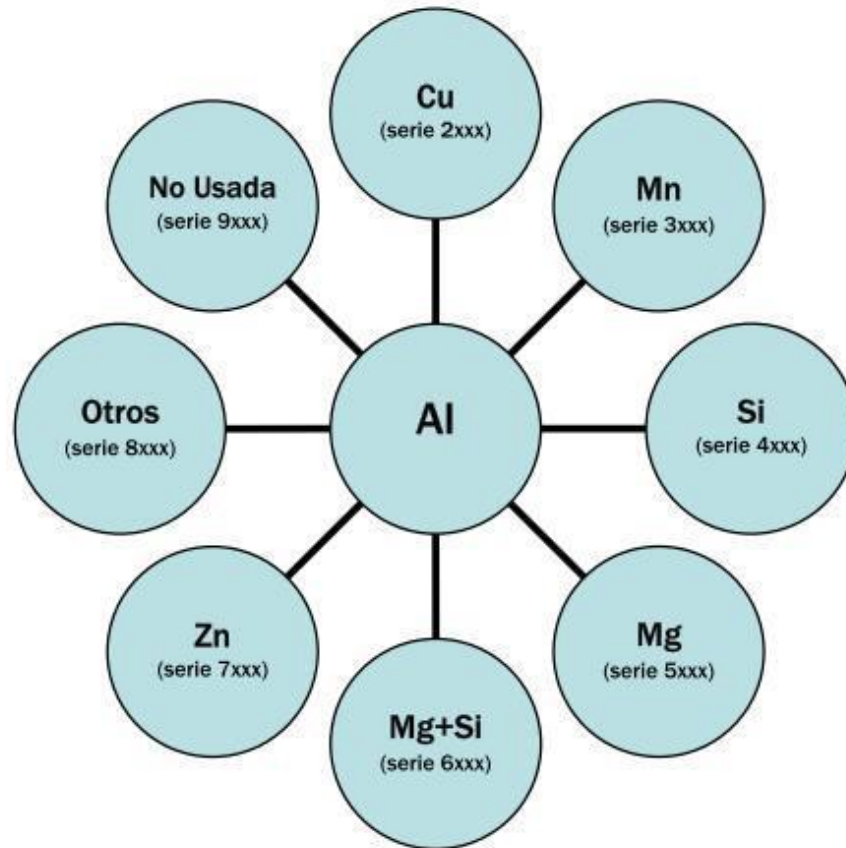


Figura 1.3. Tipos de aleaciones y números de serie

Fuente: Ingeniería de materiales. En: <https://ingenieriademateriales.wordpress.com/2009/04/17/manual-del-aluminio-y-sus-aleaciones/>.

1.5.1 Tipos de series:

Serie 2xxx

En esta serie el cobre (Cu) es principal elemento de aleación y en pocas ocasiones se añade el magnesio (Mg), se obtienen características de buena relación Dureza-Peso pero poca resistencia a la corrosión. Ésta serie suele ser sometida a tratamientos térmicos (TT) para optimizar sus propiedades mecánicas.

El uso más frecuente que se da a esta aleación es: en ruedas y suspensiones de camiones y aviones, en fuselajes de aviones y en estructuras que requieran buena dureza a temperaturas superiores a 150°C; Esta aleación es buena para maquinarse, pero, no es recomendada para soldar ya que la única serie que se puede soldar con facilidad es la 2219. (Ortolá, 2009)

Serie 3xxx

En esta serie el Mn es el principal elemento de aleación. Esta serie es un 20% más dura que el aluminio puro; el Mn solo puede ser añadido en un 1.5%, de allí que se trata de una aleación poco usada. Los aluminios de aleaciones 3003 y 3105 son utilizados en recipientes de bebidas; utensilios de cocina; intercambiadores de calor; mobiliario; señales de tráfico; y, aplicaciones arquitectónicas toda vez que esta aleación presenta una dureza media y una buena condición de trabajo, ya sea que se presente moldeado y/o mecanizado.

Serie 4xxx

En esta serie el silicio (Si) es el principal elemento de aleación. Este elemento es añadido en cantidades medias mayores al 12%, puesto que así se consigue un punto de fusión menor en la aleación. La principal aplicación de esta aleación es usada como elemento de soldadura ya que, por su bajo punto de fusión, consigue fundir otras aleaciones a una temperatura más baja. La aleación 4032 tiene un coeficiente de expansión térmico bajo, además de alta resistencia al desgaste, por lo que se la suele utilizar para la fabricación de pistones de motores de combustión interna.

Serie 5xxx

En esta serie el Mg es el principal elemento de aleación. El Mg se suele añadir en pequeñas cantidades para endurecer el Al. Las principales características son: de medio a alto grado de dureza, buena soldabilidad y un elevado nivel de resistencia a la corrosión, de allí que dicha aleación es utilizada en; adornos decorativos; ornamentales y arquitectónicos; iluminación de calles y carreteras; botes, barcos, partes de puentes grúa; y, estructuras de automóviles.

Serie 6xxx

En esta serie el Mg y el Si son los elementos de aleación, con estos se forma el Mg_2Si , esta aleación puede ser encontrada en componentes que soportan cargas menores, por otro lado son de muy fácil formabilidad, soldabilidad, maquinabilidad y presentan alta resistencia a la corrosión. Su aplicación es arquitectónica, cuadros de bicicletas, etc.; también supone una sub clasificación, la cual es utilizada en estructuras.

Serie 7xxx

En esta serie el cinc (Zn) es el elemento de aleación y se lo añade de 1 a 8%. Cabe indicar que, se puede añadir pequeñas cantidades de Mg a fin de poder darle tratamientos térmicos, así también se puede añadir Cu o Cr en pequeñas cantidades.

La propiedad principal en esta aleación es la alta dureza, por lo que se suele usar en estructuras de aviones, equipos de vehiculos. Esta aleación presenta baja resistencia a la corrosión y tensión, se realiza tratamientos térmicos para mejorar esta deficiencia. (Ortolá, 2009)

1.5. 2 Aluminio fundido

Las designaciones de aleación de aluminio fundido

Las aleaciones fundidas de aluminio en los EEUU. Están numeradas de acuerdo con un sistema de tres dígitos (mas decimal) adoptada por la Asociación de aluminio. (AA) en 1954 y aprobado por el instituto nacional de estandarización americano en 1957 (ANSI H35.1). La sociedad americana para pruebas y materiales (ASTM), la sociedad de ingenieros automotrices (SAE) y la Federal y las especificaciones militares para piezas fundidas de aluminio se ajustan al sistema de designación AA.

Tabla. 1.2 Sistema de clasificación de aleaciones de aluminio

Series	Tipos de aleación
1XX.X	99.0% aluminio mínimo
2XX.X	Aluminio + Cobre
3XX.X	Al + (SiMg), (SiCu) o (SiMgCu)
4XX.X	Aluminio + silicio
5XX.X	Aluminio + Magnesio
7XX.X	Aluminio + Zinc
8XX.X	Aluminio + Estaño

Fuente: (Asociación de Aluminio, 2013)

En este sistema, los principales elementos de aleación y ciertas combinaciones de elementos se indican con el número de la serie en la tabla 1.2. El digito después del punto decimal en cada número indica la aleación de la forma del producto:

- Un "0 " (cero) después del punto decimal indica los límites de la química aplicada a una fundición de aleación.
- Un "1 " (uno) después del punto decimal indica los límites de la química de lingotes usados para hacer el molde de aleación.
- Un "2 " (dos) después del punto decimal indica también lingote, pero con diferentes límites químicos (por lo general con más fuerza, pero aún dentro de los límites de los lingotes).

En general, la versión xxx.1 Su lingote puede ser suministrado como un producto secundario (fundido a partir de chatarra, etc.), mientras que la versión xxx.2, este lingote es de aluminio primario (celda de reducción).

Algunos nombres de aleación incluyen una carta. Tales cartas, que preceden a un número de la aleación, distinguen entre aleaciones que difieren solo ligeramente en porcentajes de impurezas o elementos de aleación menor (por ejemplo, 356,0, A356.0, B356.0 y F356.0).

La tabla 1.3 muestra las propiedades mecánicas de algunas aleaciones de fundición de aluminio común. Las propiedades que se muestran para las aleaciones se obtuvieron de la ASTM, SAE y las especificaciones federales para la arena, en coquilla y fundición a presión.

Los límites de composición química son para lingotes de aleación de fundición estándar, porcentaje máximo, a menos que se muestre como un rango, el resto es aluminio.

Tabla 1.3 Propiedades mecánicas típicas de las aleaciones de aluminio comunes

ALEACION	PROCESOS DE FUNDICION Y TEMPLADO	TENSION			FUERZA DE CORTE	OLGURA DE COMPRESION DE LA FUERZA	DUREZA BRINELL	LIMITE DE RESISTENCIA
		ESFUERZO MAXIMO PERMITIDO	ESFUERZO DE FLUENCIA	ELONGACION (% in 2 in.)				
242.0	Sand - F	31	30	<0.5				
	Sand - O	27	18	1.0	21	18	70	8
	Sand - T571	32	0	0.5	26	34	85	11
	Sand - 177	30	23	2	24	24	75	10.5
	PM - T571	40	34	1	30	34	105	10.5
	PM - T61	47	42	0.5	35	44	110	9.5
308.0	Sand - 175	31		2			75	
	PM - F	28	16	2	22	17	70	13
319.0	Sand - F	27	18	2	22	19	70	10
	Sand - T5	30	26	1.5	24	27	80	11
	Sand - T6	35	24	2	29	25	80	11
	PM - F	34	19	2.5	24	19	85	
	PM - T61	40	27	3		27	95	
356.0	Sand - F	24	18	6.0				
	Sand - T51	25	20	2	20	21	60	8
	Sand - T6	33	24	3.5	26	25	70	8.5
	Sand - T7	34	30	2	24	31	75	9
	Sand - T71	28	21	3.5	20	22	60	8.5
	PM - F	20	18	5				
	PM - T51	27	20	2				
	PM - T6	38	27	5	30	27	80	13
A356.0	PM - T7	32	24	6	25	24	70	11
	Sand - F	23	12	6				
	Sand - T51	26	18	3				
	Sand - T6	40	30	6			75	
	Sand - T71	30	20	3				
	PM - F	27	13	8				
	PM - T51	29	20	5				
A380.0	PM - T6	41	30	12			80	
	PM - T61	41	30	10	28	31	90	13
A390.0	Die -F	48	24	3	31	80	21	
	PM - F y T5	29	29	<1			110	
	PM - T6	45	45	<1		60	145	17
	PM - T7	38	38	<1		51.7	120	14.5
	Sand - F y T5	26	26	<1			100	
B390.0	Sand - T6	40	40	<1			140	13
	Sand - T7	35	35	<1			115	
	Die -F	40.5	35	1			120	20
535.0	Die -T5	43	38.5	1				
712.0	Sand - F	40	20	13	27.45	35.5	70	10
	Sand - F	35	25	5	26	17	75	9

Fuente: Asociación de Aluminio, 2013.

Aleaciones 242.0 y A242.0

Aleaciones 242,0 y A242.0 se usan ampliamente para aplicaciones donde se requiere resistencia y dureza a altas temperaturas. Las aplicaciones típicas incluyen: pistones de alta resistencia para moto, diésel y aviones, carcasas para generadores de aeronaves y cabezas de cilindro, refrigerado por aire.

Aleaciones 319.0, A319.0, B319.0 y 320,0

Aleaciones de A319.0 319.0, presentan una buena capacidad de moldeo, capacidad de soldadura, hermeticidad y resistencia moderada y son estables en que sus propiedades mecánicas y de fundición, no se ven afectados por las fluctuaciones en el contenido de impurezas. Aleaciones B319.0 y 320,0 muestran mayor resistencia y dureza que 319,0 y A319.0 y se utilizan generalmente con el proceso de fundición de molde permanente. Características distintas de la fuerza y la dureza, son similares a las de 319,0 y A319.0.

Las aplicaciones típicas de piezas de fundición de arena de estas aleaciones son: Motores de explosión y diésel, cárteres y tanques de aceite. Componentes permanentes de este elenco de molde incluyen: cabezas de cilindros refrigerados por agua, cajas de los ejes traseros y partes de motores.

Aleación 356,0

Las aplicaciones de 356.0 son similares a los de 355,0. La Aleación 356,0 cuenta con excelentes características de colada y se ha sustituido en gran medida a la aleación 295.0.

La fundición en molde permanente de esta aleación se utilizan para las piezas de la máquina, herramientas, ruedas de la aeronave, piezas de la bomba, accesorios de carro, tanques, equipos marinos, cuerpos de válvulas y piezas para puente de barandilla, así como para los sectores de control del alerón, soportes de control del timón, accesorios del fuselaje y los codos del tanque de combustible para aviones y misiles. Aplicaciones

de automoción incluyen piezas fundidas diversas de camiones y remolques, soportes de resorte, culatas, bloques de motor, ruedas de turismos y cajas de transmisión.

Usos de piezas de fundición en arena de 356,0 incluyen cajas de volante, cajas de transmisión para automóviles, bandejas de aceite, cajas de los ejes traseros, soportes, bloques de cilindros refrigerados por agua, varias guarniciones y cuerpos de bomba. Esta aleación se utiliza en diversas aplicaciones marinas en la condición T6 donde la hermeticidad de la presión y / o resistencia a la corrosión son los principales requisitos.

Aleación A356.0

La Aleación A356.0 tiene mayor elongación, mayor resistencia y ductilidad, considerablemente mayor que 356,0. Estas propiedades mecánicas mejoradas son debido a que las impurezas son más bajas en A356.0 que en 356,0. Las aplicaciones típicas son piezas fundidas de fuselaje, piezas de maquinaria, piezas de chasis de camiones, aviones y componentes de misiles, y las partes estructurales que requieren alta resistencia.

Aleaciones A380.0 y B380.0

Estas aleaciones se utilizan para la fundición de piezas de fundición de matriz de propósito general. Tienen buenas propiedades mecánicas y se utilizan para hacer cajas para cortadoras de césped y transmisores de radio, piezas de fundición de frenos de aire, cajas de engranajes y cabezas de cilindro refrigerado por aire.

Aleaciones de A390.0 y B390.0

Estas aleaciones de compañía son aleaciones de aluminio - silicio eutéctico. La estructura óptima de cualquier aleación debe consistir en primarias uniformemente distribuida en cristales finos, Silicio en una matriz eutéctica. Esta aleación no requiere tratamiento térmico, que puede eliminar las tensiones internas que pueden causar el fallo por fatiga.

El bajo coeficiente de expansión térmica, alta dureza y buena resistencia al desgaste de estas aleaciones, las hacen adecuadas para pistones de motores de combustión interna, los bloques y los cuerpos de los cilindros para compresores, bombas y frenos.

Aleación 535,0

Aleación 535.0 es una aleación de aluminio-magnesio que posee una alta combinación, estable de la fuerza, la resistencia a los impactos y ductilidad. Es adecuada para las partes en los instrumentos y dispositivos de computación donde la estabilidad dimensional es de gran importancia.

Además de la alta ductilidad y resistencia a la tracción de 535,0, el impacto Charpy es de 10-12lb, que lo hace adecuado para aplicaciones resistentes a los golpes. Además, esta aleación no requiere tratamiento térmico. Soportes, abrazaderas en C y piezas mecanizadas que necesitan fuerza, así como impulsores, equipos ópticos y aplicaciones similares que requieren un alto pulimento o acabado anodizado son sus usos típicos. En muchos casos, esta aleación ha reemplazado hierro gris y hierro maleable, ya que su uso reduce el peso sin sacrificar la resistencia.

Aleación 712,0

La aleación 712.0 se emplea cuando se necesita una combinación de buenas propiedades mecánicas y sin tratamiento térmico. También muestra buena resistencia al choque, resistencia a la corrosión, maquinabilidad y estabilidad dimensional. Sin distorsión se exhibe cuando se calienta 712,0. Después de la soldadura, la aleación recuperará su fuerza original por el envejecimiento natural.

La aleación se utiliza para la fundiciones marinas, maquinaria agrícola, partes de máquinas, herramientas y otras aplicaciones en las que las piezas deben tener una buena resistencia o resistencia al impacto.

1.6 Reciclaje de aluminio

Como definición de reciclaje se puede decir que: “El reciclaje es un proceso donde las materias primas que componen los materiales que usamos en la vida diaria, como el papel, el vidrio, aluminio, plástico, etc., una vez terminado su ciclo de vida útil, se transforman de nuevo en nuevos materiales”. (Julio, 2012)

En un breve detalle de los procesos de reciclaje de aluminio se puede decir que inicia en un entorno industrial y doméstico, mediante la separación de los materiales. El siguiente paso consiste en la recuperación de estos materiales por las empresas públicas y privadas, finalmente con su traslado a las plantas de transferencia. (inforeciclaje, 2015).

En la figura 1.4 se observa el proceso del reciclado de aluminio.

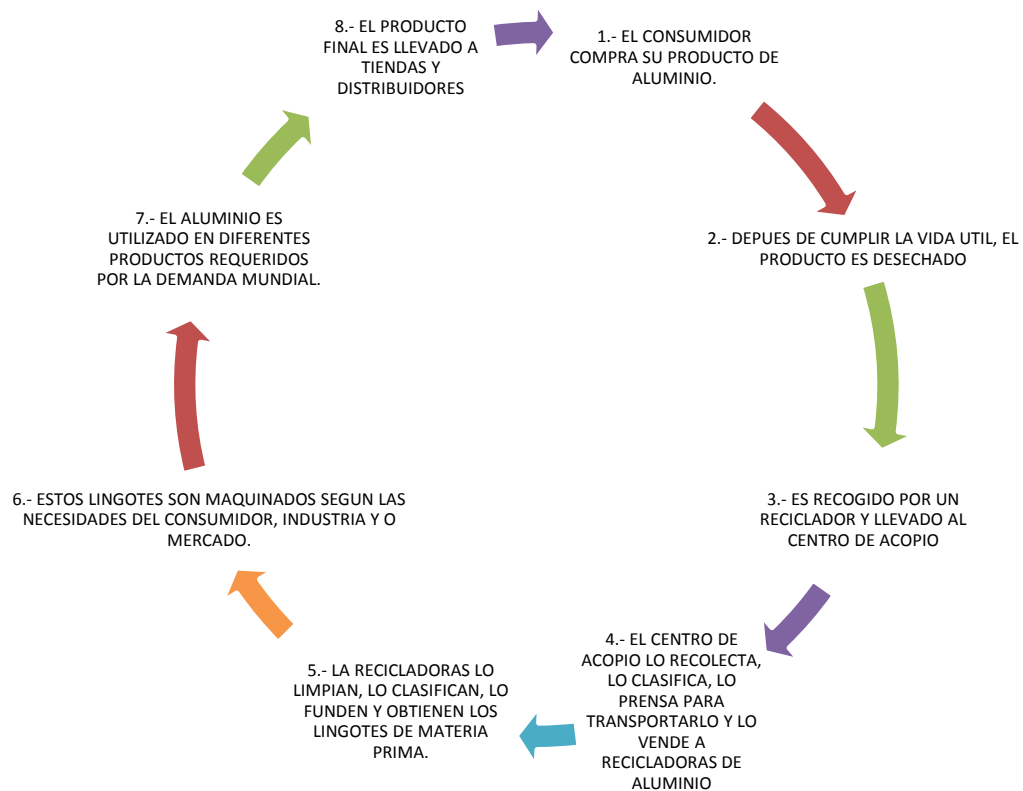


Figura 1.4 Proceso de reciclado del aluminio

Fuente: Autores Dario Patiño y Ramiro Serrano.

El aluminio tiene varias características que lo hacen atractivo para ser reciclado, entre ellas resalta el alto costo de producción asociado a la explotación de los minerales base (bauxita y alúmina), debido principalmente a las altas cantidades de energía que se

requieren, en cambio en la segunda fundición (fundición de recuperación), la energía requerida es significativamente menor.

Otro factor que estimula su reciclaje es la facilidad con la que se realizan las diferentes aleaciones. Esto ha permitido contar con un gran número de composiciones comerciales que se adaptan a diferentes segmentos de la industria.

En la actualidad existen más de 300 composiciones de aleaciones de aluminio forjado y fundido que están registrados y otras que están siendo desarrolladas para nuevas aplicaciones, esto se encuentra en el estudio realizado por la revista Metal Actual. (Castro Patiño, 2014)

A inicios del presente siglo, la producción de la industria del aluminio secundario ha estado atada a la industria automotriz; en la figura 1,5 se muestra que el reciclaje de este metal ha ido en aumento desde el año 1950 hasta el presente. Este aumento se ha debido sustancialmente al crecimiento del mercado automotor y en razón del desarrollo de aplicaciones nuevas para la implementación de procesos de reciclado. (ASTM Handbook Committee, 1992) De allí que el objetivo de reciclar aluminio es obtener un producto final que sea comerciable y que tenga, en consecuencia, acogida en el mercado.

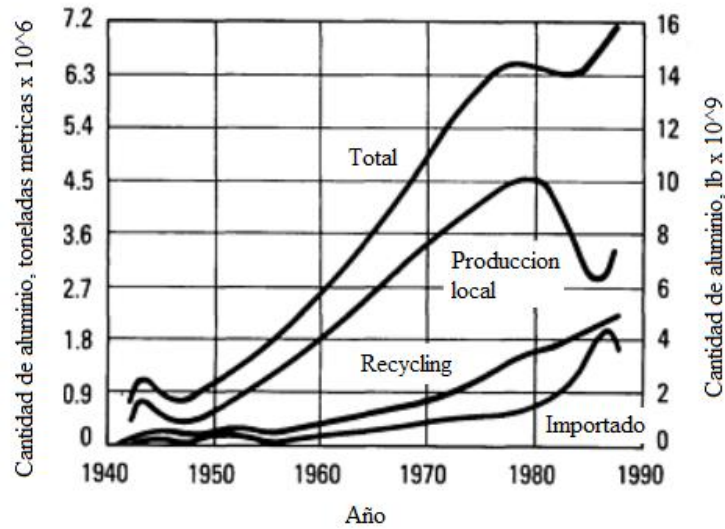


Fig. 1.5 Distribución del abastecimiento de aluminio en los Estados Unidos desde el año 1940 al año 1990.

Fuente: (ASM Handbook Committee, 1992)

Por otro lado, en los últimos años las preocupaciones ambientales han contribuido a una mayor conciencia acerca de la importancia del reciclaje de chatarra; y, con este antecedente, en la actualidad, el reciclaje del aluminio supone una gran ventaja para esa industria ya que son un gran recurso para los productores.

Entre los motivos por los cuales, las empresas prefieren abastecerse de productos manufacturados a partir de materia prima reciclada total o parcialmente, hoy en día, destacan los siguientes:

- Acciones de regulación por entidades gubernamentales para fomentar la conserva de recursos, el ahorro de energía y la disminución de residuos a través de programas de segregación y depósitos obligatorios.
- Sensibilización de los consumidores sobre las consecuencias de la polución del aire y contaminación ambiental, además de la crisis de los desechos sólidos.

- Las presiones competitivas respecto de otros materiales que son utilizados industrialmente.
- Ventajas económicas basadas en el valor relativo y la disponibilidad de chatarra de aluminio. (ASTM Handbook Committee, 1992)
- Certificaciones ambientales.

Otro factor de interés es que: “El reciclado del aluminio constituye uno de los programas más exitosos de comercialización e inclusión dentro de la sociedad y del sector industrial para el logro de los objetivos de preservación de la energía y del medio ambiente”. Las tasas de reciclaje de aluminio, que se definen como el porcentaje anual del material disponible para reciclar y que es efectivamente reciclado, en los campos de la construcción y del campo automotriz alcanzan los alentadores valores de entre el 60 al 90% en algunos países; tanto así que, las industrias del aluminio y los fabricantes de automóviles y partes trabajan conjuntamente para facilitar el desmantelamiento de las partes de aluminio presentes en los vehículos con el fin de mejorar la clasificación y recuperación de este metal. (Medina Párraga, 2010). Hoy en día, en América del Norte un 35% del consumo de aluminio proviene de fuentes recuperadas, en Europa Occidental se bordea el 31% y Asia alcanza un 25%, aunque dichos valores son alentadores, estos se deben incrementar ya que es en estos países y regiones en donde el consumo de este metal es el más elevado.

1.7 El proceso de reciclaje

La recuperación de chatarra de aluminio es un proceso interactivo complejo que implica varios factores, como:

- Centros de acopio
- Los productores primarios
- Fundiciones secundarias
- Procesadores de metales

- Los consumidores.

La figura 1.6 muestra el flujo desde la materia prima de la fundición primaria y las distintas operaciones a través de diversas actividades de reciclaje.

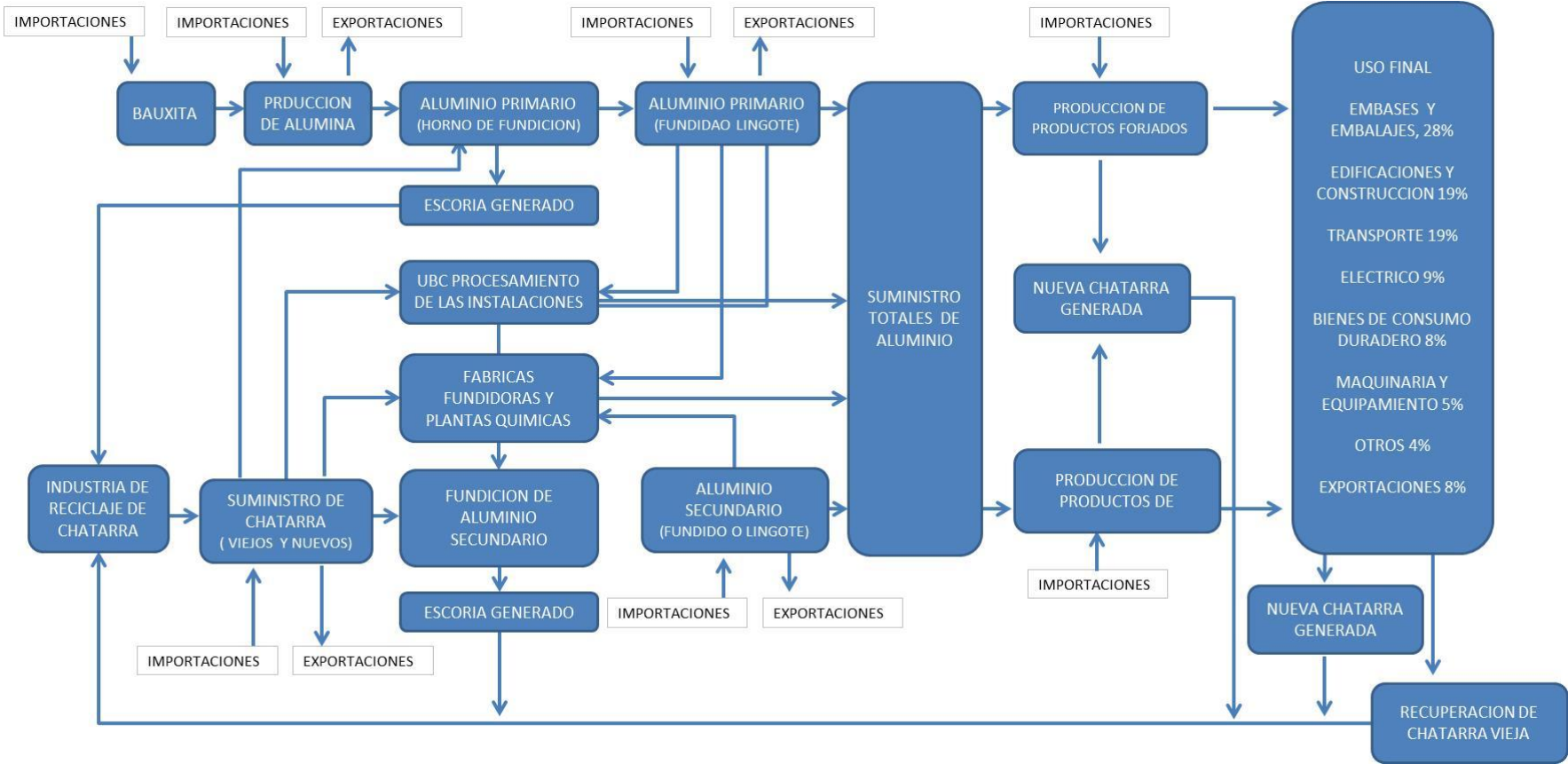


Figura 1.6 Diagrama de flujo para el aluminio en los Estados Unidos, aquí muestra el proceso de reciclaje en la industria. Reciclaje de chatarra, recolectores de chatarra procesadores, distribuidores y agentes, operadores de hornos y recuperadores de escoria. Fuente: Oficina de Minas de Estados Unidos.

Fuente: (ASM Handbook Committee, 1992)

El proceso de fundición de la chatarra de aluminio se inicia en las fundidoras ya que es aquí donde se fabrica la materia prima a partir del aluminio recolectado, por lo que los productores de aluminio primario compran la chatarra para complementar el suministro que ellos necesitan.

Se le llama también chatarra vieja al metal que ha sido desechado después de su uso, a este se lo debe clasificar para diferenciar los tipos que se ha recolectado para facilitar el reciclaje, la recuperación, la reventa y el reproceso. (ASTM Handbook Committee, 1992)

1.8 Fundición de aluminio

Morral, Jimeno y Molera, (Morral, Jimeno, & Molera, 2004), en su obra denominada Aleaciones para molde “”hablan sobre las aleaciones de aluminio fundidas, en ella se menciona que dichas aleaciones poseen una marcada tendencia de absorber el hidrógeno y la liberación de este gas. Durante la solidificación en el molde, se forman pequeñísimos vacíos diseminados en la masa del metal, dando como efecto la denominada “porosidad gaseosa”. Además, el vapor de agua que se encuentra en la atmosfera y en el interior del horno ocasiona corrosión y puede eventualmente producir reacciones químicas e hidrólisis². Este efecto se evita pasando nitrógeno seco a través del metal fundido o empleando fundentes limpiadores, tales como el tricloruro de boro.

En este punto, resulta importante mencionar que la industria de fundición secundaria está dominada por tres grandes grupos de chatarra de aluminio que son:

- a. UBCs o uso de latas de bebidas.
- b. Réyenos sanitarios municipales
- c. Chatarra automotriz

Hidrólisis: es una reacción química entre una molécula de agua y otra molécula, en la cual la molécula de agua se divide y sus átomos pasan a formar parte de otra especie química.

Sin perjuicio de la importancia de los grupos referidos en los literales a. y b., en atención al objetivo del presente trabajo de investigación, se analizará con detalle el grupo comprendido en el literal c, esto es, la chatarra automotriz.

1.9 Chatarra Automotriz

Un estudio realizado por (ASTM, 1992) predijo que el uso de aluminio en los vehículos de la actualidad iba a tener un uso promedio de 90 a 125kg por vehículo. En este sentido, el aumento respecto a la importancia que actualmente se da al reciclaje de los vehículos se basa en las nuevas tecnologías en materiales, haciendo que la chatarra sea económicamente atractiva.

Hoy en día, la utilización de aleaciones de aluminio en la industria automotriz va en aumento (Figura 1.7), ya que la aplicación de este metal se usa en varias partes de los vehículos, como es en el diseño estructural, en la parte mecánica como motores, piezas de suspensión, etc. Esto por lo general es fabricado con aluminio de primera fundición, y varias empresas ya utilizan aluminio de segunda fundición en conjunto del aluminio primario en la fabricación de estas partes y piezas.

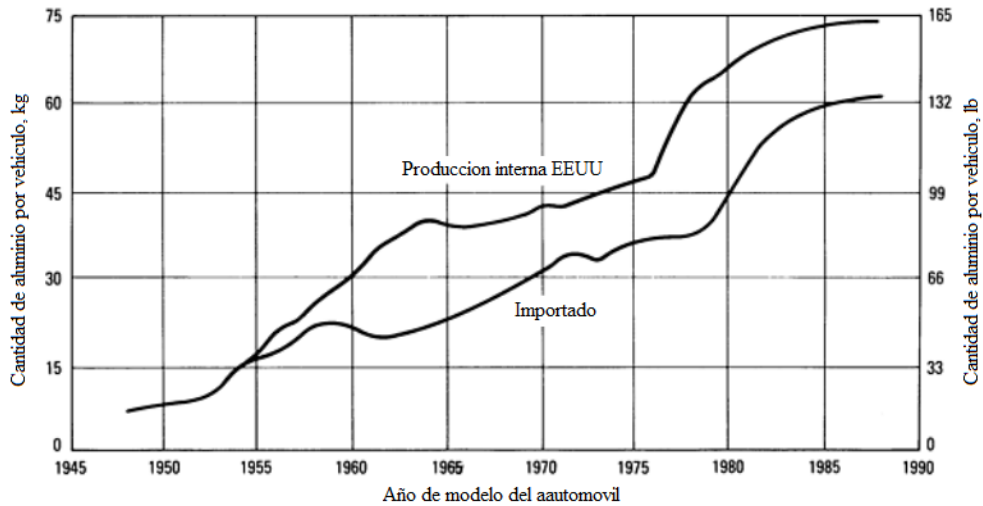


Fig. 1.7. Uso Promedio de aluminio en los automóviles a partir de 1946 a 1988. Los fabricantes de automóviles estadounidenses han utilizado más aluminio que los productores mundiales desde mediados de los años 1950.

Fuente: (ASTM Handbook Committee, 1992)

En 1990, 10 millones de vehículos chatarrizados pudieron producir hasta 500.000 toneladas de aluminio; es decir, se trata de una recuperación de 55 kg por vehículo, sobre el promedio de 1980 que era menor. En 1995, debido al aumento de uso del aluminio en los vehículos, se pudo recuperar 820.000 toneladas. Además, es preciso indicar que estas cifras van en aumento ya que el aluminio es utilizado en los camiones y los autobuses con mayor intensidad.

1.10 Centros de acopio

Un centro de acopio de chatarra no es sino aquel lugar que es utilizado para almacenar, limpiar y clasificar los desechos sólidos recuperables no peligrosos que, después, será vendido a recicladoras y/o fundidoras para ser reutilizadas en la industria que lo solicite. (EL UNIVERSO, 2010)

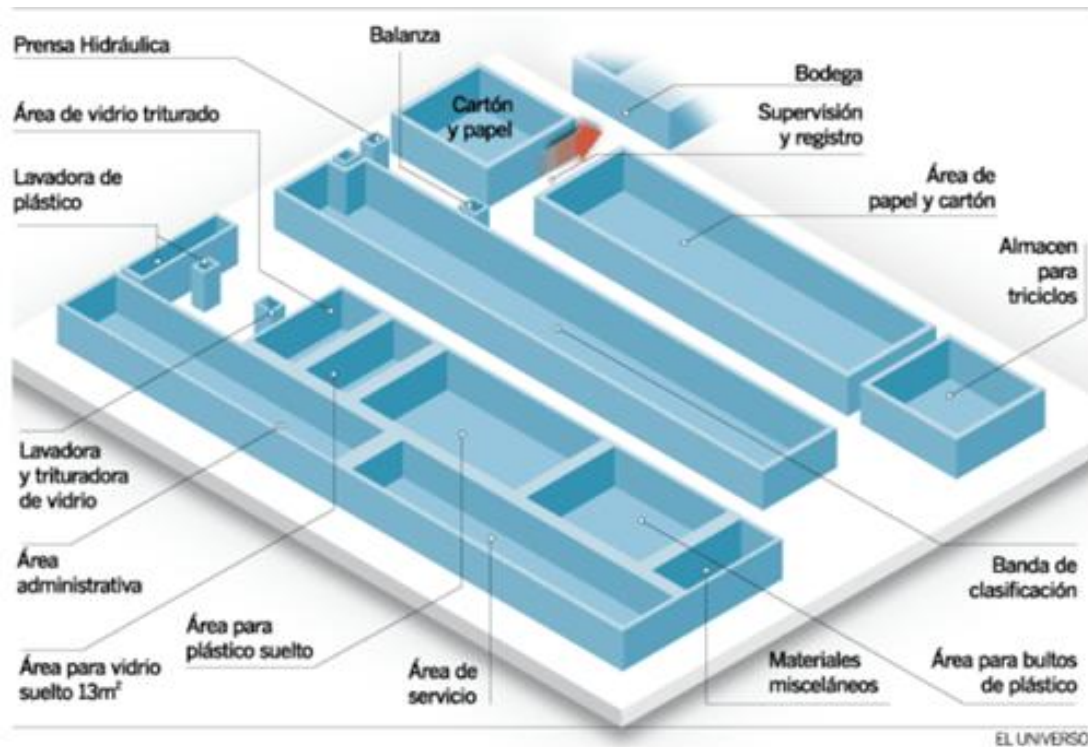


Fig. 1,8 Layout o sectorización para centros de acopio de las recicladoras.

Fuente: (EL UNIVERSO, 2010)

1.10.1 Requisitos de operación

El municipio de Cuenca entrega la responsabilidad de aprobación y control de reciclaje de residuos sólidos inorgánicos en el cantón Cuenca al Directorio de la empresa pública municipal de aseo de Cuenca, EMAC EP, esta para autorizar pide cumplir con los siguientes requisitos para recicladores primarios, recicladores secundarios y centros de acopio.

1.10.1.1 Recicladores Primarios

Se les considera como recicladores primarios a los que realizan labores de recolección de materiales reciclables de manera artesanal, empleando para su transporte medios no motorizados.

Los requisitos para autorizar a una persona como reciclador primario son:

- Ser mayor de edad.
- Registrarse en la EMAC EP.
- Justificar el trabajo en recolección de materiales reciclables de manera permanente, lo cual se verificará y justificará a través de la certificación de la entrega habitual de al menos 200 Kg de materiales por mes a alguno de los centros de reciclaje autorizados por la EMAC EP.
- Ejecutar la recolección de manera artesanal, empleando para su transportación medios de transporte no motorizados o acreditar un tiempo mínimo de seis meses en alguno de los centros de acopio establecidos.
- Aprobar un curso dictado por la EMAC EP, de al menos 16 horas de duración.
- Preferente mente formar parte de alguna organización o asociación de recicladores legalmente constituida; y,

- Contar con zonas, frecuencias y horarios específicos para la realización de las labores de reciclaje, los que serán definidos y autorizados por EMAC EP.

1.10.1.2 Recicladores Secundarios

Se considera como recicladores secundarios a aquellas personas naturales que poseen un vehículo motorizado y que interactúan con los recicladores primarios, ya sea adquiriendo el material o apoyando en el transporte de los mismos hacia los centros de reciclaje.

Los requisitos para autorizar a una persona como reciclador secundario son:

- Ser mayor de edad.
- Contar con un vehículo que cumpla con las disposiciones emitidas por la EMOV EP, y sus características y especificaciones deberán ser registradas en la EMAC EP.
- Para la primera emisión de la primera autorización, el reciclador debe aprobar un curso de capacitación de 16 horas dictado por la empresa.
- Contar con zonas, frecuencias y horarios específicos, previamente definidos y autorizados por la EMAC EP.

1.10.1.3 Centros de Acopio

Art 5. Se clasifican en centros privados de reciclaje y centros corporativos de reciclaje.

Los locales en los que se ejecutan labores de acopio, clasificación, comercialización y/o transformación de materiales inorgánicos reciclables.

Son centros corporativos de reciclaje aquellos locales administrados por las corporaciones de recicladores primarios.

Los requisitos necesarios para calificar como centro de reciclaje, privado o corporativo, son los siguientes:

- Presentar la solicitud y completar la información básica requerida en el formulario de inscripción y registro.
- Contar con un área suficiente, infraestructura e instalaciones apropiadas para estas labores.
- Contar con el permiso otorgado por la Dirección de Control Urbano para el desarrollo de este tipo de actividades (CUF).
- Contar con el permiso municipal otorgado por la Comisión de Gestión Ambiental (CGA).
- Asistir y aprobar un curso de 16 horas dictado por EMAC EP.
- Presentar una carta en la que se compromete a:
 - 1) Mantener un registro de los recicladores primarios y secundarios, autorizados por EMAC EP que comercializan con el centro.
 - 2) Apoyar y participar en la implementación de medidas tendientes a fortalecer y desarrollar el Sistema de Reciclaje de Cuenca, definido por EMAC EP, con el fin de mejorar las condiciones de trabajo de los Recicladores Primarios.
 - 3) Reporta a EMC EP de manera mensual las cantidades de materiales procesadas en su centro con fines exclusivamente estadísticos; y,
 - 4) Reportar mensualmente a la EMAC EP las cantidades de materiales reciclados entregados por los recicladores primarios.

1.10.2 Normas de referencia

El instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, en la norma NTE INEN 2505 CHATARRA METÁLICA FERROSA. ACOPIO.REQUISITOS (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 2010) regula los procesos de recepción de la chatarra en los centros de acopio, como debe ser su correcta manipulación y los cuidados que deben observar los trabajadores de dichos centros.

Cabe destacar que los centros de acopio industriales deben llevar una bitácora de ingreso y salida de chatarra, con datos de procedencia, peso, datos del proveedor y clase de chatarra. El peso de la chatarra será controlado con balanzas certificadas por el INEN.

Los operarios deben ser mayores de edad. A su vez, se manejan reglas sobre el transporte de chatarra dentro del centro de recepción a fin de evitar lesiones. Los operarios deben estar vacunados contra los tétanos, tener conocimiento sobre el manejo de residuos peligrosos y utilizar debidamente el equipo de protección personal (epp). La norma 2505 se expone en el Anexo 2.

En la figura 1.9 se explica el diagrama de flujo de la recolección y el movimiento de la chatarra de aluminio desde la recolección en la basura, en casas, talleres y/o fábricas, comercializado por los recolectores primarios y secundarios los cuales llevan a los centros de acopio y finalmente entregando esta chatarra a empresas nacionales que lo funden y lo transforman en materia prima hasta la exportación a diferentes países.

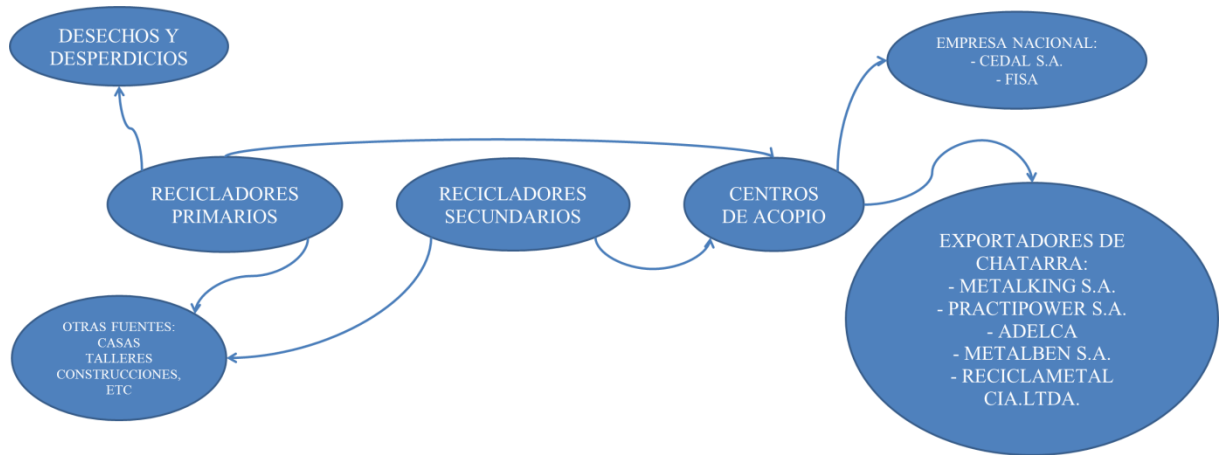


Fig. 1.9 Diagrama de flujo de movimiento de chatarra

Fuente: Autores: Carlos Patiño y Ramiro Serrano.

1.11 Clasificación de materia prima

Este proceso correcta y debidamente llevado, facilita la clasificación del aluminio, teniendo en cuenta que dicho metal puede ser clasificado en atención a las series de aluminio o en razón elementos fabricados, es decir, pudiendo ser clasificado dependiendo de la chatarra recolectada, ya sea que se trate de partes automotrices, desechos industriales, desechos de carpintería metálica, u otros.

Para conocer mejor los procesos industriales que se llevan a cabo, así como la cadena de procesos que intervienen en el reciclaje del aluminio, se realizó una visita técnica a la Empresa Cedal S.A., localizada en la ciudad de Latacunga en la provincia de Cotopaxi en Ecuador, el día jueves 10 de diciembre de 2015, se pudo observar los procesos de clasificación de la materia prima para la producción de aluminio de serie 6063 y 6005, cabe señalar que esta empresa utiliza para su producción, tanto aluminio primario (importado) , y aluminio procedente de chatarra (reciclaje local).

El aluminio primario es comprado a compañías extranjeras ya que el país no cuenta con empresas que fabriquen este material, puesto que no existen en territorio ecuatoriano minas de bauxita o alúmina, minerales de los cuales se obtiene aluminio puro.



Figura 1.10.- Imagen Aluminio Puro –importado- que se utiliza en la producción de perfilería de aluminio en la empresa Cedal S.A.

Fuente: Autores Dario Patiño y Ramiro Serrano.

El Aluminio procedente de la chatarra, lo obtienen de un proveedor local de la ciudad de Latacunga. Esta empresa proveedora se denomina “Aluminex”, misma que se encarga de entregar chatarra limpia. Hay que destacar que la chatarra mayormente entregada para su reciclaje es la de cables conductores de alta tensión de aluminio ya que tiene una aleación similar a la 6063 y no necesita de procesos de limpieza o descontaminación exhaustivos.

Adicionalmente, el aluminio objeto de reciclaje es sometido a un proceso de limpieza realizado con imanes, todo ello a fin de verificar que en el aluminio recolectado no exista algún metal ferroso que pudiere contaminar la colada que está siendo procesada para la obtención de la materia prima.

Cedal también tiene chatarra de sus procesos de perfilería, misma que es reprocesada para posteriormente volverla a utilizar a efecto de obtener la materia prima. La cantidad de reproceso de la chatarra propia de Cedal es aproximadamente del 33,33%. El 55,55% de aluminio reciclado es comprado a proveedores externos y un 11,11% de aluminio puro y elementos aleantes como silicio y magnesio para la obtención de la colada de aluminio 6063.



Figura 1.11 Chatarra de perfilaría, de la empresa Cedal S.A.

Fuente: Autores Dario Patiño y Ramiro Serrano.



Figura 1.12 Imagen alambre reciclado de la empresa Cedal S.A.

Fuente: Autores Dario Patiño y Ramiro Serrano.

La empresa Cedal S.A. Toma muy en cuenta el proceso de clasificación de materia prima, desde el aluminio de segunda fusión que es recibido de proveedores locales, hasta el aluminio que es reciclado de su propia perfilaría, facilitando así el proceso de fundición, al no tener demasiada variación en los aleantes de su materia prima.

1.12 Procesos industriales para el tratamiento del aluminio

En la fusión de aluminio secundario se emplean hornos clásicos, adaptados y adecuados según la necesidad, que pueden ser, hornos de reverbero, horno rotativo y hornos de inducción. (Román Ortega, 1992)

En los hornos de reverbero, se emplea una variante de horno de reverbero de dos cámaras, en donde la primera cámara se funde chatarra y desechos, en la segunda cámara se rectifican las aleaciones y su capacidad duplica a la primera, posee ventajas, como acortamiento en el tiempo en que el aluminio fundido está en contacto con herramientas de hierro, lo que permite, a su vez, minimizar el contenido de este metal en las aleaciones. Asimismo, mejora la productividad por trabajador en un 20-25%, se puede eliminar elementos mecánicos auxiliares, y disminuir pérdidas de material en el lingote.

Una variante más que se le puede dar a un horno de reverbero es el horno de baño externo o abierto. Su diseño no difiere de los hornos corrientes de reverbero, más que en la cuba externa. La ventaja principal de estos hornos consiste en pérdidas pequeñas de metal que se dan por oxidación.

Respecto de los hornos rotativos, se puede indicar que estos son empleados en la fusión de productos finos, como virutas, limaduras, etc. Dicho horno está compuesto por un tambor de acero, revestido interiormente de refractario, el cual gira sobre bandas de rodaduras. En hornos de gran dimensión y bien equipados, la carga requiere un tiempo variable de 1 a 5 minutos por tonelada métrica, la fusión toma de 1 a 2 horas, la colada y evacuación de escoria no más de 15/20 minutos. En estos hornos solo se funden chatarra muy específica como papel fino, etc.

Por otra parte, los hornos de inducción pueden ser de crisol o de canales según la disposición del baño inducido. Estos se emplean para fusión de virutas, recortes, mazarotas, rebabas y otros desperdicios de aluminio.

1.13 Procesos industriales implementados en el país

En la visita realizada a la Empresa Cedal S.A. (Corporación Ecuatoriana de Aluminio) se hizo hincapié en conocer los procesos de fundición, mediante los cuales se procesa aluminio reciclado, aluminio puro y elementos aleantes, para cumplir con los porcentajes del tipo de aleación a conseguir. Así también, se habló del proceso de purificación y controles de calidad del aluminio obtenido.

1.13.1 Procesos previos a la fundición

En lo que se refiere a purificación y reciclaje de aluminio, Cedal no realiza la purificación del aluminio reciclado ya que la chatarra es clasificada por el proveedor, una empresa local llamada Aluminex, y solo compra alambre de aluminio, limpio sin impurezas.

Cedal S.A. realiza una inspección a la chatarra comprada, utilizando electroimanes para verificar que este no tenga ningún metal ferroso ya que dañaría la colada.

Para identificar qué clase de aluminio es, o las composiciones de la aleación, se realiza una pequeña fundición de una muestra, luego se obtienen probetas que son analizadas con un Espectrómetro de emisión atómica, Figura 1.12, el cual muestra la composición de la fuente de materia prima.



Figura 1.13 Espectrómetro de emisión atómica.

Fuente: Autores Dario Patiño y Ramiro Serrano.

Con los datos entregados por el Espectrómetro se clasifica y se aprueba la chatarra de aluminio como materia prima para el proceso de fundición.

1.14 Procesos de fundición

El proceso de fundición de la empresa Cedal S.A. Utiliza los siguientes productos como fuente de materia prima:

1. Aluminio Reciclado centros de acopio (alambre de aluminio)
2. Aluminio Reciclado propio (Desechos de perfilería)
3. Aluminio Puro
4. Elementos aleantes (Silicio y Magnesio).

Para comenzar el proceso de fundición, son introducidos al horno, con la ayuda de un brazo mecánico, los residuos del aluminio. A continuación, se ingresa el aluminio reciclado de los centros de acopio y el aluminio reciclado propio de perfilería. Es preciso anotar que, estos productos tienen el mismo porcentaje de aleantes y, en este sentido, se espera tener la misma aleación del que son fabricados.



Figura 1.14 Brazo mecánico

Fuente: Autores Dario Patiño y Ramiro Serrano.



Figura 1.15 Horno de fundición de reverbero.

Fuente: Autores Dario Patiño y Ramiro Serrano.

Mientras la materia prima se encuentra en estado líquido se extraen muestras, y luego de solidificarse son analizadas en el espectrómetro de emisión atómica, de esta forma se analiza la composición de la colada y se agregan los diferentes aleantes, en pos de obtener la serie requerida; cabe señalar que este proceso se lo realiza siguiendo las recomendaciones de la norma NTE INEN 2250, expuesta en el anexo 3. Las probetas que se utilizan para las pruebas de composición de la colada se muestran en la figura

1.15. Luego se comprueba nuevamente la composición de la colada, y una vez que esta satisface los requerimientos de composición y de calidad, se procede con la extracción de la misma fuera del horno para el proceso de desgasificación, en el cual la colada es inyencatada con gas Argon, toda vez que este elemento gaseoso noble limpia las impurezas y elimina las partículas de hidrogeno que se encuentran en la colada; obteniendo, como consecuencia, un lingote o en este caso un cilindro sin porosidades.



Figura 1.16 Probetas normalizadas para las pruebas de composición de la colada en el espectrómetro de emisión atómica.

Fuente: Autores Dario Patiño y Ramiro Serrano.

Tras haber obtenido la aleacion de aluminio referida en las líneas precedentes, esta sale del desgasificador y es colocada dentro de unos contenedores por donde, a su vez, es expulsada por unos ductos circulares que son enfriados por agua, solidificándose finalmente el aluminio y obteniendo como producto el cilindro de materia prima, figura 1.16 a y b.



Figura 1.17a y 1.17b Elementos de Horno de fundicion de reverbero.

Fuente: Autores Dario Patiño y Ramiro Serrano.

El cilindro de aluminio obtenido corresponde a la aleación 6063, presenta una medida de 7” de diámetro x 110” de largo y pesa aproximadamente 185kg.



Figura 1.18 Cilindros de aluminio.

Fuente: Autores Dario Patiño y Ramiro Serrano.

Luego de la obtención del cilindro de aluminio como materia prima, es necesario realizar un “alivio de tensiones” en un horno de Normalización, toda vez que este proceso hace que la microestructura del aluminio cambie y de una imagen quebradiza similar a caracteres chinos, pase a ser más plano; verificándose así una microestructura

más homogénea. Hemos de acotar que al hacer esto el aluminio obtenido mejora respecto a sus características mecánicas.



Figura 1.19 Cilindros aluminio homogenizados.

Fuente: Autores Dario Patiño y Ramiro Serrano.



Figura 1.20 Horno de Homogenización

Fuente: Autores Dario Patiño y Ramiro Serrano.

1.14.1 Escoria

La escoria obtenida en el proceso de fundición es separada de la colada y llevada a un espacio seleccionado para poder recolectarla y venderla a un clasificador, quien recupera restos de aluminio que luego será comprada por Cedal S.A. nuevamente para poder ser fundida como materia prima.



Figura 1.21 Escoria procedente de los hornos de fundición.

Fuente: Autores Dario Patiño y Ramiro Serrano.

1.15 Aplicaciones automotrices del aluminio reciclado

En los últimos años, la aplicación automotriz del aluminio reciclado se ha generalizado, gracias a su bajo peso y a su elevada rigidez; este material, es capaz de mejorar su comportamiento, logrando excelentes relaciones peso-potencia y optimizando notablemente el comportamiento dinámico.

El aluminio, es el metal más utilizado en la fabricación de automóviles actuales después del acero.

Desde el año 2000, se comenzó a incorporar de forma generalizada en piezas exteriores; capós, aletas, paneles de puerta e incluso techos.

En este contexto, Gómez Toro (2012) habla de las distintas piezas de aluminio que componen a un vehículo, las cuales son partes de sistemas de transmisión, dirección, frenos, suspensión, motor, sistemas eléctricos y electrónicos.

(Saiz Gomez, 2013) En su estudio, habla de las diferentes aleaciones de aluminio que se emplean en diferentes partes de un automóvil.

1.15.1 Partes del Motor

- Bloque: Están hechos de aleaciones ligeras de aluminio-silicio.
- Culata: Está compuesta por aleaciones de aluminio, silicio, cobalto y molibdeno, la cual presenta una buena conductividad térmica.
- Colector de admisión: hecho en aluminio colado por su bajo peso y buena conductividad térmica.
- Embolo o pistón: presenta aluminio con aleaciones de silicio, cobre, níquel y manganeso. El silicio aporta una reducción del coeficiente de dilatación, mejora de la conductibilidad, aumenta la resistencia a la rotura y reduce la densidad. Para optimizar el rozamiento, los émbolos de aleación ligera se recubren con tratamientos a base de una ligera capa de plomo, estaño y grafito; y, para mejorar la resistencia térmica, podemos encontrar pistones con tratamiento de cerámica en la cabeza del pistón, sobre todo en los motores diésel, más expuestos a altas temperaturas.
- Biela: Se los construye en procedimientos de forja o estampación, las bielas para motores de competición son también de aleaciones de titanio, de pequeña densidad y gran resistencia; para motores pequeños y de gran velocidad se fabrican de aluminio.

- Cojinetes: Constituidos por un casquillo base; acero, aleaciones de aluminio o aleaciones de cobre-plomo-estaño; y por una capa de deslizamiento de metal blando.

1.15.2 Características de las aleaciones del aluminio

- Con Cobre: No suele sobrepasar el 15% del contenido total de la aleación, ya que a partir de este límite la aleación se vuelve frágil. El cobre aumenta la dureza del aluminio a la vez que conserva su maquinabilidad y ligereza. Este tipo de aleaciones reciben el nombre de duro aluminio, se utilizan en la fabricación de estructuras de aviones, y en el automóvil en las llantas de los coches.
- Con Zinc: Aumenta la dureza en frío y al igual que el cobre, son las aleaciones de aluminio con mejores características mecánicas.
- Con Magnesio: Las aleaciones de aluminio y magnesio son menos densas que el propio aluminio, por sus buenas propiedades mecánicas y su elevada resistencia a la corrosión. Se utilizan en automoción, en llantas también por ejemplo.
- Silicio + Cobre: Estas aleaciones son muy dúctiles y maleables, ideales para obtener piezas de moldeo por inyección.
- Níquel + Cobalto (Alnico): Con esta aleación se fabrican potentes imanes permanentes.

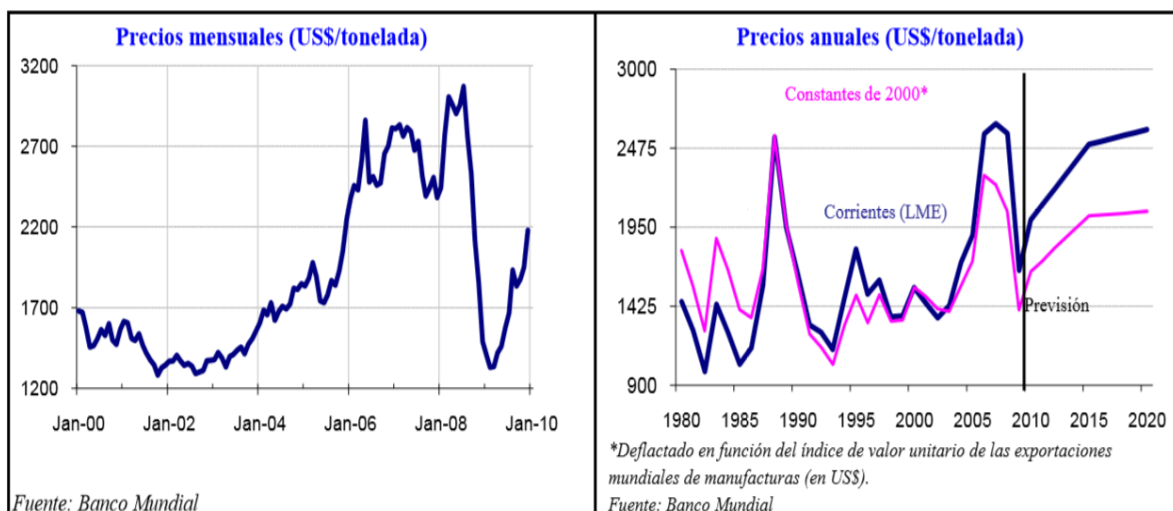
1.16 Análisis de tendencias mundiales y locales

Según (Papp, y otros, 2008), los factores que influyeron en el precio del aluminio y otros metales, están dados en el transcurso del tiempo por eventos internacionales como: guerras; recesiones económicas; eventos políticos, como la disolución de la unión soviética en 1991; el crecimiento económico de China, con su política de puertas abiertas en la década de los 70s, la cual no tuvo un impacto significativo en el mercado

internacional sino hasta la década de los 90s; etc. Asimismo, el precio en los productos de metal también se vio afectado por eventos específicos en productos, como son, aranceles, huelgas mineras, etc.

(World Metal Statistics, 2009) Comenta, que en el año 2009, el precio del aluminio estuvo cotizado en 1,655 US\$/ton, menos de 35% de 2,573 US\$/ton en 2008. A partir del segundo trimestre, los precios tuvieron un alza, de sus bajas de febrero, lo que refleja el reabastecimiento y la fuerte demanda de importación en China durante el primer semestre del año, mejorando lentamente la demanda en otros sitios y el aumento de los costos. Parte significativa de las existencias de la Bolsa de Metales de Londres (LME, por sus siglas en inglés) ha sido comprometida para la financiación de ofertas.

Por lo que en la figura 1.23, detalla el comportamiento del valor en dólares por tonelada desde el año 2000 al 2010 del aluminio, así también una proyección hasta el 2020, y también un detalle de la producción, consumo, importación y exportación de los principales países consumidores de aluminio.



	2005	2006	2007	2008		2005	2006	2007	2008
PRODUCCIÓN (miles de toneladas)					EXPORTACIONES (miles de toneladas)				
China	7,806	9,358	12,559	13,177	Fed. de Rusia	2,740	3,164	3,949	4,818
Fed. de Rusia	3,647	3,718	3,955	4,187	Canadá	2,240	2,360	2,501	2,532
Canadá	2,894	3,051	3,083	3,119	Australia	1,588	1,624	1,659	1,683
Estados Unidos	2,480	2,281	2,560	2,659	Noruega	1,513	1,539	1,610	1,591
Australia	1,903	1,929	1,959	1,974	China	1,324	1,213	546	841
Brasil	1,498	1,605	1,655	1,661	Islandia	284	303	446	761
Noruega	1,376	1,427	1,357	1,359	Brasil	753	842	823	748
India	942	1,105	1,222	1,308	Sudáfrica	671	601	625	598
Sudáfrica	851	887	898	1,084	Países Bajos	482	609	795	483
Emiratos Árabes Unidos	850	789	890	892	Alemania	392	432	423	435
Total mundial	31,995	33,969	38,087	39,425	Total mundial	17,023	17,706	18,906	19,308
CONSUMO (miles de toneladas)					IMPORTACIONES (miles de toneladas)				
China	7,119	8,648	12,347	12,413	Japón	2,977	3,036	2,986	3,064
Estados Unidos	6,114	6,150	5,580	5,615	Estados Unidos	3,691	3,461	2,951	2,932
Japón	2,276	2,323	2,197	2,250	Alemania	1,770	2,073	2,231	2,063
Alemania	1,758	1,823	2,008	1,950	Rep. de Corea	1,231	1,204	1,190	1,086
Italia	958	1,079	1,207	1,305	Italia	890	986	1,079	882
Fed. de Rusia	1,020	1,047	1,020	1,020	Turquía	383	414	572	598
Rep. de Corea	1,201	1,153	1,081	965	Bélgica	763	738	754	558
Italia	977	1,021	1,087	951	Países Bajos	656	971	1,043	554
Brasil	759	773	854	932	Francia	517	593	587	509
Canadá	801	846	718	714	Taiwán, China	523	540	504	504
Total mundial	31,720	34,026	37,578	37,796	Total mundial	18,318	19,254	19,334	17,894

Fuente: World Metal Statistics.

Figura 1.22 Grupo de análisis de las perspectivas de desarrollo, Banco Mundial.

Fuente: Román Ortega, 1992.

Tabla 1.4 Precios de dólares por tonelada de enero hasta noviembre del 2015

PRECIOS US\$/TONELADA PARA EL AÑO 2015	
ALUMINIO ALLUMINIUM (DOLARES)	ALUMINIO ALIADO (DOLARES)
1.837,25	1.875,00
1.794,25	1.795,00
1.788,75	1.755
1.909,25	1.807,50
1.705,25	1.720,00
1.646,25	1.780,00
1.593,50	1.695,00
1.549,75	1.680,00
1.561,00	1.680,00
1.447,25	1.607,50
1.441,75	1.605,00

Fuente: (LME Precios Oficiales, 2015)

CAPITULO II

ANALISIS DE LA OFERTA Y DEMANDA DE ALUMINIO RECICLADO

2.1 Generalidades

A nivel mundial existe, hoy en día, una alta demanda de aluminio ya sea de primera fundición o reciclado, puesto que dicho material es de los más utilizados en la industria del transporte, construcción, ingeniería y empackado.

El aluminio, en el mundo, es obtenido de dos tercios de la producción original y un tercio por el proceso de reciclaje.

El mayor consumidor y al mismo tiempo productor de aluminio, a nivel global, es China; país que ha doblado la producción desde el 2006 con 6 millones de toneladas a más de 13 millones de toneladas en el 2009.

Entre los mayores productores de aluminio a escala mundial están: Australia, Brasil, Canadá, Noruega, Rusia y Estados Unidos. Los Emiratos Árabes Unidos, gracias a la cantidad de recursos que posee, tienen facilidades para convertirse en un centro mundial de refinación de aluminio.

El reciclaje de aluminio constituye una práctica que se ha generalizado globalmente desde hace varios años. Europa recicla cerca del 74% de aluminio; no obstante el país que lidera el reciclaje en el mundo es Brasil con un 97%, seguido muy de cerca por Japón. Las razones por las que estos países llegan a niveles de reciclaje tan altos son muy diferentes, Japón realiza estos procesos impulsados por disposiciones de carácter legal, mientras que en Brasil tiene relación con las diferencias económicas y sociales. (Melik & Kouzmenkov, 2010)

2.2. Exportaciones de aluminio reciclado

En Ecuador se destacan principalmente cinco empresas exportadoras de desperdicios de aluminio (Figura 2.1), las cuales exportan anualmente un promedio de 15,940,217.49 USD, lo cual equivale a un volumen de 8,140 toneladas al año. En la tabla 2.1 se detalla los principales comercializadores, con sus volúmenes de exportación en dólares y kilogramos para un periodo de 3 años desde el año 2013 al 2015. Cabe recalcar que la información ha sido extraída de los archivos de la aduana nacional, mismos que corresponden a la partida arancelaria número 7602.00.00.00 “desperdicios y desechos de aluminio”.

Tabla 2.1 Listado de empresas exportadoras con volúmenes en dólares y kilogramos³⁴.

<u>Exportador</u>	<u>Total Fob</u>	<u>Total Cif</u>	<u>Total Unidad</u>	<u>Total peso neto</u>
METALKING S.A.	28392362,82	0,00	14963097,60	13463894,80
PRACTIPOWER S.A.	12293833,90	0,00	8187983,00	6502062,00
ACERIA DEL ECUADOR CA ADELCA	7060205,76	0,00	4952286,11	4382381,16
METALBEN S.A.	39600,00	0,00	22000,00	22000,00
RECICLAMETAL CIA. LTDA.	34650,00	0,00	51990,00	51000,00
	<u>Total Fob</u>	<u>Total Cif</u>	<u>Total peso neto</u>	<u>Total Unidad</u>
	47820652,48	0,00	24421337,96	28177356,71

Fuente: <http://www.cobusecuador.ec/html2/index.html>

³ FOB: Free On Board (Libre a bordo).

⁴ CIF: Cost, Insurance and Freight (Costo, Seguro y Carga)

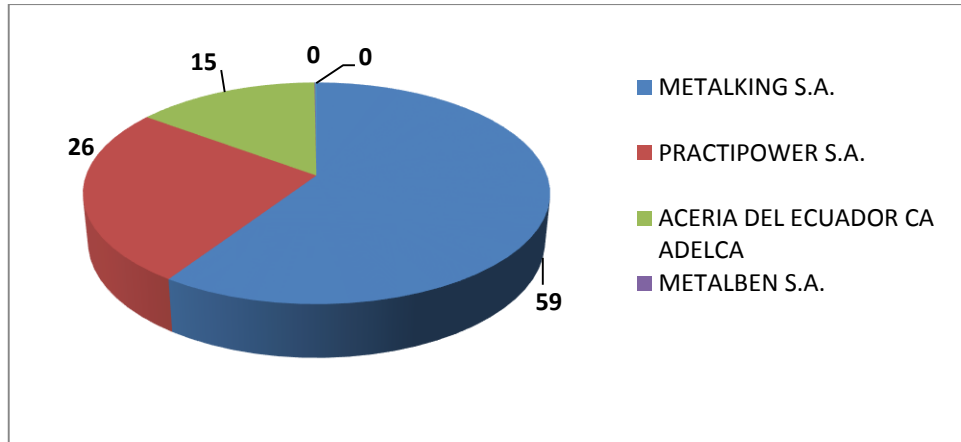


Figura 2.1 Porcentaje de exportacion de desechos de aluminio de las principales empresas nacionales (años 2013 al 2015).

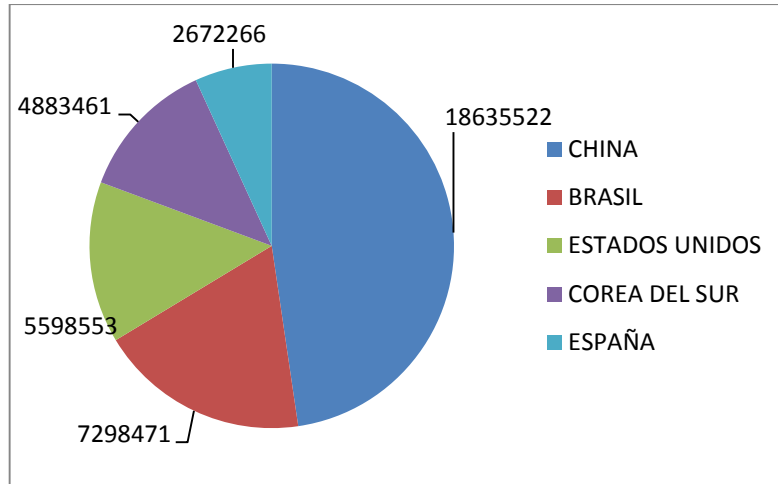
Fuente: <http://www.cobusecuador.ec/html2/index.html>

La tabla 2.2 muestra los 10 principales países destino de exportación de desperdicio y desechos de aluminio. Adicionalmente, se observa que China es el principal comprador de desechos de aluminio, su volumen de compras asciende a 11,638 toneladas con un valor de \$18,635,522 equivalente al 41,32% del volumen de exportación total de los últimos 3 años.

Tabla 2.2 los 10 Principales países destino de exportación.

País	FOB	Kg	%FOB	%Kg
CHINA	18635522	11638862	66,15	41,32
BRASIL	7298471	3816959	15,27	13,55
ESTADOS UNIDOS	5598553	3281811	11,71	11,65
COREA DEL SUR	4883461	2630378	10,21	9,34
ESPAÑA	2672266	1263523	5,59	4,49
INDIA	2552084	1600999	5,34	5,68
TAIWAN	1954948	1343580	4,09	4,77
MEXICO	1817717	979937	3,80	3,48
MALASIA	1805797	1176212	3,78	4,18
PERU	211361	150972	0,44	0,54
LOS DEMAS	377572	287299	0,79	1,02
Totales	47807752	28170532	100	100

Fuente: <http://www.cobusecuador.ec/html2/index.html>



La figura 2.2: 5 principales países destino de exportación en dólares.

Fuente: <http://www.cobusecuador.ec/html2/index.html>

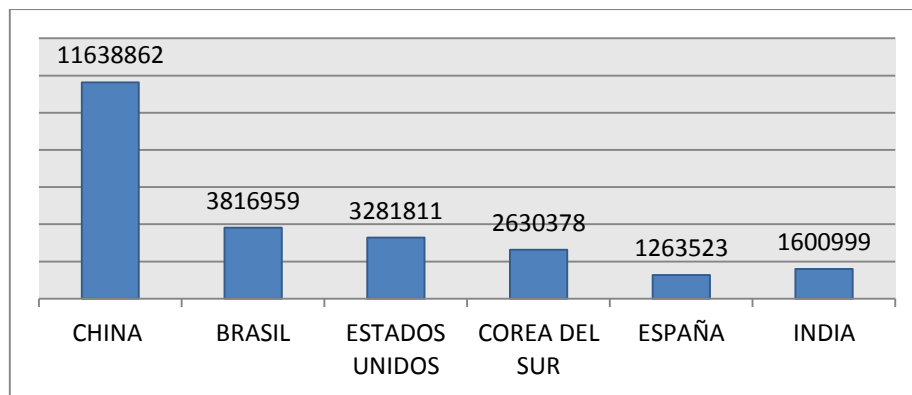


Figura 2.3: 5 principales países destino de exportación en kilogramos.

Fuente: <http://www.cobusecuador.ec/html2/index.html>

En la figura 2.4 se detalla el comportamiento del valor FOB de desperdicios y desechos de aluminio que exporta el Ecuador en un periodo de 3 años, en el cual es evidente que en noviembre del 2014 fue un mes en el que el país no exportó, esto se pudo haber dado por el valor del aluminio que subió considerablemente.

En enero del 2015 se exportó la mayor cantidad de aluminio en los últimos tres años con un valor aproximado de \$3.200.000 dólares.

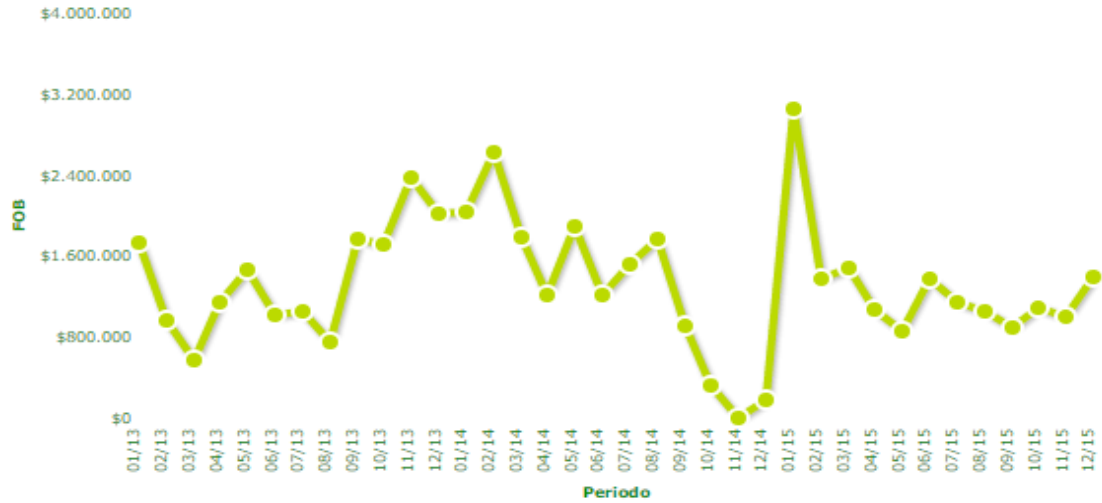


Figura 2.4 Variación mensual del valor FOB de exportación de desperdicios y desechos de aluminio en el periodo del 2013 al 2015

Fuente: <http://www.cobusecuador.ec/html2/index.html>

En la figura 2.5 se detalla la evolución mensual del precio promedio de desechos y desperdicios de aluminio desde enero del 2013 hasta diciembre del 2015, en el que se puede evidenciar que en el mes de octubre del 2014 los desechos y desperdicios de aluminio suben aproximadamente a \$4.00 por cada kilogramo, y para noviembre del mismo año el valor se lo coloca en cero ya que en ese mes no se exporto.

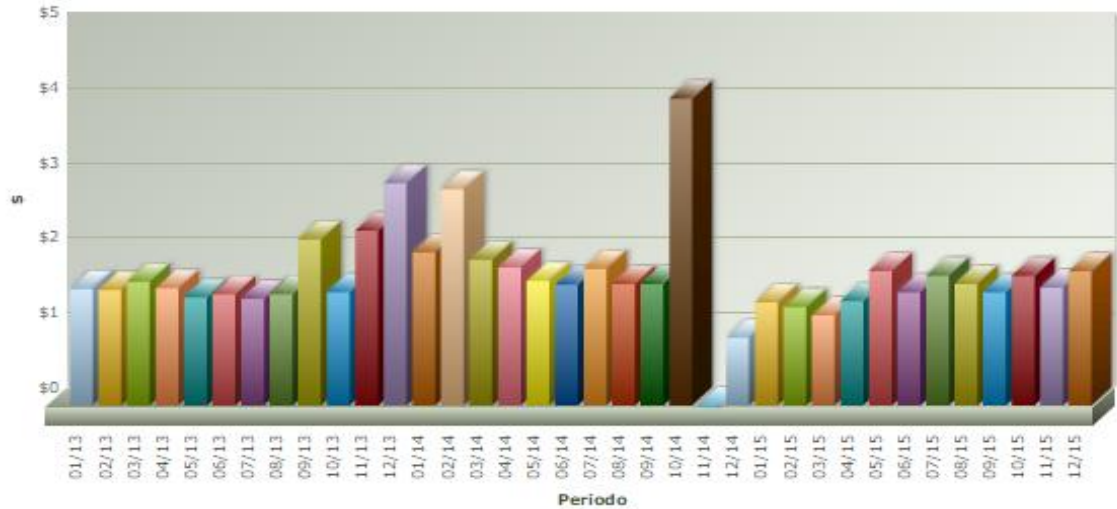


Figura 2.5 Evolución mensual de precio promedio de exportación de desperdicios y desechos de aluminio en el periodo del 2013 al 2015.

Fuente: <http://www.cobusecuador.ec/html2/index.html>

La figura 2,6 indica la evolución del valor FOB de exportación de la chatarra de aluminio por año de los últimos cinco años, en el cual el año 2013 ha sido el año en el que más se ha exportado con un valor aproximado a \$17.000.000 con una cantidad en kilogramos aproximada a 9.000.000 kg que equivalen a 9000 toneladas, esto se indica la figura 2.7.

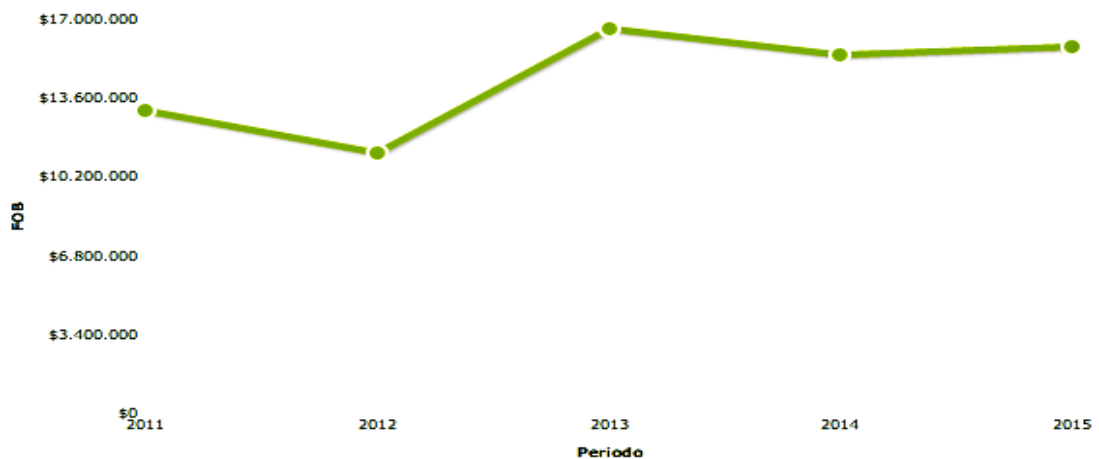


Figura 2.6 Evolución FOB de los últimos 5 años.

Fuente: <http://www.cobusecuador.ec/html2/index.html>

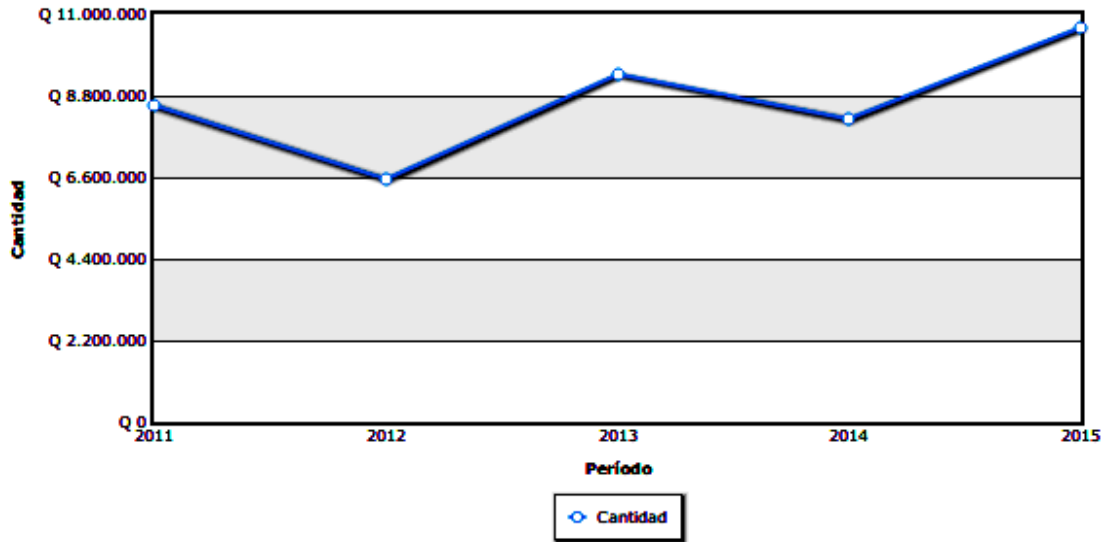


Figura 2.7 Evolución cantidad en kg de los últimos 5 años.

Fuente: <http://www.cobusecuador.ec/html2/index.html>

2.3. Importaciones de aluminio y aleaciones de aluminio

En Ecuador actualmente, de acuerdo a los registros de la aduana nacional, el principal importador de aluminio, con la partida arancelaria 7601, bajo la denominación de Aluminio en bruto, es la empresa Corporación ecuatoriana de aluminio Cedal S.A. con un volumen de 22093 toneladas en los últimos tres años con un valor FOB de 49,104,945.99 USD; seguido por FISA Fundiciones industriales S.A. con un volumen de 13,132 toneladas en los últimos tres años y un valor FOB de 28,261,441.53. Finalmente, la empresa Proalum S.A. con un volumen de importación de 803 toneladas con un valor FOB de \$1,789,213.48; todo esto el periodo desde el 2013 al 2015.

Tabla 2.3 Principales importadores de aluminio en bruto para el Ecuador.

Importador	Total Fob	Total Fle	Total Seg	Total Cif	Total peso neto	Total Unidad
CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO S.A. CEDAL	49104945,99	1847369,88	80192,34	50606212,22	22093064,97	22640168,00
FISA FUNDICIONES INDUSTRIALES S.A.	28261441,53	964988,86	314621,37	29477102,68	13132891,07	12545034,71
EXTRUSIONES DEL LITORAL S.A EXTRULIT	11597161,63	189607,78	12415,87	11728218,19	4759798,00	4682178,07
DURALUM S.A.	2011979,43	50700,98	17879,61	2030062,59	922050,00	923477,00
PROALUM S.A	1789213,48	56114,27	18447,57	1807721,05	803699,30	803738,00

Fuente: <http://www.cobusecuador.ec/html2/index.html>

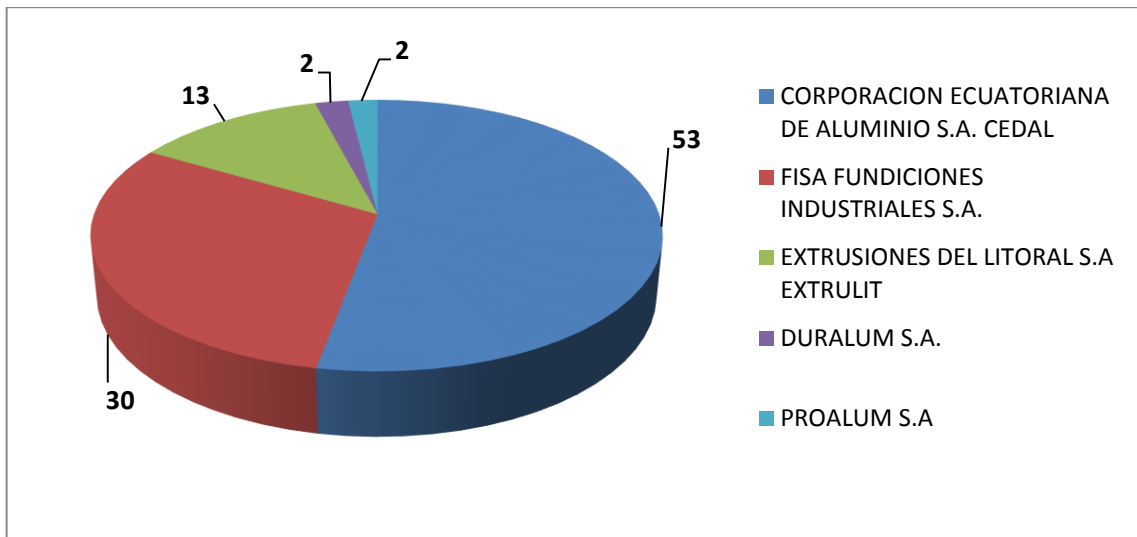


Figura 2.8 Principales empresas importadoras de aluminio en bruto.

Fuente: <http://www.cobusecuador.ec/html2/index.html>

Tabla 2.4 Principales 10 empresas importadores de aluminio en bruto para el Ecuador.

Empresa	FOB	Kg	%FOB	%Kg
CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO S.A. CEDAL	49104946	22640168	52,78	54,36
FISA FUNDICIONES INDUSTRIALES S.A.	27985144	12446593	30,08	29,88
EXTRUSIONES DEL LITORAL S.A EXTRULIT	11597162	4682178	12,46	11,24
DURALUM S.A.	2011979	923477	2,16	2,22
PROALUM S.A	1789213	803738	1,92	1,93
SIGMAPLAST S.A.	196678	54996	0,21	0,13
ECUATORIANA DE ARTEFACTOS S.A. ECASA	134719	48255	0,14	0,12
ACERIAS INTERNACIONALES DEL ECUADOR S.A.	62179	28050	0,07	0,07
ENGINEERINGUNIVERSAL SERVICE EUS CIA. LTDA.	59509	209	0,06	0,00
TECNOLOGIA TOTAL TECTOTAL CIA.LTDA.	20516	3514	0,02	0,01
LOS DEMAS	80377	17819	0,09	0,04
Totales	93042422	41648997	100	100

Fuente: <http://www.cobusecuador.ec/html2/index.html>

La tabla 2.5 indica los valores totales de importación de dos partidas arancelarias de aluminio correspondientes al aluminio con aleaciones y sin aleaciones respectivamente.

Estos valores corresponden a la suma de las importaciones desde Enero del año 2013 a Diciembre del año 2015.

Bajo la partida 7601.20.00.00 de aluminio con aleaciones se importaron sesenta y cinco millones doscientos dos mil novecientos cincuenta y un dólares durante los últimos 3 años. Este valor corresponde al valor de importación entregada la mercadería a bordo del buque en términos FOB (Free on Board). Con respecto a la cantidad, ingresaron veinte y ocho mil trescientos diez y siete, ochocientos treinta y ocho toneladas.

A su vez, respecto de la partida arancelaria 7601.10.00.00 de aluminio sin aleaciones ingreso en menor cantidad al país, se importaron únicamente trece mil trescientos treinta y un toneladas aproximadamente por un valor de veinte y siete millones ochocientos treinta y nueve mil cuatrocientos setenta y un dólares.

Claramente la importación de aluminio con aleaciones tiene un ingreso mayoritario representando un 67.99% sobre la otra partida.

Tabla 2.5 Valores totales de importación de las dos principales partidas arancelarias de aluminio.

	Partida Arancelaria	FOB	Kg	%FOB	%Kg
Aluminio con aleaciones	7601.20.00.00	65202951	28317838	70,08	67,99
Aluminio sin aleaciones	7601.10.00.00	27839471	13331158	29,92	32,01
Total		93042422	41648996	100,00	100,00

Fuente: <http://www.cobusecuador.ec/html2/index.html>

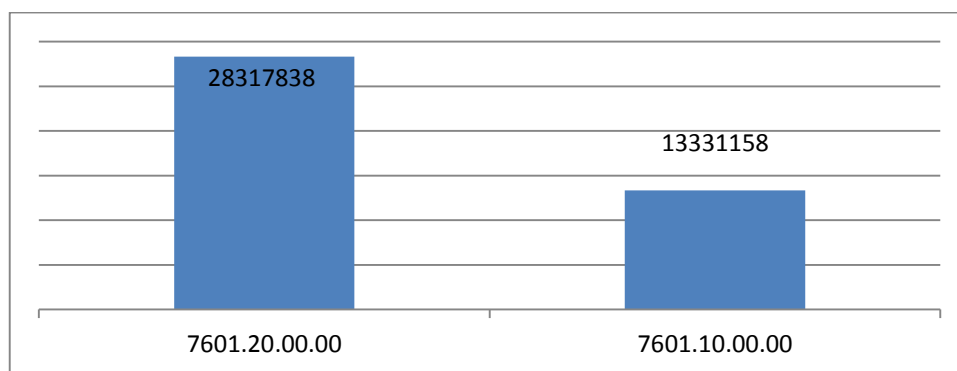


Figura 2.9 Valores totales de importación de las dos principales partidas arancelarias de aluminio expresada en kilogramos.

Fuente: <http://www.cobusecuador.ec/html2/index.html>

La tabla 2.6 indica los principales diez países proveedores de aluminio a Ecuador, entre los cuales, el mayor proveedor es Emiratos Árabes Unidos, toda vez que como se señaló oportunamente, este país cuenta con energía suficiente para refinar o mejorar la calidad del aluminio, con un valor FOB de \$12,671,275 y 5,533 toneladas desde el 2013 al 2015, seguido por India, México, Australia, etc.

Tabla 2.6 Principales países que proveen aluminio al Ecuador.

Países	FOB	Kg	%FOB	%Kg
EMIRATOS ARABES UNIDOS	12671275	5533508	13,62	13,29
INDIA	10577943	4922009	11,37	11,82
MEXICO	10432760	4268644	11,21	10,25
AUSTRALIA	3390879	1472735	3,64	3,54
ESTADOS UNIDOS	2625756	1213724	2,82	2,91
VENEZUELA	455735	208492	0,49	0,50
CANADA	396714	201108	0,43	0,48
PERU	354978	181845	0,38	0,44
BRASIL	247314	120337	0,27	0,29
LOS DEMAS	51889069	23526595	55,77	56,49
Totales	93042423	41648997	100	100

Fuente: <http://www.cobusecuador.ec/html2/index.html>

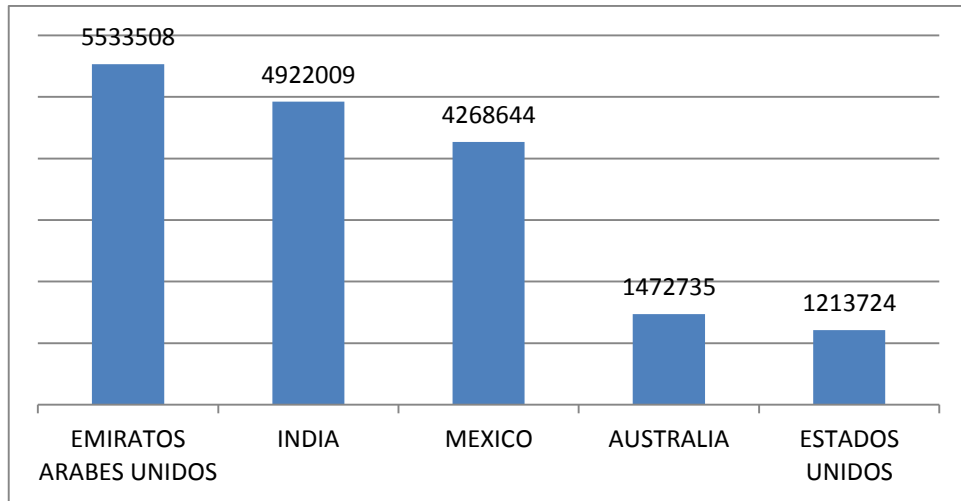


Figura 2.10 Cantidad importada de los 5 principales proveedores en kilogramos.

Fuente: <http://www.cobusecuador.ec/html2/index.html>

En la figura 2.11 se detalla la evolución mensual del precio FOB promedio del aluminio como materia prima importada desde enero del 2013 hasta diciembre del 2015, en el cual se evidencia que en el mes de agosto del 2014 la importación llega a un valor aproximado de \$ 5.000.000 y en diciembre del 2015 la importación cae a unos \$500.000.

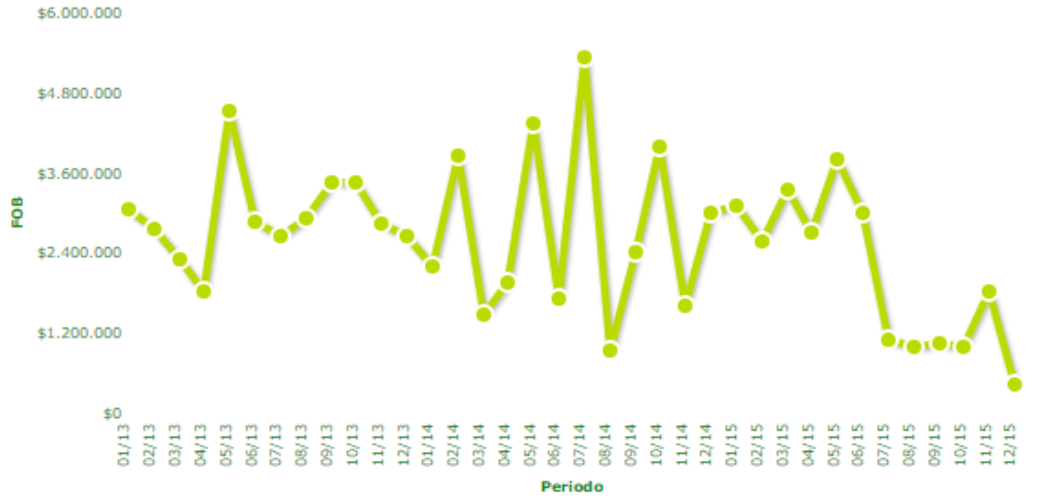


Figura 2.11 Valores mensuales FOB de ingreso de aluminio al Ecuador desde el 2013 al 2015.

Fuente: <http://www.cobusecuador.ec/html2/index.html>

En la figura 2.12 detalla el valor promedio del aluminio importado desde enero del 2013 hasta diciembre del 2015 el cual el valor se mantiene entre los \$2,00 a los 2,50.

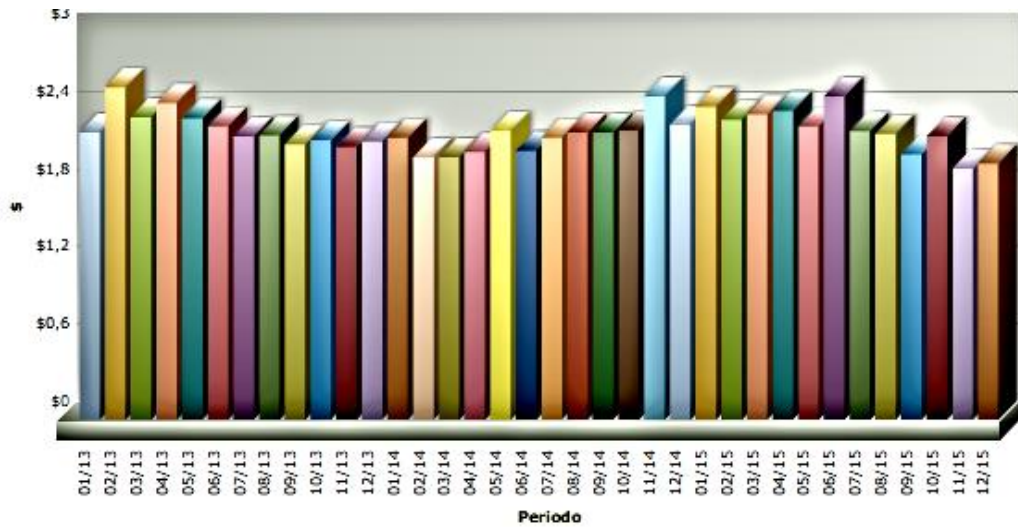


Figura 2.12 Evolución precio promedio mensual del kilogramo de aluminio importado desde el 2013 al 2015.

Fuente: <http://www.cobusecuador.ec/html2/index.html>

2.4 Cadena de valor o cadena comercial

Eugenio Palacios, técnico de reciclaje de la Empresa Pública Municipal de Aseo de Cuenca, EMAC EP, indica que en la ciudad de Cuenca existen más de 300 recicladores que pertenecen a cinco asociaciones avaladas por EMAC EP. Además de esto, existen personas que trabajan de forma independiente reciclando, sin embargo estas personas no están afiliadas a ninguna institución en particular. Los recicladores de la ciudad de Cuenca, venden en promedio 1300 toneladas de chatarra aproximadamente a la empresa ADELCA.

Diariamente llegan los recicladores independientes a los centros de acopio para vender los desechos recogidos. El precio convenido del material reciclado: papel, cartón, chatarra, será establecido de acuerdo a su peso.

Según indica diario El Tiempo, en su edición del día 16 de Mayo del 2013 la Empresa Pública Municipal de Aseo de Cuenca, EMAC EP recolecta aproximadamente 12.900 toneladas de basura por mes, de las cuales 1.500 toneladas corresponden a material reciclable. (Cáseres, 2013)

A través de entrevistas realizadas a los centros de acopio más importantes de la ciudad de Cuenca, durante el mes de enero (año 2016), se determinó que estos clasifican los siguientes tipos de aluminio: de perfiles, grueso (aluminio obtenido de partes de vehículos) y mixto (latas de aluminio). En base a los resultados obtenidos de las empresas Recolect Metales; Metales y Metales; y, Ferrotec; se estableció un precio de venta promedio que varía entre: 550 USD para el aluminio de perfil, 594 USD para el aluminio grueso y 660 USD mixto, por cada tonelada de material.

Por otro lado, las empresas que dominan el mercado de aluminio reciclado a nivel nacional son: Recynter y Rimesa S.A. Estas dos compañías guayaquileñas tienen gran capacidad de almacenamiento de material y son exportadoras de aluminio a diferentes destinos. Este dato fue confirmado al equipo de trabajo en razón de las entrevistas realizadas a los centros locales. (Valero, 2016)

Recynter es una empresa del grupo Mario Bravo, dedicada a la recuperación de materiales ferrosos y no ferrosos. Esta compañía exporta materia prima a continentes como son Asia, Europa, particularmente a la Unión Europea, y América.

Recynter recicla materia prima para el complejo metalúrgico del Ecuador (CME). El giro del negocio de la mencionada compañía consiste en fundir metales no ferrosos en hornos industriales y comercializar los lingotes obtenidos por la fundición del aluminio reciclado, los cuales son adquiridos principalmente por empresas extranjeras. (Bravo, 2015)

La empresa Cedal, a diferencia de Recynter y Rimesa, se caracteriza por exportar un producto terminado basado en aluminio, como son los perfiles arquitectónicos, es por ello que Cedal adquiere la chatarra preclasificada de acuerdo a las aleaciones que ellos usarán en su fabricación. El éxito de sus productos está en una vigilancia meticulosa de la colada en proceso de fundición, toda vez que esta es controlada estrictamente cada media hora, a fin de mantenerla dentro de los márgenes establecidos para obtener la aleación deseada. Con este resultado se forman las denominadas palanquillas, mismas que servirán para la producción de perfilaría.

2.4.1 Análisis de la demanda de aluminio reciclado

La recolección del aluminio reciclado en la ciudad de Cuenca se maneja básicamente de dos formas ya que se tiene dos tipos de centros de acopio. El primero es aquel que compra la chatarra de aluminio a pequeños y medianos recolectores, quienes se desplazan hasta los centros de acopio con sus vehículos, los cuales son pesados con carga y posteriormente sin carga a fin de determinar el peso de la chatarra con la que llegan para ser vendida. El segundo tipo de centro de acopio es aquel que mantiene convenios con empresas de manufactura que generan desperdicios de algunos tipos de chatarra ya sea ferrosa o no ferrosa; en este contexto, personal de este centro se acerca a cada empresa, recoge el material desechado, lo lleva a sus instalaciones y finalmente lo clasifica. Sin perjuicio de lo mencionado anteriormente este último tipo de centro también compra la chatarra de aluminio a recolectores que se acercan a vender in situ.

El valor que estos centros pagan a los recolectores varía entre los 440 a 660 USD la tonelada, no obstante esto depende del tipo de aluminio que es entregado.

Los volúmenes promedio de aluminio reciclado que manejan los centros de acopio de la ciudad de Cuenca se encuentran entre las 12 a 90 toneladas al año, dependiendo de la capacidad de cada centro, estos datos fueron tomados por entrevistas a 5 centros de acopio de esta ciudad.

El volumen total de estos centros de acopio es enviado a dos empresas que manejan mayor cantidad de chatarra, las cuales poseen un importante cupo para realizar la exportación de dicho material, toda vez que muy poca cantidad es procesada en el país y transformada en producto final como perfilaría y tubos de aleación de aluminio. Tal como lo hemos mencionado oportunamente, entre las empresas exportadoras se destacan Recynter y Rimesa S.A. A su vez, una de las empresas procesadoras más grandes es Cedal S.A.

2.4.2 Partes automotrices de industria nacional

En el Ecuador están registradas 68 empresas ensambladoras, de las cuales cinco corresponden al sector automotriz, GENERAL MOTORS ÓMNIBUS BB GM-OBB, MARESA, AYMESA, CIAUTO, NEOHYUNDAI, MOTSUR CIA.LTDA., MOTOINDUSTRIA.S.A., DUKARE CIA.LTDA. IMP&EXP. INDUSTRIAL AUTOMOTRIZ S.A. IMPEASA, MOTORCICLE ASSEMBLY-LINE OF ECUADOR S.A. MASLINE, UNNOMOTORS CIA.LTDA. METALTRONIC S.A. MOTOSA S.A. Y INDIANMOTOS INMOT S.A. dichas compañías se dedican a la producción de las marcas CHEVROLET, MAZDA, KIA, GREAT WELL, HYUNDAI, RANGER, TUKO, DUKARE, FORMOSA, SHINERAY BULTACO, KINGDOM, KEEWAY, MOTOR 1, SUKIDA, THUNDER UM, TUNDRA, TRAXX, BAJAJ, respectivamente. Estas ensambladoras están equipadas con tecnología de última generación a efecto de cumplir con estándares internacionales, por ello han logrado ser reconocidas en el mercado nacional e inclusive exportando a destinos como: Colombia, Venezuela, Perú, Centro América y el Caribe.

Entre las empresas proveedoras de partes y piezas, están registradas 44 empresas en el ministerio de industrias y productividad, las cuales proveen de partes a las ensambladoras.

En atención a lo señalado por Dirección de Inteligencia Comercial e Inversiones (2013) y Productividad (2014), las ensambladoras y las empresas productoras de autopartes cumplen con normas internacionales de calidad especiales para la industria automotriz como la QS 9000 y la norma ISO TS 16949:2002, también se aplican otras normas como la ISO 14000 referente al medio ambiente y la 18000 sobre ergonomía, entre otras. La industria ecuatoriana produce actualmente vehículos completamente armados (CBU) o en partes para ser ensambladas (CKD). En este contexto, la industria local produce, hoy en día, los siguientes tipos de vehículos:

- Automóviles tipo sedán con motor a gasolina, T/M, de 4 puertas.
- Automóviles tipo hatchback con motor a gasolina, T/M, de 5 puertas.
- Vehículos utilitarios tipo jeep 4x4 y 4x2 con motor a gasolina, T/M y T/A.
- Camionetas con motor a gasolina y/o diésel, de cabina simple y/o doble, 4x4 y 4x2, T/M y T/A.
- Vehículos para transporte de pasajeros tipo busetas, con motor a diésel, T/M.
- Buses carrozados y carrocerías para buses de transporte de pasajeros tipo bus urbano, inter estatal, escolar y turístico.
- Motocicletas.

Por otra parte, la industria de fabricantes de autopartes ofrece:

- Llantas y neumáticos para auto, camioneta y camión, tanto radial como convencional.
- Alfombras termoformadas y planas, insonorizantes para piso, techo, motor y capot.
- Asientos para vehículos: individuales, delanteros y posteriores.
- Forros para asientos de vehículos y tapicería.
- Materiales de fricción para frenos automotrices y productos relacionados con el sistema de frenos y embragues.
- Silenciadores y sistemas de escape automotriz.
- Vidrios y parabrisas para automóviles.
- Hojas y paquetes de resortes o muelles de ballestas.
- Filtros de combustible para línea automotriz.
- Ensamble de radios de autos y fabricación de arneses de cables para sistemas de audio.
- Acumuladores de batería.

(Dirección de Inteligencia Comercial e Inversiones, 2013)

(Productividad, 2014)

Las empresas ensambladoras del sector automotriz y empresas autopartistas, tienen el aporte de mano de obra directa de alrededor de 3548 empleados. (CINAE, 2010)

En lo referente al aporte de aluminio en el sector automotriz por parte de la industria nacional, este es pobre. Se puede interpretar que el principal aporte de autopartes de aluminio está dado por radiadores. La inversión de empresas autopartistas dedicadas a la fabricación del referido componente automotriz es de 480,000 dólares, proyección que se dio del año 2010 al año 2014 (CINAE, 2010), las demás empresas de autopartes automotrices, están dedicadas a la fabricación de tapicería, cableado eléctrico para audio, parabrisas, llantas, ballestas, etc.

Las empresas dedicadas a la producción de autopartes locales suministran a las ensambladoras con un 13% hasta 25% dependiendo de la marca y modelo, siendo estos los porcentajes de contenido local de autopartes en un vehículo ensamblado en Ecuador. (Productividad & autopartistas., 2014)

En la tabla 2.7 se detalla el porcentaje de autopartes nacionales por tipo de vehículo producido en las ensambladoras.

Tabla 2.7 Porcentaje de autopartes nacionales por modelo de vehículo producido

Emsambladora	Modelo	Porcentaje de contenido local
MARESA	BT-50-17V	25,09%
AYMESA	RIO	16,28%
	SPORTAGE-2V	18,52%
	CERTO-3V	18,28%
GM-OBB	GRAND VITARA-4V	14,25%
	DMAX HEC-2V	18,31%
	DMAX-DIESEL-5V	15,75%
	DMAX RT-50 DIESEL-7V	12,17%
	AVEO FAMILY-7V	16,20%
	AVEO EMOTION-4	17,81%
	SAIL-5V	18,37%
	GRAND VITARA SZ	14,17%
	VITARA JI-1V	13,74%
CIAUTO	HOVER H5	17,67%
	WINGLE DIESEL	21,07%
	WINGLE GASOLINA	25,95%

Fuente: Ministerio de industrias y productividad del 2010.

En cambio, en la industria nacional de ensamblaje de motocicletas, estas deberían contener de un 20 al 25% de partes fabricadas nacionalmente; sin embargo y dadas las características específicas de este sector en cuanto a los requerimientos individuales de cada marca, esto no se cumple. De acuerdo al levantamiento de información efectuado para este trabajo, la cantidad de elementos nacionales que tienen las motocicletas ensambladas en nuestro país sería significativamente menor, y en algunos casos nula.

2.4.2.1 Empresas Autopartistas

En la actualidad son alrededor de 44 las empresas nacionales proveedoras de autopartes y piezas, destinadas a ensambladoras y al sector del *aftermarket*. En la tabla 2.8 se detalla las empresas que suministran autopartes destinadas al sistema eléctrico.

Tabla 2.8 Sistema eléctrico

EMPRESA	PRODUCTO
BUNKER	ALARMAS
MP3	RADIOS PARA VEHICULOS
MUNDY HOME	RADIOS APRA VEHÍCULO
FAESA	AIRE ACONDICIONADO (fabrica cañerías).
TECNOVA	BATERÍAS
BATERÍAS ECUADOR	BATERÍAS
ROAD TRACKING	DISPOSITIVO RASTREO SATELITAL

Fuente: Ministerio de Industrias y Productividad año 2010.

En la tabla 2.9 se detalla las empresas que suministran autopartes destinadas a carrocería interna y carrocería externa.

Tabla 2.9 Carrocería Interna y carrocería Externa

UBICACIÓN	EMPRESA	PRODUCTO
CARROCERÍA INTERNA	ALFINSA	ALFOMBRAS
	DOMIZOL	ASIENTOS
	ELASTO	ASIENTOS
	IND. FULL	TAPICERÍA, DEFLECTOR DE AGUA
	TECNIVIDRIO	VIDRIOS LATERALES
	CRILAMYT	PARABRISAS
	IMFRISA	PARABRISAS
	CHOVA	CAPA ASFÁLTICA
	PF GROUP SA	SELLANTES
	MECADEC	CINTURÓN DE SEGURIDAD
	ROMPECABEZAS GROUP	ETIQUETAS
	TRIDOME	ETIQUETAS
	TEXTICOM	EMBLEMAS PLÁSTICOS
	PROMASER	EMBLEMAS
CARROCERÍA EXTERNA	METALTRONIC	BALDE CAMIONETA
	AXAQUIN CHEMICAL S.C.C	DILUYENTES PARA PINTURA

Fuente: Ministerio de Industrias y Productividad año 2010.

En la tabla 2.10 se detalla las empresas que suministran autopartes destinadas al Chasis.

Tabla 2.10 Chasis.

EMPRESA	PRODUCTO
METALTRONIC	BASTIDOR DE CHASIS
ECUAENSAMBLES	ENSABLAJE DE BASTIDOR DE CHASIS
CONTINENTAL GENERAL TIRE S.A	LLANTAS
VANDERBILT	BALLESTAS
DANA	EJES Y CARDANES
INDIMA S.A	ESCAPES
UMO ECUADOR	ESCAPES
GRAFITEX S.A	MANUAL
FERPLAIN S.A	KIT DE SEGURIDAD
VELASTEGUI GALARZA CLEOTILDE EDELINA	GUARDACHOQUES

Fuente: Ministerio de Industrias y Productividad año 2010.

En la tabla 2.11 se detalla las empresas que suministran autopartes varias para el vehículo.

Tabla 2.11 Autopartes varias

EMPRESA	PRODUCTO
BRIUVE	PROTECTOR PLÁSTICO DE LLAVE DE ENCENDIDO
CEIMPO	BOLSA PALSTICA DE HERRAMIENTAS
EMDIQUIN	REFRIGERANTE
FERPLAIN	KIT DE ACCESORIOS DE SEGURIDAD
GRAGVI	MANUALES
MECANIZA	PARTES METÁLICAS
METALCAR	PARTES METÁLICAS
IMPRESORES MYL SA	MANUALES DEL CONDUCTOR
AUTO SPEED S.A	CONJUNTO ARO LLANTA
SITEYCA S.A	CONJUNTO ARO LLANTA
AUPLATEC	PLASTICOS - KIT DE SEGURIDAD
CAUCHIN	CAUCHOS
INMECSA	GANCHO DE CARGA, EMPAQUE GANCHO DE CARGA LOGOTIPO TAPACUBO
LUBRIVAL S.A	ACEITES

Fuente: Ministerio de Industrias y Productividad año 2010.

2.4.3 Análisis de la oferta de aluminio reciclado

En la ciudad de Cuenca existen aproximadamente 300 centros de acopio. No todos están certificados por la Empresa Pública Municipal de Aseo de Cuenca, EMAC EP; sin embargo, es importante destacar algunas de las empresas más importantes que sí cuentan

con esta certificación y que, a su vez, son las más representativas. La tabla 2.12 nos indica 8 centros con el detalle de su propietario y dirección.

Tabla 2.12 Listado de principales centros de acopio de la ciudad de Cuenca

PRINCIPALES CENTROS DE ACOPIO DE LA CIUDAD DE CUENCA			
1	Recicladora del Austro	Claudia Jurado	Av. Americas y Paseo Milchichig
2	Cuenca Reciclaje	Julio Chacho	Av. Americas (Quinta Chica)
3	Recicladora JM	Nanci Marlene Chacho	Av. Americas (Quinta Chica)
4	Metales y Metales	Luis Fernando Criollo	Av. Americas y Gonzales Suarez
5	Adelca		Panamerioicana Norte km 13
6	MetalAustro	Ing. Gustavo Malo	Av. Americas (Quinta Chica)
7	Recolect Metales	Pilar Balero	Paseo Milchichig
8	Ferrotec		Sector 27 de Febrero

Fuente: Entrevista Lcda. Eugenio Palacios, EMAC EP.

2.4.4 Referencia de precios

Los precios de compra y venta del aluminio reciclado a nivel mundial, se establecen de acuerdo al precio actual del aluminio que es determinado por las bolsas internacionales como es el London Metal Exchange (LME).

A continuación se detalla, en la tabla 2,13 el valor del aluminio puro respecto del año 2015 expresado en dólares y euros. Como se puede observar, se inició el año con un valor de 1814,72 USD la tonelada y cerró con un 17,5% menos que equivale a 1497,20 USD la tonelada.

Tabla 2.13 Precio aluminio por tonelada.

Precio aluminio 99.5% pureza mínima LKE spot price, precio por tonelada métrica 2015.

Fecha	Precio \$	Precio €
dic-15	1.497,20	1.376,48
nov-15	1.467,89	1.367,26
oct-15	1.516,49	1.349,79
sep-15	1.589,60	1.416,63
ago-15	1.548,13	1.389,82
jul-15	1.639,50	1.491,00
jun-15	1.687,73	1.505,15
may-15	1.804,04	1.617,71
abr-15	1.819,19	1.687,71
mar-15	1.773,86	1.636,71
feb-15	1.817,82	1.601,60
ene-15	1.814,72	1.561,59

Fuente: <http://www.datosmacro.com/materias-primas/aluminio>

De acuerdo al cuadro precedente, los precios del aluminio reciclado en el Ecuador y, particularmente, en Cuenca dependen de estas bolsas internacionales. Por esta razón, en el Ecuador los precios de comercialización son determinados por las empresas que exportan este material reciclado, puesto que dichas compañías buscan ser competitivas en el mercado mundial.

A continuación se detallará una tabla de clasificación y costos promedio aplicado para cada centro de acopio, con el cual se rigen para la compra a pequeños recolectores y público en general.

Tipos de aluminio reciclado.	Clasificación de chatarra en los centros acopio de Cuenca.	Precios finales de venta.
<ul style="list-style-type: none"> • Aluminio Avion • Aluminio Cable • Aluminio Tarro • Aluminio Grueso • Aluminio Mixto • Aluminio Olla • Aluminio Lamina Litografica • Aluminio Limalla • Aluminio Perfil • Aluminio Aerosol • Aluminio Aerosol Sucio • Aluminio Tubo 	<ul style="list-style-type: none"> • Chatarra de Perfil • Aluminio Grueso • Aluminio Mixto 	<ul style="list-style-type: none"> • 0.25 USD c/kg • 0.27 USD c/kg • 0.30 USD c/kg

Fuente: Entrevista centros de acopio de Cuenca a la fecha 4-2-2016⁵

Estos valores pueden variar en cualquier momento según sea la demanda y el valor que determinan las bolsas como el LME. Los valores de tipos de aluminio reciclado están en un rango de 0,02 a 0,39 USD por c/kg.

Los costos internacionales del aluminio puro en los últimos 10 años han variado, siendo en el 2008 el mejor año, puesto que su valor cerró en un valor de 2900 dólares la tonelada. En el 2009 el aluminio este metal tuvo la caída más importante ya que descendió a 1200 USD la tonelada. Finalmente, el 2015 cerró en 1500 USD la tonelada. Estos valores se evidencian en la figura 2,13. (datosmacro, 2015)

⁵ **Tipos de aluminio reciclado:** La clasificación de empresas recicladoras.

Clasificación de chatarra en los centros de acopio de Cuenca: Esta es la clasificación que realiza los centros de acopio locales.

Precios finales de venta: Valor al que es comprado el aluminio por los centros de acopio locales.

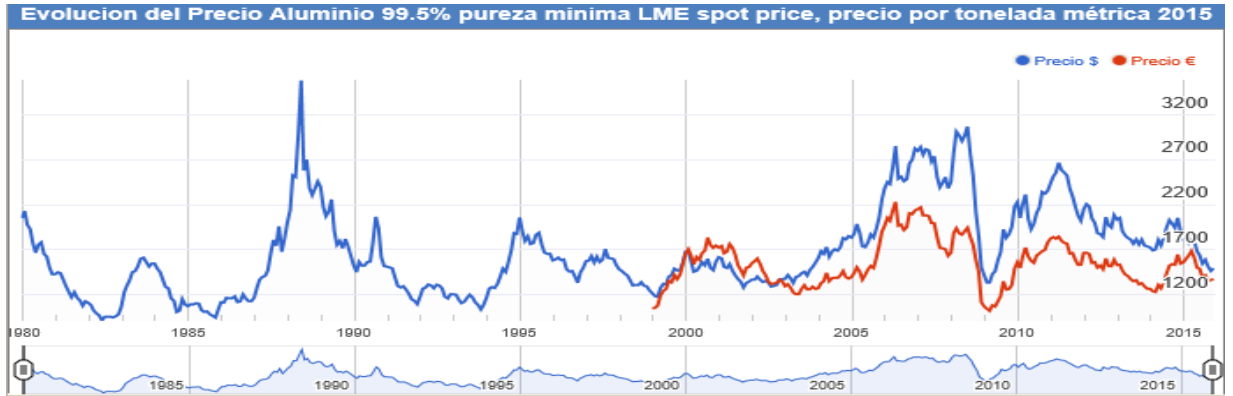


Figura 2.13 Evolución precio del aluminio puro.

Fuente: <http://www.datosmacro.com/materias-primas/aluminio>

El precio de la chatarra de aluminio internacional

Tabla 2.14 Precio internacional de la chatarra de aluminio.

Chatarra de aluminio 6063	500 a 700 dólares la tonelada métrica.
Chatarra de perfilera	900 a 1200 dólares la tonelada métrica.
Chatarra de latas de bebida	1200 a 1500 dólares la tonelada métrica.

Fuente: (Global trade stars here, 2016)

El precio de la palanquilla internacional

Tabla 2.15 Precios referenciales internacionales de la palanquilla.

Palanquilla de aluminio 6060	1360 a 1919 dólares la tonelada métrica.
Palanquilla de aluminio 6061	1800 a 3000 dólares la tonelada métrica.
Palanquilla de aluminio 6063	1300 a 3000 dólares la tonelada métrica.
Palanquilla de aluminio 7075	1800 a 3000 dólares la tonelada métrica.
Palanquilla de aluminio 5052	1800 a 3000 dólares la tonelada métrica.

Fuente: (Global trade stars here, 2016)

Estos valores varían por la cantidad de materia prima comprada a cada empresa.

2.4.5 Proyección del mercado en importación y exportación de aluminio

El análisis de tendencias es una técnica de análisis horizontal. Para realizar el cálculo de tendencias se debe seleccionar un año representativo en el periodo de los años 2013 al 2015, este año será la base para el cálculo de las proyecciones. Posteriormente se divide el valor registrado en cada uno de los años para el valor del año base. El resultado obtenido es la tendencia, que pueden ser valores que demuestren un crecimiento o por lo contrario, valores menores que indicarán decrecimiento o disminución.

También se puede emplear el programa Excel. Para lo cual realizamos una tabla con todos los datos que se posee, basado en estos datos se obtiene el promedio de la muestra, la desviación estándar y encontramos el coeficiente R^2 o coeficiente de correlación, que es diferente para cada mes analizado, el valor promedio de esto es 0,53, este coeficiente trabaja entre los valores de 0 y 1, sabiendo que 1 es consistente y 0 es disperso, para entender este concepto de dispersión se realiza un análisis gráfico, en donde se puede elegir entre un gráfico lineal, logarítmico, exponencial, polinómica, potencial, media móvil. Se escogió la gráfica lineal, ya que no presentaba demasiados valores dispersos, los valores del coeficiente R^2 se mostraban más cercanos a 1, es decir, cercanos a la línea de la gráfica. Vasado en la gráfica se considera que se emplearía la función pronóstico, esta función calcula o predice un valor futuro en una tendencia lineal usando valores existentes.

Proyección de exportaciones de desperdicios y desechos de aluminio para el 2016 y 2017

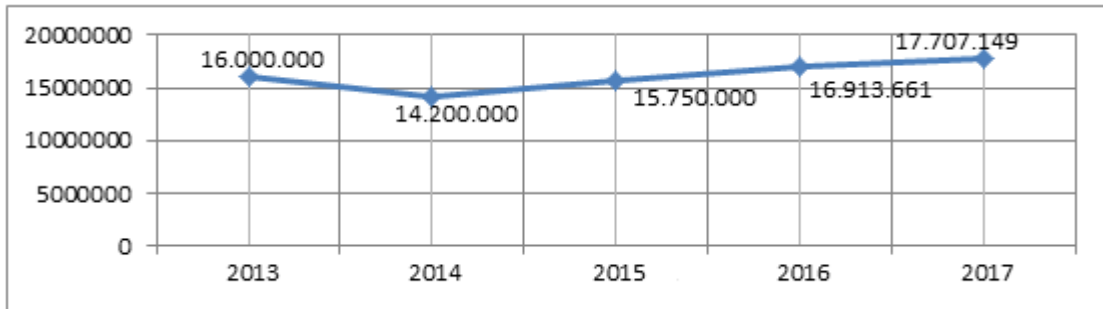


Figura 2.14 Proyección anual de valores FOB de exportaciones de desperdicios y desechos de aluminio.

Fuente: Autores Dario Patiño y Ramiro Serrano.

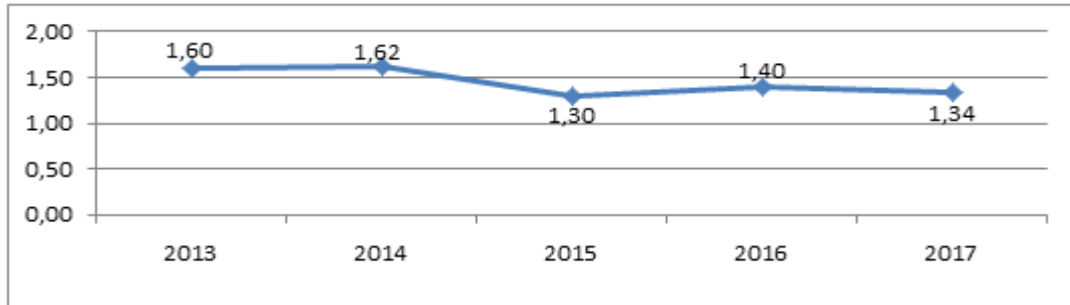


Figura 2.15 Proyección precio promedio anual por kilogramo de exportaciones de desperdicios y desechos de aluminio.

Fuente: Autores Darío Patiño y Ramiro Serrano.

Proyección de importaciones de aluminio en bruto para el 2016 y 2017

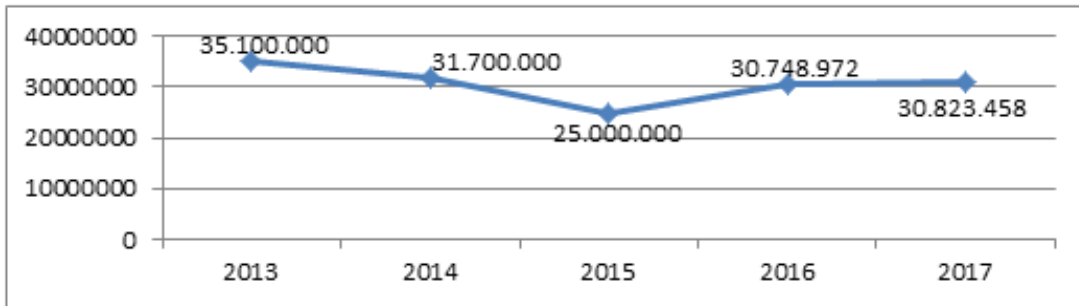


Figura 2.16 Proyección anual de valores FOB de importaciones de aluminio en bruto.

Fuente: Autores Dario Patiño y Ramiro Serrano.

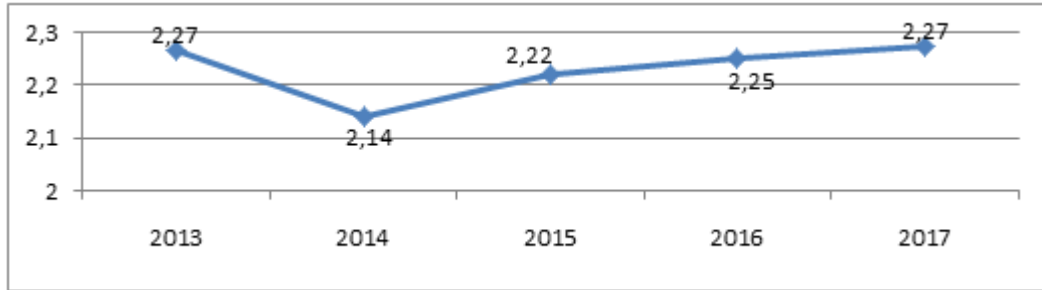


Figura 2.17 Proyección precio promedio anual por kilogramo de importación de aluminio en bruto.

Fuente: Autores Dario Patiño y Ramiro Serrano.

Proyección de importaciones de aleaciones de aluminio para el 2016 y 2017

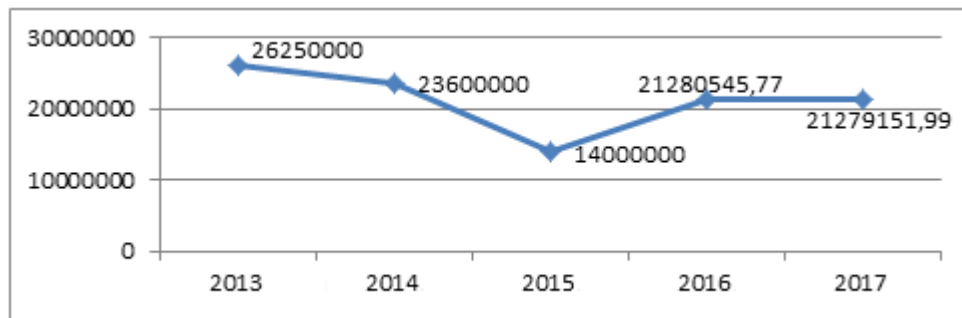


Figura 2.18 Proyección anual de valores FOB de importaciones de aleación de aluminio.

Fuente: Autores Dario Patiño y Ramiro Serrano.

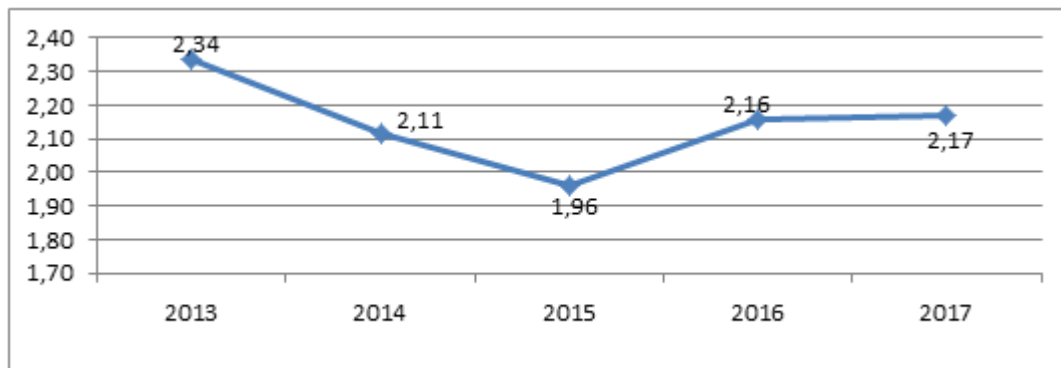


Figura 2.19 Proyección precio promedio anual por kilogramo de importación de aleación de aluminio.

Fuente: Autores Dario Patiño y Ramiro Serrano.

CAPITULO III

CATEGORIZACIÓN DEL ALUMINIO QUE SE RECICLA EN LA CIUDAD DE CUENCA

Con el propósito de categorizar el aluminio que actualmente se recicla en la ciudad de Cuenca, se determinará la composición de una muestra significativa; para esto se realizarán mediciones en un espectrómetro de emisión atómica. La norma ASTM 1251-11 (*Standard test method for analysis of aluminum and aluminum alloys by spark atomic emission spectrometry*), describe las prácticas recomendadas para la realización de este tipo de pruebas; La norma ASTM E716-10 (*Standard practices for sampling and sample preparation of aluminum and aluminum alloys for determination of chemical composition by spectrochemical analysis*) determina el tamaño, la forma y los métodos que se emplean para elaborar probetas para el análisis espectrográfico (Anexo 4) y la norma ASTM E876-89 (*Standard practice for use of statistics in the evaluation of spectrometric Data*) muestra los métodos que se emplean para el análisis estadístico de los resultados (Anexo 5). Estas tres normas fueron revisadas con el fin de conocer las metodologías que permiten avalar el ensayo efectuado.

3.1 Análisis de las muestras

En el entorno nacional, y de acuerdo al comportamiento del mercado, se clasifica el aluminio reciclable en tres grupos, que son:

- Aluminio procedente de perfiles de uso en carpintería metálica.
- Aluminio “grosso”, el cual procede básicamente de partes automotrices y de maquinaria en general.
- Aluminio estructural.

Con el fin de conocer la composición de cada grupo de aluminio, se recolectó una muestra de materia prima de forma aleatoria, directamente de los centros de acopio, previa clasificación por grupos. Una vez recolectada la muestra estas se fundieron de forma independiente. A partir de las coladas obtenidas se obtuvieron 3 muestras de cada una. A su vez a cada muestra se le realizaron 6 mediciones (3 por cada lado) en el espectrógrafo de emisión atómica por chispa. Este proceso se repitió 3 veces; en total se realizaron 162 mediciones (54 por cada grupo).

Se consideran condiciones de normalidad, debido a la naturaleza del fenómeno y al tamaño de la muestra seleccionado.

Hay que aclarar que con lo que respecta al aluminio grueso (partes de maquinaria en general), luego de revisar detenidamente su composición, y bajo la premisa que en su gran mayoría las partes son de fundición, como: carcazas de maquinaria, como: cajas de cambio, diferenciales, bombas de agua y de aceite, además de cabezotes, culatas, tapas de válvulas, y demás; los mismos cuyas composiciones están regidas por la norma DIN 1725 (Anexo 1), y en esencia están compuestas de: Aluminio, magnesio, manganeso, Zinc, Silicio, Cromo, Hierro, Titanio y Cromo en diferentes proporciones; sin embargo en los centros de acopio se pudo constatar que existen una cantidad notable de pistones, los cuales tienen como elemento principal el silicio en mayor cantidad en comparación con el resto de aleantes; ya que este les permite tener un bajo coeficiente de expansión térmica y alta dureza superficial. Por ello se evaluará como aluminio grueso, únicamente los pistones; esto bajo el indicio de que en caso de incluir en una muestra (obtenida de forma aleatoria) partes de pistones y en otra no, la diferencia de resultados, se sabe sería muy alta.; por otro lado, en la industria nacional se utilizan directamente estos elementos cuando la colada requiere ser enriquecida en silicio; de allí la utilidad de estudiarlos por separado.

3.1.1 Tamaño de las probetas

De acuerdo a la norma NTE INEN 2250:2013 “aluminio. Perfiles, barras, varillas y tubos extruidos, requisitos de inspección, la cual refiere a la norma ASTM E716 “practices for sampling a simple preparation of aluminum and aluminum alloys for determination of chemical composition by spectrometry” - (prácticas para la preparación de especímenes para el análisis simple de la composición química de componentes de aluminio y aleaciones de aluminio), (Anexo 4), como fuente para conocer las características que deben tener las probetas de análisis que servirán para realizar los análisis espectrográficos. Las características más importantes que debe cumplir la probeta de acuerdo a las recomendaciones de esta norma, son:

- Las probetas deben tener la suficiente masa para que el momento de realizar la gasificación a través de una chispa eléctrica (proceso de medición en el espectrómetro), la probeta no se caliente excesivamente.
- La superficie de excitación debe ser completamente plana.
- Se debe maquinar (refrentar) las piezas en la superficie de análisis, para piezas fabricadas de láminas, se debe maquinar aproximadamente 0.8mm o $\frac{1}{4}$ del espesor total de la lámina (cualquiera que resulte menor), para otras piezas se debe retirar al menos 1.3mm, por debajo de la superficie original.
- Los moldes deben tener la capacidad de producir discos con superficies lisas, sin rebordes, el material del molde debe tener una respuesta espectroquímica con respecto al molde.
- Un molde de referencia, recomendado se denota en la norma como “tipo B” posee la ventaja de poder ser excitado en toda la sección anular, este molde produce un disco con un cono en la parte superior, las dimensiones recomendadas del disco son aproximadas a 50-60mm en diámetro y con un espesor mínimo de 10mm, un receso central de 10 a 20mm en diámetro en un lado facilita el maquinado de la superficie del disco. Figura 3.1. molde tipo B.

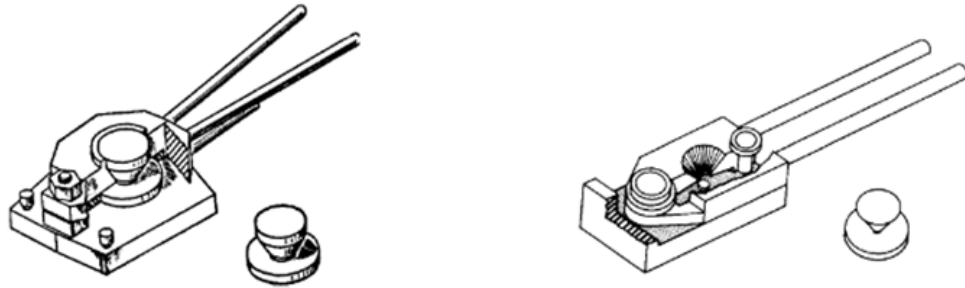


Figura 3.1 molde tipo B

Fuente: Norma ASTM E716-10

- Una vez realizado el refrentado, los lados del disco que se analicen, es importante recubrirlos con un material protector, que puede ser plástico con el fin de evitar la contaminación de la probeta por agentes externos.

De acuerdo a las recomendaciones especificadas en esta norma (ASTM E 716), se escogió un molde de acero galvanizado, de fabricación en serie, el cual produce un disco de aluminio fundido de 65mm de diámetro y 27 mm de alto, luego se realizó el refrentado de la superficie de análisis, al final la probeta tiene 65mm de diámetro y 22mm de alto, en este caso se refrentaron las dos caras del cilindro, con el fin de realizar mediciones con el espectrómetro a los dos lados.

3.1.2 Proceso de fundición de las probetas de análisis

Antes de fundir el material recolectado de los centros de acopio, es necesario aclarar que las muestras divididas por tipo (estructural, perfilera y aluminio grueso) fueron fundidas de forma independiente. Figura 3.2.



Figura 3.2 Aluminio estructural, perfilería y aluminio grueso.

Fuente: Autores Dario Patiño y Ramiro Serrano.

Es importante mencionar que las muestras fueron cuidadosamente limpiadas con solventes y jabones, con el propósito de asegurar que no existan niveles significativos de contaminantes externos. Además es necesario cortarlos de acuerdo al tamaño del crisol que se utilizará.

Teniendo el aluminio limpio y cortado se procede a situar en los crisoles correspondientes. Se coloca bórax⁶ en la base del crisol, se continua con el aluminio, formando un piso, se vuelve a colocar bórax sobre el aluminio, se cubre el bórax con aluminio y finalmente colocamos bórax en la superficie, dejando listo el crisol para ser introducido en el horno de fundición, estos mismos pasos se cumplen para los dos crisoles restantes. Cuando ya están listos los crisoles, se continúa con el proceso, y se los introduce al horno de fundición. Figura 3.3.

⁶ Bórax: Es un fundente, su función es bajar el punto de fusión del indeseado óxido de hierro.



Figura 3.3. Horno de fundición.

Fuente: Autores Dario Patiño y Ramiro Serrano.

El horno de fundición, es calentado durante dos horas y media hasta alcanzar la temperatura de 850°C , a esa temperatura el aluminio contenido en los tres crisoles se vuelve líquido, se funde en su totalidad, ya que el punto de fusión del aluminio es de $660,3^{\circ}\text{C}$, aproximadamente.

Par sacar los crisoles y verter el aluminio en los moldes, se emplea un traje de amianto y unas herramientas para la sujeción de los crisoles que están en el horno.

Con los equipos de protección personal, se procede a sacar los crisoles del horno de fundición, para lo cual se los extrae individualmente, con una tenaza y a una distancia prudente del horno, con el crisol ya en el exterior, colocamos sal (cloruro de sodio) Figura 3.4 (a), lo cual ayuda en la separación de la escoria de la colada y así permite una mejor limpieza.

Los moldes empleados en esta fundición, son latas de acero Figura 3.4 (b), el vertido se lo realizo por gravedad Figura 3.4(c).

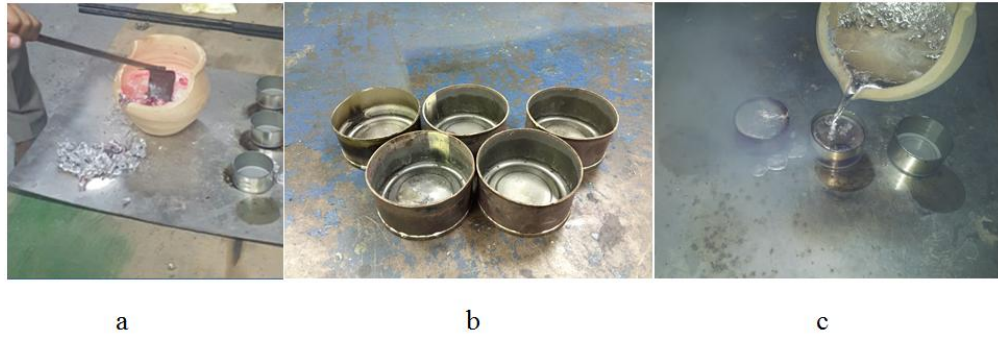


Figura 3.4. a) Limpieza de Escoria, b) Moldes de Latas de Acero, c) Vertido de la Colada.

Fuente: Autores Dario Patiño y Ramiro Serrano.

Los diferentes moldes se enfrían a temperatura ambiente, dado que un cambio brusco de temperatura, significaría dar un tratamiento térmico innecesario a las probetas; Luego, las probetas son extraídas de los moldes a temperatura ambiente (figura 3,5 a), son examinadas detenidamente para determinar si existen porosidades, de lo cual se encontró una cantidad mínima, las cuales no inciden en las pruebas que se realizaran, ya que estas son superficiales, luego y de acuerdo a las recomendaciones de la norma ASTM 716, las probetas son refrentadas (figura 3.5- b) y cuidadosamente embaladas de forma de prevenir que se contaminen con elementos externos.

En pos de facilitar el proceso de análisis estadístico de la información, las muestras fueron marcadas figura 3.5 c.

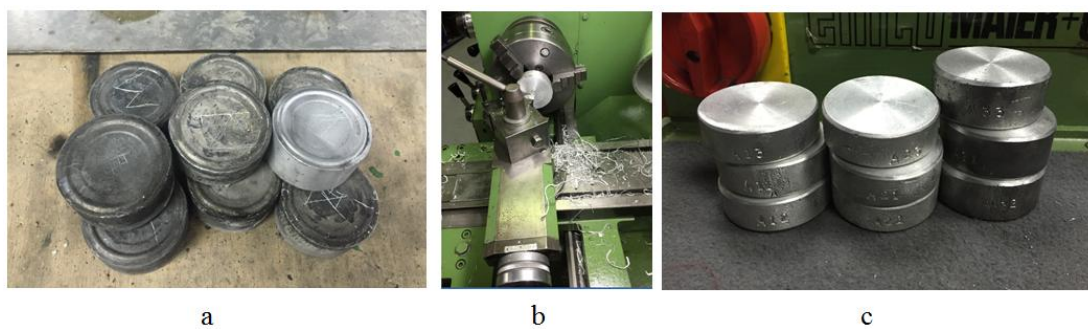


Figura 3.5 a) Probetas Extraídas, b) Probetas Refrentadas, c) Probetas Marcadas

Fuente: Autores Dario Patiño y Ramiro Serrano.

3.1.3 Análisis espectrográfico

Para realizar los análisis de probetas, se contó con el apoyo de la Empresa Cedal SA, cuya planta de fundición está localizada en la ciudad de Latacunga.

Para utilizar el espectrómetro de masas (Figura 3.6. a), fue necesario cerciorarse que sus mediciones sean correctas, la presión de argón a la entrada del espectrómetro tiene que ser 5 bar, el electrodo de tungsteno (Figura 3.6 b) tiene que estar limpio, posteriormente se procede a revisar la maquina realizando una prueba sobre una probeta “patrón” a esta probeta se le realiza tres pruebas, los resultados obtenidos se los compara con las especificaciones del aluminio, sabiendo así que los resultados que emite el espectrómetro son los correctos.

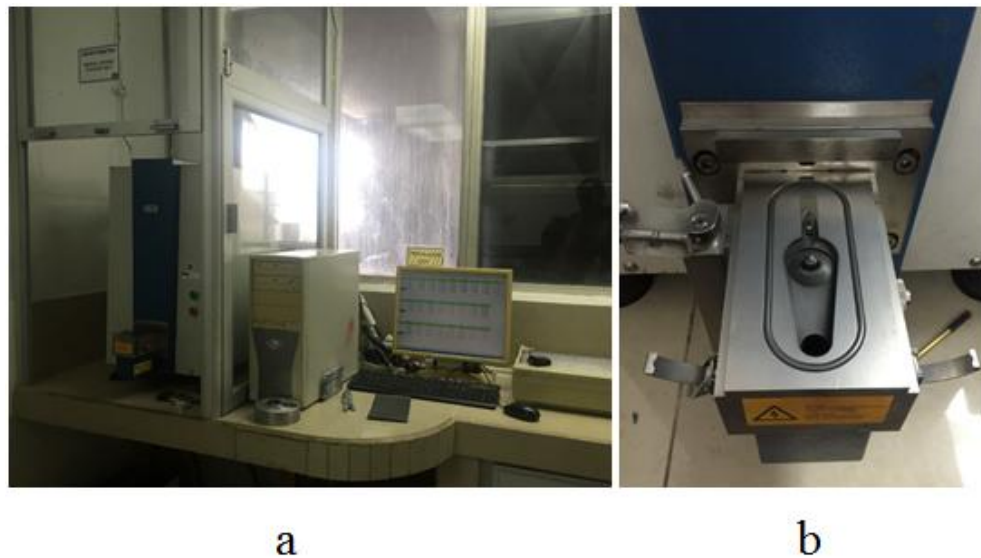


Figura 3.6 a) Espectrómetro de emisión atómica b) Electrodo de Tungsteno.

Fuente: Autores Dario Patiño y Ramiro Serrano.

Una vez revisado el equipo de medición, se realizaron los análisis descritos en el apartado 3.1. (Figura 3.6), La tabla 3.1 muestra los resultados obtenidos



Figura 3.7 Análisis de probeta.

Fuente: Autores Dario Patiño y Ramiro Serrano.

Tabla 3.1 a) Resultados del análisis espectrográfico de 9 muestras (análisis por los dos flancos) obtenidas en el primer proceso de fundición.

		Análisis Químico Cedal																										
Probeta	Ensayo																											
		AL	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ni	Ti	Be	Ca	Li	Pb	Sn	Sr	V	Na	Bi	Zr	B	Ga	Cd	Co	Ag		
A 11	1	98,4	0,772	0,277	0,0252	0,0215	0,415	0,0075	0,0178		0,016																	
	2	98,3	0,795	0,29	0,0245	0,0225	0,466	0,0084	0,0162		0,0107																	
	3	98,3	0,786	0,316	0,0265	0,0214	0,471	0,0074	0,0174		0,0149																	
	Media	98,3	0,784	0,294	0,0254	0,0218	0,462	0,0078	0,0171		0,0141																	
A 11 (2)	1	98,4	0,746	0,25	0,023	0,021	0,455	0,0083	0,0167		0,0104							0,0026										
	2	98,4	0,752	0,275	0,0253	0,0226	0,453	0,0078	0,0178		0,0126							0,0026										
	3	98,4	0,746	0,28	0,0238	0,0226	0,457	0,0081	0,0165		0,0119							0,003										
	Media	98,4	0,748	0,269	0,0241	0,022	0,455	0,008	0,017		0,0116							0,0028										
A 12	1	98,4	0,732	0,243	0,0232	0,0227	0,46	0,0071	0,017		0,0141							0,0038										
	2	98,5	0,672	0,24	0,0221	0,0226	0,435	0,0066	0,0175		0,0187							0,0047										
	3	98,4	0,714	0,253	0,0223	0,0214	0,444	0,0071	0,0167		0,0177							0,0039										
	Media	98,5	0,706	0,245	0,0225	0,0222	0,446	0,0069	0,0171		0,0168							0,0041										
A 12 (2)	1	98,5	0,702	0,22	0,0215	0,0194	0,453	0,0074	0,0164		0,0113																	
	2	98,5	0,675	0,205	0,0212	0,0195	0,461	0,0078	0,0156		0,0088																	
	3	98,4	0,734	0,284	0,0229	0,0228	0,45	0,0077	0,0166		0,0124																	
	Media	98,5	0,704	0,236	0,0219	0,0206	0,455	0,0076	0,0162		0,0109																	
A 13	1	98,4	0,753	0,267	0,0231	0,0225	0,448	0,0071	0,0179		0,0166							0,0037										
	2	98,4	0,706	0,275	0,023	0,0213	0,44	0,0067	0,0169		0,0153							0,0031										
	3	98,4	0,702	0,284	0,0225	0,021	0,432	0,0078	0,017		0,0177							0,0041										
	Media	98,4	0,72	0,275	0,0228	0,0216	0,44	0,0072	0,0173		0,0165							0,0036										
A 13 (2)	1	98,4	0,742	0,289	0,0238	0,0203	0,467	0,0076	0,0168		0,0118							0,0033										
	2	98,5	0,685	0,233	0,0216	0,0213	0,445	0,0077	0,0175		0,0126							0,0037										
	3	98,5	0,694	0,267	0,0219	0,0222	0,444	0,0085	0,0176		0,012							0,003										
	Media	98,4	0,707	0,263	0,0224	0,0213	0,452	0,0079	0,0173		0,0121							0,0033										
A 21	1	98,8	0,482	0,168	0,0051	0,0152	0,43	0,0053	0,0021		0,0104							0,0058	0,0043									
	2	98,8	0,488	0,204	0,0055	0,0193	0,434	0,0052	0,0026		0,0108							0,0063	0,0027									
	3	98,8	0,483	0,183	0,0062	0,0186	0,44	0,005	0,003		0,013							0,007	0,0029									
	Media	98,8	0,484	0,185	0,0056	0,0177	0,435	0,0052	0,0026		0,0114							0,0064	0,0033									
A 21 (2)	1	98,8	0,469	0,187	0,0054	0,0199	0,432		0,003		0,0159							0,0087										
	2	98,9	0,436	0,166	0,0051	0,0181	0,429		0,003		0,0164							0,0086										
	3	98,9	0,429	0,172	0,005	0,0186	0,418		0,0024		0,0152							0,0084										
	Media	98,8	0,444	0,175	0,0052	0,0189	0,426		0,0028		0,0158							0,0086										
A 22	1	98,8	0,473	0,188	0,0058	0,019	0,433	0,0051	0,003		0,0159							0,0085										
	2	98,8	0,46	0,185	0,0055	0,0195	0,435	0,0052	0,0029		0,014							0,0077										
	3	98,8	0,472	0,194	0,0062	0,0187	0,426	<0,0050	0,0032		0,0178							0,0089										
	Media	98,8	0,468	0,189	0,0058	0,0191	0,431	0,0051	0,0031		0,0159							0,0084										
A 22 (2)	1	98,8	0,464	0,18	0,0058	0,0174	0,429		0,003		0,012							0,0071										
	2	98,9	0,439	0,165	0,0046	0,0187	0,437		0,0024		0,009							0,0058										
	3	98,9	0,439	0,173	0,0046	0,0179	0,421		0,0028		0,0112							0,007										
	Media	98,9	0,447	0,172	0,005	0,018	0,429		0,0028		0,0107							0,0066										
A 23	1	98,9	0,396	0,147	0,0036	0,0165	0,418		0,0025		0,0105							0,007										
	2	98,9	0,419	0,178	0,0041	0,0189	0,415		0,0022		0,0136							0,0077										
	3	98,9	0,413	0,174	0,0046	0,0161	0,406		0,003		0,0108							0,0064										
	Media	98,9	0,41	0,166	0,0041	0,0172	0,413		0,0026		0,0116							0,007										
A 23 (2)	1	98,8	0,454	0,158	0,0049	0,0185	0,465	0,0052	0,0017		0,0048							0,0037										
	2	98,8	0,454	0,221	0,0051	0,0189	0,462	0,005	0,0027		0,0101							0,0065										
	3	98,8	0,492	0,196	0,0061	0,0186	0,453	0,0054	0,0031		0,0094							0,0067										
	Media	98,8	0,467	0,192	0,0054	0,0187	0,46	0,0052	0,0025		0,0081							0,0056										
A 31	1	82,4	11,7	0,875	2,18	0,0702	0,614	0,0387	0,0496	1,72	0,0966							0,105	0,0759	0,0021								
	2	81,6	10,9	0,985	3,04	0,0662	0,769	0,0427	0,0365	2,22	0,0865							0,0718	0,0742	0,002								
	3	80,2	12,5	1,07	2,86	0,0797	0,732	0,043	0,0529	2,07	0,0918							0,103	0,0634	0,0033								
	Media	81,4	11,7	0,977	2,69	0,072	0,705	0,0415	0,0463	2,01	0,0916							0,0935	0,0712	0,0025								
A 31 (2)	1	79,6	10,1	1,34	4,2	0,0931	1,03	0,0506	0,051	3,2	0,0619			0,0006				0,0738	0,0819	0,0045						0,0011		
	2	81,3	10,6	1,11	3,36	0,0757	0,823	0,0459	0,0373	2,31	0,0771			<0,0005				0,0609	0,0688	0,0028						0,001		
	3	81,3	10,1	1,14	3,48	0,0809	0,853	0,0472	0,043	2,6	0,0751			0,0005				0,0658	0,086	0,0029						0,0011		
	Media	80,7	10,2	1,2	3,68	0,0833	0,905	0,0479	0,0438	2,7	0,0714			0,0005				0,0668	0,0789	0,0034						0,0011		
A 32	1	81	12,3	0,908	2,85	0,0828	0,714	0,0434	0,051	1,68	0,0929							0,0973	0,0701	0,0017	<0,0010							
	2	82	11	0,971	2,81	0,0691	0,751	0,0515	0,0394	1,99	0,0907							0,074	0,0632	0,0041	0,0022							
	3	81,9	11	1,15	2,5	0,0683	0,642	0,0437	0,0362	2,37	0,0848							0,0687	0,067	0,0045	0,0027							
	Media	81,6	11,4	1,01	2,72	0,0734	0,702	0,0462	0,0422	2,01	0,0895							0,08	0,0668	0,0034	0,0019							
A 32 (2)	1	81,6	11,5	1,38	2,17	0,0969	0,589	0,0388	0,0672	2,15	0,101	0,0001						0,157	0,0721	0,0042								
	2	82	11,6	1,06	2,33	0,076	0,623	0,0416	0,0553	1,81	0,0979	0,0001						0,119	0,0749	0,002								
	3	81,3	10,9	1,12	3,06	0,0776	0,764	0,0471	0,0467	2,27	0,0816	0,0001						0,0832	0,0727	0,0039								
	Media	81,7	11,3	1,19	2,52	0,0835	0,659	0,0425	0,0564	2,08	0,0936	0,0001						0,										

Tabla 3.1 b) Resultados del análisis espectrográfico de 9 muestras (análisis por los dos flancos) obtenidas en el segundo proceso de fundición.

Análisis Químico Cedral																									
Probeta	Ensayo	AL	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ni	Ti	Be	Ca	Pb	Sn	Sr	V	Na	Bi	Zr	B	Ga	Cd	Co	Ag
B 11	1	98,7	0,51	0,24	0,018	0,018	0,39	0,029	0,004		0,011						0,0033								
	2	98,7	0,52	0,25	0,019	0,018	0,4	0,029	0,004		0,01						0,0031								
	3	98,7	0,51	0,26	0,018	0,018	0,39	0,029	0,004		0,01						0,0035								
	Media	98,7	0,51	0,25	0,018	0,018	0,39	0,029	0,004		0,01						0,0033								
B 11 (2)	1	98,7	0,53	0,26	0,019	0,018	0,41	0,029	0,003		0,011						0,0029								
	2	98,8	0,48	0,23	0,017	0,017	0,38	0,029	0,004		0,016						0,0034								
	3	98,6	0,54	0,29	0,019	0,019	0,42	0,031	0,004		0,01						0,0022								
	Media	98,7	0,52	0,26	0,019	0,018	0,4	0,029	0,004		0,013						0,0028								
B12 1	1	98,8	0,49	0,21	0,017	0,019	0,4	0,03	0,004		0,009						0,0021								
	2	98,7	0,52	0,27	0,018	0,02	0,4	0,032	0,005		0,011						0,0024								
	3	98,7	0,51	0,25	0,018	0,019	0,41	0,031	0,004		0,01						< 0,0020								
	Media	98,7	0,5	0,25	0,018	0,019	0,4	0,031	0,004		0,01						0,0021								
B 12 (2)	1	98,7	0,48	0,26	0,021	0,019	0,38	0,028	0,004		0,014						0,0028								
	2	98,7	0,48	0,26	0,017	0,018	0,39	0,028	0,004		0,016						0,0025								
	3	98,7	0,52	0,28	0,019	0,018	0,4	0,031	0,004		0,014						0,0023								
	Media	98,7	0,49	0,27	0,019	0,018	0,39	0,029	0,004		0,015						0,0025								
B 13	1	98,8	0,46	0,19	0,018	0,019	0,38	0,027	0,004		0,017						0,0024								
	2	98,8	0,44	0,22	0,015	0,019	0,37	0,026	0,004		0,02						0,0032								
	3	98,8	0,44	0,21	0,015	0,017	0,37	0,028	0,004		0,017						0,0028								
	Media	98,8	0,45	0,21	0,016	0,018	0,38	0,027	0,004		0,018						0,0028								
B 13 (2)	1	98,8	0,47	0,24	0,017	0,019	0,38	0,029	0,004		0,011						< 0,0020								
	2	98,7	0,49	0,25	0,017	0,018	0,4	0,03	0,004		0,01						< 0,0020								
	3	98,7	0,51	0,25	0,018	0,019	0,42	0,031	0,004		0,009						< 0,0020								
	Media	98,7	0,49	0,25	0,017	0,019	0,4	0,03	0,004		0,01						< 0,0020								
B21 1	1	98,7	0,5	0,31	0,019	0,031	0,37	0,008	0,002		0,007						0,0023								
	2	98,7	0,49	0,31	0,018	0,03	0,35	0,009	0,002		0,01						0,0037								
	3	98,6	0,55	0,36	0,02	0,033	0,38	0,009	0,002		0,009						0,0032								
	Media	98,7	0,51	0,33	0,019	0,031	0,37	0,009	0,002		0,009						0,0031								
B21 2	1	98,7	0,53	0,31	0,019	0,031	0,37	0,008	0,002		0,009						0,0045								
	2	98,6	0,54	0,34	0,02	0,03	0,37	0,008	0,002		0,008						0,0031								
	3	98,7	0,53	0,32	0,02	0,03	0,37	0,008	0,002		0,008						0,0035								
	Media	98,6	0,54	0,32	0,02	0,03	0,37	0,008	0,002		0,008						0,0037								
B22 1	1	98,8	0,45	0,26	0,017	0,03	0,34	0,009	0,002		0,01						0,0029								
	2	98,8	0,47	0,28	0,017	0,03	0,34	0,008	0,002		0,011						0,0035								
	3	98,8	0,44	0,26	0,016	0,029	0,33	0,009	0,002		0,013						0,0043								
	Media	98,8	0,45	0,26	0,017	0,03	0,34	0,009	0,002		0,011						0,0036								
B22 2	1	98,7	0,51	0,3	0,019	0,031	0,37	0,008	0,002		0,009						0,003								
	2	98,8	0,48	0,27	0,017	0,029	0,35	0,009	0,001		0,008						0,0032								
	3	98,8	0,46	0,26	0,017	0,029	0,34	0,009	0,002		0,011						0,0044								
	Media	98,8	0,48	0,28	0,018	0,03	0,35	0,008	0,002		0,009						0,0035								
B23 1	1	98,6	0,56	0,32	0,021	0,03	0,37	0,009	0,002		0,01						0,0034								
	2	98,7	0,52	0,31	0,019	0,031	0,35	0,008	0,002		0,011						0,0038								
	3	98,6	0,53	0,36	0,02	0,03	0,36	0,009	0,002		0,011						0,0031								
	Media	98,6	0,53	0,33	0,02	0,03	0,36	0,009	0,002		0,011						0,0034								
B23 2	1	0,003	0,5	0,3	0,018	0,03	0,35	0,008	0,002		0,009						0,003								
	2	0,004	0,48	0,28	0,017	0,031	0,35	0,008	0,002		0,008						0,0027								
	3	0,003	0,52	0,3	0,019	0,03	0,35	0,009	0,002		0,009						0,0032								
	Media	0,003	0,5	0,29	0,018	0,03	0,35	0,008	0,002		0,009						0,003								
B31 1	1	80,6	14,5	0,76	1,47	0,076	0,97	0,043	0,048	1,3	0,044					0,001	0,0376			0,028					
	2	82,4	12,7	0,79	1,43	0,073	0,92	0,043	0,038	1,3	0,045					9E-04	0,0308			0,027					
	3	82	12,9	0,78	1,55	0,064	0,98	0,043	0,031	1,4	0,043					7E-04	0,0275			0,028					
	Media	81,7	13,4	0,78	1,48	0,071	0,95	0,043	0,039	1,4	0,044					9E-04	0,032			0,028					
B31 2	1	83,3	11,4	0,83	1,71	0,07	0,94	0,05	0,035	1,5	0,043					8E-04	0,0291			0,029		0,009			< 0,0010
	2	83,6	11	0,82	1,6	0,074	1	0,05	0,036	1,6	0,044					8E-04	0,0296			0,03		0,008			0,0011
	3	82,7	11,4	0,94	1,8	0,08	0,99	0,052	0,04	1,7	0,036					9E-04	0,0312			0,034		0,01			0,001
	Media	83,2	11,3	0,86	1,71	0,075	0,98	0,051	0,037	1,6	0,041					8E-04	0,03			0,031		0,009			0,001
B32 1	1	82,5	12,5	0,81	1,48	0,076	0,94	0,044	0,038	1,3	0,044					9E-04	0,0319			< 0,0005		0,009			
	2	81,3	14	0,77	1,35	0,073	0,9	0,041	0,039	1,3	0,045					9E-04	0,0332			0,0005		0,007			
	3	81,3	13,8	0,72	1,49	0,065	0,94	0,043	0,032	1,4	0,044					0,001	0,0283			0,0005		0,008			
	Media	81,7	13,4	0,76	1,44	0,071	0,93	0,043	0,037	1,3	0,045					9E-04	0,0311			0,0005		0,008			
B32 2	1	82,3	11,1	1,02	1,99	0,084	1,15	0,051	0,036	2	0,034					9E-04	0,0283			0,032		0,011			
	2	83,6	11,4	0,76	1,58	0,068	0,97	0,042	0,034	1,4	0,046					9E-04	0,0289			0,028		0,008			
	3	84	11	0,83	1,48	0,071	0,97	0,046	0,036	1,4	0,046					7E-04	0,0307			0,027		0,008			
	Media	83,3	11,2	0,87	1,68	0,074	1,03	0,046	0,035	1,6	0,042					8E-04	0,0293			0,029		0,009			
B33 1	1	83,4	10,8	0,88	1,76	0,08	0,98	0,048	0,041	1,8	0,041					9E-04	0,0324			0,035		0,01			
	2	82,9	11,6	0,88	1,67	0,076	0,87	0,046	0,037	1,7	0,039					0,001	0,0308			0,038		0,01			
	3	83,5	11,4	0,82	1,54	0,071	0,96	0,045	0,037	1,4	0,045					8E-04	0,0316			0,03		0,008			
	Media	83,3	11,3	0,86	1,66	0,076	0,94	0,046	0,038	1,6	0,042					9E-04	0,0316			0,034		0,009			
B33 2	1	80,8	14,1	0,78	1,57	0,072	1	0,044	0,037	1,4	0,043					0,001</									

Tabla 3.1 c) Resultados del análisis espectrográfico de 9 muestras (análisis por los dos flancos) obtenidas en el tercer proceso de fundición.

		Análisis Químico Cedral																										
Probeta	Ensayo	AL	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ni	Ti	Be	Ca	Li	Pb	Sn	Sr	V	Na	Bi	Zr	B	Ga	Cd	Co	Ag		
C11	1	98,7	0,446	0,257	0,0178	0,0284	0,456	0,0179	0,0068	0,0094								0,0034										
	2	98,8	0,433	0,219	0,0174	0,0277	0,442	0,0185	0,0067	0,009								0,0041										
	3	98,7	0,439	0,23	0,0176	0,0274	0,459	0,0179	0,0069	0,0088								0,0046										
	Media	98,7	0,44	0,235	0,0176	0,0278	0,452	0,0181	0,0068	0,0091								0,004										
C11	2	98,7	0,471	0,243	0,0193	0,0288	0,455	0,0173	0,0063	0,0125								0,0045										
	2	98,7	0,454	0,248	0,0192	0,029	0,442	0,0183	0,0066	0,0121								0,0039										
	3	98,7	0,456	0,248	0,0188	0,029	0,455	0,0179	0,0065	0,0152								0,0059										
	Media	98,7	0,46	0,246	0,0191	0,0289	0,451	0,0179	0,0065	0,0133								0,0048										
C12	1	98,7	0,461	0,249	0,0186	0,0283	0,442	0,017	0,0066	0,0155								0,0057										
	2	98,7	0,462	0,241	0,0191	0,0279	0,454	0,019	0,0062	0,0143								0,0048										
	3	98,7	0,452	0,26	0,0188	0,0302	0,448	0,0174	0,0062	0,0139								0,0055										
	Media	98,7	0,458	0,25	0,0188	0,0288	0,448	0,0178	0,0063	0,0145								0,0053										
C12	1	98,8	0,434	0,198	0,0168	0,0296	0,464	0,0178	0,0062	0,0107								0,0042										
	2	98,7	0,453	0,234	0,0181	0,0299	0,458	0,0189	0,006	0,0104								0,0042										
	3	98,8	0,426	0,225	0,0174	0,0292	0,454	0,0183	0,0062	0,0089								0,0038										
	Media	98,7	0,438	0,219	0,0174	0,0296	0,459	0,0183	0,0061	0,01								0,0041										
C13	1	98,8	0,427	0,212	0,0173	0,0279	0,448	0,0194	0,0067	0,0104								0,0043										
	2	98,8	0,412	0,224	0,0172	0,0296	0,449	0,0196	0,007	0,0103								0,0045										
	3	98,7	0,456	0,224	0,018	0,0297	0,464	0,0176	0,0059	0,0089								30,0036										
	Media	98,8	0,431	0,22	0,0175	0,0291	0,453	0,0189	0,0065	0,0098								0,0041										
C13	2	98,7	0,452	0,234	0,0174	0,0292	0,453	0,0168	0,0065	0,0159								0,0052										
	2	98,7	0,475	0,233	0,0192	0,0273	0,459	0,0163	0,0067	0,0158								0,0051										
	3	98,7	0,459	0,226	0,0193	0,0277	0,465	0,0181	0,0064	0,0151								0,0054										
	Media	98,7	0,462	0,231	0,0186	0,0281	0,459	0,0171	0,0065	0,0156								0,0052										
C21	1	98,8	0,428	0,194	0,0045	0,02	0,461			0,0102								0,0102										
	2	98,8	0,421	0,208	0,0043	0,0208	0,429			0,0114								0,0114										
	3	98,8	0,433	0,219	0,0048	0,0232	0,434			0,0088								0,0088										
	Media	98,8	0,427	0,207	0,0046	0,0213	0,441			0,0101								0,0101										
C21	2	98,7	0,482	0,237	0,0058	0,0227	0,481	0,0051	< 0,0010	0,0137								0,0069										
	2	98,7	0,458	0,242	0,0053	0,0213	0,466	0,0066	0,0017	0,0136								0,0069										
	3	98,7	0,455	0,239	0,0055	0,0208	0,466	0,0054	0,0013	0,0133								0,0066										
	Media	98,7	0,465	0,239	0,0055	0,0216	0,471	0,0057	0,0012	0,0135								0,0068										
C22	1	98,8	0,467	0,212	0,0053	0,0213	0,458			0,0097								0,0062										
	2	98,8	0,455	0,226	0,0046	0,0217	0,464			0,0094								0,0052										
	3	98,7	0,484	0,232	0,0059	0,0214	0,477			0,0106								0,0059										
	Media	98,7	0,469	0,223	0,0053	0,0215	0,466			0,0099								0,0057										
C22	1	98,8	0,449	0,195	0,0047	0,0209	0,46			0,0131								0,006										
	2	98,8	0,416	0,186	0,0044	0,0191	0,445			0,0153								0,0074										
	3	98,8	0,424	0,189	0,0048	0,019	0,451			0,015								0,0075										
	Media	98,8	0,43	0,19	0,0046	0,0197	0,452			0,0144								0,007										
C23	1	98,7	0,471	0,208	0,0055	0,0211	0,485		< 0,0010	0,0094								0,0055										
	2	98,8	0,464	0,201	0,0049	0,0206	0,474			0,0095								0,0053										
	3	98,7	0,466	0,222	0,0054	0,0218	0,484			0,0098								0,0057										
	Media	98,7	0,467	0,21	0,0053	0,0212	0,481			0,0092								0,0055										
C23	2	98,8	0,439	0,205	0,005	0,0205	0,445	0,005	0,0016	0,0131								0,007										
	2	98,8	0,442	0,21	0,005	0,0215	0,445	0,0055	0,0021	0,0146								0,008										
	3	98,8	0,445	0,218	0,0053	0,0217	0,452	0,005	0,0021	0,0162								0,0079										
	Media	98,8	0,442	0,211	0,0051	0,0212	0,448	0,005	0,0019	0,0146								0,0076										
C31	1	83,7	11,1	0,916	1,46	0,0631	0,965	0,045	0,0374	1,46	0,0311							0,0235										
	2	83,4	11,3	0,912	1,51	0,064	1,02	0,0444	0,0425	1,52	0,0298							0,0244										
	3	84	11,2	0,796	1,35	0,0563	0,998	0,0441	0,034	1,23	0,0332							0,0231										
	Media	83,7	11,2	0,875	1,44	0,0611	0,995	0,0445	0,038	1,4	0,0314							0,0237										
C31	2	82,2	13,6	0,705	1,26	0,0537	0,906	0,0431	0,0332	1,05	0,034							0,0226										
	2	83,2	12,3	0,85	1,19	0,0591	0,936	0,0462	0,0358	1,17	0,0335							0,0234										
	3	82,2	13,6	0,877	1,1	0,0608	0,83	0,0425	0,0324	1,07	0,0339							0,0228										
	Media	82,6	13,1	0,811	1,19	0,0579	0,891	0,044	0,0338	1,1	0,0338							0,0229										
C32	1	82,5	12,6	0,899	1,34	0,0665	0,986	0,0438	0,0462	1,31	0,0336						0,0001	0,0278		0,0202								
	2	81,7	13,8	0,94	1,2	0,0603	0,878	0,0403	0,0329	1,14	0,0351						0,0002	0,0239		0,0171								
	3	82,2	12,8	0,913	1,37	0,0647	0,984	0,0441	0,0388	1,39	0,0337						0,0002	0,0246		0,02								
	Media	82,1	13,1	0,918	1,3	0,0638	0,949	0,0427	0,0393	1,28	0,0341						0,0002	0,0255		0,0191								
C32	1	83,5	11,6	0,982	1,29	0,0642	1,02	0,0436	0,0356	1,26	0,0345						0,0001	0,0235			0,0198							
	2	83,1	11,5	0,96	1,61	0,0636	0,998	0,0487	0,0361	1,55	0,028						0,0001	0,0223			0,0219							
	3	84,1	10,8	1,02	1,33	0,0662	0,943	0,0436	0,0387	1,35	0,0331						0,0001	0,0242			0,0196							
	Media	83,6	11,3	0,99	1,41	0,0647	0,987	0,0453	0,0368	1,39	0,0319						0,0001	0,0233			0,0204							
C33	1	83,5	12,1	0,756	1,23	0,0536	0,957	0,0418	0,0329	1,16	0,0341						0,0001	0,0222			0,019				0,0078			
	2	83,4	11,7	0,84	1,44	0,0569	0,913	0,045																				

3.2 Procesamiento de los datos

De acuerdo a los procedimientos recomendados en la norma ASTM E876 “*Standard practice for use of statistics in the evaluation of spectrometric Data*” se predecirá la media poblacional (μ) de los porcentajes de los elementos presentes en las muestras, a partir de un pronóstico basado en el análisis de la media muestral (\bar{x}) y su desviación estándar muestral, (σ) utilizando una función de distribución de probabilidades acorde al fenómeno en estudio (análisis de variabilidad del error en un proceso de medición), así la función seleccionada, y en concordancia con el tamaño de la muestra es una función “T de Student”,(en total son 18 datos que se analizan en cada clase de aluminio) , los datos estimados se muestran en la tabla 3.2 y un resumen de la composición de cada clase de aluminio, los cuales se muestra en las figuras 3.7, 3.8 y 3.9 estos fueron estimados utilizando un intervalo de confianza del 95%. Cabe aclarar que la norma recomienda para el análisis de este tipo de muestras, la estimación de la desviación estándar mediante un proceso de análisis por agrupación, el cual contempla la estimación de esta variable a partir del análisis de cada “clase” de aluminio, el proceso que se siguió para el análisis de esta variable se presenta en el anexo 5.

Tabla 3.2 Estimación de la media poblacional para los diferentes aleantes de cada clase de aluminio analizado. ($t=2.11$, intervalo de confianza del 95%, $\mu = \bar{x} \pm t \cdot \sigma$).

Composición del aluminio de clase “estructural”		Composición del aluminio de clase “perfiles”		Composición del aluminio de clase “aluminio grueso”	
Aluminio	98.62 ± 0.11 %	Aluminio	98.77 ± 0.13 %	Aluminio	82.26±2.06 %
Silicio	0.56 ± 0.06 %	Silicio	0.47 ± 0.06 %	Silicio	11.98 ± 2.5 %
Magnesio	0.43 ± 0.026 %	Magnesio	0.416 ± 0.03 %	Magnesio	0.88±0.18 %
Hierro	0.25 ± 0.05 %	Hierro	0.23 ± 0.05 %	Hierro	0.94±0.22 %
Cobre	0.02 ± 0.003 %	Cobre	0.01 ± 0.002 %	Cobre	1.88±0.75 %
Manganeso	0.022 ± 0.002 %	Manganeso	0.023 ± 0.002 %	Manganeso	0.072±0.018 %
Cromo	0.009 ± 0.001 %	Cromo	0.002±0.001 %	Cromo	0.041±0.019 %

Fuente: Autores Dario Patiño y Ramiro Serrano.

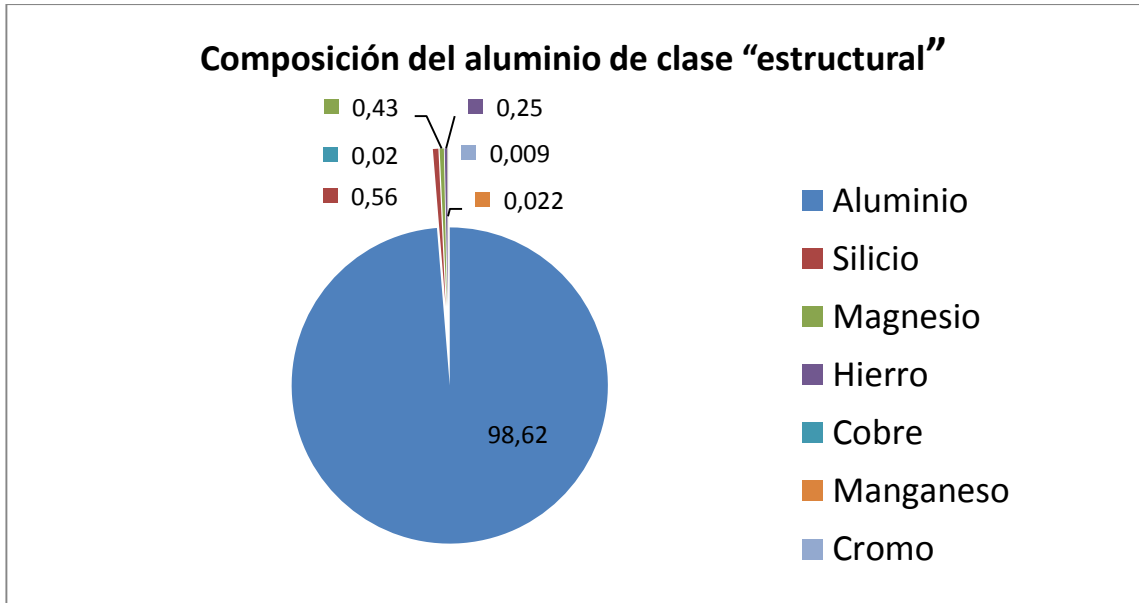


Figura 3.8 a) composición de las muestras de aluminio “estructural” –ensayo realizado en espectrómetro de emisión atómica”

Fuente: Autores Dario Patiño y Ramiro Serrano.

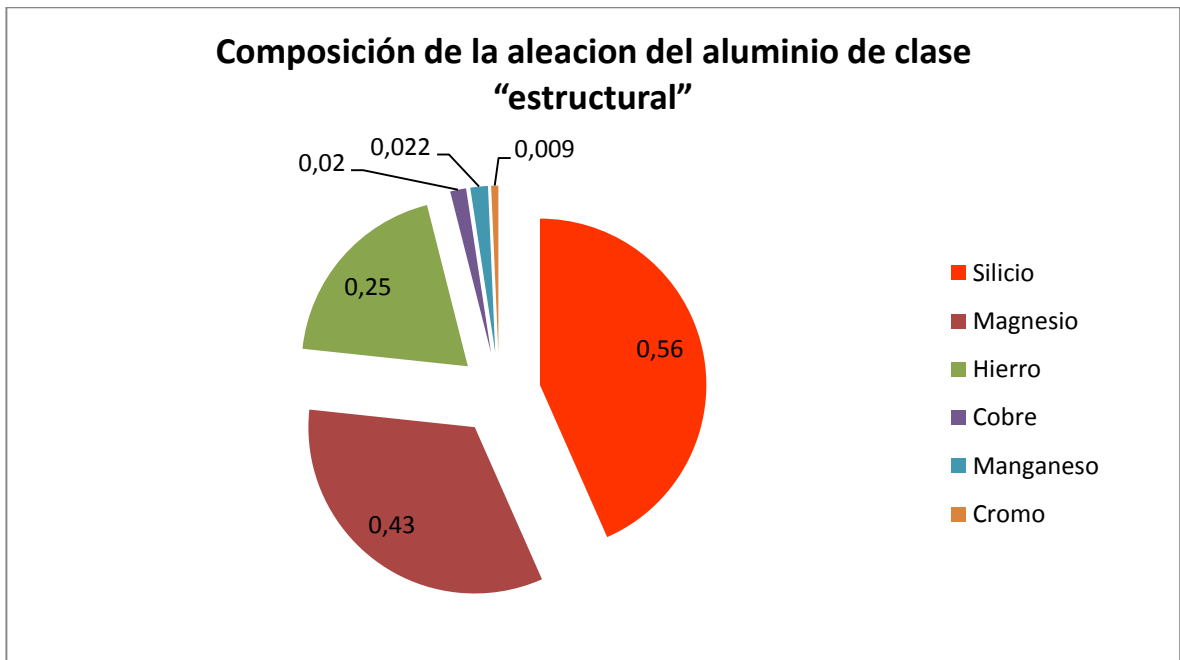


Figura 3.8 b) Composición de las muestras de aluminio “estructural” –ensayo realizado en espectrómetro de emisión atómica” (no se muestra el aluminio presente en las muestras $u=98.62 \pm 0.11$ %).

Fuente: Autores Dario Patiño y Ramiro Serrano.

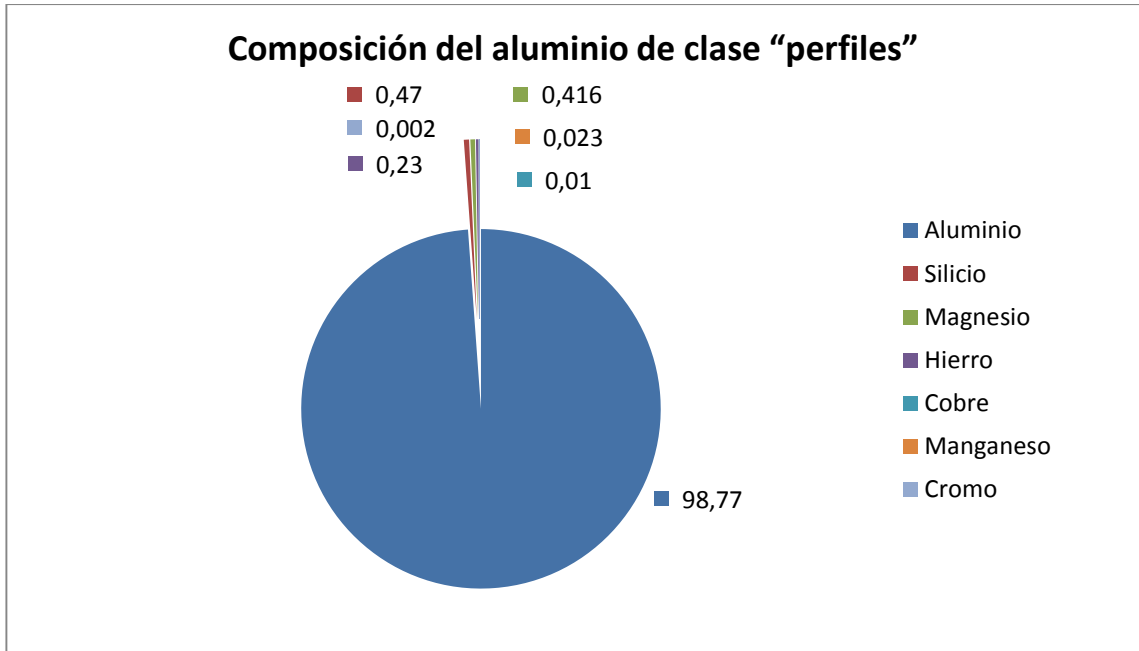


Figura 3.9 a) composición de las muestras de aluminio "perfiles" –ensayo realizado en espectrómetro de emisión atómica”.

Fuente: Autores Dario Patiño y Ramiro Serrano.

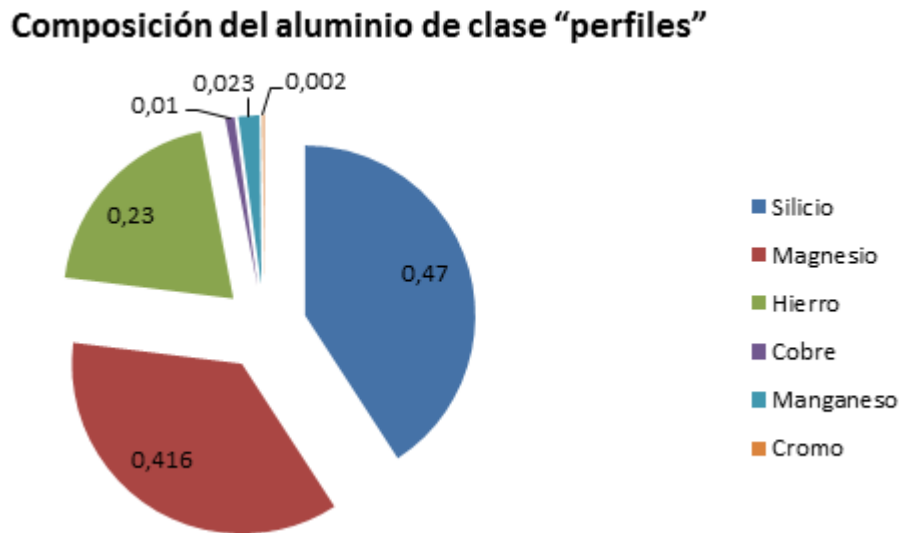


Figura 3.9 b) Composición de las muestras de aluminio "perfiles" –ensayo realizado en espectrómetro de emisión atómica” (no se muestra el aluminio presente en las muestras $u=98.77 \pm 0.13 \%$ ”.

Fuente: Autores Dario Patiño y Ramiro Serrano.

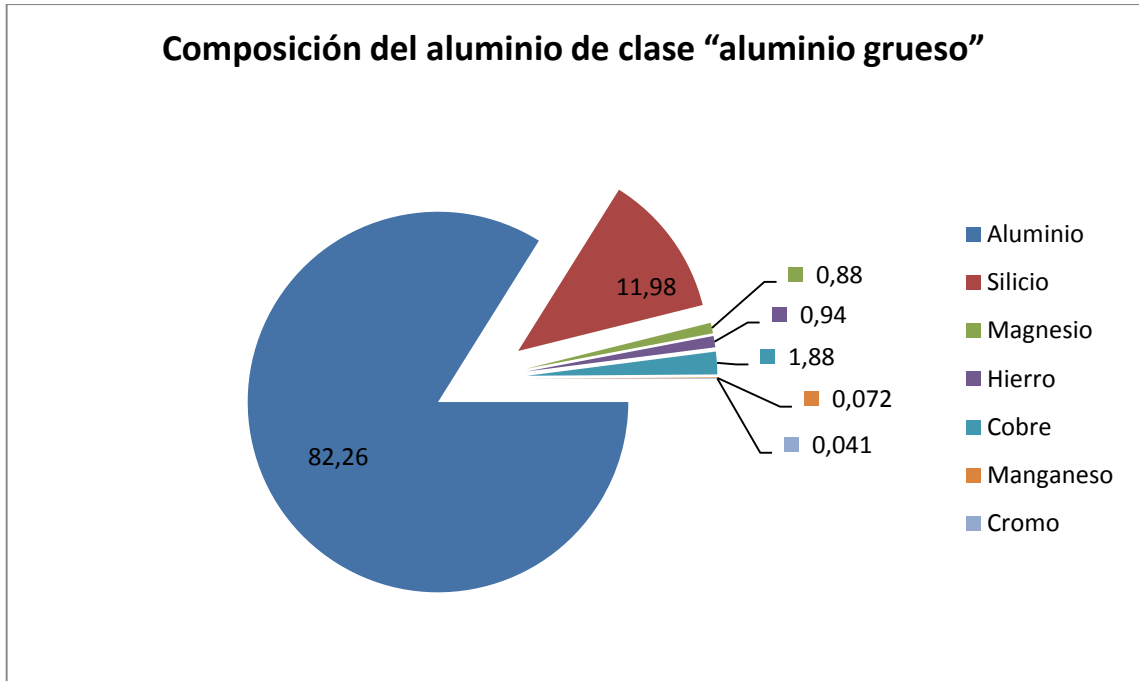


Figura 3.10 Composición de las muestras de aluminio “grueso” –ensayo realizado en espectrómetro de emisión atómica”.

Fuente: Autores Dario Patiño y Ramiro Serrano.

3.3 Análisis de los resultados

De acuerdo a los datos obtenidos y analizados a cada clase de aluminio que es recolectado y clasificado en la ciudad de Cuenca, se puede definir que las tres clases están dentro de las siguientes series, según la norma NTE INEN 2250:2013 “Aluminio. Perfiles, barras, varillas y tubos extruidos. Requisitos e inspecciones”, La tabla de límites de la composición química, de acuerdo a esta norma se presenta en el anexo 3.

- Aluminio clase “Estructural”: por su composición de los elementos de aleación está dentro de la familia o serie 6000, ya que está constituido por los siguientes porcentajes de aleantes: aluminio 98,62%, silicio 0,56%, magnesio 0,43%, hierro 0,25%, Cobre 0,02%, Manganeso 0,0022% y cromo 0,009% como elementos más representativos de toda la aleación.

Esta aleación puede ser ajustada para poder formar diferentes clases de la serie 6000, por lo que se puede realizar un ajuste en sus elementos para entrar en una clasificación más específica como: 6060, 6061, 6063 y 6063A.

Los porcentajes analizados en esta clase de aluminio se asemejan más a la 6061.

- Aluminio clase “Perfil”: por su composición de los elementos de aleación está dentro de la familia o serie 6000, ya que está constituido por los siguientes porcentajes de aleantes: aluminio 98,77%, silicio 0,47%, magnesio 0,42%, hierro 0,23%, Cobre 0,01%, Manganeso 0,023% y cromo 0,002% como elementos más representativos de toda la aleación.

Esta aleación puede ser ajustada para poder formar diferentes clases de la serie 6000, por lo que se puede realizar un ajuste en sus elementos para entrar en una clasificación más específica como: 6005, 6005A, 6060, 6063 y 6063A.

Los porcentajes analizados en esta clase de aluminio se asemejan más a las 6005, 6005A y 6060.

- Aluminio clase “Grueso”: por su composición esta clase está dentro de la familia o serie 4000, ya que está constituido con un porcentaje importante de silicio (cerca al 12%) en su composición.

Los porcentajes de aleantes son: aluminio 82,26%, silicio 11,98%, magnesio 0,88%, hierro 0,94%, Cobre 1,88%, Manganeso 0,072% y cromo 0,041% como elementos más representativos de toda la aleación.

Esta aleación puede ser ajustada para poder formar diferentes clases de la serie 4000, por lo que se puede realizar un ajuste en sus elementos para entrar en una clasificación más específica.

Los porcentajes analizados en esta clase de aluminio se asemejan más a la serie 4032 ya que esta tiene un 11% de silicio y un 1% de hierro, cobre y magnesio (Bayo, 2009).

CAPITULO IV

ANALISIS DE LA EXPLOTABILIDAD DEL ALUMIIO RECICLADO DENTRO DEL PAIS

4.1 Obtención de lingotes de aleaciones de aluminio

Para producir lingotes de aluminio aleado en nuestro país, se podría utilizar una mezcla de lingotes de aluminio puro, aluminio reciclable, y otros componentes como magnesio, silicio, etc.; dependiendo la aleación de aluminio que se requiera conseguir o llegar a fabricar; este procedimiento es por ejemplo el que hacen las fábricas de perfilería nacional, como lo es la empresa CEDAL S.A. A partir de la información recabada y analizada en el Capítulo II, se sabe que actualmente en el país, se importa alrededor de 4443 toneladas métricas de aluminio puro, lo que a su vez representa un monto de alrededor de \$9, 279,823.67 de dólares al año, por otro lado actualmente se importan alrededor de 9439 toneladas anuales de aluminio aleado, equivalente a \$21, 734,317 dólares.

Por lo que se puede evidenciar que Ecuador compra aluminio puro (obtenido directamente de la explotación minera) a razón de \$2.08 por kilogramo y aluminio con aleaciones a \$2.30 por kilogramo y se exporta en \$1,96 el aluminio recolectado para chatarra.

Por lo tanto el ahorro que se plantearía con una refinería de este aluminio recolectado como chatarra sería de \$0,34 por kg esto multiplicado por la cantidad de chatarra que se exporta que en promedio son 8140 toneladas anuales, significa que se generaría un ahorro total en bruto de \$ 2, 767,600.00 dólares anuales.

Para poder fabricar o fundir aluminio que sea utilizado para piezas automotrices se debe primero saber que pieza es la que se quiere fabricar o para que industria se quiere abastecer de materia prima para la fabricación de sus productos.

4.1.1 Aplicaciones automotrices viables

Con el reciclaje de los tres tipos de aluminio que se clasifican en la ciudad de Cuenca, se puede proyectar a la construcción de las siguientes piezas automotrices.

Aluminio reciclado tipo “estructural”

Posee la siguiente composición: Aluminio 98.62 ± 0.11 %, Silicio 0.56 ± 0.006 %, Magnesio 0.43 ± 0.026 %, Hierro 0.25 ± 0.05 %, Cobre 0.02 ± 0.003 %, Manganeso 0.022 ± 0.002 %, Cromo 0.009 ± 0.001 %, esta composición se asemeja una aleación de tipo 6061 y se puede utilizar para piezas de maquinaria, camiones, canoas, vagones, estructuras de aeronaves como las alas y fuselajes de los aviones, en piezas de automóviles y otras aplicaciones de arquitectura por su resistencia a la corrosión y mecánica.

Aluminio reciclado tipo “perfil”

Posee la siguiente composición: Aluminio 98.77 ± 0.13 %, Silicio 0.47 ± 0.06 %, Magnesio 0.416 ± 0.03 %, Hierro 0.23 ± 0.05 %, Cobre 0.01 ± 0.002 %, Manganeso 0.023 ± 0.002 %, Cromo 0.002 ± 0.001 % esta composición se puede utilizar para formar aleaciones de tipo 6005, 6005A y 6060 las cuales se pueden utilizar para la industria del transporte, cuadros de bicicletas, y mayormente en aplicaciones arquitectónicas.

Aluminio reciclado tipo “grueso”

Posee la siguiente composición: Aluminio 82.26 ± 2.06 %, Silicio 11.98 ± 2.5 %, Magnesio 0.88 ± 0.18 %, Hierro 0.94 ± 0.22 %, Cobre 1.88 ± 0.75 %, Manganeso 0.072 ± 0.018 %, Cromo 0.041 ± 0.019 % esta composición se asemeja a una aleación de tipo 4032 se puede utilizar principalmente para la construcción de pistones automotrices por su gran capacidad al cambio de temperatura y en la fabricación de turbinas de aviación.

4.2 Explotación de aluminio reciclado para la manufactura de partes automotrices

4.2.1 Características generales del sector autopartista

De acuerdo a “Promexico”, la industria autopartista a nivel mundial, representa el 3% del total de la producción del sector manufacturero, provee los bienes de consumo final que se utilizan para suministrar a las ensambladoras, así también se encarga de abastecer de refacciones para automóviles usados.

La industria autopartista se encuentra organizada en tres niveles de producción:

Tier⁷ 1: Proveedores directos de las ensambladoras, desarrollan componentes como partes de motor, sistemas de dirección y suspensión, sistemas de aire acondicionado, componentes electrónicos, entre otros.

Tier 2: Son empresas proveedoras de los Tier1, fabrican equipos y productos utilizados en los componentes más avanzados y especializados, producen partes forjadas, estampadas, partes de inyección de aluminio, partes fundidas, plásticas, maquinadas, etc.

Tier 3: Empresas proveedoras de insumos de los Tier 2, que cumplen los requerimientos de calidad necesarios que demanda la industria automotriz.

4.2.2 Cadena de Suministro

Actualmente, la industria de manufactura automotriz está globalizada; cada proveedor TIER 1 (proveedores directos de las ensambladoras) forma parte de la cadena de suministro del fabricante de automóviles, y a su vez, este requiere los insumos, servicios o partes de proveedores Tier 2 y 3. Con ello se reducen significativamente los costos de producción y se garantiza satisfacer los requerimientos del mercado de autopartes. Por otro lado existen empresas que fabrican partes y repuestos automotrices y no tienen ninguna relación con la cadena de suministros del fabricante del vehículo, su mercado se centra en proveer repuestos directamente al usuario del vehículo (after market), o muchas empresas Tier 1 participan en ambos mercados. (Figura 4.1).

⁷ Tier: En producción, se definen diferentes niveles de proveedores en función de su importancia en la cadena de suministro.

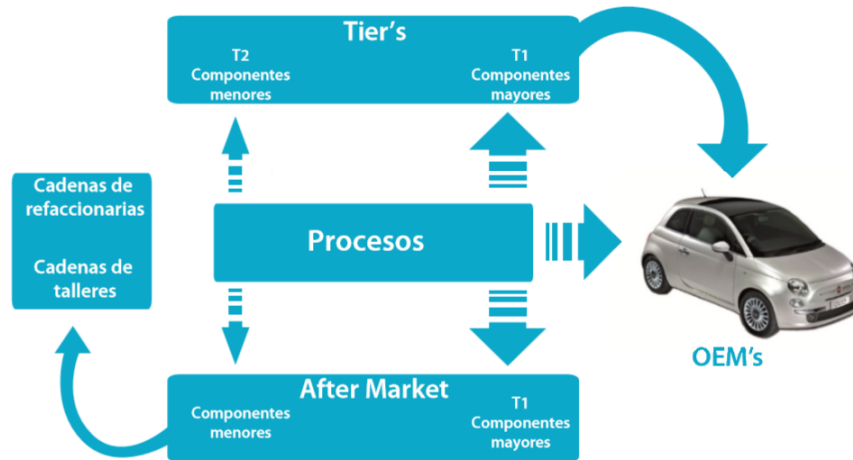


Figura 4.1 Estructura de la cadena autopartista.

Fuente: ProMéxico

4.2.3 Segmentación por línea de negocio

De acuerdo a “Promexico”, la industria autopartista destina su producción primordialmente a la industria terminal de automóviles, pero también destina componentes para el mercado *aftermarket*.

La industria *aftermarket* se estructura de la siguiente forma. (Figura 4.2):

1. Partes o piezas destinadas a la reparación de automóviles chocados.
2. Piezas de desgaste.
3. Partes Mecánicas.
4. Equipos y accesorios.
5. Piezas de repuesto.

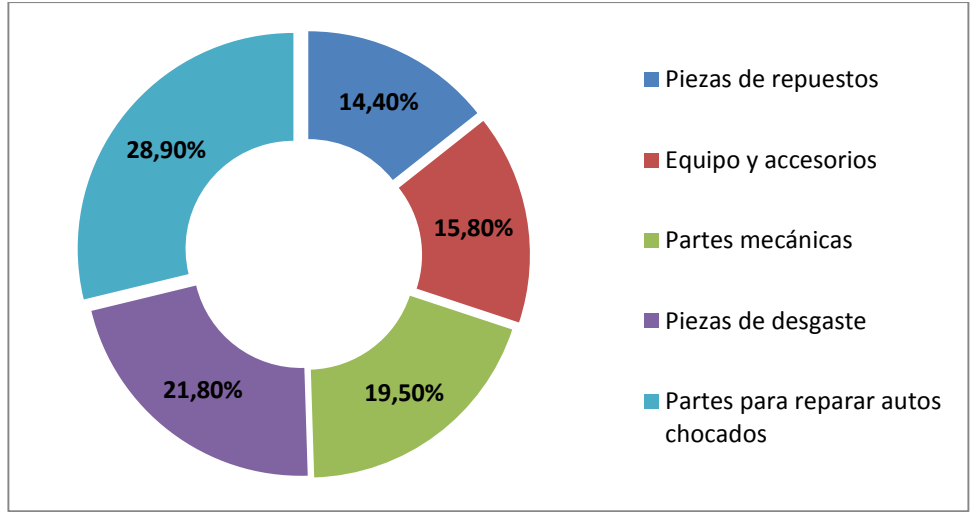


Figura 4.2 Composición del segmento “*aftermarket*” de partes automotrices, 2010

Fuente: DataMonitor.

De acuerdo a la información recopilada, una empresa que utilice aluminio reciclado como fuente de materia prima para la manufactura de partes y piezas de vehículos o automóviles podría enfocar su producción a proveer a las diferentes ensambladoras (nacionales o internacionales) o en su defecto comercializar sus partes en el sector “*aftermarket*”.

4.2.4 Producción global de autopartes

En el año 2012 la producción de autopartes fue el 3.6% de la industria manufacturera mundial, la participación de países de Asia-Pacífico en la producción mundial de autopartes es del 55.5% con una producción de \$776,271 mdd⁸, seguido por Norte América con 22.1% con una producción de \$309,328 mdd, la Unión Europea aporta un 13.3% con una producción de 185,625 mdd, Latino América está presente con un 3.7% y una producción de 52,269 mdd y el resto del mundo aporta un 5.4% y una producción de 75,808 mdd, sumando una producción mundial de autopartes de 1,399,302 mdd en el año 2012. (Figura 4.3)

⁸ Mdd: Millones de dólares.

Se estima que la producción mundial crecerá a una tasa anual promedio de 6.5% de 2013-2020. En lo referente a Latinoamérica se espera tenga el mayor crecimiento de todas las regiones con un 7.8%. (ProMéxico, 2015)

4.2.5 Participación de la producción de autopartes de cada país, 2012. Figura 4.3

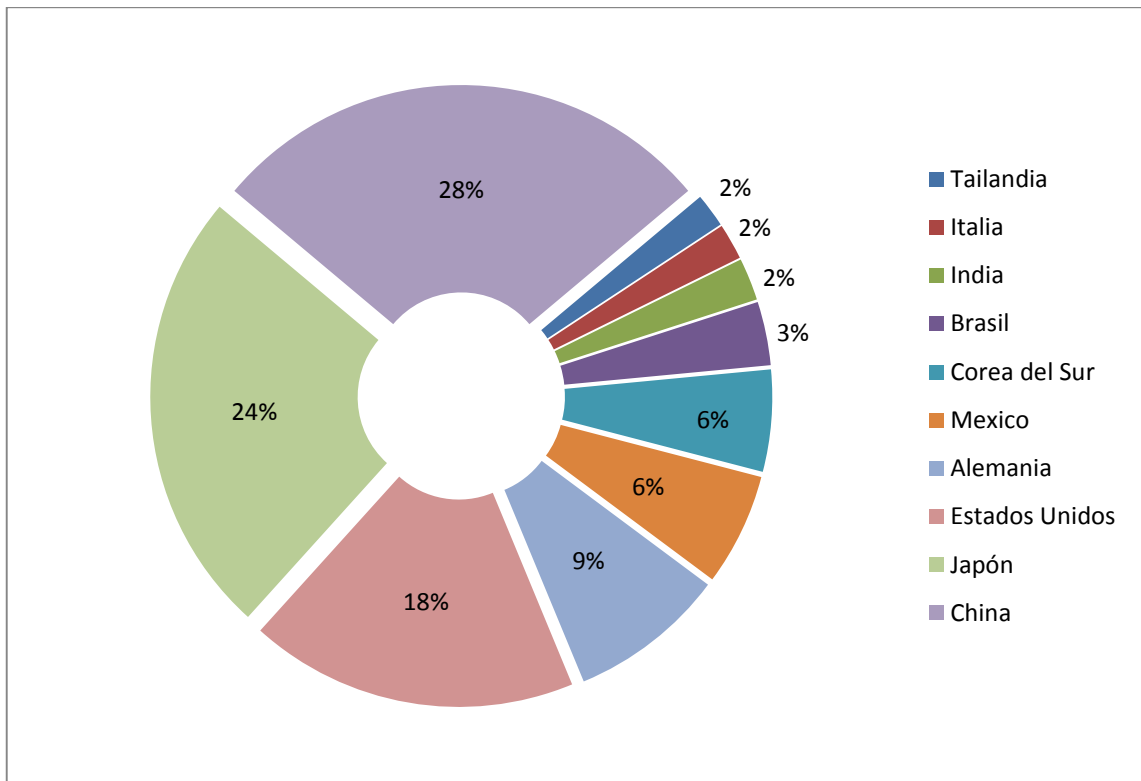


Figura 4.3 Producción de autopartes por País año 2012

Fuente: Elaborado por Pro México con datos de Data Monitor.

Dentro de los principales productores de autopartes se destacan China y Japón, se prevé que para los próximos 10 años China siga consolidándose como líder del sector, por otro lado, la globalización dentro de la industria de autopartes genera mayor competitividad en el sector, generando espacios a países con economías emergentes.

De igual manera, al considerar la procedencia de las empresas más importantes del sector de partes automotrices, (Figura 4.4) se observa que esta industria se ha desarrollado en los países productores de automóviles, y tienen sus corporativos en países como: Japón, Estados Unidos, Alemania y Francia. En la tabla 4.2 se muestran las principales empresas de autopartes a nivel mundial.

Los países de donde son procedentes estas empresas están distribuidos como indica la figura 4.4.

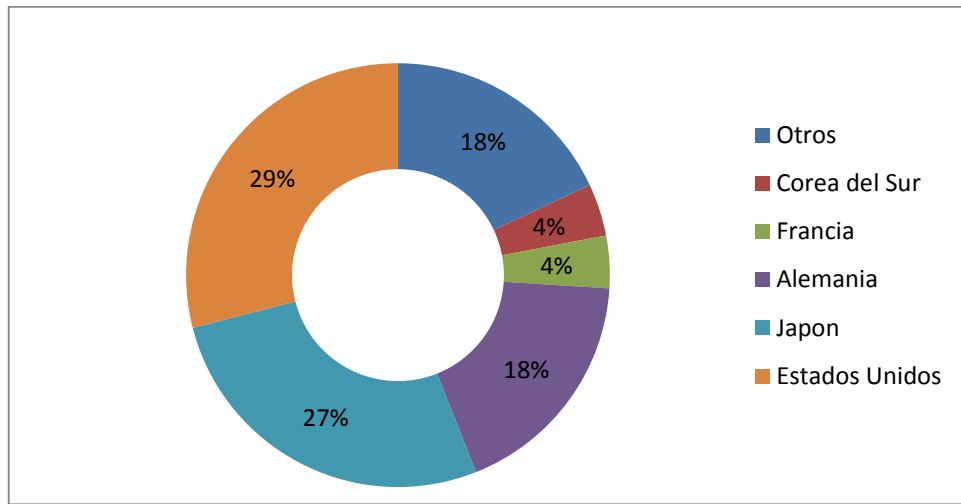


Figura 4.4 Países de origen de las Empresas.

Fuente: Elaborado por Pro México con datos de Automotive News.

Tabla 4.1 100 principales empresas de autopartes en el mundo.

100 principales empresas de autopartes en el mundo		
Denso Corp. (Japón)	JTEKT Corp. (Japón)	CIE Automotive S.A. (España)
Robert Bosh (Alemania)	Magneti Marelli S.p.A. (Italia)	American Axle & Manufacturing (EUA)
Aisin Seiki (Japón)	Mahle GmbH (Alemania)	Asahi Glass Co. (Japón)
Continental AG (Alemania)	Dana Holding Corp. (EUA)	PPG Industries Inc. (EUA)
Magna International Inc. (Canadá)	Toyota Gosei Co. (Japón)	Webasto AG (Alemania)
LG Chem LTD. (Korea)	Autoliv Inc. (Suecia)	Linamar Corp. (Canadá)
Faurecia (Francia)	Cummins Inc. (EUA)	Leopold Kostal GmbH (Alemania)
Johnson Controls Inc. (EUA)	Hella KGaA Hueck & Co. (Alemania)	Modine Manufacturing Co. (EUA)
Delphi Holding LLP (EUA)	NHK Spring Co. (Japón)	Georg Fischer Automotive AG (Suiza)
ZF Friedrichshafen AG (Alemania)	TS Tech Co. (Japón)	Rieter Automotive Mgmt. AG (Suiza)
TRW Automotive Inc. (Alemania)	Koito Manufacturing Ltd. (Japón)	Dura Automotive Systems Inc (EUA)
Hyundai Mobis (Korea)	NSK Ltd (Japón)	Kautex Textron GmbH (Alemania)
Valeo SA (Francia)	Du Pont (EUA)	F-Tech Inc. (Japón)
Toyota Boshoku Corp (Japón)	BorgWarner Inc. (EUA)	Nissin Kogyo Co. (Japón)
Lear Corp. (EUA)	Takata Corp. (Japón)	Hayes Lemmerz Intl. Inc. (EUA)
Yazaki Corp. (Japón)	Schaeffler Group (Alemania)	Alpine Electronics Inc. (Japón)
Sumitomo Electric Industries Ltd. (Japón)	Behr GmbH (Alemania)	Mark IV Holding Inc. (EUA)
BASF SE (Alemania)	Michelin Group (Francia)	Clarion Co. (Japón)
Hitachi Automotive Systems Ltd. (Japón)	Tenneco Inc. (EUA)	Eaton Corp (EUA)
Benteler Automobiltechnik GmbH (Alemania)	Brose Fahrzeugteile GmbH (Alemania)	Inergy Automotive Systems (Francia)
Visteon Corp. (EUA)	Bridgestone/Firestone Inc. (Japón)	Pioneer Corporation (Japón)
CalsonicKansei Corp. (Japón)	Tokai Rika Co. Ltd. (Japón)	Freescale Semiconductor Inc. (EUA)
Eberspaecher Holding GmbH (Alemania)	IAC (EUA)	3M (EUA)
Tower Automotive Inc. (EUA)	Leoni AG (Alemania)	Exedy Corporation (Japón)
Royal Philips Electronics (Países Bajos)	Federal-Mogul Corp. (EUA)	SKF Automotive Division (Suecia)
Keihin Corp. (Japón)	Compagnie de SaintGobain (Francia)	Cooper-Standard Automotive (EUA)
Stanley Electric Co (Japón)	Goodyear Tire & Rubber Co. (EUA)	Hyundai-WIA Corp. (Japón)
Mitsubishi Electric Corp. (Japón)	Grupo Antolin (España)	Mitsuba Corp. (Japón)
NTN Corp. (Japón)	Plastic Omnium Co. (Francia)	Draexlmaier Group (Alemania)
Navistar International (EUA)	Showa Corp. (Japón)	Bayer MaterialScience (Alemania)
GKN Driveline (Reino Unido)	Mando Corp (Korea)	Honeywell Transportation Systems (EUA)
Flex-N-Gate Corp. (EUA)	Harman Intl. Industries Inc. (EUA)	Tyco Electronics Corp (EUA)
Panasonic Automotive Systems Co. (Japón)	Nemak (México)	TI Automotive Ltd. (Reino Unido)
Peguform GmbH (Alemania)		

Fuente: Promexico (*automotive news: "top 100 global suppliers"*) 12 junio 2010

4.2.6 Consumo y producción global

El consumo mundial de autopartes muestra que los principales países productores de autopartes también son los que presentan un consumo mayor a nivel mundial, entre ellos se puede apreciar que los tres países que mayor consumo registraron fueron China, Estados Unidos y Japón respectivamente, estos valores están expresados en millones de dólares (mdd), Figura 4.5.

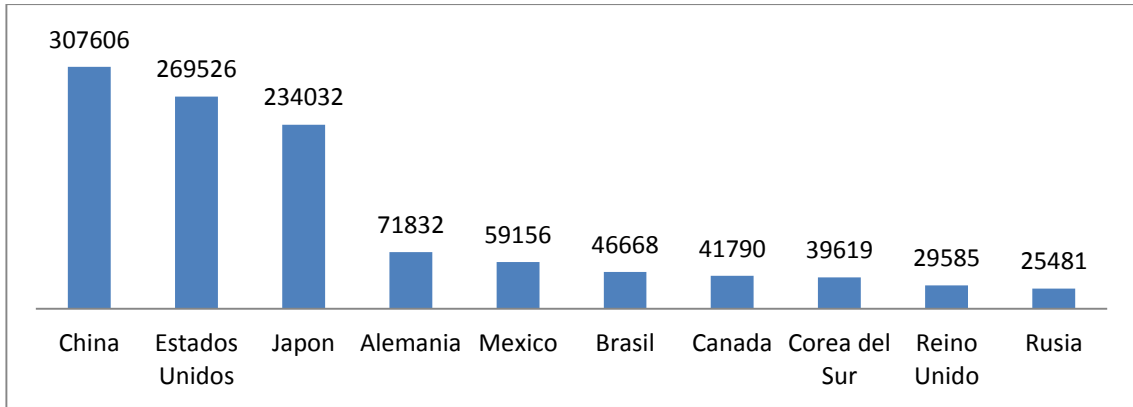


Figura 4.5 Consumo por país 2012 en millones de dólares (mdd)

Fuente: Pro México con datos de *Global Insight*

Por otro lado, se presentan datos de interés si se consideran los países que mejores ventajas competitivas promueven en el sector de manufactura de autopartes (figura 4.6), analizando el ahorro relativo, de acuerdo a esta fuente son: México, Japón y Brasil.

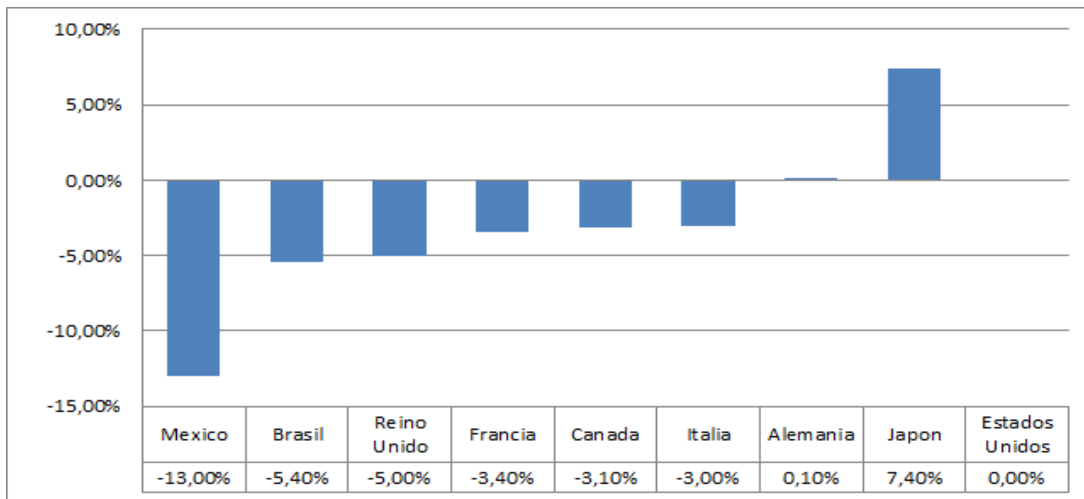


Figura 4.6 Ahorro en la manufactura de autopartes.

Fuente: Pro México con datos de *Global Insight*

Muchas empresas internacionales empezaron realizando “*benchmarking*”, ya que invertir en desarrollo e investigación (I+D+Ii), es sumamente costosa, por lo que sería necesario implementar esto en a nuevas industrias nacionales ya que por el momento el país no cuenta con la capacidad económica, tecnológica ni personal capacitado.

El benchmarking es analizar a la competencia con el fin de aprender y mejorar, siendo un medio valioso para conocer como es el rendimiento de una empresa. Este proceso es utilizado para identificar con claridad las debilidades, y así centrar sus esfuerzos en las zonas más necesitadas de mejora.

Por ejemplo, la empresa Toyota® encontró el equilibrio y la eficiencia. A partir del conocimiento y la experiencia de otras marcas como punto de partida de sus procesos. (Ing. CIP Medina Sánchez, 2010)

Al existir empresas multinacionales que tienen alta calidad en sus procesos de producción, estos pueden ser copiados para la industria nacional en la fabricación de autopartes.

4.2.7 Mercado local

De acuerdo (PRO ECUADOR Inversiones, 2015) en el estudio del Censo Nacional Económico 2010, existen 29.068 establecimientos dedicados a actividades de comercio automotriz, en donde el 70% lo conforman establecimientos que realizan mantenimiento y reparación de vehículos automotores, en tanto que el 30% restante se dedica a la venta de partes, piezas y accesorios de vehículos automotores.

Esto indica que se puede impulsar y fomentar a la manufactura de partes y piezas automotrices en el país, atendiendo a las necesidades del mercado nacional.

Entre las empresas proveedoras de partes y piezas, están registradas 44 empresas en el ministerio de industrias y productividad, las cuales proveen de partes a las ensambladoras.

4.2.7.1 Proyección de inversiones en el sector autopartista

Las empresas autopartistas, como así también las empresas ensambladoras tienen proyecciones de inversión 53'330.000 millones de dólares, en la tabla 4.7 se detalla por autoparte, la inversión proyectada en el lapso de los años 2014 – 2020.

4.2.7.2 Situación actual del sector de manufactura de partes automotrices en el país

En la tabla 4.2 indica la proyección de las partes automotrices que se utilizarían en el país hasta el 2020, tanto en suministro en las ensambladoras como en el sector del “*aftermarket*”, en esto se evidencia las necesidades que se podrían cubrir en el mercado local con la manufactura nacional de estas autopartes.

Tabla 4.2 Proyección de inversiones en autopartes.

Partes	Inversiones 2014 - 2020
AMORTIGUADORES DELANTEROS, POSTERIORES	2'000.000
ARNESES ELÉCTRICOS (AUTOPARTISTA AÚN NO DEFINIDO)	3'500.000
AROS DE ACERO (MECANIZA)	1'200.000
AROS DE ALUMINIO	18'000.000
BALLESTAS	1'000.000
CARDANES	800.000
CINTURON DE SEGURIDAD	600.000
CONDENSADOR	720.000
CUBIS DE RUEDA (AMORTIPARTES)	420.000
DISCOS DE FRENO	800.000
EJES	3'000.000
ENSAMBLAJE DE AIRES ACONDICIONADOS	300.000
GATA MECÁNICA (MECANIZA)	150.000
KIT SEGURIDAD	200.000
PARABRISAS	1'800.000
VIDRIO POSTERIOR (TECNIVIDRIO)	400.000
PARLANTES, PITOS (SOUN EXPRESS)	300.000
PINTURAS (DUPONT, BASF)	800.000
PROTECTOR DE CARTER	30.000
RADIADOR	480.000
TAMBORES	3'200.000
TAPIZADO TECHO	30.000
TELAS	800.000
VIDRIOS LATERALES	800.000
TOTAL AUTOPARTISTAS	41'330.000
TOTAL ENSAMBLADORAS	12'000.000
TOTAL SECTOR	53'330.000

Fuente: (CINAE, 2010)

CONCLUSIONES

De acuerdo con los objetivos específicos planteados se llegó a las siguientes conclusiones.

- Se desarrollo la primera conclusión en base al primer objetivo específico planteado, que consiste en levantar información sobre el estado del arte referente a los procesos industriales que se utilizan para el reciclaje del aluminio, en base a ello se pudo evidenciar que actualmente la tendencia mundial en la industria automotriz es utilizar mayor cantidad de partes y piezas fabricadas a partir de aluminio, debido a que con ello se consigue mayor eficiencia energética de los vehículos, así también se mejoran los índices de productividad al lograrse menores tiempos de manufactura, facilidades para el manejo de materia prima y productos, así como capacidades de transporte; entre otros. Así mismo se pudo constatar que los procesos tecnológicos asociados a la producción de aluminio como fuente de materia prima han sido desarrollados hasta tal punto que lo convierten hoy en día en uno de los materiales preferidos, no solo por sus propiedades, sino también porque se garantiza su disponibilidad (se sabe que el aluminio es el tercer elemento más abundante del planeta, luego del oxígeno, nitrógeno y el silicio). No obstante, si se compara el gasto energético que se requiere para procesar aluminio primario (obtenido de minas de bauxita y alúmina) en relación con el que se requiere para reciclarlo, este último es tan solo el 5% del anterior, por ello su reciclaje es tan atractivo, ya que asociado al gasto energético están las utilidades económicas y sociales que se pueden generar en su explotación.
- Al clasificar estadísticamente la cantidad y el tipo de aluminio que se desecha en la ciudad de Cuenca se llegó a la conclusión de que en la ciudad los procesos de reciclaje de metales se realizan de forma artesanal, esto se pudo constatar al visitar la mayoría de los centros de acopio de la ciudad, a partir de entrevistas con los representantes y/o propietarios de los centros de acopio se pudo

determinar que el aluminio recolectado es clasificado en tres tipos (aluminio de perfilaría, estructural, y grueso), así también se determinó que el precio de compra de aluminio reciclable en estos centros de acopio, en promedio son:

- Aluminio tipo “perfil”, a 0,25usd por kg.
- Aluminio tipo “estructural o Mixto”, 0,30usd por kg.
- Aluminio Tipo “grueso: automotriz y maquinaria en general”, 0,27usd por kg.

En la ciudad de Cuenca, se recolecta un promedio de 90 toneladas de aluminio reciclado aproximadamente.

- Por otro lado, al revisar las partidas arancelarias en la Aduana Nacional, se pudo cuantificar la cantidad de aluminio reciclable que el país exporta, esto es alrededor de 8140 toneladas en el último año, por un monto de aproximadamente \$15'940.217,49 dólares (\$1.95 por cada kg). A partir de estos datos queda claro que las mayores utilidades las generan los grandes exportadores, los centros de acopio generan también utilidades significativas, mientras que los recicladores primarios y secundarios, son los que menores réditos obtienen en el proceso de reciclaje. Por otro lado se llegó a determinar que el país importa alrededor de 4.443 toneladas de aluminio, (2831.78 toneladas de aleación de aluminio y 1333.11 toneladas de aluminio puro), lo que equivale a un monto de \$9'279.823,67 (\$6'520.295,1 para aleaciones de aluminio y \$2'783947.1 para aluminio puro), (2.3 \$/kg de aleaciones de aluminio y 2.08 \$/kg de aluminio puro). Por lo que se puede decir que en el país se exporta gran cantidad de aluminio reciclable para ser procesado en otros países, así el saldo comercial es en contra.
- Para conocer la tendencia de este mercado, se realizaron proyecciones utilizando el método de regresión lineal simple, tomando como referencia los datos de tres años (2013, 2014, y 2015) para proyectarlos a los años 2016, y 2017, los resultados se muestran en las figuras 2.14, 2.15, 2.16, 2.17 y 2.18. En ellas se

aprecia que no se esperan variaciones significativas en el mercado para los próximos años.

- La tercera conclusión se obtuvo de categorizar la fuente de materia prima, en función de sus características físicas. Con el fin de conocer la composición del aluminio reciclable que se recolecta en la ciudad de Cuenca, en el capítulo III se realizó el estudio respectivo, para ello se utilizaron procesos recomendados por las normas: ASTM 1251-11 (*Standard test method for analysis of aluminum and aluminum alloys by spark atomic emission spectrometry*); ASTM E716-10 (*Standard practices for sampling and sample preparation of aluminum and aluminum alloys for determination of chemical composition by spectrochemical analysis*), (Anexo 4); y la ASTM E876-89 (*Standard practice for use of statistics in the evaluation of spectrometric Data*), (Anexo 5). La composición de las tres clases de aluminio en la que se clasifica el aluminio reciclable en nuestra ciudad, se muestra en la tabla 3.2. Las aplicaciones más viables para el material reciclable, podrían ser:

- Aluminio clase “Estructural”: Esta aleación puede ser ajustada para poder formar diferentes clases de la serie 6000, por lo que se puede realizar un ajuste en sus elementos para entrar en una clasificación más específica como: 6060, 6061, 6063 y 6063A.

Los porcentajes analizados en esta clase de aluminio se asemejan más a la 6061, con este aluminio se puede construir: Rodamientos, partes y carcasas de bombas de dirección hidráulica, racores para cajas automáticas, etc.

- Aluminio clase “Perfil”: Esta aleación puede ser ajustada para poder formar diferentes clases de la serie 6000, por lo que se puede realizar un ajuste en sus elementos para entrar en una clasificación más específica como: 6005, 6005A, 6060, 6063 y 6063A.

Los porcentajes analizados en esta clase de aluminio se asemejan más a las 6005, 6005A y 6060, los cuales son más aplicados al área arquitectónica.

- Aluminio clase “Grueso”: por su composición esta clase está dentro de la familia o serie 4000, ya que está constituido con un porcentaje importante de silicio (cerca al 12%) en su composición. Esta aleación puede ser ajustada para poder formar diferentes clases de la serie 4000, por lo que se puede realizar un ajuste en sus elementos para entrar en una clasificación más específica.

Los porcentajes analizados en esta clase de aluminio se asemejan más a la serie 4032 ya que esta tiene un 11% de silicio y un 1% de hierro, cobre y magnesio, la cual se utiliza para la manufactura de piezas automotrices como: Pistones, carcasas de rodillos tensores de banda, carcasa de caja de cambios, pastillas de calibración de taques mecánicos, chapas de bancada. (Bayo, 2009)

- Estimando las aplicaciones industriales más viables que podría tener el aluminio como fuente de materia prima, enfocado al sector de la manufactura de partes y piezas automotrices, al analizar el capítulo IV, con el fin de conocer las características del sector de autopartes, tanto a nivel internacional, como local, se logró identificar la estructura de este mercado, con la conclusión de que el sector autopartista está compuesto por compañías que suministran sus productos directamente a los fabricantes de vehículos (mismos que no producen la totalidad de sus partes) a estas empresas se las conoce como TIER1 TIER2 y TIER3, ordenadas en función de su participación e importancia para el fabricante en cuestión. Y por otro lado están las empresas que fabrican sus partes para el mercado “aftermarket” es decir, para el mercado de repuestos y piezas de recambio.

- Las características del mercado de proveedores de partes originales del vehículo, es imposible de caracterizar, debido a que cada empresa utiliza diferentes productos de cada TIER, en cambio para el mercado de piezas “*aftermarket*”, se recopiló información publicada para el mercado Mexicano, no obstante esta sirve de referencia y por ello ha sido analizada, así las características de este mercado se puede segmentar en 5 grupos, que de acuerdo a su nivel de ventas es (figura 4.2): Piezas de repuestos (recambio) (14.4%), equipos y accesorios (15.8%), partes mecánicas (19.5%), piezas de desgaste (21.8%), y partes para vehículos siniestrados (28.9%), esta información es valiosa con el fin de orientar la producción de las partes y piezas de la industria nacional de este segmento.
- Para finalizar, se realizó un análisis de la situación actual del mercado de partes y piezas de automóviles de producción nacional, en él se da a conocer las diferentes empresas que actualmente fabrican partes para automóviles, divididas en cuatro categorías, que son: sistema eléctrico, carrocería, chasis, y autopartes varias, la mayoría de estas empresas participan como proveedores TIER, de ellas solo pocas participan también en el mercado “*aftermarket*”, básicamente con productos, como: baterías, lubricantes, refrigerantes, llantas, sistemas de escape, ballestas de suspensión, ejes y cardanes, cristales y alarmas. Cada vehículo que se ensambla en el país utiliza diferente cantidad de partes manufacturadas a nivel local (tabla 2.7), así el de menor participación es la camioneta Chevrolet DMAX RT-50 Diésel – 7V, con un 2.17% de partes nacionales, mientras que la camioneta Wingle es la que mayor porcentaje de partes nacionales tiene (25.95%).
- Como conclusión general podemos decir que, es posible la fabricación de partes automotrices que se desee, ya que en el análisis de las muestras y en la fundición de la chatarra de aluminio, se obtiene una colada a la que se puede modificar, y llegar a la aleación que se desee, con el aporte de los elementos aleantes según sea la necesidad.

- La cantidad de aluminio que se puede recolectar en la ciudad de Cuenca es de 90 Toneladas anuales y a nivel nacional aproximadamente 8140 Toneladas anuales, esta es la cantidad de desechos y residuos recolectados en todo el país.

ABREVIATURAS, SÍMBOLOS Y NOMBRES COMERCIALES

- UBC Utilizado lata de bebida
- LME London Metal Exchange (tipo de bolsa internacional de materia prima)
- FOB Libre a bordo (Free on board)
- CIF Costo, seguro y flete (Cost, insurance and freight)
- CKD Partes para ser ensambladas.
- CBU Vehiculos completamente armados
- Tier Niveles de proveedores en las cadenas de suministros.

BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Nacional de Transito. (2015). *Agencia Nacional de Transito*. Recuperado el 17 de 11 de 2015, de Agencia Nacional de Transito:
<http://www.ant.gob.ec/index.php/servicios/plan-renova/requisitos-para-chatarrizacion#.VkvqSHSHeP8>
- Agueda Casado, E. (2009). Materiales utilizados en la construcción de carrocerías. En E. Agueda Casado, *Elementos estructurales del vehiculo* (pág. 248). Madrid: Paraninfo.
- ASM Handbook Committee. (1992). *Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials Volumen 2* (10 ed.). Ohio: ASM International.
- ASTM Handbook Committee. (1992). *Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials Volumen 2* (10 ed.). Ohio: ASM International.
- Bayo, J. M. (29 de Julio de 2009). *Ingeniería de Materiales*. Recuperado el 28 de Abril de 2016, de <https://ingenieriademateriales.wordpress.com/2009/07/29/propiedades-de-la-aleacion-al-si-rsistencia-y-expansion-termica/>
- Bravo, G. M. (2015). *Recynter pasión por el reciclaje*. Recuperado el 01 de 02 de 2016, de Recynter pasión por el reciclaje: <http://recynter.com.ec/2015/04/28/gm/>
- Callister, W. D. (2007). *Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales, Volumen 1*. Barcelona: Reverte S.A.
- Carega, J. A. (1993). Aluminio. En J. A. Carega, *Manejo y Reciclaje de los Residuos de Envases y Embalajes*. Mexico D.F: Sedesol.
- Cáseres, D. (16 de 05 de 2013). *eltiempo.com.ec*. Recuperado el 01 de 02 de 2016, de <http://www.eltiempo.com.ec/noticias-cuenca/121640-material-reciclado-es-una-fuente-de-ingresos/>
- Castella, C. (2015). *Self hardening aluminum alloys for automotive applications*.
- Castro Patiño, L. F. (2014). Aleaciones de aluminio y su importancia en la industria aeroespacial. *Metal Actual*, 13.
- Coca, P. (2004). *manual del aluminio*. Barcelona: Editorial Reverte,S. A.
- datosmacro. (2015). *datosmacro.com*. Recuperado el 02 de 02 de 2016, de [datosmacro.com: http://www.datosmacro.com/materias-primas/aluminio](http://www.datosmacro.com/materias-primas/aluminio)
- Dirección de Inteligencia Comercial e inversiones. (2013). *PRO ECUADOR instituto de pormocion de exportaciones e inversiones*. Recuperado el 3 de Febrero de 2016, de

http://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2013/11/PROEC_AS2013_METALMECANICA.pdf

Dirección de Inteligencia Comercial e Inversiones. (2013). *PRO ECUADOR INSTITUTO DE PROMOCIÓN DE EXPORTACIONES E INVERSIONES*. Recuperado el 03 de 02 de 2016, de PRO ECUADOR INSTITUTO DE PROMOCIÓN DE EXPORTACIONES E INVERSIONES.:

http://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2013/07/PROEC_AS2013_AUTOMOTRIZ1.pdf

Dominguez, e. j., & Ferrer, J. (2010). El aluminio ahorra energía con ligereza. En *Mecanizado Básico* (pág. 158). Editex.

El Diario. (12 de 07 de 2011). *El Diario manabita de libre pensamiento*. Recuperado el 22 de 12 de 2015, de El Diario manabita de libre pensamiento: <http://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/198049-la-tarea-del-reciclaje-tambien-significa-empleo/>

EL UNIVERSO. (8 de 02 de 2010). *EL UNIVERSO*. Recuperado el 06 de 12 de 2015, de EL UNIVERSO: <http://www.eluniverso.com/2010/02/08/1/1445/sectorizacion-centros-acopio-recicladoras.html>

Fermin, C. (9 de 9 de 2013). *ECOPORTAL.NET*. Recuperado el 13 de 10 de 2015, de ecoportal.net/temas-especiales/Basura-residuos/El_problema_del_reciclaje_en_America_latina

Global trade stars here. (2016). *Alibaba.com*. Recuperado el 02 de 02 de 2016, de Alibaba.com: <http://spanish.alibaba.com/Favorite/aluminum-scrap-price.html>

Gómez Toro, S. X., & Robles Granda, F. A. (2012). *Estudio del estado actual del proceso de chatarrización en la ciudad de Cuenca*. Cuenca.

Gomis Yagues, V. (2008). *Universidad de Alicante*. Recuperado el 23 de 03 de 2016, de Universidad de Alicante: http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwiS1oTut9jLAhVJJR4KHYq6CXgQFggaMAA&url=http%3A%2F%2Frua.ua.es%2Fdspace%2Fbitstream%2F10045%2F8249%2F4%2FT5masas.pdf&usg=AFQjCNEie34esBKkdKKOnzXFX_FT9dStCw&sig2=1jhHK8os6dpuP

inforeciclaje. (16 de Octubre de 2015). *inforeciclaje*. Recuperado el 21 de 10 de 2015, de <http://www.inforeciclaje.com/que-es-reciclaje.php>

Ing. CIP Medina Sánchez, C. L. (11 de 08 de 2010). *CARRERASCONFUTURO.COM*. Recuperado el 14 de 05 de 2016, de CARRERASCONFUTURO.COM: <http://www.carrerasconfuturo.com/2010/08/11/benchmarking-en-la-industria-automotriz/>

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. (2010). *NTE INEN 2505 CHATARRA METÁLICA FERROSA. ACOPIO.REQUISITOS*. QUITO.

James, B. (10 de 06 de 2014). *ams; automotive manufacturing solutions*. Recuperado el 25 de 11 de 2015, de *ams; automotive manufacturing solutions*:
<http://www.automotivemanufacturingsolutions.com/es/proceso-materiales/el-aluminio-en-la-industria-del-automovil>

Julio. (2012). Qué es el reciclaje? *Conciencia Eco*.

Julio. (21 de agosto de 2012). *Revista conciencia eco*. Recuperado el 19 de 05 de 2016, de Qué es el reciclaje?: <http://www.concienciaeco.com/2012/08/21/que-es-el-reciclaje/>

knight, l., & bowler, t. (16 de 12 de 2013). *BBC MUNDO*. Recuperado el 21 de 10 de 2015, de http://www.bbc.com/mundo/noticias/2013/12/131208_aluminio_reciclar_jgc_finde

Lenntech. (s.f.). *water treatment solutions lenntech*. Recuperado el 17 de 05 de 2015, de <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/al.htm>

LME Precios Oficiales, U. p. (12 de 2015). *LME Precios Oficiales, US\$ por tonelada al 31 de Diciembre del 2015*. Recuperado el 22 de 12 de 2015, de LME Precios Oficiales, US\$ por tonelada al 31 de Diciembre del 2015: <http://www.lme.com/metals/reports/averages/>

Matt, E. (22 de 07 de 2015). *CNN EXPANSION*. Recuperado el 02 de 02 de 2016, de CNN EXPANSION: <http://www.cnnexpansion.com/economia/2015/07/21/los-commodities-tocan-niveles-minimos-historicos>

Medina Párraga, J. A. (2010). *Estudio integral para la recuperacion de chatarra de aluminio*. Quito.

Melik, J., & Kouzmenkov, A. (20 de NOVIEMBRE de 2010). *BBC*. Recuperado el 2 de FEBRERO de 2016, de BBC:
http://www.bbc.com/mundo/noticias/2010/11/101118_economia_aluminio.shtml

Metal Actual. (2014). Aluminio en la Fabricación automotriz, donde cada gramo cuenta. *Revista Metal Actual*, 67.

Morral, F. R., Jimeno, E., & Molera, P. (2004). Aleaciones para moldeo. En *Metalurgia General, Volumen 2* (pág. 1450). Barcelona-Bogota-Buenos Aires-Caracas-México: Editorial Reverte, S.A.

Ortiz, A. (28 de ENERO de 2013). *AEF DEL AUTOMOVIL*. Recuperado el 7 de DICIEMBRE de 2015, de <http://ortizalvarosua12.blogspot.com/2013/01/aleaciones-utilizadas-en-el-automovil.html>

- Ortolá, S. (17 de Abril de 2009). *Ingenieria de materiales.wordpress.com*. Recuperado el 2015 de Diciembre de 8, de <https://ingenieriademateriales.wordpress.com/2009/04/17/manual-del-aluminio-y-sus-aleaciones/>
- Papp, J., Bray, E., Edelstein, D., Fenton, M., Guberman, D., Hedrick, J., y otros. (2008). *USGS science for a changing world*. Recuperado el 21 de 12 de 2015, de Factors that influence the price of Al, Cd, Co, Cu, Fe, Ni, Pb, Rare Earth Elements, and Zn: <http://pubs.usgs.gov/of/2008/1356/>
- PRO ECUADOR Inversiones, D. d. (20 de 02 de 2015). *PRO ECUADOR*. Recuperado el 14 de 05 de 2016, de PRO ECUADOR: http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=2&ved=0ahUKEwiH0sqKt9rMAhWBKx4KHfMxA7kQFgggMAE&url=http%3A%2F%2Fwww.proecuador.gob.ec%2Fwp-content%2Fuploads%2F2013%2F07%2FPROEC_AS2013_AUTOMOTRIZ1.pdf&usg=AFQjCNE2i9GVinBSy0KtNglOkDJQf
- Productividad, M. d., & autopartistas., E. p. (08 de 2014). *Ministerio de Industrias y Productividad*. Recuperado el 14 de 05 de 2016, de Ministerio de Industrias y Productividad.: <http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=4&ved=0ahUKEwid3ZW4xdrMAhUElx4KHVMkBecQFggvMAM&url=http%3A%2F%2Fwww.scpm.gob.ec%2Fwp-content%2Fuploads%2F2014%2F10%2FFernando-Quito.pdf&usg=AFQjCNGtkegO7kpw8Go6JACvp-vVgpQzDQ&sig2=zdWGX>
- Productividad, M. d. (2014). *Ministerio de Industrias y Productividad*. Recuperado el 07 de 02 de 2016, de Ministerio de Industrias y Productividad: <http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=4&ved=0ahUKEwiQqcrZhefKAhXGuB4KHRnfA-IQFggvMAM&url=http%3A%2F%2Fwww.scpm.gob.ec%2Fwp-content%2Fuploads%2F2014%2F10%2FFernando-Quito.pdf&usg=AFQjCNGtkegO7kpw8Go6JACvp-vVgpQzDQ&sig2=p7HFL>
- PROMÉXICO. (15 de 04 de 2010). *PROMÉXICO*. Recuperado el 04 de 05 de 2016, de PROMÉXICO: http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=2&ved=0ahUKEwj4n-fX67_MAhWJ2R4KHXYXC5sQFgggMAE&url=http%3A%2F%2Fmim.promexico.gob.mx%2Fwork%2Fsites%2Fmim%2Fresources%2FLocalContent%2F356%2F3%2F130806_Industria_autopartes_ES.pdf&usg=A

- Reinoso Carrasco, J. (2014). DETERMINACION DE TOXICIDAD DEL ALUMINIO PRESENTE EN EL SISTEMA DE ALCANTARILLADO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE UCUBAMBA DE LA CIUDAD DE CUENCA. CUENCA, AZUAY, ECUADOR.
- Román Ortega, F. (1992). *Introducción a la recuperación y reciclado de los metales no férricos*. España: Instituto Tecnológico Geominero de España.
- Rubino Gonzáles, D. (2007). Reciclaje de aluminio. En d. Rubino González , *Utilización de los lodos rojo de bauxita en la contención e enactivación de residuos tóxicos peligrosos* (pág. 791). Santiago de Compostela.
- rubipxndoxitx. (s.f.). *Reciclaje de aluminio*. Recuperado el 21 de 10 de 2015, de <http://rubipxndx.blogspot.com/>
- Saiz Gomez, C. (13 de FEBRERO de 2013). *AEF*. Recuperado el 07 de DICIEMBRE de 2015, de <http://carlossaiz.blogspot.com/2013/02/aluminio-uso-en-el-automovil.html>
- Transito, A. N. (2015). *Agencia Nacional de Transito*. Recuperado el 17 de 11 de 2015, de Agencia Nacional de Transito: <http://www.ant.gob.ec/index.php/servicios/plan-renova/requisitos-para-chatarrizacion#.VkvqSHSHeP8>
- Valero, P. (28 de 01 de 2016). Entrevista chatarra de aluminio. (C. Patiño, Entrevistador)
- Virginie, M. (2011). *Los caminos del reciclaje*. Barcelona: NUEvos Emprendimientos Editoriales S.L.
- World Metal Statistics. (30 de 12 de 2009). *aluminio*. Recuperado el 22 de 12 de 2015, de aluminio:
http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwjG4ZG-1u7JAhVDHh4KHXRNb2AQFggaMAA&url=http%3A%2F%2Fsitresources.worldbank.org%2FINTGBLPROSPECTSPA%2F64218944-1106889875430%2F22476241%2Faluminum_SP.pdf&usg=AFQjCNEP_qdaKKr

ANEXOS

Anexo 1: Norma DIN 1725

Selecting Aluminum Alloys

Aluminum (Al) die casting alloys have a specific gravity of approximately 2.7 g/cc, placing them among the lightweight structural metals. The majority of die castings produced worldwide are made from aluminum alloys.

Six major elements constitute the die cast aluminum alloy system: silicon, copper, magnesium, iron, manganese, and zinc. Each element affects the alloy both independently and interactively.

This aluminum alloy subsection presents guideline tables for chemical composition, typical properties, and die casting, machining and finishing characteristics for 11 aluminum die casting alloys. This data can be used in combination with design engineering tolerancing guidelines for aluminum die casting and can be compared with the guidelines for other alloys in this section and in the design engineering section.

Alloy A380 (ANSI/AA A380.0) is by far the most widely cast of the aluminum die casting alloys, offering the best combination of material properties and ease of production. It may be specified for most product applications. Some of the uses of this alloy include electronic and communications equipment, automotive components, engine brackets, transmission and gear cases, appliances, lawn mower housings, furniture components, hand and power tools.

Alloy 383 (ANSI/AA 383.0) and alloy **384 (ANSI/AA 384.0)** are alternatives to A380 for intricate components requiring improved die filling characteristics. Alloy 383 offers improved resistance to hot cracking (strength at elevated temperatures).

Alloy A360 (ANSI/AA A360.0) offers higher corrosion resistance, superior strength at elevated temperatures, and somewhat better ductility, but is more difficult to cast.

While not in wide use and difficult to cast, alloy **43 (ANSI/AA C443.0)** offers the highest ductility in the aluminum family. It is moderate in corrosion resistance and often can be used in marine grade applications.

Alloy A13 (ANSI/AA A413.0) offers excellent pressure tightness, making it a good choice for hydraulic cylinders and pressure vessels. Its casting characteristics make it useful for intricate components.

Alloy 390 (ANSI/AA B390.0) was developed for automotive engine blocks. Its resistance to wear is excellent; its ductility is low. It is used for die cast valve bodies and compressor housings in pistons.

Alloy 218 (ANSI/AA 518.0) provides the best combination of strength, ductility, corrosion resistance and finishing qualities, but it is more difficult to die cast.

Anexo 2: Norma NTE INEN 2505-2015



Quito – Ecuador

NORMA
TÉCNICA
ECUATORIANA

NTE INEN 2505
Primera revisión

CHATARRA METÁLICA FERROSA. ACOPIO. REQUISITOS

METALLIC FERROUS SCRAP ACCUMULATION. REQUIREMENTS

Correspondencia:

DESCRIPTORES: Metalurgia, productos de hierro y acero en general, chatarra metálica, acopio, requisitos
ICS: 77.140.01

6
Páginas

Contenido	Página
1. OBJETO.....	1
2. ALCANCE.....	1
3. REFERENCIAS NORMATIVAS.....	1
4. DEFINICIONES.....	1
5. CLASIFICACIÓN.....	3
6. REQUISITOS.....	4
6.1 Requisitos específicos.....	4
6.2 Requisitos complementarios.....	4
APÉNDICE Z.....	6
BIBLIOGRAFÍA.....	6

PROYECTO A2

NTE INEN 2505

Norma Técnica Ecuatoriana	CHATARRA METÁLICA FERROSA. ACOPIO. REQUISITOS	NTE INEN 2505:2015
---------------------------------	--------------------------------------------------	-----------------------

1. OBJETO

Esta norma establece los requisitos para la recolección, almacenaje, limpieza y clasificación de chatarra metálica ferrosa.

2. ALCANCE

Esta norma no aplica al proceso de fundición.

3. REFERENCIAS NORMATIVAS

Los siguientes documentos, en su totalidad o en parte, son referidos y son indispensables para su aplicación. Para referencias fechadas, solamente aplica la edición citada. Para referencias sin fecha, aplica la última edición del documento de referencia (incluyendo cualquier enmienda).

NTE INEN 146, *Cascos de seguridad para uso industrial. Requisitos e inspección*

NTE INEN 1926, *Calzado de trabajo y de seguridad. Requisitos*

NTE INEN 2068, *Higiene y seguridad. Equipos de protección respiratoria. Definiciones*

NTE INEN 2348, *Seguridad. Respiradores de protección contra partículas suspendidas en el aire. Requisitos*

UNE-EN 166, *Protección individual de los ojos. Especificaciones*

UNE-EN 388, *Guantes de protección contra riesgos mecánicos*

UNE-EN 352-1, *Protectores auditivos. Requisitos generales. Parte 1: Orejeras*

4. DEFINICIONES

Para efectos de esta norma se adoptan las siguientes definiciones:

4.1 Chatarra ferrosa. Cualquier material ferroso de distinta procedencia, destinado al reciclaje, para ser utilizado como materia prima.

4.2 Chatarra no ferrosa. Constituida por metales no ferrosos de desecho (los principales: plomo, cobre, aluminio, zinc, estaño, bronce) destinados a reciclaje para ser usados como materia prima.

4.3 Chatarra limpia. Es la chatarra que se encuentra libre de materiales contaminantes y desechos peligrosos. Se aceptará presencia de materiales contaminantes y/o desechos peligrosos en cantidades inevitables que sean inherentes al tipo de chatarra y su procedencia o que se generan durante el almacenamiento y manipuleo bajo condiciones atmosféricas normales.

4.4 Materiales contaminantes. Materiales que al fundirse junto con la chatarra pueden generar un impacto negativo al ambiente y/o al proceso.

4.5 Desechos peligrosos. Son aquellos desechos sólidos, pastosos, líquidos o gaseosos resultantes de un proceso de producción, transformación, reciclaje, utilización o consumo y que contengan algún compuesto que tenga características reactivas, inflamables, corrosivas, infecciosas,

NTE INEN 2505

radiactivas o tóxicas, que represente un riesgo para la salud humana, los recursos naturales y el ambiente de acuerdo a las disposiciones legales vigentes.

4.6 Elementos indeseables. Son elementos que pueden contener desechos peligrosos y que suelen presentarse frecuentemente en la chatarra.

4.7 Chatarra radiactiva. Es la chatarra que contiene material radiactivo o que ha sido contaminada por contacto con material radiactivo.

4.8 Chatarra no compactada. Chatarra que no ha sido sometida a un proceso de reducción de volumen.

4.9 Chatarra Compactada. Chatarra que ha sido procesada en prensas compactadoras para aumentar su densidad, para facilitar su transporte, almacenaje y utilización final.

4.10 Industrialización de la chatarra. Someter a la chatarra a procesos de preparación previa a su entrega al cliente final. Estos procesos pueden ser: limpieza, clasificación, compactación, corte o fragmentación.

4.11 Chatarra cortada. Chatarra que recibió un proceso previo de corte por los diferentes métodos existentes, para facilitar su transporte, almacenaje y utilización final.

4.12 Chatarra fragmentada. Chatarra que ha sido procesada mediante molinos (fragmentadoras), para facilitar su limpieza, clasificación, transporte, almacenaje y utilización final.

4.13 Chatarra metálica industrial o de generación directa. Comprende los residuos, recortes, productos fuera de especificaciones y desechos de materiales metálicos generados en los diferentes procesos de producción, además de maquinaria obsoleta o en desuso.

4.14 Generador de chatarra metálica industrial. Son las empresas que en sus procesos de transformación generan chatarra metálica.

4.15 Chatarra doméstica. Está constituida por electrodomésticos no electrónicos y muebles metálicos.

4.16 Chatarra electrónica. Está constituidos por equipos electrónicos.

4.17 Materiales y/o maquinarias obsoletas. Es la proveniente de: edificios demolidos, vehículos, repuestos, maquinaria y equipos tecnológicos en desuso.

4.18 Recolección de chatarra. Es la acción de reunir chatarra de tipo doméstica, industrial, automotriz y tecnológica.

4.19 Recolector. Persona cuya actividad económica consiste en la recolección de materiales reciclables.

4.20 Recepción de chatarra. Es la acción de recibir la chatarra metálica reunida por los recolectores en los centros de acopio.

4.21 Limpieza de la chatarra. Es la acción de separar la chatarra ferrosa, de los materiales contaminantes y de la chatarra contaminada con desechos peligrosos.

4.22 Clasificación de la chatarra. Es la acción de separar la chatarra metálica en sus distintas clases.

4.23 Desguace. Deshacer o desarmar maquinaria, vehículos, instalaciones en general, a tamaños que permitan el desmontaje y traslado de las piezas individuales a las áreas de preparación (corte).

4.24 Corte. Es el proceso de dividir la chatarra mediante los siguientes procesos: oxicorte, plasma, cizalla o tijera, a tamaños que permitan su utilización en los hornos de fundición.

NTE INEN 2505

- 4.25 Fragmentación.** Moler o desmenuzar chatarra.
- 4.26 Estiba.** Carga, descarga y distribución ordenada de la chatarra.
- 4.27 Estibador.** Persona que carga, descarga y distribuye convenientemente la chatarra.
- 4.28 Centro de acopio artesanal.** Es el lugar donde se recibe la chatarra de los recolectores. En el caso de la chatarra ferrosa, la capacidad máxima de comercialización no debe superar las 500 toneladas de chatarra mensuales.
- 4.29 Centro de acopio industrial.** Es el lugar donde se recibe la chatarra de los recolectores, los centros de acopio artesanales o por compra directa a generadores industriales. Con capacidad superior a lo indicado en el numeral 4.28.
- 4.30 Cliente final.** Es quien recibe la chatarra metálica, para fundirla o comercializarla, nacional o internacionalmente, sujetándose a las normas establecidas por el Convenio de Basilea y el Ministerio de Industria y Productividad.
- 4.31 Agua de escorrentía.** Es el agua que escurre de un lote de chatarra almacenada a cielo abierto.

5. CLASIFICACIÓN

La chatarra metálica ferrosa se clasifica en:

- 5.1 Chatarra clase A.** Acero al bajo carbono o chatarra de acero (perfiles estructurales, planchas o chapas negras o galvanizadas, tubería, acero naval, restos de maquinaria industrial, agrícola y caminera, varilla para la construcción), de espesor mayor a 3 mm, en piezas individuales de dimensiones no mayores a 400 mm por lado.
- 5.2 Chatarra clase B – para oxicorte.** Acero al bajo carbono o chatarra de acero (perfiles estructurales, planchas o chapas negras o galvanizadas, tubería, acero naval, restos de maquinaria industrial, agrícola y caminera, varilla para la construcción), de espesor mayor a 3 mm, en piezas individuales de dimensiones mayores a 400 mm por lado.
- 5.3 Chatarra clase C - para compactación o para prensa cizalla.** Acero al bajo carbono o chatarra de acero (hojalatas, virutas, alambre, alambón, chapa delgada negra o galvanizada), de espesor menor a 3 mm. No deben incluirse materiales estañados, porcelanizados, con esmaltado vítreo o emplomados.
- 5.4 Pacas tipo 1.** Pacas prensadas constituidas por desperdicio de lata nueva (lámina o chapa) negra de acero de bajo carbono. Debe estar libre de otras aleaciones y exenta de pintura u otro recubrimiento. Las pacas, para consumo nacional deben tener un tamaño máximo de 500 mm x 500 mm x 500 mm.
- 4.1.5 Pacas tipo 2.** Pacas prensadas constituidas por lata vieja de acero al carbono procedente de carrocerías de automóviles, lata negra, lata negra pintada, hojalata desestañada, lata de acero galvanizado, alambre, resortes. No deben incluirse materiales estañados, porcelanizados, con esmaltado vítreo o emplomados. Libre de revestimiento no metálico. Puede incluir material químicamente desestañado. Las pacas, para consumo nacional deben tener un tamaño máximo de 500 mm x 500 mm x 500 mm.
- 5.6 Pacas tipo 3.** Pacas prensadas constituidas por lata vieja de acero al carbono procedente de carrocerías de automóviles, lata negra, lata negra pintada, hojalata desestañada, lata de acero galvanizado, alambre, resortes. Puede incluirse materiales estañados, porcelanizados, con esmaltado vítreo o emplomados. Las pacas, para consumo nacional deben tener un tamaño máximo de 500 mm x 500 mm x 500 mm.

NTE INEN 2505

5.7 Chatarra de hierro fundido tipo 1. Hierro colado (bloques de cilindros, carcasas de motor, cajas de cigüeñal, partes de maquinaria), limpios, libres de grasa y de metales no ferrosos. Su tamaño no debe ser mayor de 500 mm x 500 mm x 500 mm.

5.8 Chatarra de hierro fundido tipo 2. Especificaciones similares a la chatarra de hierro fundido tipo 1, pero en tamaños más grandes a 500 mm x 500 mm x 500 mm.

Los centros de acopio se clasifican en:

- Artesanales
- Industriales

6. REQUISITOS

6.1 Requisitos específicos

6.1.1 Personal

El personal que opera el equipo de detección de material radiactivo en las instalaciones del cliente final, debe estar capacitado y certificado en la operación de dicho equipo.

El personal encargado del control de la presencia de material radiactivo debe estar capacitado en el procedimiento a seguir cuando sea detectado este material, conforme al manual de procedimientos del cliente final.

Todo el personal que trabaje o esté en contacto con la chatarra, debe estar capacitado para detectar visualmente los posibles desechos peligrosos y aplicar el procedimiento correspondiente conforme al manual de procedimientos del centro de acopio industrial.

6.2 Requisitos complementarios

Los centros de acopio industriales deben contar con un área de descarga y clasificación, acorde a los volúmenes que manejan, de concreto, con canal perimetral para recolectar posibles derrames.

Los pisos donde se realice los procesos de drenado de líquidos, oxicorte, compactación, cizallado y trituración deben ser de concreto y contar con canales para recolectar posibles derrames.

Para la chatarra limpia y/o sucia se debe designar lugares específicos para evitar su contaminación o mezclas accidentales entre ellas.

Las zonas donde se realiza la limpieza y/o la clasificación serán claramente identificadas y deben contar con barreras físicas.

Los centros de acopio industriales deben contar con un área de almacenamiento provisional de desechos peligrosos, con piso de concreto, techada y con señalización. Esta área debe contar con canales periféricos de recolección construidos de hormigón, con una profundidad mínima de 15 cm bajo el nivel del suelo. Estos canales deben conectarse a una fosa o sumidero especial de tratamiento, con el fin de que las áreas cercanas no se contaminen y no deben estar directamente conectados al alcantarillado público.

El lugar donde se depositan los desechos peligrosos debe contar con un sistema contra incendio.

En los centros de acopio industriales, el área donde se almacena la chatarra debe contar con un cerramiento que minimice el impacto visual.

NTE INEN 2505

En las instalaciones del cliente final, cada una de las entradas de chatarra contará con un sistema para detección de materiales radiactivos, instalado y en funcionamiento.

Los accesos a la zona de aislamiento de la chatarra contaminada con material radiactivo, debe estar debidamente señalizados, libre de obstáculos y con un ancho mínimo de 3 m, permitir el paso únicamente a personal capacitado.

Todo el personal que este en contacto con la chatarra debe utilizar los equipos de protección personal (EPP), de acuerdo al trabajo que realiza y al área que transite como se detalla en la tabla 1.

TABLA 1. Equipos de protección

Partes del cuerpo	Equipo	Norma técnica
Cabeza	Casco industrial de seguridad	NTE INEN 146
Ojos	Gafas protección	UNE-EN 166
Manos	Guantes trabajo pesado	UNE-EN 388
Pies	Calzado punta de acero	NTE INEN 1926
Cuerpo	Ropa de mezclilla	
Oídos	Protectores auditivos	UNE-EN 352-1
Sistema respiratorio	Equipo de protección respiratoria	NTE INEN 2068 NTE INEN 2348

NTE INEN 2505

APÉNDICE Z

BIBLIOGRAFÍA

Guía para la Gestión Integral de Residuos Peligrosos, Fundamentos, Tomo I; Centro Coordinador del Convenio de Basilea para América Latina y el Caribe.

Guía para la Gestión Integral de Residuos Peligrosos, Fichas Temáticas, Tomo II; Centro Coordinador del Convenio de Basilea para América Latina y el Caribe

Scrap Specifications Circular 2014, Guidelines for Nonferrous Scrap, Ferrous Scrap, Glass, Cullet, Paper, Stock, Plastic Scrap, Electronics Scrap, Tire Scrap

IRAM-IAS U 500-216, *Chatarra ferrosa, Especificaciones generales*

NTE INEN 2288:2000, *Productos químicos industriales peligrosos. Etiquetado de precaución. Requisitos*

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Documento: NTE INEN 2505 **TÍTULO:** CHATARRA METÁLICA FERROSA. ACOPIO. REQUISITOS **Código ICS:** 77.140.01

<p>ORIGINAL: Fecha de iniciación del estudio: 2015-05-01</p>	<p>REVISIÓN: La Subsecretaría de la Calidad del Ministerio de Industrias y Productividad aprobó este proyecto de norma Oficialización con el Carácter de por Resolución No. publicado en el Registro Oficial No. Fecha de iniciación del estudio:</p>
-----------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fechas de consulta pública:

Comité Técnico de Normalización:
Fecha de iniciación:
Integrantes del Comité:

Fecha de aprobación:

NOMBRES:

INSTITUCIÓN REPRESENTADA:

Otros trámites: Esta NTE INEN 2505:2015(1ra revisión), reemplaza a la NTE INEN 2505:2010(1ra edición)

La Subsecretaría de la Calidad del Ministerio de Industrias y Productividad aprobó este proyecto de norma

Oficializada como:	Por Resolución No.	Registro Oficial No.
--------------------	--------------------	----------------------

Anexo 3: Norma NTE INEN 2250-2013

NTE INEN 2250

TABLA 1. Límites de la composición química

Aleación		Límites	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Otros c/u total	Aluminio
ISO	ANSI/ ASTM		%	%	%	%	%	%	%	%		%
Al 99,5	1050A	máx.	0,25	0,4	0,05	0,05	0,05	-	0,07	0,05	0,03	Resto
		mín.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	99,5
Al 99,6	1060A	máx.	0,25	0,35	0,05	0,03	0,03	-	0,05	0,03	0,03	Resto
		mín.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	99,5
Al 99,0 Cu	1100	máx.	0,95(Si+Fe)		0,2	0,05	-	-	0,1	-	0,05/0,15	Resto
		mín.	-	-	0,05	-	-	-	-	-	-	99
Al 99,0	1200	máx.	1,0(Si	+Fe)	0,05	0,05	-	-	0,1	0,05	0,05/0,15	Resto
		mín.	-	-	0,05	-	-	-	-	-	-	99
Al Cu4SiMg	2014	máx.	0,5	0,7	4,5	1,2	0,8	0,1	0,25	0,15	0,05/0,15	Resto
		mín.	-	-	3,8	0,4	0,2	-	-	-	-	Resto
Al Cu4Mg1	2024	máx.	0,5	0,5	5	0,9	1,8	0,1	0,25	0,15	0,05/0,15	Resto
		mín.	-	-	3,9	0,3	1,2	-	-	-	-	Resto
Al Cu6MN	2219	máx.	0,2	0,3	6,8	0,4	0,2	-	0,1	0,1	0,05/0,15	Resto
		mín.	-	-	5,8	0,2	-	-	-	0,02	-	Resto
Al Mn1Cu	3003	máx.	0,6	0,7	0,25	1,5	-	-	0,1	-	0,05/0,15	Resto
		mín.	-	-	-	1	-	-	-	-	-	Resto
Al Mn1Mg1	3004	máx.	0,3	0,7	0,2	1,5	1,3	-	0,25	-	0,05/0,15	Resto
		mín.	-	-	0,05	1	0,8	-	-	-	-	Resto
Al Mn1	3103	máx.	0,5	0,7	0,1	1,5	0,3	0,1	0,2	-	0,05/0,15	Resto
		mín.	-	-	-	0,9	-	-	-	-	-	Resto
Al Mg2,5	5052	máx.	0,25	0,4	0,1	1	2,8	0,35	0,1	-	0,05/0,15	Resto
		mín.	-	-	-	-	2,2	0,15	-	-	-	Resto
AlMg4,5Mn0,7	5083	máx.	0,4	0,4	0,1	1	4,9	0,25	0,25	0,15	0,05/0,15	Resto
		mín.	-	-	-	0,4	4	0,05	-	-	-	Resto
Al Mg4 Al Mg4,5	5086	máx.	0,4	0,5	0,1	0,7	4,5	0,25	0,25	0,15	0,05/0,15	Resto
		mín.	-	-	-	0,2	3,5	0,05	-	-	-	Resto
Al Mg3,5	5154	máx.	0,25	0,4	0,1	1	3,9	0,35	0,2	0,2	0,05/0,15	Resto
		mín.	-	-	-	-	3,1	0,15	-	-	-	Resto
Al Mg2	5251	máx.	0,4	0,5	0,15	0,5	2,4	0,15	0,15	0,15	0,05/0,15	Resto
		mín.	-	-	-	0,1	0,7	-	-	-	-	Resto
Al Mg3Mn	5454	máx.	0,25	0,4	0,1	1	3	0,2	0,25	0,2	0,05/0,15	Resto
		mín.	-	-	-	0,5	2,4	0,05	-	-	-	Resto
Al Mg3Mn	5456	máx.	0,25	0,4	0,1	1	5,5	0,2	0,25	0,2	0,05/0,15	Resto
		mín.	-	-	-	0,5	4,7	0,05	-	-	-	Resto
Al Mg3	5754	máx.	0,4	0,4	0,1	0,5	3,6	0,3	0,2	0,15	0,05/0,15	Resto
		mín.	-	-	-	-	2,6	-	-	-	-	Resto
Al SiMg	6005	máx.	0,9	0,35	0,1	0,1	0,6	0,1	0,1	0,1	0,05/0,15	Resto
		mín.	0,6	-	-	-	0,4	-	-	-	-	Resto
Al SiMg(A)	6005A	máx.	0,9	0,35	0,3	0,5	0,7	0,3	0,2	0,1	0,05/0,15	Resto
		mín.	0,5	-	-	-	0,4	-	-	-	-	Resto
Al MgSi	6060	máx.	0,6	0,3	0,1	0,1	0,6	0,05	0,15	0,1	0,05/0,15	Resto
		mín.	0,3	0,1	-	-	0,35	-	-	-	-	Resto
Al Mg1SiCu	6061	máx.	0,8	0,7	0,4	0,15	1,2	0,35	0,25	0,15	0,05/0,15	Resto
		mín.	0,4	-	0,15	-	0,8	0,04	-	-	-	Resto
Al Mg0,7Si	6063	máx.	0,6	0,35	0,1	0,1	0,9	0,1	0,1	0,1	0,05/0,15	Resto
		mín.	0,2	-	-	-	0,45	-	-	-	-	Resto
Al Mg0,7SiA	6063A	máx.	0,6	0,35	0,1	0,15	0,9	0,05	0,15	0,1	0,05/0,15	Resto
		mín.	0,3	0,15	-	-	0,6	-	-	-	-	Resto
Al Si1MgMn	6082	máx.	1,3	0,5	0,1	1	1,2	0,25	0,2	0,1	0,05/0,15	Resto
		mín.	0,7	-	-	0,4	0,6	-	-	-	-	Resto
Al Mg1SPb	6262	máx.	0,8	0,7	0,4	0,15	1,2	0,14	0,25	0,15	0,05/0,15	Resto
		mín.	0,4	-	0,15	-	0,8	0,04	-	-	-	Resto
Al Si1Mg0,5Mn	6351	máx.	1,3	0,5	0,1	0,8	0,8	-	0,2	0,2	0,05/0,15	Resto
		mín.	0,7	-	-	0,4	0,4	-	-	-	-	Resto
Al Zn5,5MgCu	7075	máx.	0,4	0,5	2	0,3	2,9	0,28	6,1	0,2	0,05/0,15	Resto
		mín.	-	-	1,2	-	2,1	0,18	5,1	-	-	Resto
Al Zn7MgCu	7178	máx.	0,4	0,5	2,4	0,3	3,1	0,28	7,3	0,2	0,05/0,15	Resto
		mín.	-	-	1,6	-	2,4	0,18	6,3	-	-	Resto
Aleación		Límites	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Otros	Aluminio

Anexo 4: Norma ASTM E716-10



Designation: E716 – 10

Standard Practices for Sampling and Sample Preparation of Aluminum and Aluminum Alloys for Determination of Chemical Composition by Spectrochemical Analysis¹

This standard is issued under the fixed designation E716; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

1. Scope

1.1 These practices describe procedures for producing a chill cast disk sample from molten aluminum during the production process, and from molten metal produced by melting pieces cut from products.

1.2 These practices describe a procedure for obtaining qualitative results by direct analysis of product using spark atomic emission spectroscopy.

1.3 These practices describe procedures for preparation of samples and products prior to analysis.

1.4 The values stated in SI units are to be regarded as standard. The values given in parentheses are mathematical conversions to inch-pound units that are provided for information only and are not considered standard.

1.5 *This standard does not purport to address all of the safety problems, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety problems, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.* Specific precautionary statements are given in 6.1 and 7.2.

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards*:²

E135 Terminology Relating to Analytical Chemistry for Metals, Ores, and Related Materials

E401 Practice for Bonding Thin Spectrochemical Samples and Standards to a Greater Mass of Material (Withdrawn 1995)³

¹ These practices are under the jurisdiction of ASTM Committee E01 on Analytical Chemistry for Metals, Ores, and Related Materials and are the direct responsibility of Subcommittee E01.04 on Aluminum and Magnesium.

Current edition approved Sept. 1, 2010. Published December 2010. Originally approved in 1980. Last previous edition approved in 2002 as E716 – 94 (2002). DOI: 10.1520/E0716-10.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

³ The last approved version of this historical standard is referenced on www.astm.org.

E607 Test Method for Atomic Emission Spectrometric Analysis Aluminum Alloys by the Point to Plane Technique Nitrogen Atmosphere (Withdrawn 2011)³

E1251 Test Method for Analysis of Aluminum and Aluminum Alloys by Spark Atomic Emission Spectrometry

3. Terminology

3.1 For definitions of terms used in this practice, refer to Terminology E135.

4. Summary of Practices

4.1 Molten metal representative of the furnace melt is poured or drawn by vacuum into a specified mold to produce a chill-cast disk. The disk is machined to a specified depth that represents the average composition and produces an acceptable surface for analysis by spark atomic emission spectroscopy.

4.2 Pieces of solid aluminum fabricated, cast, or wrought products are remelted and cast into molds or briquetted then

4.2 Pieces of solid aluminum fabricated, cast, or wrought products are remelted and cast into molds or briquetted then remelted and cast into molds.

4.3 Product can be qualitatively analyzed directly without remelting after suitable surface preparation. Product with insufficient mass for direct analysis may be bonded to more massive material prior to analysis.

4.4 Special practices are included for the sampling and analysis of aluminum-silicon alloys, containing greater than 14 % silicon.

5. Significance and Use

5.1 The practice for taking a sample of molten metal during production and producing a chill cast disk, used in conjunction with the following appropriate quantitative spark atomic emission spectrochemical methods, Test Methods E607 and E1251, is suitable for use in manufacturing control or certifying, or both, that the entire lot of alloy sampled meets established composition limits.

5.2 The practice for melting a piece of a product to produce a chill cast disk analyzed in conjunction with the following appropriate quantitative spark atomic emission spectrochemical methods, Test Methods E607 and E1251, is suitable, if a

 E716 - 10

representative sample is taken, for determining if the piece sampled meets Aluminum Association composition limits.

5.3 The practice for direct analysis of product is suitable for determining an approximate composition of the piece analyzed

6. Apparatus

6.1 *Ladle*, capable of holding a minimum of 250 g (8.8 oz) of molten metal, with a handle of sufficient length to reach into a furnace, trough, or crucible. The ladle should be lightly coated with a tightly adhering ladle wash that will serve in part to prevent contamination of the sample and also prevent contact of molten aluminum with metal oxides, that is, rust. (**Warning**—Traces of moisture in the coating may cause dangerous spattering.)

NOTE 1—A suitable ladle wash may be prepared as follows: Mix 255 g (9 oz) of fine whiting (CaCO_3) with 3.8 L (1 gal) of water and boil for 20 min. Add 127 g (4.5 oz) of sodium silicate solution (40 °Bé to 42 °Bé) and boil for 30 min. Stir well before using.

NOTE 2—Molten aluminum in contact with rust may initiate a thermite reaction.

6.2 *Sample Molds* shall be capable of producing homogeneous chill-cast disks having smooth surfaces, free of surface pockets and porosity. These chill cast disks should have a spectrochemical response similar to the reference materials used in preparing the analytical curves and should at least have a spark to spark repeatability of no more than 2 % relative on major elements. They must be representative of the melt in the region excited. Several types of molds have been found acceptable:

6.2.1 *Type B*,⁴ center-pour mold, is shown in Fig. 1. The advantage of this mold is that the sample obtained may be excited around the entire annular area. This mold produces a horizontally cast disk with the sprue over the center of one side. The mold dimensions are such as to produce a disk approximately 50 mm to 64 mm (1.97 in. to 2.5 in.) in diameter by 6 mm to 13 mm (0.24 in. to 0.50 in.) in thickness. A circular horizontally cast disk with the sprue over the center of one side. The mold dimensions are such as to produce a disk approximately 50 mm to 64 mm (1.97 in. to 2.5 in.) in diameter by 6 mm to 13 mm (0.24 in. to 0.50 in.) in thickness. A circular central recess 10 mm to 20 mm (0.4 in. to 0.8 in.) in diameter on one side of the disk facilitates machining of that side in preparation for excitation. It also promotes more uniform freezing of the raised peripheral area, but the corresponding raised portion of the mold must not be so large as to restrict the

throat for the sprue. A slight taper, 1° to 2°, on the hinged portion of the mold facilitates opening when a disk has been cast. The mold material should be steel or cast iron and should weigh approximately 3.5 kg to 4.5 kg (8 lb to 10 lb).

6.2.2 *Vacuum Mold*⁵ is shown in Fig. 2. This mold produces disks that are 38 mm (1.5 in.) in diameter and 13 mm (0.5 in.) thick and weigh approximately 40 g (1.4 oz). The mold consists of a solid copper base and a porous bronze wall in the form of a composite mold insert which is located in a steel mold body. A graphite coated cast iron tip is attached to the mold body by a spring clamp assembly. The vacuum source is typically a rubber syringe bulb connected to the mold body.

6.2.3 *Other Types of Molds*—Other molds of different types, materials, and dimensions may be substituted provided that the uniformity of the samples so obtained is sufficient for the intended use of the results. Furthermore such samples should have a sizeable area that represents the bulk composition of the entire sample and have a spectrochemical response similar to the reference materials used for preparing the analytical curve.

6.3 *Lathe or Milling Machine*, capable of machining a smooth flat surface and capable of repeating the selected depth of cut to within ± 0.013 mm (± 0.005 in.).

6.4 *Tool Bits*—Diamond tipped, alloy steel, or cemented carbide bits are recommended. The best shape of the lathe tool varies with the type and speed of the lathe. A tool bit design that has been found satisfactory for most aluminum alloys is shown in Fig. 3.

6.5 *Portable Electric Melting Furnace*,⁶ equipped with a graphite crucible with a minimum capacity of 200 g (7.1 oz) of molten aluminum and capable of maintaining temperatures for melting aluminum alloys.

7. Materials

7.1 *Graphite Rods*, of suitable diameter for stirring the molten aluminum.

7. Materials

7.1 *Graphite Rods*, of suitable diameter for stirring the molten aluminum.

7.2 *Phosphorus*, red, amorphous, or other suitable source of phosphorus for grain refining of high silicon alloys during the

⁴ A portable Vacuum Sampler, available from Aluminum Company of America, Alcoa Center, PA 15069, has been found suitable for this purpose.

⁶ A Jelrus Handy-Melt furnace and graphite crucible, available from Cole-Parmer Instrument Co., 7425 North Oak Park Ave., Chicago, IL 60648, has been found suitable for this purpose.

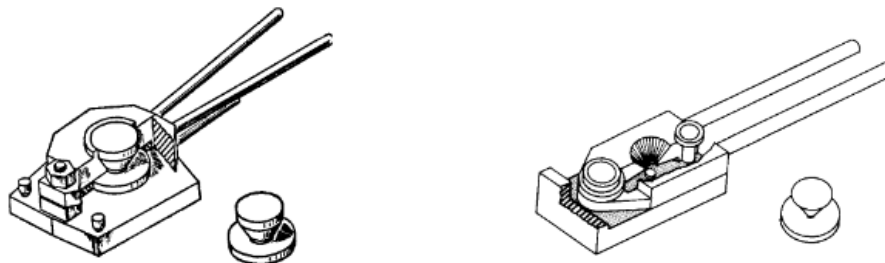


FIG. 1 Type B Mold

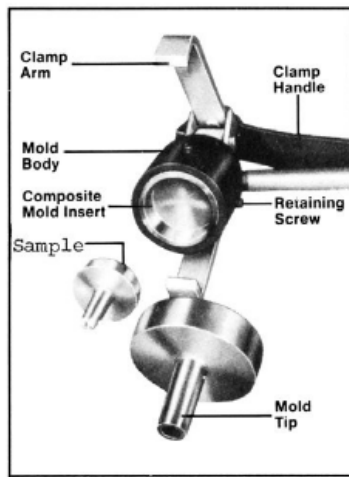


FIG. 2 Mold for Vacuum Cast Samples

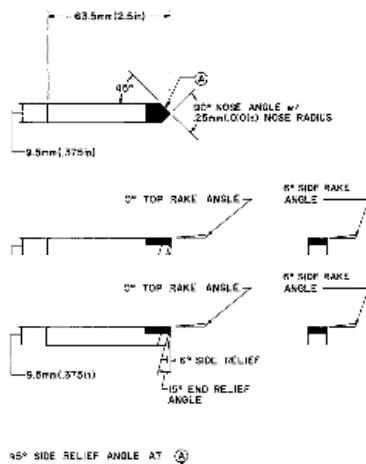


FIG. 3 Tool Bit

remelt procedure. (**Warning**—Provide adequate ventilation when phosphorus is added to molten metal.)

8. Preparation of Samples

8.1 Molten Metal:

8.1.1 Chill-Cast Disk by Molds A or B:

8.1.1.1 When a furnace or crucible of molten metal is to be sampled, the temperature must be well above the point at which any solid phase could be present. Using the ladle or a separate skimming tool, coated with a dry, tightly adhering mold wash (**Note 1**) and free of any remaining previous metal, push as much dross as possible away from the sampling area. Next, dip the ladle sideways into the clear area well below the surface and stir momentarily. Then turn the ladle upright, and quickly withdraw. Two things are thus accomplished, namely, heating the ladle prevents metal freezing on the wall and

obtaining metal well beneath the surface minimizes the danger of inclusion of small particles of oxide.

8.1.1.2 Unless the mold is already hot, cast a preliminary disk into the clean mold in order to preheat it and discard this disk. Remove excess metal from the ladle, dip into the molten metal as before, and fill the mold with an even rate of pour which allows the escape of air from the mold. Do not dump the metal into the mold. Avoid overfilling the sprue, otherwise the mold may be difficult to open. Allow the metal to freeze quietly without jarring. The surface of the disk must be free of any shrinkage, inclusions, cracks, or roughness.

8.1.2 *Chill Cast Disk Using Vacuum Mold*—Skim the dross from the molten metal as in 8.1.1.1, using a skimming tool. Attach the cast iron mold tip to the mold body using the clamp arm assembly. Squeeze the rubber syringe bulb while immersing the mold into the metal to prevent oxide skim from entering the mold tip. Wait about five seconds to allow time for preheating the sampler. Release the rubber syringe bulb to apply vacuum that will draw the metal into the sampler. Remove the mold tip from the metal, detach the mold tip from the mold body, and remove the disk. The surface of the disk must be free of any shrinkage, inclusions, cracks, or roughness.

8.1.3 Machine the disk to appropriate depth for the particular sampler dimensions. Typically a depth of between 14 % and 22 % of the original thickness corresponds to the composition on the phase diagram that best represents the average composition of the whole disk and therefore the actual composition of the melt. It is advisable to determine the most appropriate machining depth for the particular disk thickness used and to target and tightly control that specific depth. Machining to different depths may result in a different analysis and therefore cannot be accepted as valid.

Machining depth for the particular disk thickness used and to target and tightly control that specific depth. Machining to different depths may result in a different analysis and therefore cannot be accepted as valid.

NOTE 3—Aluminum samples shall not be prepared by sanding or grinding. Sanding or grinding tends to smear the relatively soft aluminum phase over the harder constituent phases or cause hard grains to be torn from the sample and may cause biased results for spark atomic emission spectrometry.

8.1.3.1 The machined surface must be smooth and free of scuffs, pits, or inclusions. The ideal surface is neither polished nor visibly grooved but should be a surface showing very fine tool marks. More specifically, the ideal surface may be defined as approximately a 1.6×10^{-3} -mm (63- μ in.) standard machine finish. A surface much finer or much coarser may result in an apparent analytical difference. Furthermore, it is important that both sample and reference material have the same machine finish. Analysis can be made 360° around the disk in the annular area adjacent to the edge, avoiding the center area.

8.1.4 *Other Accepted Molds*—If molds other than Type B or the vacuum mold are used, the same instructions given in 8.1 would apply. In addition, since a mold of different dimensions may result in a different freezing pattern, each new type of mold must be evaluated in order to ascertain the proper depth of machining to represent the true composition of the melt.

8.2 Remelting and Casting a Sample from Fabricated and Cast Products:

E716 – 10

8.2.1 Chill-Cast Disk by Type B Mold, or the Vacuum Mold—When the metal to be analyzed is in wrought or cast form and a destructive test is applicable, remelt a representative portion of the metal at a temperature well above the liquidus line of the alloy. A clay, graphite, or other inert crucible may be used and placed in a convenient laboratory electric furnace. Then cast a portion of the melt in one of the molds as described in 8.1. If the sample is in the form of turnings, thin sheet, or other finely divided material, remove grease or any coatings with a suitable solvent and press into a briquet before melting and proceeding as in 8.1. Details of briquet size and formation are not critical to the success of preparing a melt. The largest briquet that can be successfully formed and that will fit into the remelt crucible will obviously speed up the remelt process. Carry out the melting and casting operation as rapidly as possible, and use as large melt as practical to minimize losses of volatile elements. Follow the procedures in 8.1.1-8.1.3 for preheating each particular sampler type.

NOTE 4—Analysis of samples can be used to determine compliance with composition analysis for the piece sampled if a representative sample is obtained. Direct analysis of samples obtained from fabricated and cast aluminum product shall not be used for determining compliance with composition specifications. Cast lot composition should be determined using samples taken during pouring of castings or ingots.

NOTE 5—Remelting is not satisfactory for the determination of volatile elements such as sodium, calcium, lithium, strontium, and some magnesium may also be lost if the melt is overheated or kept molten for an excessive time.

8.2.2 Direct Analysis of Wrought or Cast Products—Pieces of wrought or cast aluminum product can be analyzed directly on the surface when the sample preparation procedures described in 8.1 cannot be followed, for example, when there is insufficient sample for remelting and casting a disk or where melting would cause loss of a volatile constituent, or where it

8.2.2 Direct Analysis of Wrought or Cast Products—Pieces of wrought or cast aluminum product can be analyzed directly on the surface when the sample preparation procedures described in 8.1 cannot be followed, for example, when there is insufficient sample for remelting and casting a disk or where melting would cause loss of a volatile constituent, or where it is otherwise impractical. The results should be considered qualitative and not quantitative. Segregation of elements during solidification and metallurgical differences between the product and the reference materials used for calibration may cause biased results. Direct analysis of wrought or cast aluminum products should not be used to determine compliance with composition requirements.

8.2.2.1 The sample must be sufficiently massive to prevent undue heating during analysis, and it must have a sufficiently flat surface for excitation. Further, reference materials having a similar spectrochemical response must be available. On sheet and plate samples, machine-off approximately 0.8 mm (0.032 in.) or one fourth of the sample thickness, whichever is the smaller. On other products, machine a flat surface at least 1.3 mm (0.052 in.) below the original surface. Choose the depth, location, and number of areas to be analyzed to provide a representative analysis of the product. In accordance with Practice E401, thin flat material may also be bonded by means of a heat and electrically conducting epoxy-type adhesive to a more massive section to provide a heat sink. In all cases the prepared area must be large and flat enough to form a good seal with the spectrometer spark stand table.

8.3 Hyper-Eutectic Aluminum-Silicon Alloys (Note 6).

NOTE 6—These procedures are required only for the accurate determination of silicon at levels greater than 14 %. Other elements of interest may be determined satisfactorily without either the addition of phosphorus or dilution with high-purity aluminum.

8.3.1 Analysis Without Dilution:

8.3.1.1 Molten Metal—Heat the metal to be sampled to 760 °C (1400 °F). Preheat the sampling ladle. Add red phosphorus in a ratio of 1 g (0.036 oz) per 400 g (14.1 oz) of metal to a ladle of the melt. Stir briskly with a graphite rod, skim, and make a preliminary casting, using the special Type B mold producing a 6-mm (0.24-in.) thick sample. Discard the first disk, and make a second disk for analysis. Remove the sprue, and machine the sample to a depth of 1.1 mm (0.044 in.) below the original surface. Using a carbide-tipped tool which has been used less than 30 times, continue to machine to a depth of 1.2 mm (0.048 in.) below the original surface. A 400-r/min spindle speed and a 0.68-in. (17-mm) radius/min crossfeed are recommended for the final cut. If equivalent analytical performance can be shown, the use of other materials, such as a diamond-tipped bit, may also be used. Reference materials and samples shall be machined under identical conditions.

8.3.1.2 Cast Products—When the metal to be analyzed is in cast form, remelt the metal and prepare a disk sample as in 8.3.1.1. Carry out the melting and casting operation as rapidly as possible. (See Note 6.)

8.3.2 Analysis With Dilution:

8.3.2.1 Molten Metal—Sample the molten metal as in 8.1 or 8.3.1.1, omitting the red phosphorus. Weigh this original sample to 0.01 g, and remelt with a similar amount of 99.99 % aluminum in a laboratory electric furnace. Stir thoroughly with a graphite rod, and cast a new sample, using any of the molds described in 6.2. For Type B molds, preheat the mold on a hot plate at 177 °C (350 °F) and cast a sample for analysis. Make

8.3.1.1, omitting the red phosphorus. Weigh this original sample to 0.01 g, and remelt with a similar amount of 99.99 % aluminum in a laboratory electric furnace. Stir thoroughly with a graphite rod, and cast a new sample, using any of the molds described in 6.2. For Type B molds, preheat the mold on a hot plate at 177 °C (350 °F) and cast a sample for analysis. Make vacuum-cast samples by inserting the mold tip into the molten metal and applying vacuum to draw the metal into the mold cavity.

8.3.2.2 Cast Products—Metal which is in cast form, should be remelted and a disk sample prepared as in 8.3.2.1. Complete the melting and casting operation as rapidly as possible. (See Note 6.)

8.3.2.3 Prepare the diluted sample for analysis by removing the sprue, and machining Type B disks to a depth of 14 % to 22 % of the original thickness. It is advisable to determine the most appropriate machining depth for the particular disk thickness used and to target and tightly control that specific depth. Machining to different depths may result in a different analysis and therefore cannot be accepted as valid. Vacuum cast samples should be machined to a depth of 2.0 mm (0.08 in.) below the original surface. Analyze the diluted sample, using appropriate reference materials with a similar composition and metallurgical structure. Dilutions with pure aluminum can be made with ratios other than 1:1 in order to match the diluted composition with existing reference materials. Volatile elements such as sodium and calcium can be lost on remelting and should be determined on the original sample.



9. Calculations for Analysis with Dilution

9.1 Calculate the composition of the original sample by multiplying the composition of the diluted sample by the dilution ratio. The dilution ratio is computed as follows:

$$\text{Dilution ratio} = \frac{W_1 + W_2}{W_2} \quad (1)$$

where:

W_1 = weight of 99.99 % aluminum, and


W_2 = weight of original material to be diluted.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the ASTM website (www.astm.org/COPYRIGHT).

Anexo 5: Norma ASTM E876-89

 E 876 – 89 (Reapproved 1994)¹

5.5 *Standard Error*—Determine from the differences between the assumed true concentrations of reference materials and the concentrations calculated from a calibration using (see Note 4):

$$SE = \sqrt{\sum(c_d - c_i)^2 / f} \quad (13)$$

where:

- c_d = a concentration determined from a calibration,
- c_i = an accepted true concentration of the same material, and
- f = the degrees of freedom in the observations.

If SE is calculated to determine how well the reference materials fit the curve they have defined, f is the number of observations minus the number of constants in the calibration curve. If SE is calculated with an independent set of reference materials, f equals the number of observations.

5.6 *Confidence Interval*—As discussed in 3.2.3, limits may be set by adding and subtracting from \bar{x} the quantity ks/\sqrt{n} for $\bar{x} - ks/\sqrt{n} \leq \mu \leq \bar{x} + ks/\sqrt{n}$ where the value of k depends upon the confidence level desired. Specifically, for a 95 % confidence level, $k = 1.960$; for 99 %, $k = 2.576$; and for 90 %, $k = 1.645$. These are the “ t ” values which appear in Table 1 for infinite degrees of freedom which is used when the variability is not estimated but known.

5.6.1 In practice, the estimate, s , is known rather than σ . To reflect the uncertainty of substituting s for σ , a larger factor is used to determine the likely interval straddling μ . The practical limit is then calculated by using ts/\sqrt{n} for ks/\sqrt{n} permitting the statement of confidence interval as:

$$\bar{x} - ts/\sqrt{n} \leq \mu \leq \bar{x} + ts/\sqrt{n} \quad (14)$$

TABLE 1 Student's t -Table^a

Degree of Freedom	Probability Level ^b		
	0.10	0.05	0.01
1	6.314	12.706	63.657
2	2.920	4.303	9.925
3	2.353	3.182	5.841
4	2.132	2.776	4.604
5	2.015	2.571	4.032
6	1.943	2.447	3.707
7	1.895	2.365	3.499
8	1.860	2.306	3.355
9	1.833	2.262	3.250
10	1.812	2.228	3.169
12	1.782	2.179	3.085
14	1.761	2.145	2.997
16	1.746	2.120	2.921
18	1.734	2.101	2.878
20	1.725	2.086	2.845
25	1.708	2.060	2.787
30	1.696	2.042	2.750
∞	1.6448	1.9600	2.5758

^a Table available in any standard publication of statistical tables, usually entitled the t -Test for Significance or Distribution of t (Two-Tailed Test). Credit usually given to Fisher, R. A., *Statistical Methods for Research Workers*, published by Oliver and Boyd, Edinburgh, Scotland, 1925–1950.

^b Probability, p , stated decimally, that values will exceed a mean by the stated “ t ” factor times the standard deviation which was estimated at the listed degrees of freedom. For the probability, or confidence level, that a measurement will not exceed this quantity, use $(1 - p) 100$. Thus, for a value for p of 0.05, the confidence level is $(1 - 0.05) 100 = 95\%$. The table can be converted to a One-tail test by dividing the probability level by 2, such as is required for determining detection as described in 6.2.2.

where the multiplier, t , is taken from a Student's t -table, an extract of which is shown in Table 1. The square root of n takes into account that the limits apply to the average of n determinations. The “ t ” values have been computed on the assumption that the errors follow the normal error distribution curve and that the measurements are independent.

5.6.2 Eq 13 can be restated as $\bar{x} - \mu \leq ts/\sqrt{n}$ and $\mu - \bar{x} \leq ts/\sqrt{n}$. When the “ t ” values become critical these expressions become equalities, $\bar{x} - \mu = ts/\sqrt{n}$ and $\mu - \bar{x} = ts/\sqrt{n}$, making the critical “ t ” value become:

$$t = |\bar{x} - \mu| \sqrt{n/s} \quad (15)$$

Note 9—The t and F tables show the probability, decimally, for measurements not to exceed certain values (see Tables 1-3). These translate directly to the confidence level by subtracting the probability from 1 and multiplying by 100. Thus, if the probability for a measurement not to exceed a certain value is 0.05, the confidence level that the measurement will fall within the range indicated by the critical value is $(1 - 0.05)100 = 95\%$.

5.7 *Tests for Outliers*—A detailed test for outliers is described in Practice E 178. Some commonly used procedures are given below:

Note 10—An apparent outlying value may be merely an extreme example of random variability, in which case it should be retained with other data, or it may be the result of gross deviation from the prescribed analytical procedure, or an error in calculating or recording the analysis. The reason for aberrant values may warrant investigation.

5.7.1 For four or more determinations, estimate the standard deviation and then repeat the calculation with the suspect value eliminated. If the second estimate is smaller by a factor of two or more, the suspect value may be excluded. For this test, it may be particularly useful to use the estimate of s , by range of Eq 8.

5.7.2 For triplicate determinations, list the values in increasing or decreasing order as R_1 , R_2 , and R_3 , with R_1 being the suspect value. Calculate as follows:

$$\text{Test ratio} = (R_1 - R_2) / (R_2 - R_3), \text{ provided } R_2 \neq R_3 \quad (16)$$

If the test ratio is larger than 0.941, the suspect value may be rejected with a 95 % confidence that it is an outlier. When the readings are not precise enough to show a difference between R_2 and R_3 , the test may still be done by making one reading higher by 5 in the next decimal place and the other lower by that amount. For example, if the two readings are 1.23, one can be made 1.235, and the other 1.225.

Note 11—The test in 5.7.2 is a special case of the Dixon Criteria. Practice E 178 shows how the Dixon test can be applied to up to 30 observations and lists significant test values for 90 %, 95 %, and 99 % confidence levels.

5.7.3 A more reliable test can be made if there is a good record of the standard deviation or relative standard deviation expected for the level of readings or determinations being made. If pooling was used to make the estimate of s or RSD it should represent an estimation based on a relatively high degrees of freedom, permitting a favorable use of a Student's t -Table (see Table 1). Calculate the average reading and use Eq 13 to determine a confidence interval that encompasses that average. If a suspect value does not fit within these limits, exclude it.

E 876 – 89 (Reapproved 1994)¹

X2. AVERAGE AND VARIANCE

X2.1 Calculations from a Series of Readings

X2.1.1 *Average Measurement*—Arrange the measurement data from Table X1.1 as in Column 1 of Table X2.1. Add the first column to obtain the sum of 995.3. The total number of measurements, n , is 20. Calculate average, \bar{x} , from Eq 1:

$$\bar{x} = 995.3/20 = 49.76 \quad (X2.1)$$

Note that the average was taken to one decimal point more than the original data to avoid rounding errors in further calculations. Election was made to round to an even digit since the calculation to three decimal points came to 49.765.

X2.1.2 *Estimate of Variance, First Method*—Using the \bar{x} obtained in X2.1.1, subtract \bar{x} from each reading as done in Column 2 of Table X2.1. Square each difference and list as done in Column 3. Note that the number of decimal points in Column 3 has been increased to four decimal places to fully reflect the two decimal points in the unsquared differences of Column 2. Add Columns 2 and 3 obtaining the sums 0.10 and 80.4660 respectively. If no errors had been made in the differences in Column 2, the sum would be zero or close to zero. The discrepancy in Table X2.1 is due to the fact that 49.76 was used for \bar{x} instead of 49.765. The degrees of freedom are one less than the number of measurements or $20 - 1 = 19$. Calculate variance, s^2 , from Eq 2:

$$s^2 = 80.4660/19 = 4.2351 \quad (X2.2)$$

X2.1.3 *Estimate of Variance, Second Method*—Obtain the sum of the readings of Column 1, 995.3 as shown in Table X2.1. Calculate the square of each reading as shown in Column 4 and the sum of these squares, 49611.57. Since the total number of measurements was 20, calculate the variance, s^2 , from Eq 3:

$$s^2 = \frac{49611.57 - (995.3)^2/20}{20 - 1} \quad (X2.3)$$

TABLE X2.1 Summations for Average and Variance

x_i	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$	$(x_i)^2$
49.7	-0.06	0.0036	2470.09
51.2	1.44	2.0736	2621.44
52.1	2.34	5.4756	2714.41
51.4	1.64	2.6896	2641.96
53.0	3.24	10.4976	2809.00
49.5	-0.26	0.0676	2450.25
50.9	1.14	1.2996	2590.81
48.0	-3.76	14.1376	2116.00
49.8	0.04	0.0016	2480.04
47.2	-2.56	6.5536	2227.84
50.3	0.54	0.2916	2530.09
49.5	-0.26	0.0676	2450.25
51.1	1.34	1.7956	2611.21
46.7	-3.06	9.3636	2180.89
48.9	-0.86	0.7396	2391.21
47.4	-2.36	5.5696	2246.76
47.4	-2.36	5.5696	2246.76
52.2	2.44	5.9536	2724.84
52.4	2.64	6.9696	2746.76
48.6	-1.16	1.3456	2369.56
Sums	995.3	0.10	80.4660
			49611.57

$$\begin{aligned} &= \frac{49611.57 - 990622.09/20}{19} \\ &= (49611.57 - 49531.1045)/19 \\ &= 80.4655/19 = 4.2350 \end{aligned}$$

X2.1.4 *Estimate of Variance from Duplicate Determinations*—Take the measurement data of Columns A and B in Table X1.1 as duplicate readings and do the same with Columns C and D to form a series of duplicate readings as shown in Table X2.2. Obtain the differences in the duplicate readings as shown in Column 3 and the squares of these differences as shown in Column 4. Obtain the sum of the squares, 120.15, as shown in Column 5. Calculate the variance, s^2 , from Eq 4 using $K = 10$ for the ten pairs of readings:

$$s^2 = 120.15/2(10) = 6.0075 \text{ or } 6.008 \quad (X2.4)$$

X2.1.5 *Pooled Estimate of Variance*—Rearrange the measurement data from Table X1.1 in an arbitrary way to represent five sets of repeat determinations done with varied multiplicities, as shown in Table X2.3. Treat the data in two different ways: first, as if individual variances had been determined on each set, and then, as if these variances had not been previously determined.

X2.1.5.1 The column headed s_i^2 shows individual calculations of variance as determined by either Eq 2 or Eq 3, followed by the degrees of freedom of $n_i - 1$. Weight each variance by multiplying by the degrees of freedom as shown in the column headed $(n_i - 1)s_i^2$. Obtain the sum of this column, 53.715, and also obtain the sum of the preceding degrees of freedom values, 15. Calculate the pooled estimate of variance, s_p^2 , from Eq 5, noting the sums obtained in Table X2.3 are the numerator and denominator, respectively, of Eq 5:

$$s_p^2 = 53.715/15 = 3.581 \quad (X2.5)$$

X2.1.5.2 If individual variances were not determined previously, obtain the sums of readings as shown in the column headed Σx_i in Table X2.3. Square these sums in the next column headed $(\Sigma x_i)^2$ and show total number of readings in the column headed n . Obtain the sum of the n column, 20, which is N , the total of individual measurements. Divide each $(\Sigma x_i)^2$ value by n to obtain the next column and obtain its sum, 49557.854 as shown. Make a final column of the sums of the

TABLE X2.2 Calculations from Duplicates

x_1	x_2	Δx	$(\Delta x)^2$	\bar{x}
49.7	49.5	0.2	0.04	49.6
51.2	50.9	0.3	0.09	51.05
52.1	48.0	6.1	37.21	49.05
51.4	49.8	1.6	2.56	50.6
53.0	47.2	5.8	33.64	50.1
50.3	47.4	2.9	8.41	48.85
49.5	47.4	2.1	4.41	48.45
51.1	52.2	-1.1	1.21	51.65
46.7	52.4	-5.7	32.49	49.55
48.9	49.6	0.3	0.09	48.75
		Sum	120.15	

 E 876 – 89 (Reapproved 1994)^{e1}

TABLE X2.3 Calculations with Different Multiplicates of Measurement

Measurements	s_i^2	$n_i - 1$	$(n_i - 1) s_i^2$	Σx_i	$(\Sigma x_i)^2$	n	$(\Sigma x_i)^2/n$	$\Sigma(x_i)^2$
49.7 51.2 52.1 51.4	1.020	3	3.060	204.4	41779.36	4	10444.840	10447.90
53.0 49.5 50.9	3.103	2	6.206	153.4	23531.56	3	7843.853	7850.06
46.0 49.8 47.2 50.3 49.5	3.463	4	13.852	242.8	58951.84	5	11790.368	11804.22
51.1 46.7 48.9 47.4	3.789	3	11.367	194.1	37674.81	4	9418.703	9430.07
47.4 52.2 52.4 48.6	6.410	3	19.230	200.6	40240.36	4	10060.090	10079.32
Sums		15	53.715			20	49557.854	49611.57

squares of each reading as shown under the heading $\Sigma(x_i^2)$ and obtain the sum of this column, 49611.57. Noting that $k = 5$ for the number of sets of measurements, obtain s_p^2 from Eq 6:

$$s_p^2 = (49611.57 - 49557.854)/(20 - 5) \tag{X2.6}$$

$$= 53.716/15 = 3.581$$

X3. STANDARD DEVIATION AND RELATIVE STANDARD DEVIATION

X3.1 *Estimation from Variance*—Summarize the calculations of variance obtained in Appendix X2 in Table X3.1. The estimate of standard deviation, s , follows directly from the square root operation of Eq 7. Obtain the values shown under ν from Eq 10 using $\bar{x} = 49.76$ as it was determined in X2.1.1. Show the degrees of freedom for each method in the final column. From the known population of the measurement data of Table X1.1, the relative standard deviation is $\nu = 100\sigma/\mu = 100(2)/50 = 4$.

X3.1.1 *Pooling Relative Standard Deviation*—Use the values under Columns ν and degrees of freedom in Table X3.1 to calculate ν_p in Eq 11:

$$\nu_p = \sqrt{[19(4.14)^2 + 10(4.92)^2 + 15(3.80)^2]/(19 + 10 + 15)} \tag{X3.1}$$

$$= \sqrt{(325.6524 + 242.0640 + 216.6000)/44}$$

$$= \sqrt{17.8254} = 4.22 \%$$

X3.2 *Estimation of Standard Deviation from Range*—Look at the measurement data in Table X1.1 in various ways to apply

TABLE X3.1 Calculation from Variance

Method	s^2	s	ν	Degrees of Freedom
Eq 2 or Eq 3	4.235	2.06	4.14	19
Eq 4	6.008	2.45	4.92	10
Eq 5 or Eq 6	3.581	1.89	3.80	15

the estimation of s from range using Eq 8. In the first set, consider five cases of four runs A, B, C, and D. In the second set, consider four cases of five runs 1, 2, 3, 4, and 5. In the third set, let A and B be a case of ten runs, and C and D be another case of ten runs. Finally, look at the whole set of twenty readings as one overall case. Summarize as in Table X3.2. Include a pooling of variance in order to determine an overall estimate of s in each set. Note that the last case exceeded the number of twelve measurements in an overextension of the estimate and that a low estimate of s resulted as predicted in 5.3.1.

X3.3 *Estimation of Standard Deviation Using Single Determinations of Similar Specimens*—Use the measurement data in Columns A and B of Table X1.1 as if they were two different specimens run on five different days or in five different laboratories. Furthermore, in order that Specimen B be somewhat different than Specimen A, let the values under Column B be reduced by 2 to represent a μ of 48. Show these as specimen readings in Table X3.3. Show the difference between readings in the column under d and the square of these values under the column d^2 . Obtain the sum of the values for d and d^2 which are 24.0 and 149.54 respectively. Estimate s from Eq 9:

$$s = \sqrt{[149.54 - (24.0)^2/5]/2(5 - 1)} \tag{X3.2}$$

$$= \sqrt{(149.54 - 115.20)/2(4)}$$

$$= \sqrt{34.34/8} = \sqrt{4.29} = 2.07$$