

**UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL POLITÉCNICA**  
**“ANTONIO JOSÉ DE SUCRE”**  
**VICE-RECTORADO PUERTO ORDAZ**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**  
**PRÁCTICA PROFESIONAL**

**EVALUACIÓN OPERATIVA DEL CENTRO DE MANEJO DE MATERIALES  
PARA EL HORNO DE FUSIÓN EN LA SALA DE COLADA DE CVG  
VENALUM**

**Autora:** Saloma Ibarra, Aura Nohemi  
**Tutor Académico:** Ing. Blanco Andrés  
**Tutor Industrial:** Ing. Conde Andreina  
**Fecha:** Febrero 2011

**RESUMEN**

El presente estudio consistió en la realización de una Evaluación operativa de un centro de manejo de materiales del área de preparación y distribución del metal en la Sala de Colada de CVG VENALUM con la finalidad de determinar si es necesaria la implementación de un horno de fusión. Para este estudio inicialmente se requirió de un diagnóstico de la situación actual de generación de chatarra presente en la sala de colada, luego se analizaron los niveles históricos del año 2005 al 2009 de generación de aluminio, procesamiento de chatarra y el porcentaje de refusión de la misma tanto en los hornos de retención como en el en horno basculante, posteriormente se diseñó un método basado en regresión lineal para determinar proyecciones aproximadas de toneladas de chatarra que se generaran en función a valores futuros de producción de aluminio, considerando el aumento de producción que se tendrá con la puesta en marcha de la tercera mesa de colada de cilindros para extrusión. Por último de acuerdo a cada uno de los resultados obtenidos anteriormente se procede a evaluar una alternativa de adquisición de un horno de fusión el cual debe satisfacer las necesidades de refusión de chatarra en la Sala de Colada. La metodología utilizada para desarrollar la investigación fue de tipo descriptiva.

**Palabras clave:** horno de fusión, horno de retención, chatarra, regresión lineal.

## INTRODUCCION

Actualmente, la mayoría de las empresas tanto a nivel nacional como internacional están en busca de mejorar la calidad de su sistema productivo, se enfocan en la aplicación de una serie de estrategias, las cuales permiten mejorar la capacidad de sus procesos productivos y equipos, y de esta manera alcanzar los objetivos propuestos.

La Industria Venezolana de Aluminio CVG VENALUM la cual se encuentra adscrita al Ministerio de Industrias Básicas y Minería del Gobierno de la Republica Bolivariana de Venezuela, se encarga de la producción del aluminio, utilizando como materia prima la alúmina, criolita y aditivos químicos (fluoruro de calcio, litio y magnesio) y de su comercialización a nivel nacional e internacional.

La empresa está conformada por una serie de gerencias, dentro de las cuales cabe mencionar, la Gerencia de Colada cuya finalidad es la planificación de producción y la fabricación de aluminio sólido, en forma de lingotes de 22 y 10kg, pailas de 680 kg y cilindros para extrusión. Y la Gerencia de Proyecto la cual lleva a cabo la planificación hasta su ejecución de proyectos que busquen optimizar los procesos productivos de la empresa.

Actualmente la Gerencia de Proyecto está en la etapa de desarrollo de un proyecto denominado CENTRO DE MANEJO DE MATERIALES ASOCIADOS A LA DISTRIBUCION Y PREPARACION DE ALUMINIO LIQUIDO EN LA SALA DE COLADA debido a que la capacidad de refusión de chatarra en la sala no se adecúa a los niveles de generación actuales, además de que este proceso se realiza en hornos de retención y en un horno

basculante con el que se cuenta. Dentro del proceso de producción se ha instalado la tercera mesa de cilindros para extrusión con la cual se tiene proyectado aumentar la producción de cilindros en 190000 tn. Este aumento de producción generara también el aumento de chatarra a procesar en Colada. El objetivo de este nuevo proyecto es entonces instalar un horno de fusión calentado a gas natural, el cual procesara junto con el horno basculante toda la chatarra generada, permitiendo que el resto de los hornos sean utilizados solo para retención y no para fundir.

En este sentido, el siguiente trabajo de investigación presenta una evaluación operativa sobre el procesamiento de la chatarra en la Sala de Colada de CVG VENALUM, además de una alternativa sobre el horno de fusión necesario para refundir las toneladas de chatarra generadas actualmente y las que se tendrán con la puesta en operación de la tercera mesa de colada de cilindros para extrusión.

Dicha investigación está estructurada en VI capítulos, los cuales se presentan de la siguiente manera: En el capítulo I se expone el planteamiento del problema, el capítulo II contiene el marco referencial de CVG VENALUM, capítulo III se expone las bases teóricas, capítulo IV en este se presenta el marco metodológico, Capítulo V situación actual y Capítulo VI análisis y resultados. Finalmente se presentan las conclusiones, recomendaciones y anexos.

## **CAPITULO I**

### **EL PROBLEMA**

#### **1.1 Planteamiento del problema**

La empresa CVG VENALUM integrante de las empresas básicas del Estado Venezolano, es la mayor productora de aluminio primario a nivel nacional, alcanzando altos niveles de ventas y reconocimiento internacional.

Básicamente su proceso productivo inicia en dos secciones, planta de carbón y planta de reducción, finalizando en la planta de colada, donde el aluminio líquido obtenido en las salas de celdas es trasegado y trasladado en crisoles al área de Colada para ser vertido en hornos de retención y dependiendo del requerimiento del cliente, son agregados aleantes, teniendo como producto final cilindros de extrusión, lingotes de 10kg, 22 kg y pailas de 680 kg.

En la parte del procesamiento del aluminio líquido, mientras se encuentra almacenado temporalmente en los hornos de retención, es introducido a éstos, en función de su composición química, cierta cantidad de chatarra ya sea interna o externa que es generada en distintos puntos del proceso para su refusión y utilización. La chatarra externa que es procesada en la planta de Colada, se genera en los derrames de celdas, derrames en la calle, varillas anódicas y de envarillado; mientras que la chatarra interna es

generada por lingotes defectuosos, cilindros defectuosos, viruta en sierra, despuntes de cilindros, chatarra extraída de escoria y aluminio proveniente de las celdas con alto porcentaje de hierro.

CVG VENALUM dentro de sus avances tecnológicos y de producción, instaló la tercera línea de producción de cilindros de tecnología WAGSTAFG, a la cual se le han realizado diversas pruebas, estimando su inicio de operaciones para Marzo del 2011 y de ésta manera poder atender la demanda en el mercado. Cabe destacar que la capacidad con la que cuenta la Sala de Colada para la refusión de chatarra interna y externa está al límite de los niveles de generación (16.605 toneladas en el año 2009), debido a que este proceso se realiza en 8 hornos de retención y 1 horno basculante, limitando la velocidad de fusión y del proceso en general; con la puesta en operación de esta tercera mesa de colada, los niveles de producción de cilindros de extrusión aumentaran en un 476.82% en comparación con la producción de cilindros del año 2009, la cual se ubico en 39847,3215tm y por consiguiente aumentará también los niveles de chatarra, llegando a colapsar el proceso de refusión en los hornos de retención.

Ante tal situación, la Gerencia de Proyectos en respuesta a la problemática que se generará en la Sala de Colada, plantea el desarrollo del Proyecto: Centro de manejo de materiales asociados a la distribución y preparación de aluminio líquido en la Sala de Colada.

En base a este proyecto es necesario realizar un estudio para determinar la situación actual de generación y procesamiento de chatarra interna y externa en el área de Colada para la evaluación operativa sobre la adquisición de un horno con capacidad de refusión necesaria para los niveles de producción de chatarra y tiempos de procesamiento del material.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

Efectuar una evaluación operativa en base a la generación y procesamiento de la chatarra, necesaria para la implementación de un horno de fusión en el centro de manejo de materiales del área de distribución y preparación del metal en la Sala de Colada de CVG VENALUM, Zona Industrial Matanzas, Puerto Ordaz-Edo. Bolívar.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

1. Evaluar la situación actual del proceso de preparación, colada y solidificación del aluminio líquido, específicamente, localizar los puntos de generación de chatarra interna y externa y detallar el procesamiento de la misma.
2. Analizar los datos históricos sobre los niveles de producción de aluminio, niveles de producción de chatarra interna y externa, y el porcentaje de refusión.
3. Diseñar un método basado en el análisis de regresión lineal para determinar las proyecciones de producción de chatarra interna y externa.
4. Evaluar una alternativa para la adquisición de horno que satisfaga las necesidades presentes y futuras de refusión de chatarra en el área de Colada.

## **1.3 Justificación**

La evaluación operativa de un centro de manejo y preparación de materiales en el área de colada, específicamente, de un horno tipo fijo para

el procesamiento de chatarra interna y externa, plantea la solución ante la problemática actual de baja capacidad de refusión presente en el área de Colada, y que aumentará con la puesta en marcha de la tercera línea de producción de cilindros; ya que este proceso se realiza en hornos no diseñados para esa finalidad (hornos de retención).

Implementar un horno de fusión en el proceso de preparación y moldeado del aluminio líquido en el área de Colada de CVG VENALUM, permitirá reducir las pérdidas de aluminio por fusión y el aumento de la productividad en hornos y unidades de producción, al no tener que usar los hornos de retención para fundir la chatarra interna y externa de aluminio.

Este informe presenta un método de análisis de regresión lineal para cálculos futuros de generación de chatarra. Igualmente, muestra los detalles operacionales del horno necesario para la refusión de la chatarra, y los beneficios productivos que generará; por tanto, se convierte en una herramienta que servirá de apoyo para el proyecto CENTRO DE MANEJO DE MATERIALES ASOCIADOS A LA DISTRIBUCION Y PREPARACION DE ALUMINIO LIQUIDO EN LA SALA DE COLADA que desarrollará la Gerencia de Proyectos.

#### **1.4 Alcance de la Investigación**

La presente investigación se lleva a cabo en el área de Colada de CVG VENALUM, Ubicada en la Zona Industrial Matanzas, Puerto Ordaz, Estado Bolívar; específicamente en la Superintendencia de Distribución y Preparación del Metal, Superintendencia de Productos Verticales y Superintendencia de Productos Horizontales, adscritas a la Gerencia de Colada. El informe consiste en el estudio de la situación actual de generación y procesamiento de

la chatarra, además de la evaluación operativa de un horno para la refusión de la chatarra interna y externa.

Cabe destacar que para la realización de la Práctica Profesional, se contará con un tiempo de trabajo de 16 semanas, iniciando el día 15 de Noviembre de 2010 y culminando el día 04 de Marzo de 2010.

### **1.5 Limitaciones de la Investigación**

Una de las limitaciones para este proyecto, es que todos los cálculos serán realizados a partir de datos comprendidos entre el año 2005 y 2009, ya que la información referente al año 2010, no está completa, al no haber finalizado el año. Además de que esta información (niveles de producción de aluminio líquido, procesamiento y generación de chatarra) no representan los valores normales y/o estándares de producción, ya que estos procesos productivos se vieron afectados por la situación nacional de recorte de energía eléctrica lo que conllevó a la desincorporación temporal de cierto número de celdas del área de Reducción, disminuyendo así, el suministro de aluminio primario al área de Colada, impidiendo realizar de forma óptima el procesamiento de la alúmina en las celdas de reducción y por consiguiente la disminución de producción en el área de Colada de CVG VENALUM.

## **CAPITULO II**

### **MARCO REFERENCIAL**

#### **Generalidades de la Empresa**

##### **2.1. Razón social y Nombre comercial**

La industria Venezolana de Aluminio C.A. (CVG VENALUM), adscrita al Ministerio de Industrias Básicas y Minería (MIBAM), y a La Corporación Venezolana de Guayana (CVG), es de capital mixto y por su condición jurídica es una Compañía Anónima.

##### **2.2 Reseña histórica de la Empresa**

La industria Venezolana del Aluminio CA. (CVG VENALUM), se constituyó el 29 de Agosto de 1.973, con el objeto de producir aluminio primario. Convirtiéndose en una empresa mixta, con una capacidad de 150.000 TM/ Año y un capital mixto de 34.000 millones de bolívares.

Fue inaugurada, oficialmente, el 10 de Junio de 1.978. Actualmente es una empresa con 80% de capital venezolano, representado por La Corporación Venezolana de Guayana y un 20% de capital extranjero, suscrito por el consorcio Japonés integrado por Showa Denko K.K., Kobe Steel LTD., Sumitomo Chemical Company Ltd., Mitsubishi Aluminium Company Ltd., Marubeni Corporation.

Cuenta con cinco líneas de producción y sus principales productos son: lingotes de 680 Kg., que comercializa a partir del año 2000, lingote de 22 Kg., cilindros para extrusión y aluminio líquido que suministra a varias transformadoras de la zona (Sural y Pianmecha).

CVG VENALUM está ubicada en La Zona Industrial Matanzas en Ciudad Guayana, urbe creada por decreto presidencial el 02 de Julio de 1.961 mediante fusión de Puerto Ordaz y San Félix. La escogencia de la región Guayana, como sede en la gran industria del aluminio, se debe a que se encuentra rodeada por los ríos más caudalosos del país: Orinoco, Caroní, Paraguas y Cuyuní, entre otros. La presa “Simón Bolívar” en Gurí, es una de las plantas hidroeléctricas de mayor potencia instalada en el mundo y su energía es requerida para la producción de aluminio.

La posibilidad de navegación a través del Río Orinoco en barcos de gran calado en una distancia aproximada de 184 millas náuticas (314Km), hasta el Mar Caribe y de allí a todos los puertos del mundo, aumenta las posibilidades de comercialización de los productos. Estos privilegios y virtudes habidos en la región de Guayana, determinan su notable independencia en materias de insumos y un alto grado de integración vertical en el proceso de producción de aluminio.



**Figura N° 1:** Ubicación de la Empresa

**Fuente:** Manual de Inducción de CVG. VENALUM

Desde su inauguración, CVG VENALUM se ha convertido, paulatinamente en uno de los pilares fundamentales de la economía venezolana, siendo a su vez en su tipo, una de las plantas más grandes de Latinoamérica, con una capacidad instalada de 430.000 TM por año.

Esta importante empresa, además de superar su capacidad instalada en producción de 430 Mil Toneladas al año por cuatro años consecutivos, 2002 – 2005, ha dado un vuelco significativo a su política de comercialización destinando un mayor porcentaje de venta a los clientes nacionales, apuntando con ello al impulso.

Asimismo, cuenta con la Certificación de la Norma ISO 9001- 2000, con sus áreas medulares de producción: Colada, Reducción y Carbón, lo que la posiciona como una industria que satisface los requerimientos de sus clientes.

En una nueva etapa de la República Bolivariana de Venezuela, caracterizada principalmente por el proceso de cambio revolucionario que apunta hacia el desarrollo de una economía productiva, alcanzar la justicia social, construir la democracia Bolivariana, fortalecer la soberanía Nacional y promover un mundo multipolar, CVG VENALUM como ente adscrito al Estado Venezolano tiene la misión de contribuir en la concreción de dichas estrategias y apalancar las iniciativas trazadas hacia la construcción del Socialismo del Siglo XXI, en áreas de fomentar una mejor calidad de vida para todos.

### **2.3 Descripción de la Empresa**

La empresa CVG VENALUM se encarga de la producción del aluminio, utilizando como materia prima la alúmina, criolita y aditivos químicos (fluoruro

de calcio, litio y magnesio). Este proceso de producir aluminio se realiza en celdas electrolíticas.

Dentro del proceso de producción de la planta industrial, existen mecanismos de alimentación que desempeñan un papel fundamental en el funcionamiento de la misma, los cuales son: la Planta de Carbón, Planta de Colada, Planta de Reducción e instalaciones auxiliares.

### Sector Productivo

La industria del aluminio CVG. VENALUM, es una empresa de sector productivo secundario, ya que esta se encarga de transformar la alúmina (materia prima) en aluminio, el cual es procesado en diferentes formas: cilindros, pailas, lingotes, etc., de acuerdo a los pedidos realizados por sus clientes.

### Proceso productivo

Los procesos productivos de CVG VENALUM son los siguientes:

### Planta de Carbón

En la Planta de Carbón y sus instalaciones se fabrican los ánodos que hacen posible el proceso electrolítico. En el Área de Molienda y Compactación se construyen los bloques de ánodos verdes a partir de coque de petróleo, alquitrán y remanentes de ánodos consumidos. Los ánodos son colocados en hornos de cocción, con la finalidad de mejorar su dureza y conductividad eléctrica. Luego el ánodo es acoplado a una barra conductora de electricidad en la Sala de Envarillado. La Planta de Pasta Catódica produce la mezcla de alquitrán y antracita que sirve para revestir las celdas,

que una vez cumplida su vida útil, se limpian, se reparan y reacondicionan con bloques de cátodos y pasta catódica.

### Reducción

En las celdas se lleva a cabo el proceso de reducción electrolítica que hace posible la transformación de la alúmina en aluminio. El área de Reducción esta compuesta por Complejo I, II, y V Línea para un total de 900 celdas, 720 de tecnología Reynolds y 180 de tecnología Hydro Aluminium. Asimismo, en V Línea existen 5 celdas experimentales V-350, un proyecto desarrollado por ingenieros venezolanos al servicio de la empresa. La capacidad nominal de estas plantas es de 430.000 t/año. El funcionamiento de las celdas electrolíticas, así como la regulación y distribución del flujo de corriente eléctrica, son supervisados por un sistema computarizado que ejerce control sobre el voltaje, la rotura de costra, la alimentación de alúmina y el estado general de las celdas. El proceso de reducción consiste en separar el Oxígeno de la Alúmina para producir aluminio en estado líquido, estando inmerso en un baño electrolítico bajo los efectos de una corriente eléctrica directa suministrada por una fuente externa, la cual circula desde un ánodo o polo positivo hacia un cátodo o polo negativo. El oxígeno se combina con el carbono contenido en el ánodo y forma gas carbónico el cual se libera, mientras que el aluminio se precipita y se deposita en el cátodo en estado líquido. Obteniendo como resultado aluminio en estado líquido.

### Sala de Celdas

La sala de celdas es el lugar donde las celdas están conectadas en circuitos en serie. CVG VENALUM está formada por cinco líneas de producción, 180 celdas por línea, lo cual da un total de 900 celdas.

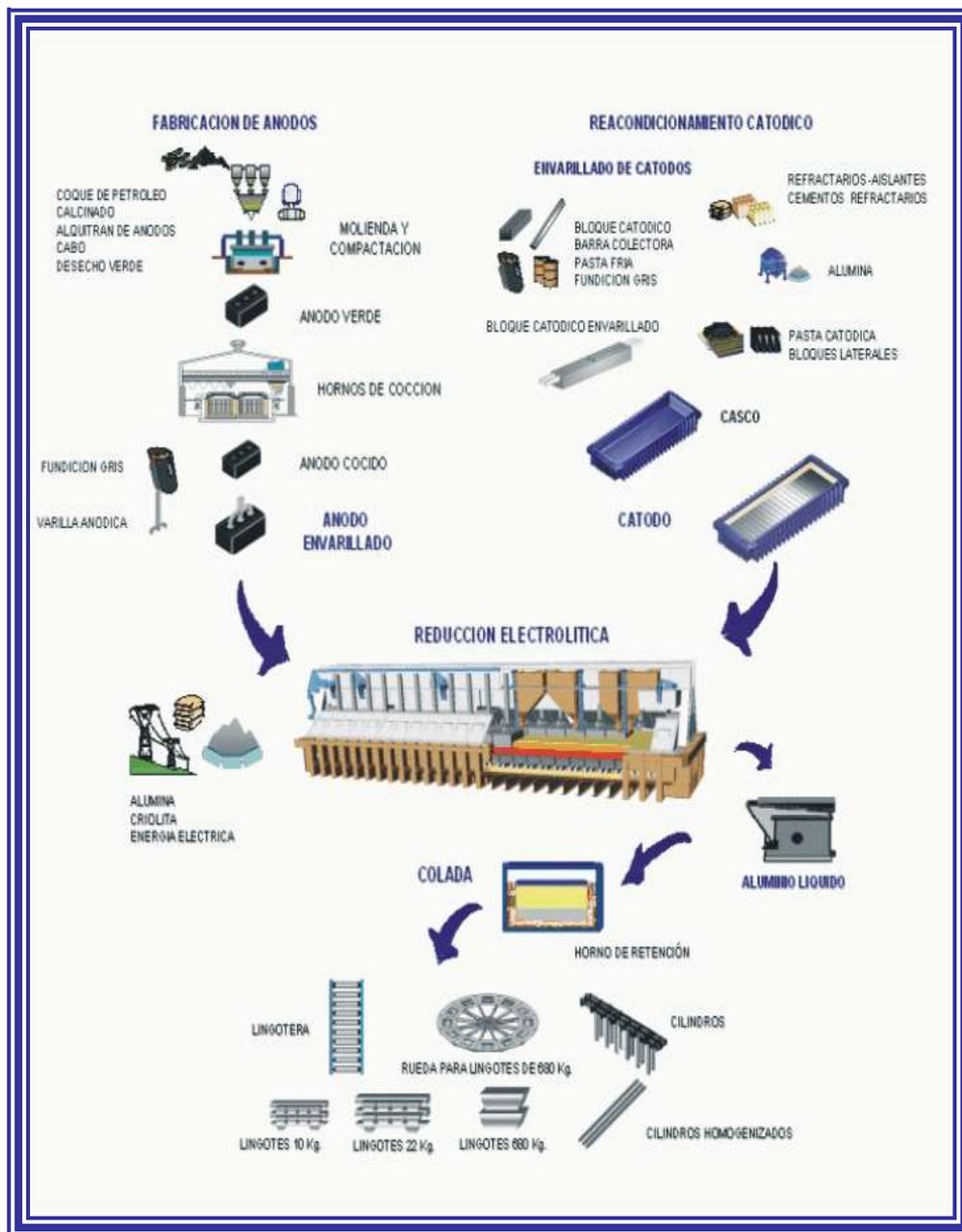
Adicionalmente tiene cinco celdas del tipo V-350, las cuales están localizadas al final de la quinta línea.

### Colada

El aluminio líquido obtenido en las salas de celdas es trasegado y trasladado en crisoles al área de Colada, donde se elaboran los productos terminados. El aluminio se vierte en hornos de retención y se le agregan, si es requerido por los clientes, los aleantes que necesitan algunos productos. Cada horno de retención determina la colada de una forma específica: lingotes de 10 kg. con capacidad nominal de 20.100 t/año., lingotes de 22kg. con capacidad de 250.000 t/año, lingotes de 680kg. con capacidad de 100.000 t/año, cilindros con capacidad para 85.000 t/año, y metal líquido. Concluido este proceso el aluminio esta listo para la venta a los mercados nacionales e internacionales.

Colada cuenta con 13 hornos de retención y uno de fusión-retención, dos líneas de producción de cilindros para extrusión así como dos sierras de cortes. Además, en la línea de producción de cilindros, existen dos hornos, uno de homogeneizado (tipo Bach) y el otro de homogeneizado continuo. Como resultado al Proyecto de aumento de la producción de cilindros, se encuentra en etapa inicial el arranque de la unidad vertical N° 3 la cual cuenta con una nueva planta de homogeneizado continuo y corte de cilindros.

A continuación se presenta una imagen del Proceso Productivo:



**Figura N° 2:** Proceso productivo de CVG VENTALUM

**Fuente:** CVG VENTALUM, 2010

## 2.4 Espacio Físico

La empresa cuenta con un área suficiente para su infraestructura actual y para desarrollar más su capacidad en el futuro.

A continuación se presenta un cuadro de las divisiones de la Empresa:

**Tabla N° 1:** Divisiones de la Empresa

<b>Area Total</b>	1.455.634,78 m <sup>2</sup>
<b>Área Techada</b>	233.000 m <sup>2</sup> (Edificio Industrial)
<b>Área Construida</b>	14.808 m <sup>2</sup> (Edificio Administrativo)
<b>Áreas Verdes</b>	40 Hectáreas
<b>Carreteras</b>	10 km.

**Fuente:** Manual de Inducción de CVG. VENALUM, 2009

## 2.5 Objetivos de CVG VENALUM

**Tabla N° 2:** Objetivos de la Empresa

<b>LÍNEAS GENERALES</b>	<b>OBJETIVOS ESTRATÉGICOS</b>
Proyecto Simón Bolívar, plan de desarrollo económico y social de la nación	CVG VENALUM
Nueva ética socialista	Contribuir a la formación de la conciencia revolucionaria de los trabajadores
Suprema felicidad social	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Garantizar el disfrute de los derechos sociales de los trabajadores y sus familiares</li> <li>○ Contribuir al disfrute de los derechos socioeconómicos de las comunidades</li> </ul>
Democracia	Construir la estructura institucional necesaria

protagónica revolucionaria	para el desarrollo del poder popular, en función de garantizar la participación protagónica
Nueva geopolítica nacional	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Diversificar los canales de división del producto hasta llegar a todas las áreas del país</li> <li>○ Promover proyectos en el sector del aluminio que diversifiquen la producción territorial</li> </ul>
Nueva geopolítica internacional	Profundizar y desarrollar relaciones comerciales con áreas de interés geoestratégicas

**Fuente:** Manual de inducción CVG VENALUM, 2009.

## 2.6 Misión

CVG VENALUM tiene por misión producir y comercializar aluminio de forma productiva, rentable y sustentable para generar bienestar y compromiso social en las comunidades, los trabajadores, los accionistas, los clientes y los proveedores para así contribuir a fomentar el desarrollo endógeno de la República Bolivariana de Venezuela.

## 2.7 Visión

CVG VENALUM será la empresa líder en productividad y calidad en la producción sustentable de aluminio con trabajadores formados y capacitados en un ambiente de bienestar y compromiso social que promueven la diversificación productiva y la soberanía tecnológica, fomentando el desarrollo endógeno y la economía popular de la República Bolivariana de Venezuela.

## 2.8 Política de calidad

- Productividad y Rentabilidad

La Empresa deberá orientar su gestión a garantizar la máxima productividad y rentabilidad en armonía con el avance técnico de la industria y la situación del mercado del aluminio, explotando las oportunidades de sinergia de acción que identifiquen los diferentes ámbitos de competencia.

- Comercial

En materia de comercialización, la empresa deberá emprender acciones para garantizar el máximo valor agregado de la cesta de productos, conciliando la excelencia técnico-económica con el máximo retorno de mercado.

- Calidad y Ambiente

CVG VENALUM, con la participación de sus trabajadores y proveedores, produce, comercializa aluminio y mejora de forma continua su sistema de gestión, comprometiéndose a:

- Garantizar los requerimientos del cliente.
- Prevenir la contaminación asociada a las emisiones atmosféricas, efluentes líquidos y desechos.
- Cumplir la legislación y otros requisitos que suscriba la empresa, en materia de calidad y ambiente.

- Social

CVG VENALUM como empresa del Estado venezolano a fin de contribuir con el desarrollo de la economía nacional, impulsará proyectos de carácter

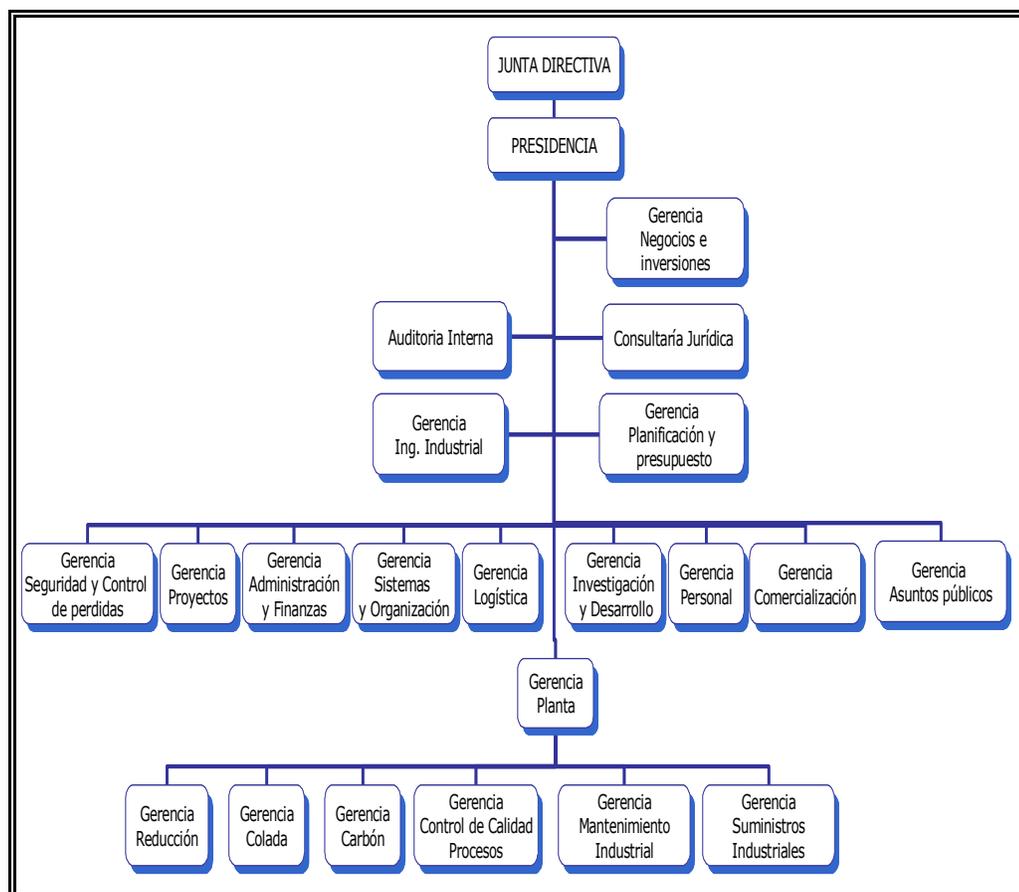
socioeconómicos generadores de empleo y bienestar social para la región, que elevan la calidad de vida de la comunidad que la circunda.

- Desarrollo

CVG VENALUM deberá impulsar el desarrollo integral y sostenido del sector del aluminio, orientando su acción como una extensión regional del Estado en Pro de la reactivación, desarrollo y consolidación de la cadena transformadora nacional y del parque metalmecánica conexo.

## **2.9 Estructura Organizativa**

La estructura organizativa de CVG VENALUM es de tipo lineal y de asesoría, donde las líneas de autoridad y responsabilidad se encuentran bien definidas, actualmente fue restaurada y aprobada por la Corporación Venezolana de Guayana el 28 de Febrero del 2003, debido a la disolución de la Industria Aluminio de Venezuela

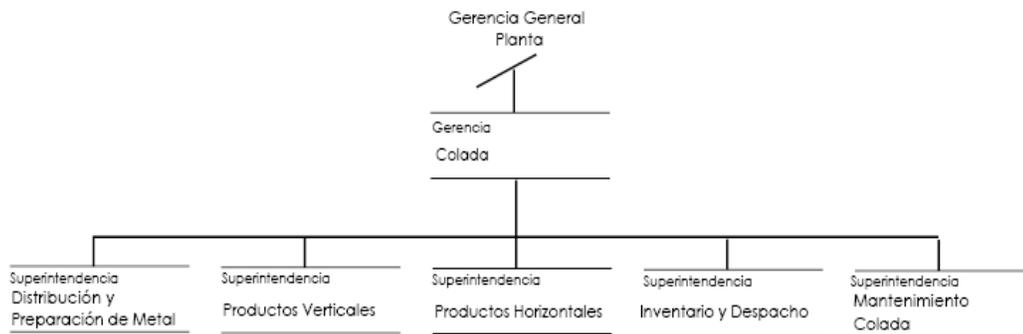


**Figura N° 3: Estructura Organizativa General**  
**Fuente:** Intranet de CVG VENTALUM, 2010

### 2.9.1 Gerencia de Colada

Es una unidad lineo-funcional adscrita a la Gerencia General de Planta, su misión es garantizar el cumplimiento de las metas de producción de conformidad con los planes de producción y despacho establecidos, a fin de lograr la obtención del producto terminado y despacho del metal liquido y solido para la venta, en condiciones de calidad, oportunidad y costos competitivos, mediante el mejoramiento continuo de los procesos humano social, técnicos y administrativos, así como también la protección del medio ambiente

Adscrita a esta gerencia se encuentra la superintendencia Distribución y Preparación de Metal, la cual vela por el suministro de metal líquido preparado a las unidades de producción, así como el despacho de aluminio líquido a clientes internos y externos, a fin de satisfacer los requerimientos de los clientes, en función de los programas establecidos, composición química y condiciones de entrega en conformidad con los parámetros de calidad, oportunidad y costos requeridos; en dicha unidad se obtiene toda la información y datos sobre la generación, distribución e incorporación de la chatarra al proceso productivo.



**Figura N° 4:** Estructura organizativa de la gerencia de colada.

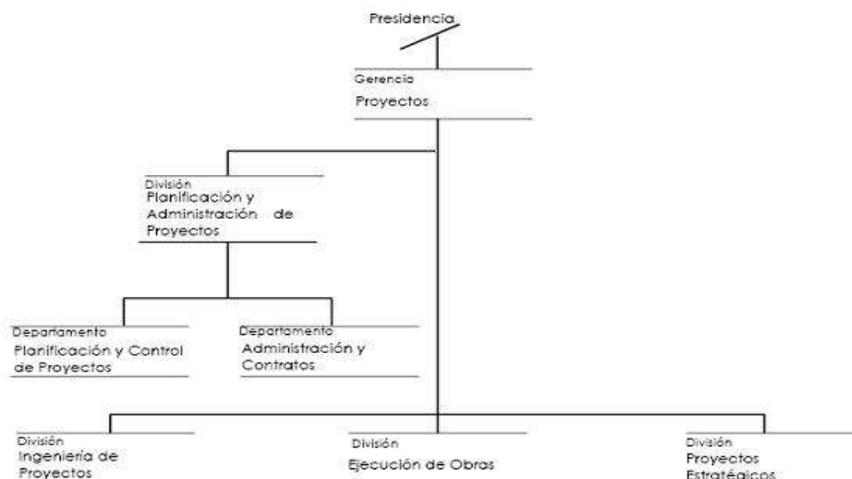
**Fuente:** Intranet CVG VENALUM, 2010

### 2.9.2 Gerencia de Proyectos

Al igual que la gerencia de colada es una unidad lineo-funcional, pero adscrita a la presidencia y su misión es garantizar la planificación, desarrollo, evaluación y ejecución de los proyectos de obras e infraestructura civil, mecánica, eléctrica, de instrumentación y ambiental de la empresa, formuladas por las diferentes Unidades Organizativas; así como, la instalación y mejora de los equipos y sistemas industriales cuando sea

requerido, a fin de disponer de una infraestructura adecuada para el funcionamiento de las operaciones y optimizar la ejecución de sus procesos, en términos de oportunidad y menor costos, de acuerdo con las, normas técnicas, ambientales, legales y procedimientos establecidos.

En base a que el trabajo se realiza en la búsqueda de establecer una alternativa de un horno de fusión para el Centro de Manejo de Materiales Asociados a la Distribución y Preparación de Aluminio líquido en la Sala de Colada, esta investigación esta bajo la tutoría de la división de Proyectos Estratégicos, la cual está adscrita a la Gerencia Proyectos y se encarga de asegurar la gestión para el desarrollo de ingeniería básica y detalle, la ingeniería de costos, los paquetes de construcción, así como la correspondiente evaluación técnica económica de los proyectos estratégicos del portafolio de la empresa, de acuerdo a las especificaciones técnicas y metodología establecida, normativas legales y procedimientos vigentes y dentro del tiempo y en los términos de calidad establecidos, con el fin de contribuir con el incremento de vida útil y el valor de la empresa.



**Figura N° 5:** Estructura organizativa de la gerencia de proyectos.

**Fuente:** Intranet CVG VENALUM, 2010

## **CAPITULO III**

### **MARCO TEORICO**

#### **3.1 El Aluminio**

El aluminio es el tercer elemento más común encontrado en la corteza terrestre. Los compuestos de aluminio forman el 8% de la corteza de la tierra y se encuentran presentes en la mayoría de las rocas, de la vegetación y de los animales. El aluminio puro es un metal suave, blanco y de peso ligero. Al ser mezclado con otros materiales como: silicón, cromo, tungsteno, manganeso, níquel, zinc, cobre, magnesio, titanio, circonio, hierro, litio, estaño y boro, se producen una serie de aleaciones con propiedades específicas que se pueden aplicar para propósitos diferentes.

El aluminio puede ser fuerte, ligero, dúctil y maleable. Es un excelente conductor del calor y de la electricidad; el valor de su densidad es de 2.7 y las temperaturas de fusión y ebullición son de 660° C y 2.467° C, respectivamente. No se altera en contacto con el aire ni se descompone en presencia de agua, debido a que su superficie queda recubierta por una fina capa de óxido que lo protege del medio. Sin embargo, su reactividad con otros elementos es elevada: al entrar en contacto con oxígeno produce una reacción de combustión que origina una gran cantidad de calor, y al combinarse con halógenos y azufre da lugar a la formación de haluros y sulfuros.

### 3.1.1 Constantes Físicas y Químicas del Aluminio

» Peso atómico	26.9
» Punto de fusión	660°C
» Punto de ebullición	2.467°C
» Gravedad específica	2.7 g/ml
» Estructura cristalina	red cúbica centrada en las caras
» Radio atómico	1.43 Å
» Valencia	3
» Configuración electrónica	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> 3p <sup>1</sup>

Una de las mayores ventajas del aluminio es que puede ser reciclado una y otra vez sin perder su calidad ni sus propiedades. Se emplea como elemento de aleación en los aceros de nitruración, que suelen contener 1% aproximadamente de aluminio. También se usa en algunos aceros resistentes al calor. El aluminio es un elemento desoxidante muy energético y es frecuente añadir 300gr por tonelada de acero para desoxidarlo y afinar el grano.

### 3.1.2 Obtención de Aluminio

La producción de aluminio consiste de 3 pasos: extracción de bauxita, producción de alúmina y electrólisis de aluminio. Con un porcentaje de 8%, el aluminio es el 3er metal más abundante en la superficie de la tierra. La materia prima para la producción de aluminio, bauxita, está compuesta principalmente por uno o más componentes de hidróxido de aluminio, además de silica, hierro y óxido de titanio como las principales impurezas.

### Extracción de Bauxita.

La bauxita es extraída principalmente por métodos de mina abierta, los cuales tienen un impacto en el ambiente. Los principales aspectos ecológicos a considerar están relacionados con la limpieza del suelo, impacto en la flora y fauna local y la erosión del suelo. Cuatro toneladas de bauxita son requeridas para producir dos toneladas de alúmina, las cuales producirán una tonelada de aluminio en una reductora.

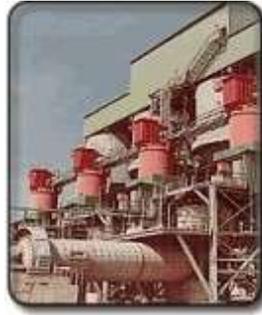


**Figura N° 6 :** extraccion del mineral de Bauxita.

**Fuente:** Centro de Innovacion Tecnologica del Aluminio.Ministerio de Industrias Basicas y Minería, 2010

### Produccion de alumina.

La bauxita tiene que ser convertida en óxido de aluminio puro (alúmina) antes de que pueda ser transformada en aluminio por medio de la electrólisis. Esto es realizado a través del uso del proceso químico Bayer en las refinerías de alúmina. El óxido de aluminio es separado de las otras sustancias de la bauxita mediante una solución de soda cáustica, la mezcla obtenida es filtrada para remover todas las partículas insolubles. Después de esto, el hidróxido de aluminio es precipitado de la solución de soda, lavado y secado, mientras que la solución de soda es reciclada. Después de la calcinación, el producto final, óxido de aluminio ( $Al_2O_3$ ), es un fino polvo blanco.



**Figura N° 7 :** produccion de Alumina

**Fuente:** Centro de Innovacion Tecnologica del Aluminio.Ministerio de Industrias Basicas y Minería, 2010

### Electrolisis del Aluminio.

El aluminio primario es producido en plantas de reducción, donde el aluminio puro es extraído de la alúmina por medio del proceso Hall-Heroult. El proceso de reducción de alúmina en aluminio líquido es realizado a una temperatura promedio de 950 grados Celsius en un baño fluorinado y bajo una alta intensidad de corriente. Este proceso es realizado en celdas electrolíticas, donde los cátodos de carbón forman el fondo de la celda y actúan como electrodo negativo, los ánodos (electrodos positivos) son mantenidos en el tope y son consumidos durante el proceso cuando reaccionan con el oxígeno proveniente del electrolito.

Todas las líneas de celda construidas desde principios de 1970 usan la tecnología de ánodo pre-cocido, donde los ánodos manufacturados de una mezcla de coque de petróleo y alquitrán son pre-cocidos en una planta de ánodos. En la tecnología Soederberg, la pasta de carbón es alimentada directamente en el tope de la celda y los ánodos son producidos utilizando el calor liberado por el proceso de reducción.



**Figura N° 8:** electrolisis del Aluminio.

**Fuente:** Centro de Innovacion Tecnologica del Aluminio.Ministerio de Industrias Basicas y Minería, 2010

El aluminio trasegado a las celdas a intervalos regulares, es transportado a la sala de colada, donde las aleaciones de aluminio son preparadas de acuerdo a los requerimientos del cliente. El aluminio líquido obtenido en la sala de celdas, 99,8 % puro, es transferido en crisoles a la sala de Colada y vertido en hornos de retención, donde metales como titanio, magnesio, hierro y cobre son añadidos para preparar las aleaciones requeridas por los clientes. El metal líquido en los hornos es sometido a diferentes pruebas de calidad para luego ser transferido a la unidad de producción respectiva. Durante el proceso de producción, el aluminio líquido es vaciado en moldes enfriados por agua. El producto final puede ser aluminio primario en lingotes para refusión, lingotes para extrusión o planchones para laminación.

## **3.2 Equipos**

### **3.2.1 Crisol**

Deposito ubicado en la parte lateral o inferior de un horno, el cual recoge el metal fundido. Los crisoles se construyen de muy diversos materiales, según el objeto al que se destinen:

- Crisoles de fundición: la fundición muy carburada resiste la acción de agentes que atacan a muchos metales, por eso se utilizan en algunos casos crisoles de hierro fundido
- Crisoles de plata: se utilizan en análisis para el ataque de diversas sustancias con los álcalis
- Crisoles de platino: son muy empleados en análisis y su manejo requiere determinadas precauciones a fin de que no se deterioren con facilidad.
- Crisoles de Hess: se fabrican con una arcilla que por término medio contiene 71 % de sílice, 25 % de alúmina y 4 % de óxido férrico. A esta arcilla se le añade todavía de 1/3 a 1/2 % de su peso de arena cuarzosa. Se distinguen por ser muy refractarios y por consiguiente muy apropiados para muchas operaciones químicas en las que se requieren elevadas temperaturas. Sin embargo a causa de su porosidad y de lo áspero de su superficie no son utilizables para ciertos trabajos de fusión, como por ejemplo la de metales nobles
- Crisoles de cemento: se preparan con una mezcla de arcilla, arena silíceas, cemento y otras materias análogas
- Crisoles de chamotte: están formados por arcilla rica en sílice y alúmina, que se ha mezclado con polvo de arcilla refractario ya cocida, con arena cuarzosa y otros materiales semejantes

### **3.2.2 Horno de Retención**

Los hornos de retención tienen como función mantener en estado líquido el metal proveniente de celdas, permitiendo la adición de elementos aleantes requeridos para la preparación de aleaciones. Su estructura consta básicamente de una carcasa o cubierta de acero, recubierta internamente con ladrillos refractarios, material aislante, losas refractarias, refractarios plásticos y concreto refractario, quemadores a gas, para un horno de 45tm

aproximadamente cuenta con cuatro (4) quemadores, dos (2) puertas de acceso para las operaciones de preparación del metal, las cuales están revestidas de material refractario y se puede bajar y levantar por motores eléctricos, rampa de drenaje de metal líquido durante las operaciones de extrusión de escoria, sistema de tuberías y válvulas para la mezcla de gas y aire, sistema de inyección de cloro (Cl) y gas inerte (argón y nitrógeno) para el des-gasificado del metal líquido y panel de control de la llama de los quemadores y registro permanente de la temperatura del metal.

### **3.2.3 Máquina lingotera**

En la obtención de lingotes de 10 kg y 22 kg se emplean líneas o lingoteras horizontales especialmente diseñadas para ello, cada máquina o unidad consta de 212 moldes, los cuales están ubicados en líneas, o sea, uno a continuación del otro, formando cuatro (4) grupos de cincuenta y tres (53) moldes, cinco (5) que producen los lingotes bases de los bultos y cuarenta y ocho (48) moldes planos que conforman el resto del bulto.

Los moldes son de hierro nodular especialmente diseñados para que el enfriamiento por agua del aluminio líquido sea lo más rápido, siendo al mismo tiempo resistentes a los choques térmicos y teniendo un alto índice de elongación (12% mínimo), evitando de esta manera su agrietamiento o rotura debido a los cambios bruscos de temperatura intrínseca del proceso.

Las máquinas lingoteras constan también de canales de distribución del metal con sus respectivas válvulas de flujo, así como un sistema de deflexión para evitar en el llenado consecutivo de los moldes que se encuentran en constante movimiento, derrames de metal entre molde y molde.

El enfriamiento de los moldes con la consecuente solidificación del metal se realiza a través de una gran cantidad de rociadores de agua, situada en la parte inferior de la cadena que soporta los moldes, la cual a su vez se apoya en rodillos que se desplazan sobre unas vigas y producen el movimiento horizontal homogéneo que conlleva a la realización de la colada continua. Al final de la cadena se encuentra una estación de descarga y una maquina apiladora automática que está programada para conformar los bultos.

#### **3.2.4 Rueda giratoria horizontal (lingotes de 680 kg)**

Maquinaria para la producción de lingotes o pailas de 680kg la cual está diseñada por una rueda giratoria de dieciséis (16) moldes, que al girar y posesionarse en la estación de colada, son llenados mediante un sistema de canales de forma discontinua y posteriormente son enfriados con rociadores de agua para aumentar la velocidad de solidificación de los lingotes de aluminio.

#### **3.2.5 Unidad de colada vertical**

La unidad de colada vertical tiene la responsabilidad de producir cilindros para la extrusión. El proceso o mecanismo de colada utilizado es el sistema NEW HOT TOP SHOWA. La preparación de la mesa de colada vertical comienza por el sistema de desgasificación en la línea MINT III y termina con la mesa de colada. Se revisa la presión, el flujo de agua, el sistema de lubricación y moldes. También se debe acondicionar el canal y la caja de filtro, lo cual se inicia retirando todo el metal acumulado en ambas partes, se sustituye el filtro cerámico por otro nuevo. Durante la preparación final de la mesa de colada se realiza el chequeo de los movimientos de la colada, su velocidad y el acoplamiento de todas las partes de la mesa, estas deben

estar totalmente limpias y sin daños. El precalentamiento de toda la maquina no debe ser menor de 300°C. Después de finalizar la preparación de la mesa se inicia el proceso de colada. Las variables que se deben tomar en cuenta para la obtención de estos productos cuando se utiliza el sistema de colada NEW HOT TOP SHOWA son las siguientes:

1. Temperatura del metal liquido para el momento de la colada.
2. Temperatura, caudal y presión del agua de enfriamiento.
3. Temperatura y flujo de aceite, así como de los tiempos de exposición.
4. Velocidad de colada.
5. Precalentamiento de los filtros cerámicos.

### **3.2.6 Horno de homogeneización**

Horno es utilizado en la segunda etapa de producción de cilindros para extrusión, ya que los tochos o cilindros se deben “homogeneizar”. Mediante este tratamiento térmico a temperaturas relativamente altas, se reducen las tensiones de colada, las cuales al efectuar el corte para obtener los tochos, podrían provocar grietas. Por otro lado se aspira conseguir una estructura favorable para la extrusión (disminución de la resistencia a la deformación). En general el proceso de homogeneización ocurre de forma siguiente:

- la composición química presente en los cilindros es aluminio, hierro, silicio y magnesio en distintas proporciones; durante su preparación es agregado titanio como un estimulante de grano.
- Esta aleación es colada en las mesas de colada continua a una temperatura comprendida entre 690-715°C y enfriada con agua a presión.
- Este proceso de enfriamiento hace que la superficie del cilindro se enfríe con mayor velocidad que el centro y parte media del cilindro, lo que

origina que se generen granos de menor diámetro en la superficie del cilindro y de mayor diámetro en el núcleo.

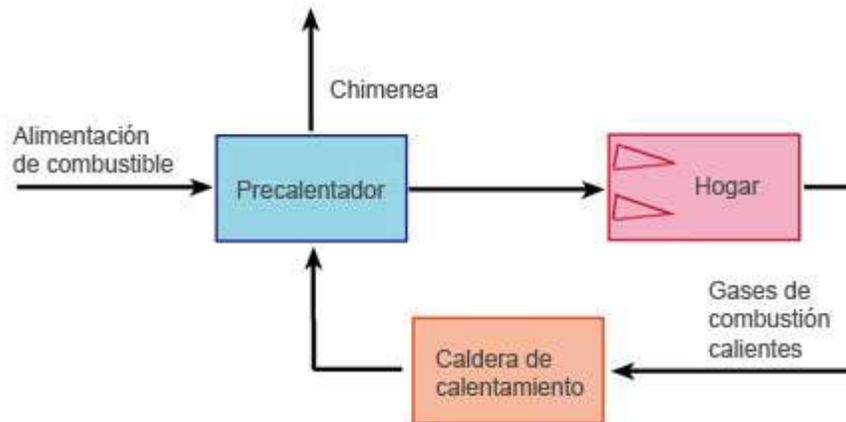
- Esta diferencia de granos impide la extrusión de cilindros sea óptima.
- Los cilindros son introducidos en el horno para su homogeneización, el proceso se basa en tres etapas:
  1. Etapa de incremento de temperatura: aquí se eleva la temperatura de los cilindros desde la temperatura ambiente hasta 585°C.
  2. Etapa de empape o absorción: aquí se debe asegurar que la temperatura del cilindro sea la misma tanto en la superficie como en el núcleo, alcanzado un tamaño de grano homogéneo en toda la estructura. En teoría, para alcanzar la temperatura constante y grano homogéneo es necesario que los cilindros se encuentren en horno 1hr por cada pulgada de diámetro.
  3. Etapa de enfriamiento: una vez alcanzando el tamaño de grano homogéneo, es necesario bajar la temperatura del cilindro de forma rápida para evitar que el enfriamiento se de de la parte externa a la parte interna, lo que provoca variedad de grano. Este enfriamiento debe realizarse en un tiempo promedio de 2hr, llevando la temperatura de 585°C a 350°C. Posteriormente se enfría completamente el cilindro hasta temperatura ambiente.

### **3.2.7 Horno de Fusión a gas**

Un horno industrial de gas es la instalación donde se transforma la energía química de un combustible en calor que se utiliza para aumentar la temperatura de aquellos materiales depositados en su interior y así llevarles al estado necesario para posteriores procedimientos industriales.

Las partes fundamentales de un horno de gas son:

- Hogar o cámara de combustión: donde se alojan los quemadores y se generan los gases de combustión. Puede coincidir con la cámara de calentamiento o ser una cámara independiente.
- Cámara de calentamiento: existen distintos tipos, dependiendo de la forma de operación del horno y de su función.
- Revestimiento aislante: recubre todas las cámaras y equipos del horno.
- Chimenea y tubos de escape de gases de combustión: Suelen ir acoplados a intercambiadores para aprovechamiento de la energía calorífica que poseen, previo a la emisión a la atmósfera.



**Figura N° 9:** Esquema de horno a gas.

**Fuente:** <http://www.empresaeficiente.com/es/catalogo-de-tecnologias/hornos-de-gas>

Clasificación de Hornos de Gas según su función:

1. Hornos de Fusión: Su función es la de fundir los materiales. Hay varios subtipos:

a. Hornos de Crisol

- El material se funde en un crisol metálico o cerámico.

- Los gases salen de la parte inferior y lamen exteriormente el crisol para expulsarse por la parte superior o boca de carga.

#### b. Hornos de Reverbero

- La carga está en contacto directo con los humos pero no con el combustible.
- Su forma es de cuba rectangular con cámara de combustión separada o quemadores laterales. Los humos se desplazan hacia el otro extremo calentando la carga por convección y por radiación de las llamas y la bóveda refractaria.

#### c. Cubilotes para fundición

- Horno vertical cilíndrico, similar al horno alto.
- Su función es también parecida a éste, pero sólo se busca la fusión eficaz y no la reducción del mineral de hierro.
- El combustible utilizado es coque o gas natural.

2. Hornos de Recalentar: Su objetivo es el calentamiento de piezas para procesos como laminación, extrusión, forja, estampación y conformado. En todo momento se mantiene el estado sólido de las piezas, sólo buscándose su reblandecimiento.

El tipo de horno adecuado depende de factores como la forma de las piezas a calentar y la temperatura final fundamentalmente. No obstante hay muchos más parámetros que influyen en la elección del tipo de horno, como por ejemplo, si el horno debe operar en continuo o discontinuamente.

Los tipos más importantes son:

- Hornos **Pit o de Fosa**. Cámara rectangular donde se colocan las piezas a calentar verticalmente y por la parte superior.
- Hornos de **Mufla**. Es una caja con puerta en cuyo interior se alojan los quemadores. La solera puede ser cerámica o metálica.
- Hornos de **Campana**. El material se carga y el horno propiamente dicho se eleva con grúas y se coloca cubriendo la carga.
- Hornos de **Empujadora**. Se emplea para calentar piezas de acero de forma continua. Las piezas son empujadas por una máquina desde la parte frontal.
- Hornos de **Viga Galopante**. Son muy parecidos a los de empujadora, pero con ventajas respecto a estos.
- Hornos de **Vagonetas**. Túnel cuya solera se compone de carros unidos entre sí que avanzan de forma semicontinua.
- Horno de **solera giratoria**. La cámara forma un túnel circular al que acceden los productos de combustión.
- Hornos **Especiales**. Responden a necesidades puntuales y específicas y su precio es muy elevado. Como ejemplo están los equipos de calentamiento por plasma, que pueden alcanzar temperaturas de 50.000 °C o incluso de varios millones de grados, en equipos de fusión nuclear.

3. Hornos de Tratamiento Térmico: Su función es la de inferir una propiedad al material. Algunos de los tratamientos existentes son:

- Recocido, normalizado, temple, revenido, homogeneizado, solubilización, maduración o envejecimiento, etc.
- Cementación, carbonitruración, nitruración, descarburación, etc.
- Recubrimiento por galvanización, estañado, esmaltado, etc.

### **3.3 Chatarra**

La chatarra es el metal sólido (aluminio o hierro) que se utiliza como materia en los procesos de fabricación de productos terminados, que se ha obtenido de distintas formas, como residuo en el proceso y que es reutilizada.

### **3.4 Factores para la elección de un horno**

Para que sea correcta la elección de un horno para una aplicación determinada deben tenerse en cuenta diversos factores que pueden agruparse según los tres criterios principales siguientes:

1. Requerimientos y datos del usuario.
2. Posibilidades tecnológicas del constructor.
3. Exigencias y posibilidades económicas.

Requerimientos y datos del usuario: Exigencias técnicas:

1.- Carga a tratar:

- Naturaleza y forma de la carga o piezas
- Naturaleza del material (emisividad, calor específico, densidad aparente y real).
- Temperatura inicial.

2.- Tratamiento:

- Ciclo temperatura-tiempo
- Temperatura normal de utilización del horno, máxima y mínima
- Precisión de temperatura requerida

- Presencia o no de atmósfera controlada.

### 3.- Producción.

- Producción horaria o por ciclo/carga
- Posibilidad de dividir la producción en varios hornos
- Utilización del equipo (horas, días, semanas, etc.).

Exigencias de fabricación: Si se instala el horno dentro de un proceso concreto de fabricación, hay que tener en cuenta:

- El entorno/ambiente general.
- El proceso de fabricación en el que se inserta el horno (operaciones anteriores y posteriores, condiciones de preparación de las cargas).
- Cualificación del personal de explotación y su disponibilidad.
- Posibilidades de mantenimiento y nivel del personal.
- Características de la energía disponible.
- Posibilidades de fluidos auxiliares (agua, aire comprimido, nitrógeno, vapor de agua, etc.) y la salida de fluentes (agua, vapor, etc.).

### Posibilidades tecnológicas del constructor:

- Comprobar que el ciclo de temperatura requerido es realizable en condiciones industriales razonables.
- Determinar el horno alrededor de:
- La carga cuando se trata de cargas unitarias grandes, por ejemplo, el recocido de eliminación de tensiones de soldadura de una pieza de calderería gruesa.
- La producción, que es el caso más frecuente, cuando se trata de un gran número de piezas unitarias.
- La capacidad del horno u hornos se determina multiplicando la producción (kg/h) por la duración del ciclo (horas).

- Frecuentemente son las condiciones de enfriamiento las que limitan la carga. Si la carga que se enfría es notablemente inferior a la capacidad de enfriamiento del horno, debe adoptarse un horno continuo o semi-continuo.

#### Posibilidades económicas del constructor:

- El coste total de explotación de un horno, referido a la unidad producida, es la suma de los siguientes factores principales:
- Coste de la energía.
- Coste de la mano de obra directa.
- Coste de la mano de obra de control y supervisión.
- Coste de las materias consumibles y fluidos diversos (aparte de la energía).
- Amortización de la instalación.
- Coste del mantenimiento.

Para efectuar la elección correcta de un horno es preciso establecer su coste previsto de explotación. Es más que un balance energético. En particular, el factor mantenimiento puede jugar un papel importante, no por su importancia eventual, sino, sobre todo, por el tiempo de inmovilización del horno.

### **3.5 Regresión lineal**

En la práctica, con mucha frecuencia es necesario resolver problemas que implican conjuntos de variables, cuando se sabe que existe alguna relación inherente entre ellas. Por ejemplo, en un caso industrial se puede saber que el contenido de alquitrán en el producto de salida de un proceso químico está relacionado con la temperatura con la que éste se lleva a cabo. Puede ser

interesante desarrollar un método de predicción, esto es, un procedimiento para estimar el contenido de alquitrán para varios niveles de temperatura tomados de información experimental. El aspecto estadístico del problema consiste entonces en lograr la mejor estimación de la relación entre las variables.

En la mayoría de las aplicaciones, existe una clara distinción entre las variables en cuanto a su papel dentro del proceso experimental. Muy a menudo se tiene una sola variable dependiente o respuesta  $Y$ , la cual no se controla en el experimento. Esta respuesta depende de una o más variables independientes o de **regresión**, como son  $x_1, x_2, \dots, x_k$ , las cuales se miden con un error despreciable y en realidad, en la generalidad de los casos se controlan en el experimento. Así las variables independientes no son aleatorias y por lo tanto no tienen propiedades distribucionales. La relación fija para un conjunto de datos experimentales se caracteriza por una ecuación de predicción que recibe el nombre de **ecuación de regresión**. En el caso de una sola  $Y$  y una sola  $x$ , la situación cambia a una regresión de  $Y$  en  $x$ . para  $k$  variables independientes, se habla en términos de una regresión de  $Y$  en  $x_1, x_2, \dots, x_k$ .

Representétese una muestra aleatoria de tamaño  $n$  por el conjunto  $\{(x_i, y_i); i=1, 2, 3, \dots, n\}$ . Si se tomaran muestras adicionales utilizando exactamente los mismos valores de  $x$ , se debe esperar que los valores de  $y$  varíen. De aquí que el valor  $y_i$  en el par ordenado  $(x_i, y_i)$  sea un valor de alguna variable aleatoria  $Y_i$ . Por conveniencia se define  $Y|x$  como la variable aleatoria  $Y$  correspondiente a un valor fijo  $x$  y su media y su variancia se indican por  $\mu_{Y|x}$ ,  $\sigma^2_{Y|x}$ , respectivamente. Entonces, es evidente que si  $x = x_i$ , el símbolo  $Y|x_i$  representa la variable aleatoria  $Y_i$  con media  $\mu_{Y|x_i}$  y variancia  $\sigma^2_{Y|x_i}$ .

El término regresión lineal implica que  $\mu_{Y|x}$  está linealmente relacionado con  $x$  por la ecuación de regresión lineal poblacional:

$$\mu_{Y|x} = \alpha + \beta x$$

Donde los coeficientes de regresión  $\alpha$  y  $\beta$  son parámetros que deben estimarse a partir de los datos muestrales. Si  $a$  y  $b$  representan estas estimaciones, respectivamente, se puede entonces estimar  $\mu_{Y|x}$  por  $\hat{y}$  de la regresión muestral o de la línea de regresión ajustada:

$$\hat{y} = a + bx$$

Donde las estimaciones de  $a$  y  $b$  representan la intercepción y pendiente de  $y$ , respectivamente. El símbolo  $\hat{y}$  se utiliza aquí para distinguir entre el valor estimado que da la línea de regresión muestral y un valor experimental real observado y para algún valor de  $x$ .

Dadas la muestra  $\{(x_i, y_i); i = 1, 2, 3, \dots, n\}$ , las estimaciones de mínimos cuadrados  $a$  y  $b$  de los coeficientes  $\alpha$  y  $\beta$  se calculan por medio de las formulas:

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - (\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Y_i)}{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2}$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i - b \sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

## **CAPITULO IV**

### **MARCO METODOLOGICO**

En este capítulo se especifica la metodología utilizada para la realización de este trabajo referente a la evaluación operativa de un centro de manejo de materiales del área de distribución y preparación del metal, específicamente de un horno de fusión en la planta de Colada de CVG VENALUM.

#### **4.1 Tipo de investigación**

En función al problema planteado, sobre la evaluación operativa de la tecnología necesaria para el procesamiento de la chatarra interna y externa en el área de colada; la investigación que se desarrolla es de tipo descriptiva ya que, para fijar las especificaciones del horno propuesto, es necesario la caracterización del proceso de generación y refusión de la misma, fijando los niveles de producción de aluminio líquido, aluminio procesado, chatarra generada y utilizada.

Además, este trabajo dentro del tipo de investigación descriptiva se ubica en la investigación correlacional debido a que es necesario de un análisis estadístico para determinar el grado de relación entre las dos variables fijadas: total de aluminio producido (tm) y total de chatarra generada (tm). Tal como lo plantea Fideas G. Arias en su publicación “El proyecto de investigación” 2006:

La utilidad y el propósito principal de los estudios correlacionales es saber cómo se puede comportar un concepto o variable conociendo el comportamiento de otras variables relacionadas. Es decir, intentar predecir el valor aproximado que tendrá una variable en un grupo de individuos, a partir del valor obtenido en la variable o variables relacionadas. (p.25)

#### **4.2 Diseño de la investigación**

La estrategia general que se adoptó para responder al problema planteado es una investigación de tipo documental y en cierto momento de campo.

Se basa en una investigación documental ya que el proceso se desarrollo en la búsqueda, recolección y análisis de datos secundarios (datos históricos) a partir del año 2004 hasta el 2009 para fijar un análisis de regresión lineal que permite la proyección futura de los niveles de generación de chatarra, y en base a esta información establecer la capacidad y características de la tecnología (horno) para el procesamiento de la chatarra.

Se plantea que abarca la investigación de campo debido a que la información referente a la situación actual del procesamiento de aluminio y manejo de la chatarra se recolecto de manera directa en el área de estudio (planta de Colada de CVG VENALUM).

### **4.3 Unidades de análisis**

#### **4.3.1 Población**

En la siguiente investigación, la población seleccionada serán los datos históricos registrados en el Sistema Integral de Colada (SIC) de la base de datos de CVG VENALUM sobre la producción de aluminio sólido (cilindros para extrusión, lingotes y pailas) y la chatarra generada para el periodo que abarca del año 2005 al año 2009.

#### **4.3.1 Muestra**

La muestra considerada para realizar la investigación son los informes y datos registrados en el período del año 2005 al 2009, en relación con:

- Chatarra Cargada,
- Destino de crisoles recibidos.
- Informe semanal de producción.
- Producción diaria.

De estos informes se obtienen los datos bases para el análisis sobre los niveles de producción total, niveles de generación de chatarra tanto interna y externa y su procesamiento, permitiendo así el desarrollo de la evaluación operativa de la alternativa de un horno de fusión para la planta de colada.

### **4.4 Técnicas y/o instrumentos de recolección de datos**

Para la ejecución del trabajo de investigación fue necesario seleccionar las técnicas de recolección de datos e información pertinentes para responder al problema planteado.

#### **4.4.1 Observación directa**

Es una técnica que consiste en visualizar en forma sistemática cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca en función de unos objetivos de investigación preestablecidos. La observación que se realizó fue simple, ya que se observó de manera neutral el proceso de preparación y manejo del metal líquido, el proceso de colada para obtener el aluminio sólido y los puntos de generación de la chatarra sin involucrarse en el proceso. También es de tipo no estructurada debido a que no se contó con ningún tipo de guía prediseñada donde se especificaran los aspectos detallados a observar.

#### **4.4.2 La entrevista**

La entrevista es una técnica basada en el dialogo o conversación “cara a cara”, entre el entrevistador y el entrevistado acerca de un tema previamente determinado, de tal manera que el entrevistador pueda obtener la información requerida.

Se llevó a cabo una serie de entrevistas no estructuradas, es decir, sin una guía o patrón de preguntas elaboradas previamente; sin embargo no se perdió de vista el objetivo primordial de la entrevista sobre el tema de generación y refusión de la chatarra. Las entrevistas fueron realizadas a:

- Dos (2) Especialistas del Área de Colada.
- Dos (2) Operadores de manejo y preparación del metal.

#### **4.4.3 Análisis documental**

Esta técnica hace referencia al proceso de recolección y análisis de información ya publicada, registros y datos históricos relacionados al problema de estudio. Para la ejecución de la investigación se consultaron los

datos de producción de Colada, del periodo 2005 al 2009, suministrados por la Gerencia de Colada y la Gerencia de Proyectos.

#### **4.5 Procedimiento de la recolección de datos**

A continuación se presenta una lista de actividades secuenciales necesarias para la ejecución del proyecto de investigación:

1. Recolección de la información del Proceso de obtención del aluminio líquido en el Área de Colada de CVG VENALUM a través de la observación directa.
2. Entrevistas con el personal de planta de colada (2 especialistas de colada y 1 operador) en base a obtener información sobre la generación de chatarra interna y externa y su procesamiento en los hornos.
3. Efectuar la búsqueda de datos históricos sobre los niveles de producción del aluminio líquido, aluminio sólido, generación de chatarra y nivel de procesamiento.
4. Desarrollo del análisis estadístico de regresión lineal para las proyecciones de generación de chatarra.
5. Revisión de información teórica y operativa sobre hornos de fusión y su implementación.
6. Desarrollo de la evaluación operativa para la propuesta de la implementación de un horno de fusión en la planta de Colada.

## **CAPITULO V**

### **SITUACION ACTUAL**

La producción de aluminio primario en CVG VENALUM comienza con la llegada y almacenamiento de la alúmina en las tolvas, seguido del proceso de reducción de la misma para obtener aluminio líquido y solidificarlo a través del proceso de colada; además se cuenta con un proceso secundario, que es la fabricación de los ánodos necesarios para el proceso de reducción.

Particularmente, el proceso de colada puede desglosarse en dos etapas:

1. Recepción y distribución del metal líquido.
2. Sistema de colada.

#### **1. Recepción y distribución del metal líquido**

El inicio del proceso a evaluar, comienza con la llegada de un crisol transportador con aluminio líquido el cual viene en una carreta porta-crisol y es remolcada por un tractor desde las sala de reducción hasta la planta de colada, donde es puesta en la balanza a nivel del suelo (ver anexo N°1). Si el crisol proviene del Complejo II o V Línea, es ubicado en la balanza N° 1 o N° 2, si viene del Complejo I se ubica en la balanza N° 3 o N° 4.

Una vez posicionado el crisol en la balanza, se recibe el ticket de trasegado (ver anexo N°2) y la muestra botón por parte del Operador Integral Reducción, se anota el número de colada y se envía al laboratorio a través del correo neumático. Se espera los resultados del análisis químico de

la muestra, los cuales son publicados en el Sistema Integral de Laboratorio. En función al contenido de Hierro (%Fe) es distribuido el metal en los hornos, en el ticket de trasegado es anotado el número de crisol y destino (horno) y es entregado al Operador Integral Colada (vaciador) el cual da la información al Operador Integral Colada (en grúa) para que juntos realicen la operación de vaciado en horno. En la espera de los resultados del análisis químico de la muestra, es realizada una inspección visual de la condición física del metal líquido, se verifica el peso del crisol, además es introducida la termocupla en el metal líquido contenido en el crisol, para determinar la temperatura del metal, la cual debe encontrarse en un rango entre 700°C y 900 °C.

Ahí el crisol (cargado) es pesado, obteniendo un valor de peso (aprox. 15730 tm) el cual será comparado con el segundo proceso de pesado del crisol (una vez que es vaciado el aluminio en el horno de retención) y por diferencia de pesos se obtiene la cantidad (tm) de aluminio líquido que contiene el crisol para ser procesado.

El crisol es trasladado al pasillo central del área de colada (ver anexo N° 3), donde en función del contenido de Hierro, es distribuido en los hornos para la obtención de productos finales de la siguiente manera:

**Tabla N° 3:** Distribución de metal en hornos.

	<b>Unidad de colada</b>	<b>Horno</b>	<b>Máquina</b>	<b>Producto final</b>
Crisol	Horizontal	1	Rueda lingotera	Lingotes 10kg, 22kg y pailas de 680 kg
		2	Lingotera	Lingotes de 22kg
		3		
		4		

en pasillo central para ser enviado a:		5			
		6			
	Vertical		7	Tecnología SHOWA	Cilindros para extrusión. 6",7",8" y 9".
			8		
			WAGSTAFF	9	Cilindros para extrusión 7" 8" y 9"
				10	
			SHOWA	11	Cilindros para extrusión. 6",7",8" y 9".
				12	
			14		Moldes estacionarios.

**Fuente:** Autor.

En óptimas condiciones la planta de colada, por turno, prepara dos (2) hornos y cola dos (2) hornos. Actualmente, como resultado a la disminución de producción de aluminio líquido en la sala de reducción, cada turno prepara un (1) horno para ser trabajado por el siguiente turno y cola un (1) horno que fue cargado con anterioridad.

En la siguiente tabla se muestra las capacidades de los hornos que se encuentran en el Área de Colada:

**Tabla N° 4:** Capacidad de los hornos de la sala de Colada de CVG VENALUM

Horno	Capacidad original (tm)	Capacidad actual (tm)	Remanente (tm)
1	45	60	15
2	45	80	10
3	45	60	15
4	45	60	20
5	45	80	15

6	45	50	15
7	45	51	5
8	45	83	15
9	45	45	15
10	45	50	15
11	45	80	10
12	45	80	10
13	50	40	5
15	25	17	5

**Fuente:** Archivos de la Superintendencia Distribución y Preparación del Metal.2006

Consideraciones de la recepción y distribución del metal líquido y sistema de colada:

- El metal líquido proveniente de las salas de reducción, es aceptado por el Sistema Integral de Colada (programa informático) para vaciarlo en los hornos de retención si éste presenta una composición química de hierro que se encuentre entre .10%Fe mínimo y .20%Fe máximo.
- Si el metal líquido contiene más de .20%Fe, es enviado a los moldes estacionarios (llamados comúnmente horno 14) para producir pailas de 500kg alto hierro, las cuales serán utilizadas durante el proceso de colada como chatarra.
- Una vez llenado el horno, antes de realizar la colada, el horno es desnatado (descorificado), se coloca tolva para el desnate del horno en la compuerta, se abre y por medio de paleta manejada por montacargas es extraída la escoria ubicada en la superficie del metal líquido, la cual cae en la tolva.

- El Horno 13, es el horno basculante el cual procesa la chatarra que es generada en distintos puntos del proceso de obtención de aluminio sólido.

## **2. Sistema de colada**

### Productos horizontales:

- Fabricación de lingotes de 22 y 10kg.

El crisol ubicado en el pasillo central, es tomado, elevado y trasladado por medio de grúa puente hasta el horno seleccionado para el vaciado (horno 1-6), es bajado a la altura necesaria y es vertido el aluminio líquido a través de la boca de carga del horno, para ser retenido, y comenzar el proceso de colada. Este proceso es repetido varias veces hasta llenar el horno hasta su capacidad, y así comenzar la colada.

A continuación, se verifica las condiciones de operación de la máquina lingotera, el nivel del metal y temperatura de los hornos asociados a esta máquina. Se remueve el cono-tapón del orificio (piquera) de salida de metal, se limpia el material cerámico depositado alrededor del orificio de colada y con una puya se golpea la boca del horno para destaparla. Inmediatamente, comienza la salida del metal la cual es regulada colocando la barra-tapón en el orificio de salida.

En la máquina lingotera se preestablece la velocidad de colada, cuando el metal comience a fluir en los moldes, se arranca la maquina lingotera.

- Fabricación de pailas 680 kg.

Al igual que en la producción de lingotes de 10 y 22 kg, el crisol que se encuentra en el pasillo central es trasladado hasta el horno seleccionado. El

aluminio líquido contenido en el crisol es vaciado al horno por medio de la boca de carga, se realiza la verificación de las condiciones de operación de la rueda lingotera y el nivel de metal y temperatura de los hornos asociados a la rueda.

Se verifica las condiciones de piquera, canales, que los moldes estén precalentados y nivelados. En el panel principal de la máquina se selecciona la posición dependiendo del horno que se va a colar (horno 9 o 10). Se determina el sentido en que debe girar la rueda de acuerdo al horno a colar. Se remueve el cono-tapón del orificio de salida de metal y se golpea la boca del horno con la puya para destaparlo.

Se ajusta el flujo del metal con el cono-tapón hasta lograr que el tiempo de vaciado de los doce (12) primeros lingotes sea de dos (2) a tres (3) minutos. A medida que son llenados los moldes, son desnatados con la paleta de desnatado. Cuando el molde se ha llenado con una altura de 1/3 de la cuña aproximadamente, se coloca el tapón de grafito en el vertedero, para cortar el flujo de metal a molde.

Es pulsado el botón de ARRANQUE del panel auxiliar ubicado al lado del horno, para que la rueda avance al molde siguiente, y continuar con el proceso de fabricación de pailas de 680 kg.

Cuando se está llenando el quinto (5to) molde, se procede a abrir la válvula que alimenta el conjunto de tres (3) rociadores laterales, así como la válvula de enfriamiento inferior. Y al momento que se está llenando el octavo (8vo) molde se abre la válvula que alimenta el segundo conjunto de tres (3) rociadores laterales y la segunda válvula de enfriamiento inferior.

Por último, una vez que se han solidificado las pailas, son sacadas de los moldes con la ayuda de la grúa de dos toneladas y se estampa el número de colada en el lingote o paila.

Productos verticales: cilindros para extrusión de 6”, 7”, 8” y 9” de diámetro.

Este proceso se divide en dos etapas: la colada y la homogenización de los cilindros para extrusión.

- Etapa de colada del aluminio líquido.

El proceso de colada para la producción de cilindros de extrusión comienza una vez que han sido vaciados los crisoles en uno de los hornos 7, 8, 11 ó 12. Se verifica la temperatura del metal en el horno, esta debe encontrarse entre los valores de 740°C y 750°C para el arranque de la colada. Además los parámetros del sistema hidráulico y la presión del aire deben encontrarse dentro del rango establecido, de acuerdo con la tabla siguiente:

**Tabla N° 5:** Parámetros de la estación

diámetro	6”	6 1/8 “	7”	8”	9”
Parámetros					
Temperatura del aceite (°C)	30-50				
Presión bomba menor capacidad (kg/cm al cuadrado)	38-42				
Contrapresión-cilindro (kg/cm cuadrados)	20-30				
Nivel superior de visor de aceite en tanque hidráulico (%)	3/4				

Flujo de aire (l/min.)	40-80	30-80
Presión entrada de aire (kg/cm cuadrados)	4.0-6.5	
Presión salida de aire (kg/cm cuadrados)	1.5-2.5	
Temperatura de aceite castor (°C)	45 Max	
Bomba de aceite castor unidad 1 (%)	35 +- 5	
Bomba de aceite castor unidad 2 (%)	50 +- 10	

**Fuente:** Práctica de trabajo Colada de cilindros para extrusión. CVG  
VENALUM 2010

Deben ser verificados en el panel de mezcla correspondiente al horno utilizado, los parámetros de flujo de cloro y argón.

**Tabla N° 6:** Parámetros de flujo cloro y argón.

PARAMETROS	ARGON	COLORO
FLUJO	240-360 (l/min.)	1800-3200 (ml/min.)
Presión (psi)	85-115	40-65

**Fuente:** Práctica de Trabajo Colada de cilindros para extrusión. CVG  
VENALUM 2010

Se realiza la verificación de:

- El buen funcionamiento de la bomba de aceite, que el aceite fluya a los moldes.
- Las conexiones y estado físico de los quemadores portátiles.
- El funcionamiento del extractor de gases.
- El buen funcionamiento de la máquina de tabor
- Conexiones de las mangueras de aire y aceite a la mesa de colada.

- La apertura de las válvulas de aire y aceite de cada molde de la mesa de colada.
- Del sistema de agua y velocidad de colada en el sistema manual.
- Nivelación de la mesa de cabezote con la mesa de molde.

#### Preparación del sistema de desgasificado:

- Revise el estado físico del sistema desgasificado (canales por donde fluye el metal, campana, cuba, divisores, caja de filtro y canal "V", estos elementos deben estar libres de escoria, piedras y metal solidificado.
- Verifique el buen funcionamiento del sensor de nivel de metal, detección de flujo de los rotores, movimientos de campana y lectura de los milímetros/minutos de cloro y litros/minutos de argón en la pantalla de operación.
- Coloque una represa reguladora secundaria (ladrillo o bloque con fibra y/o silicato de calcio) antes de entrar a la caja de filtro, con la finalidad de controlar el nivel de flujo y la altura del metal en la mesa.

El proceso de colada inicia con la apertura del horno, retirando el tapón y activando el selector de la bomba de aceite castor en el panel de operación. Se espera mientras el metal líquido llena uniformemente los moldes hasta alcanzar el nivel requerido y dar arranque al proceso operando la mesa en la función "bajada de mesa". Se espera a que el cilindro alcance una longitud de 30cm a 40 cm para realizar la inspección de colada.

Una vez que el cilindro esta cerca de alcanzar la longitud deseada, se activa la luz y alarma en el panel principal, con lo cual se debe operar la mesa en "posición intermedia" y se coloca el tapón al horno para cortar el flujo de metal líquido y es pulsado el botón de "parada" para terminar las operaciones con la mesa.

Se abren las válvulas de drenaje, se desconectan las mangueras, se retira la mesa de colada y se sube la mesa de cabezotes hasta que sobresalgan los cilindros aproximadamente 180cm sobre el nivel del piso para su extracción. Son almacenados temporalmente para su proceso térmico.

- Etapa de homogenización de los cilindros para extrusión.

El área de colada cuenta con dos (2) hornos de homogeneizado, continuo y tipo Batch.

Horno continuo:

Antes de ingresar los cilindros al horno para el tratamiento térmico, son programados los siguientes parámetros de operación en la pantalla del horno:

**Tabla N° 7:** Parámetros de operación del horno continuo

Diámetro (plg)		6	6 1/8	7	8	9
tiempo	Rocío (s)	75 +-15				
	Absorción (h) (homogeneizado)	3-4				
Temperatura absorción (°C)		560-590				
Cantidad máxima de cilindros a cargar en rampa de entrada (c/u)		18	18	16	14	12

**Fuente:** Práctica de trabajo para la homogeneización de cilindros para extrusión. CVG VENALUM 2010

Al entrar los cilindros al horno, comienza la primera etapa del precalentamiento, donde la temperatura del cilindro va a aumentar gradualmente a medida que avanza dentro del horno, este precalentamiento

de los cilindros termina en el momento que ocurre la nivelación entre las temperaturas de los cilindros y del horno.

Una vez alcanzada la temperatura necesaria (560-590 °C) ocurre la segunda etapa de homogeneización de los cilindros, en la cual se diluye la mayoría de las fases heterogéneas y son distribuidas en la matriz del aluminio. El tiempo de duración del proceso depende de las pulgadas de diámetro de los cilindros (aprox. 1 hora por 2”).

Al finalizar el proceso, el cilindro sale del horno de forma automática por una compuerta, allí cae en un canal que lo traslada hasta un transportador de cadena para comenzar la etapa de enfriamiento fuera del horno. Esta etapa consta de varios ventiladores con una circulación forzada de aire.

Horno Batch.

Al haber cargado el horno con la cantidad específica de cilindros se inicia el ciclo de tratamiento, donde los quemadores del horno cambian a condición de alto fuego y la carga inicia su proceso de homogeneizado (etapa de precalentamiento y absorción). Se fijan los parámetros de operación en el horno:

**Tabla N° 8:** Parámetros de operación del horno Batch.

Diámetro (plg)		6	6	7	8	9
			1/8			
tiempo	Precalentamiento (h)	3-4.5				
	Absorción (h) (homogeneizado)	3-4				
Temperatura absorción (°C)		560-590				
Tiempo de carga en la cámara de enfriamiento (h)		3-4				

**Fuente:** Práctica de trabajo para la homogeneización de cilindros para extrusión. CVG VENALUM 2010

Al finalizar el ciclo, se apagan los quemadores y se traslada el vagón con los cilindros a la cámara de enfriamiento, donde durante tres horas se enfrían los cilindros con ventiladores y rociadores de agua. Pasado este tiempo se retira la carga de la cámara de enfriamiento y se traslada a la zona de descarga para ser enviados a las sierras de corte. Una vez que han sido despuntados y embalados, son trasladados al almacén de producto terminado junto con los lingotes de 22kg y 680 kg, a espera de su despacho.

Durante todo el proceso de Colada existen varios puntos de generación de chatarra, la cual se almacena temporalmente junto con la chatarra que proviene de reducción y envarillado al lado de la balanza N° 2 para ser cargada a los hornos y ser refundida. Además, cuando llegan crisoles con aluminio alto en hierro ( $>.20\%Fe$ ) y son rechazados por el sistema integral de colada para ser vaciados a los hornos; son trasladados y vaciados a los moldes estacionarios, para producir pailas de 500kg, las cuales serán suministradas a los hornos como chatarra.

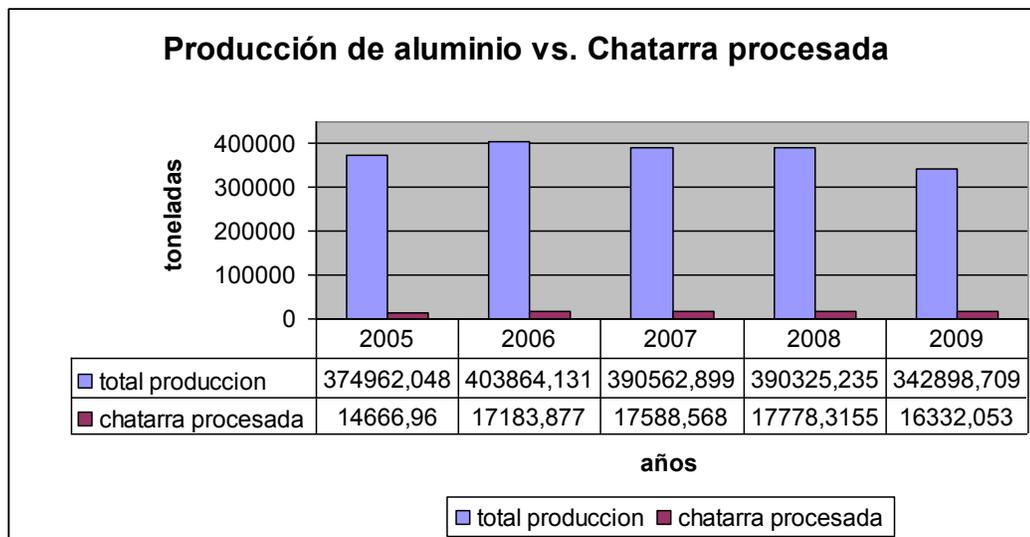
La distribución de la chatarra en los hornos depende de:

- Su composición química, la cual debe ser igual o cercana a la composición del aluminio líquido que se encuentre retenido en el horno que se va a cargar.
- El nivel de aluminio líquido que contenga el horno. Si el horno se encuentra a la mitad o menos de su capacidad, es cargado con chatarra de 12 a 16 toneladas. Si se encuentra por encima de la mitad de su capacidad, no se carga, ya que en proceso para la fusión tardara más de 5 horas y no estará listo el horno para el que es siguiente turno lo maneje.

CVG VENALUM también vende aluminio líquido a empresas cercanas (SURAL, PIANMECA), aproximadamente despacha al día 16 crisoles; cuando estos envíos se detienen, esta material debe ser procesado en los

hornos del área de colada, lo que frena el proceso de carga de chatarra en los mismos.

En base a los datos históricos tomados del Sistema Integral de Colada para el año 2005 al 2009, se presenta el siguiente grafico donde se muestran los niveles de producción total de aluminio sólido (tm) y las cantidades (tm) de chatarra procesada.



**Grafico N° 1:** Nivel de producción de Aluminio vs. Chatarra procesada.

Elaborado con datos tomados del Sistema Integral de Colada.

A partir de los datos obtenidos sobre los niveles de chatarra procesada y en base a las proyecciones que se tienen, sobre la tercera línea de producción de cilindros para extrusión; la cual aportará 190000 tm/anuales de cilindros para extrusión y a su vez, 19000 tm de chatarra; se verá duplicada la cantidad de las toneladas de chatarra. Será entonces necesario analizar cómo se procesará este aumento de chatarra en el área de Colada de CVG VENALUM.

## CAPITULO VI

### ANALISIS Y RESULTADOS

A través de este capítulo, se lograra conocer los resultados obtenidos de la investigación hecha sobre el procesamiento de chatarra en la sala de Colada de CVG VENALUM.

- 1. Evaluar la situación actual del proceso de preparación, colada y solidificación del aluminio líquido, específicamente, localizar los puntos de generación de chatarra interna y externa y detallar el procesamiento de la misma.**

Al área de colada llegan los crisoles provenientes de las salas de reducción, donde son ubicados en las balanzas para su manejo y distribución. Mediante una termocupla es medida la temperatura del aluminio líquido y además se realiza la verificación de su composición química, a través del envío de la muestra solidificada al laboratorio.

Una vez que se obtiene los resultados del aluminio, se dispone a seleccionar el horno al cual se va a hacer el vaciado, a través del sistema integral de colada, donde por medio de un balanceo se selecciona; por ejemplo; si el horno 4 tiene contenido aluminio con una composición de .18%Fe y llega un crisol con aluminio alto en hierro, este no puede ser vaciado en el horno 4 ya que aumentará la cantidad de hierro y se contaminara; será necesario un crisol con aluminio más puro para ser vertido en el horno 4.

En el proceso de llenado del horno, puede ser cargada chatarra para su refusión; que un horno sea cargado de chatarra depende, de la composición química de ésta en comparación con la del aluminio líquido contenido en el horno. Por ejemplo, en la producción de lingotes 22kg y 680 kg, se da el caso de que existen productos defectuosos o se generan derrames en la colada, esto es considerado chatarra y se carga a otro horno, dependiendo de la cantidad cargada (aprox. 12 a 16 tm), debe esperarse 5 horas para que la chatarra se refunda e inicie el proceso de colada del horno.

Cuando un horno ya se encuentra en la capacidad necesaria para colar, se realiza el desnate a través de la compuerta mediante una pala, para eliminar toda impureza y escoria de la superficie. Esta escoria es llevada a la prensa, donde se comprime y se extrae el aluminio contenido; es depositado en moldes para ser tratada como chatarra.

En la fabricación de cilindros para extrusión, una vez que el horno está listo (desnatado y agregado de aleantes) comienza el proceso de colada donde ocurren derrames de aluminio (orificio de colada) y se genera chatarra en los canales y sistema de drenaje. La principal generación de chatarra en la producción de cilindros para extrusión es, al finalizar su proceso, en la parte del despunte, donde son cortados mediante sierra los extremos del cilindro, eliminando la superficie irregular creada por los moldes de la mesa de colada, esta chatarra obtenida representa el 10% de la producción total de cilindros, y en ocasiones es refundida en los hornos de retención pertenecientes a la unidad de colada vertical.

El área de Colada de CVG VENALUM cuenta con un horno basculante de 40tm de capacidad, en el cual se refunde la mayoría de la chatarra generada. Su tiempo de fusión es de aproximadamente 4 hr para 20 tm de chatarra.

La chatarra que es procesada en la sala de colada de CVG VENALUM es clasificada por su lugar de procedencia, sub-clasificándose en función de su generación.

Por su lugar de procedencia se clasifica en:

- Interna: es toda aquella chatarra generada en el área de colada de CVG VENALUM durante el manejo de metal líquido y fabricación de cilindros y lingotes.
- Externa: es la que se recibe en el área de colada procedente de otras áreas de CVG VENALUM, como la producida en envarillado, reducción y servicio de crisoles.

De acuerdo al proceso de fabricación que la genera se clasifican en:

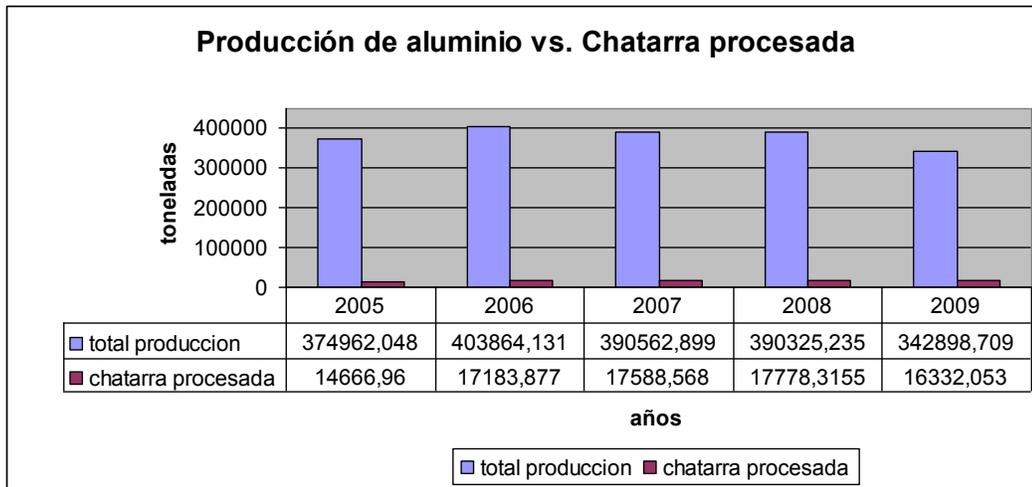
- Derrame en celda: al trasegar el aluminio líquido de las celdas a los crisoles se generan derrames.
- Traslado de crisoles al área de Colada: derrames ocurridos en la vía a causa del tránsito de vehículos, curvas y habilidad del operador del equipo móvil (ver anexo 4).
- Distribución del metal: durante el manejo y la carga del metal del crisol a los hornos de retención, se producen derrames de metal en la boca de carga del horno, la cual tiene forma irregular (ver anexo 5).
- Colada de lingotes: se genera chatarra del inicio al final de la colada. Por el aluminio retenido en sistema de drenaje y por fallas operacionales, obteniendo lingotes con peso, aspecto físico o análisis químico fuera de especificaciones, considerados como chatarra (ver anexo 6).
- Desnate de hornos: al momento de desnatar los hornos se derrama en las puertas de los hornos (Ver anexo N° 7).
- La escoria del desnate que es procesada en la prensa, libera el metal contenido y este es retenido y solidificado en moldes (ver anexo N° 8).

- Colada de cilindros: es la chatarra generada al final de la colada a través de los sistemas de drenaje del metal.
- Cilindros con rechazo: se generan durante la colada de cilindros por defectos superficiales, lo cual no permite ser utilizados en el proceso de homogeneizado y corte (ver anexo N° 9).
- Cilindros taponeados: es la fricción del cilindro que se genera por la acción de detener el flujo del metal en uno de los moldes de la mesa de colada, por defectos de operación o defectos superficiales.
- Cilindros de coladas interrumpidas: es la chatarra que se genera cuando una colada es detenida antes de alcanzar la longitud mínima requerida, a causa de fallas o problemas operacionales.
- Homogeneizado de cilindros: chatarra que se genera en el proceso de homogeneizado a causa de las desviaciones en los parámetros de operación, tiempo y temperatura.
- Despunte de cilindros: se genera al cortar las partes inicial y final de cada cilindro, según lo indicado en las normas técnicas (ver anexo N° 10).
- Virutas del corte de cilindro: por acción del corte de los cilindros, es generada virutas, las cuales son compactadas en piezas de peso entre 1kg y 1.5kg (ver anexo N° 11).
- Chatarra de envarillado: se genera en el proceso de rociado de los ánodos con aluminio líquido necesarios en el proceso de reducción del aluminio.
- Chatarra de servicio de crisoles: se genera en el proceso de reacondicionamiento de los crisoles.
- Tapas de celdas: tapas de celdas que han sido desincorporadas.
- Alto hierro: el aluminio líquido procedente de las salas de reducción, que después del análisis químico realizado en las balanzas, se comprueba que tienen alto hierro (>.20%) es considerado chatarra. El crisol es trasladado a los moldes estacionarios para fabricar pailas altos hierro que

serán chatarra, las cuales son cargadas a los hornos de forma dosificada, previniendo la contaminación de los hornos por alto hierro (ver anexo N° 12).

**2. Analizar los datos históricos sobre los niveles de producción de aluminio, niveles de producción de chatarra interna y externa, y el porcentaje de refusión.**

NIVELES DE PRODUCCIÓN.

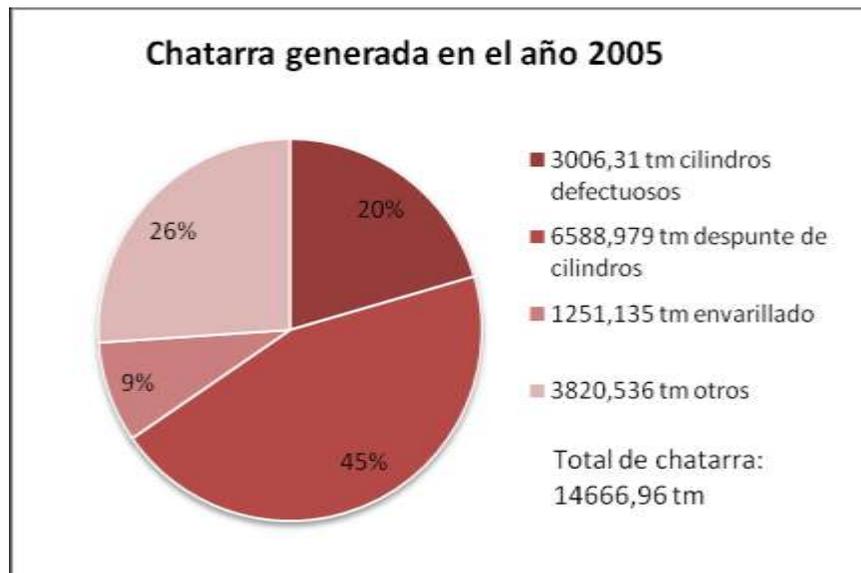
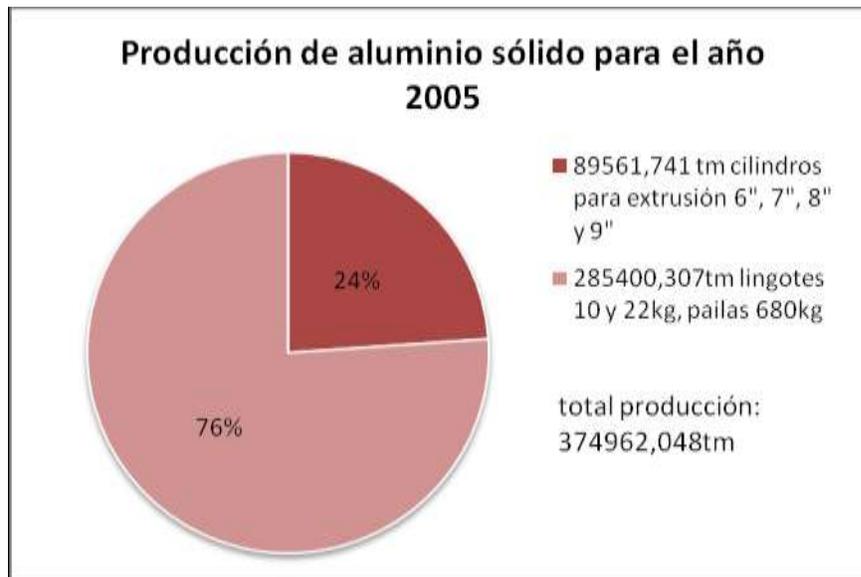


**Grafico N° 1:** Nivel de producción de Aluminio vs. Chatarra procesada.

Elaborado con datos tomados del Sistema Integral de Colada.

Análisis para el año 2005:

- El total de aluminio sólido obtenido fue de 374962,048tm, del cual 89561,741 tm fueron de cilindros para extrusión.
- El nivel de chatarra procesada representa el 3,91% del total de la producción de aluminio sólido.
- Los mayores niveles de chatarra fueron obtenidos en cilindros defectuosos con 3006,310 tm; despunte de cilindros 6588,979 tm y de envarillado con 1251,135 tm.

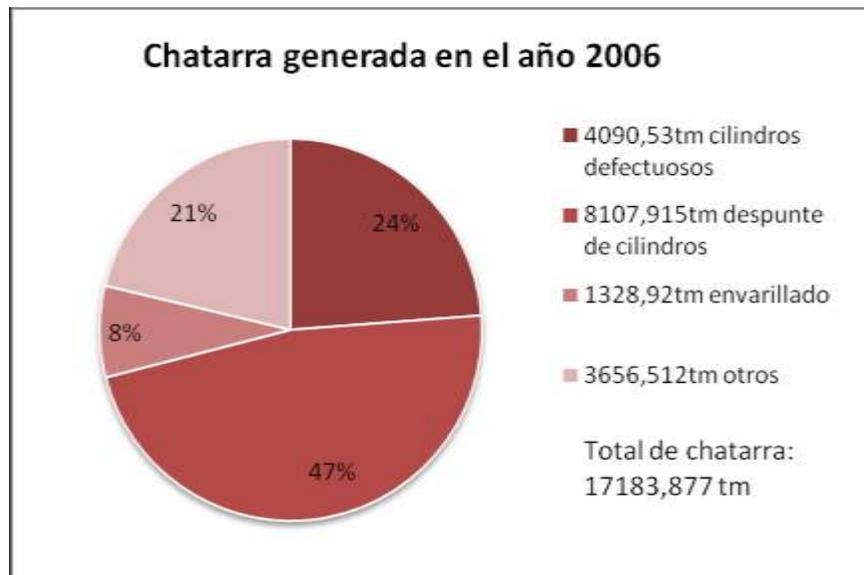
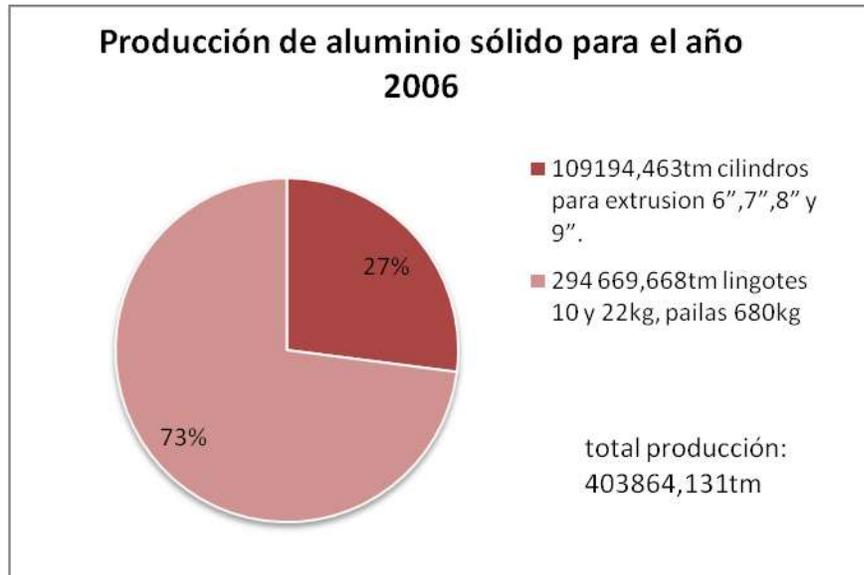


**Grafico N°2:** Producción de aluminio y chatarra para el año 2005. Elaborado con datos tomados del Sistema Integral de Colada.

Análisis para el año 2006:

- El aluminio sólido obtenido para este año fueron 403864,131tm; de las cuales 109194,463tm fueron de cilindros para extrusión y 294669,668tm fueron de lingotes de 10kg, 22 kg y pailas de 680kg.
- La chatarra procesada represento el 4,25% del total de la producción.

- La mayor generación de chatarra estuvo en cilindros defectuosos con 4090.530tm, despunte de cilindros con 8107,915 tm y envarillado con 1328,920tm.

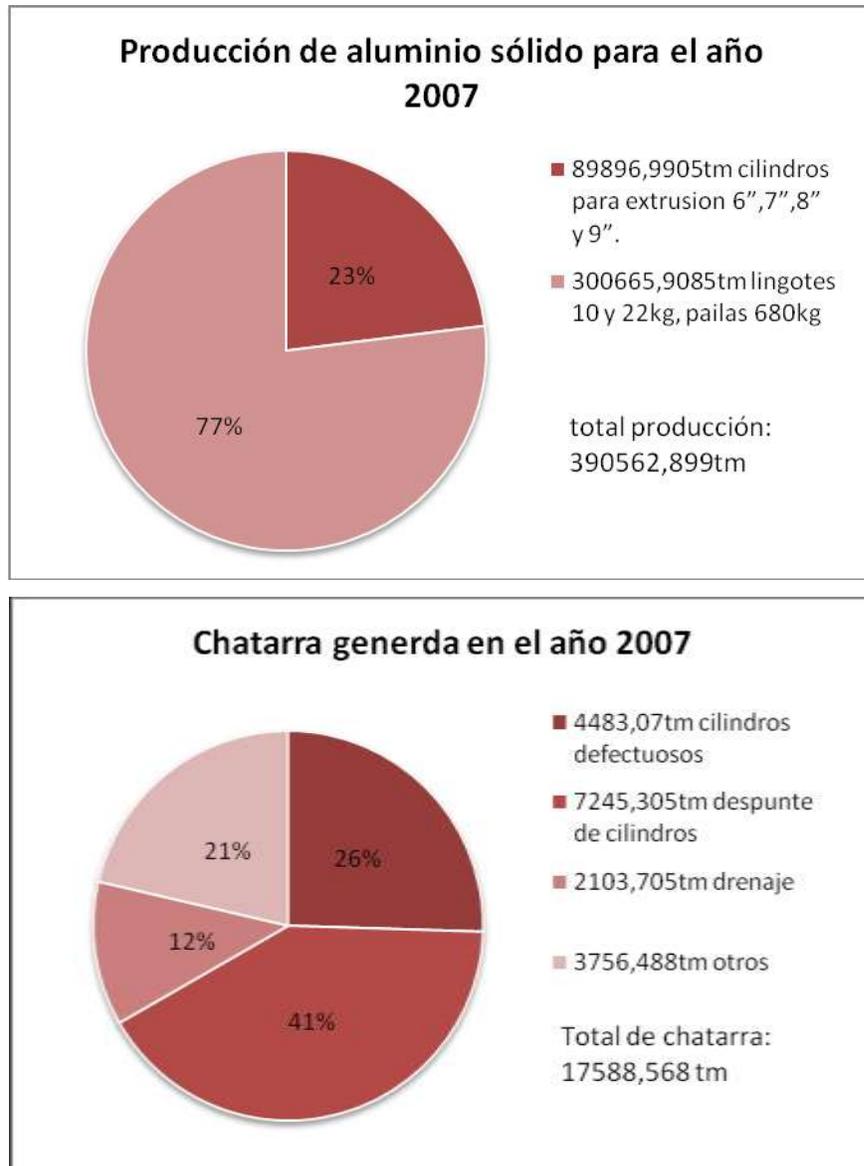


**Grafico N°3:** Producción de aluminio y chatarra para el año 2006. Elaborado con datos tomados del Sistema Integral de Colada.

Análisis para el año 2007:

- La producción de aluminio alcanzó la cantidad 390562,899 tm, de la cual, la producción de cilindros fue de 89896,9905tm.

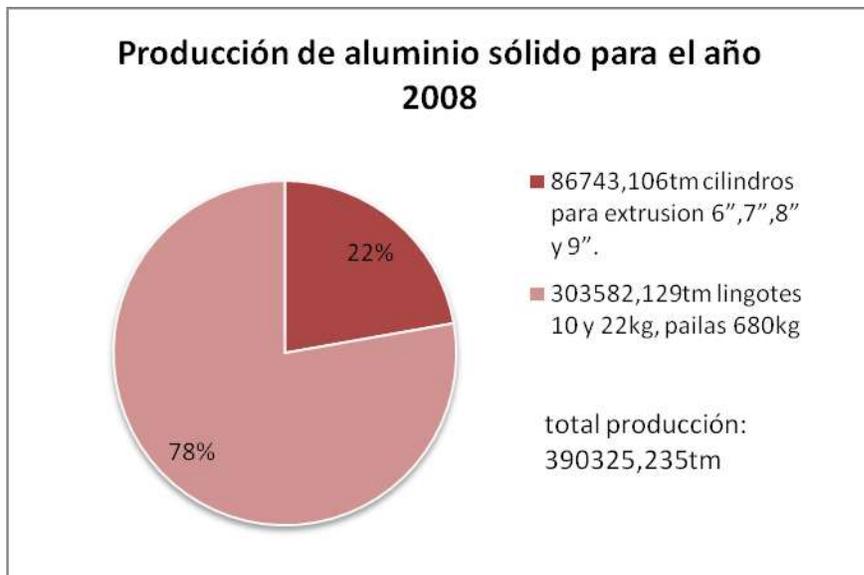
- La chatarra procesada representó el 4,5% del total de la producción total.
- Los puntos de generación de chatarra más altos fueron en cilindros defectuosos 4483,07tm, despunte de cilindros con 7245,305 tm y en drenajes con 2103.705tm.

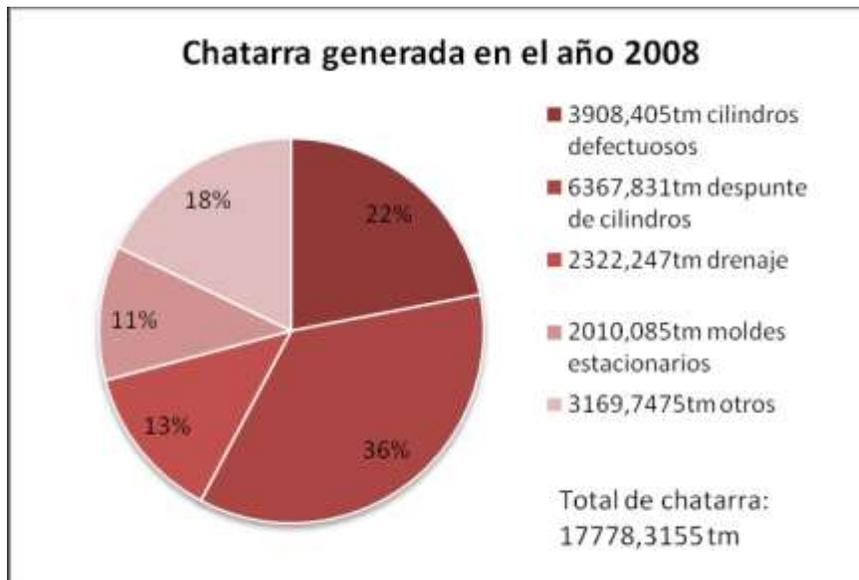


**Grafico N°4:** Producción de aluminio y chatarra para el año 2007. Elaborado con datos tomados del Sistema Integral de Colada.

Análisis para el año 2008:

- El total de la producción del aluminio para este año fue de 390325,235tm, donde la producción de cilindros para extrusión alcanzó las 86743,106 tm.
- La chatarra procesada representó el 4,55% del total de la producción.
- La chatarra con mayor producción para este periodo fue cilindros defectuosos con 3908,405tn, despunte de cilindros 6367,831 tm, drenajes 2322,247 tm y moldes estacionarios 2010,085 tm.

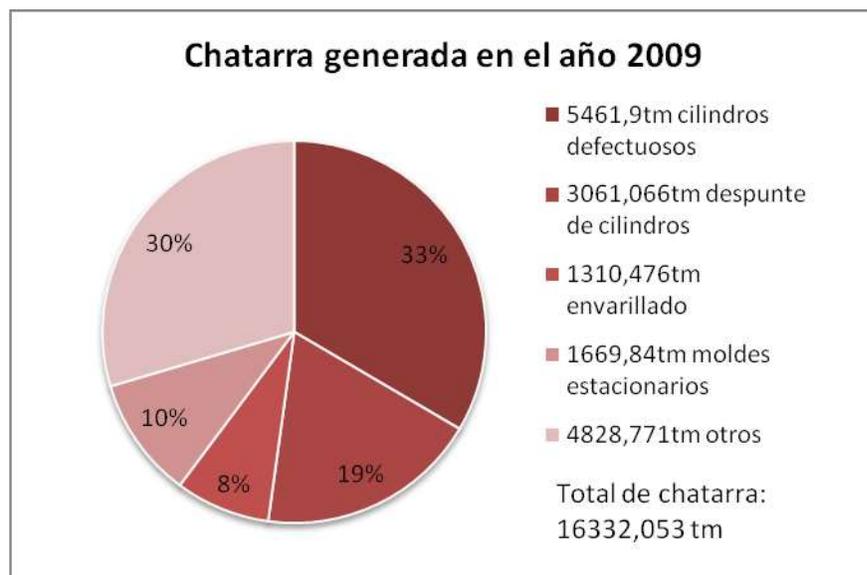




**Grafico N°5:** Producción de aluminio y chatarra para el año 2008. Elaborado con datos tomados del Sistema Integral de Colada.

Análisis para el año 2009:

- La cantidad de aluminio sólido fabricado fue de 342898,709 tm, de las cuales 39847,321 tm fueron de cilindros para extrusión.
- La chatarra representó para este año 4,76%.
- Los niveles más altos de chatarra se obtuvieron en cilindros defectuosos 5461,9tm, despunte de cilindros 3061,066tm, moldes estacionarios 1669,84 tm y envarillado 1310,476 tm.



**Grafico N°6:** Produccion de aluminio y chatarra para el año 2009. Elaborado con datos tomados del Sistema Integral de Colada.

A partir de los datos obtenidos del sistema integral de colada se puede observar que desde el año 2005 al 2009 el nivel de procesamiento de chatarra ha aumentado de un 3.912% a un 4.763% aunque la producción total de aluminio ha disminuido en un 15.091% (en función al año 2006 que fue la mayor producción obtenida), es decir, que aunque CVG VENALUM a

producido menor cantidad de aluminio sólido, el nivel de refusión de chatarra ha aumentado en función a la producción total anual de aluminio y esto se ha debido a distintas causas; las más notorias son el aumento de chatarra por cilindros defectuosos como consecuencia de problemas técnicos y operativos, envarillado, despunte de cilindros y viruta, que son proporcionales a la producción de cilindros para extrusión y la generación de chatarra en forma de moldes estacionarios que se ha dado como resultado del aumento de producción de aluminio líquido alto en hierro (>.20% de Fe).

Considerando la producción de 190000tm de cilindros para extrusión que se tienen proyectadas generar con la puesta en marcha de la tercera mesa de colada de cilindros, la chatarra por despunte de cilindros y viruta se ubicara en 19000tm aproximadamente pero, en base a los datos históricos, la chatarra por cilindros defectuosos siempre se encuentra en mayor proporción, que para este caso no será la excepción debido a que se trabajara con una tecnología nueva.

#### CHATARRA PROCESADA.

Actualmente el procesamiento o refusión de la chatarra interna y externa en el área de Colada de CVG VENALUM se lleva a cabo tanto en el horno basculante, como en el resto de los hornos de la unidad vertical y la unidad horizontal. El horno basculante con el que cuenta la sala de colada tiene una capacidad de 40tm, con un remanente de 5tm.

Las toneladas de aluminio líquido que son trasegadas y enviadas a cualquier horno de retención, son las mismas que deben ser cargadas de chatarra para su refusión en el horno basculante; se puede decir entonces que, el horno basculante se encuentra en un proceso continuo. Por ejemplo, si son trasegadas 20 tm de aluminio líquido para ser enviadas al horno N° 5, se carga el horno con 20tm de chatarra para mantener lo siempre en

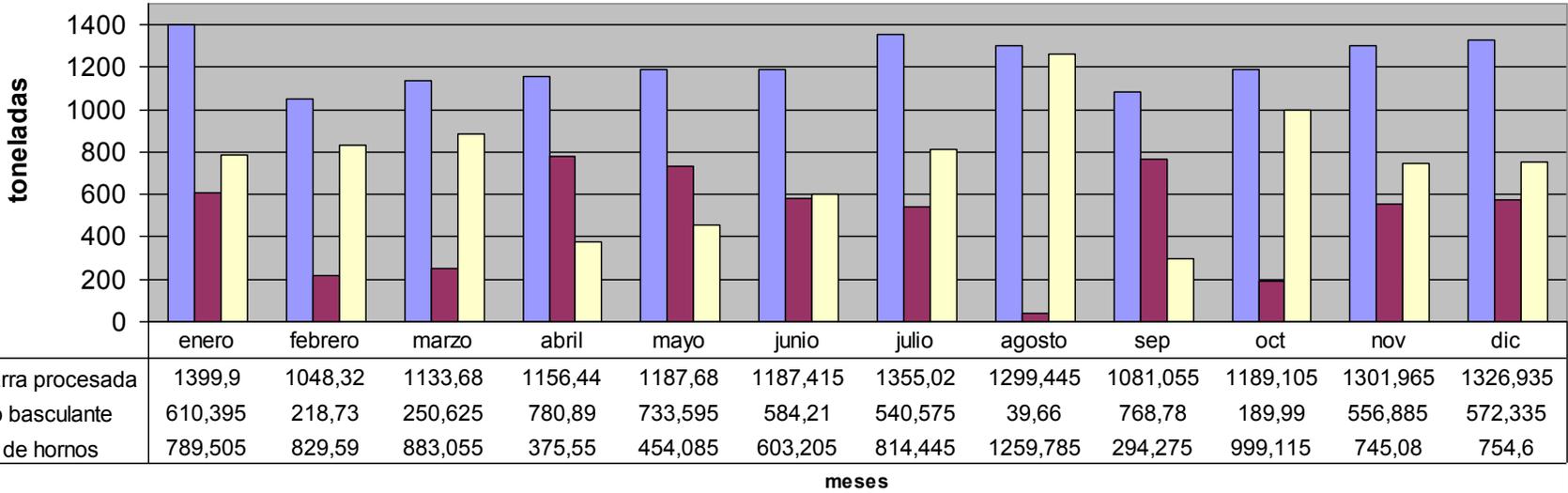
operación. El tiempo de demora en fundir esta cantidad de chatarra es de 4hr.

Una situación que se presenta con el horno basculante es que, existen turnos de trabajo donde éste no es cargado de chatarra ya que se encuentra lleno en su capacidad por aluminio líquido ya listo para ser trasegado pero, no se da este vaciado porque no se cuenta con ningún horno de retención disponible para ser llenado por este aluminio.

Un horno de retención únicamente puede ser cargado con 8 a 12tm máximas de chatarra, procesándola en 4 hrs aproximadamente; debido a que por no ser un horno diseñado para la refusión, tarda más tiempo en fundir mayor cantidad de chatarra; y este tiempo no puede abarcar más de un turno de trabajo (8hr) debido a que en un turno de trabajo se debe preparar un horno (cargado de aluminio líquido o aluminio líquido y chatarra) y se debe colar el horno que fue preparado en el turno anterior. Si un horno de retención es cargado con más de 12 tm de chatarra no estará listo para ser vaciado en el siguiente turno de trabajo.

A continuación se muestran los gráficos correspondientes a los niveles de chatarra procesada en el horno basculante contra los niveles de chatarra procesada en el resto de los hornos para los años 2005 al 2009:

**Distribución de chatarra en hornos.  
Año 2005**



**Grafico N° 7:** Chatarra procesada en hornos de la Sala de Colada de CVG VENALUM durante el año 2005.

Elaborado con datos tomados del Sistema Integral de Colada.

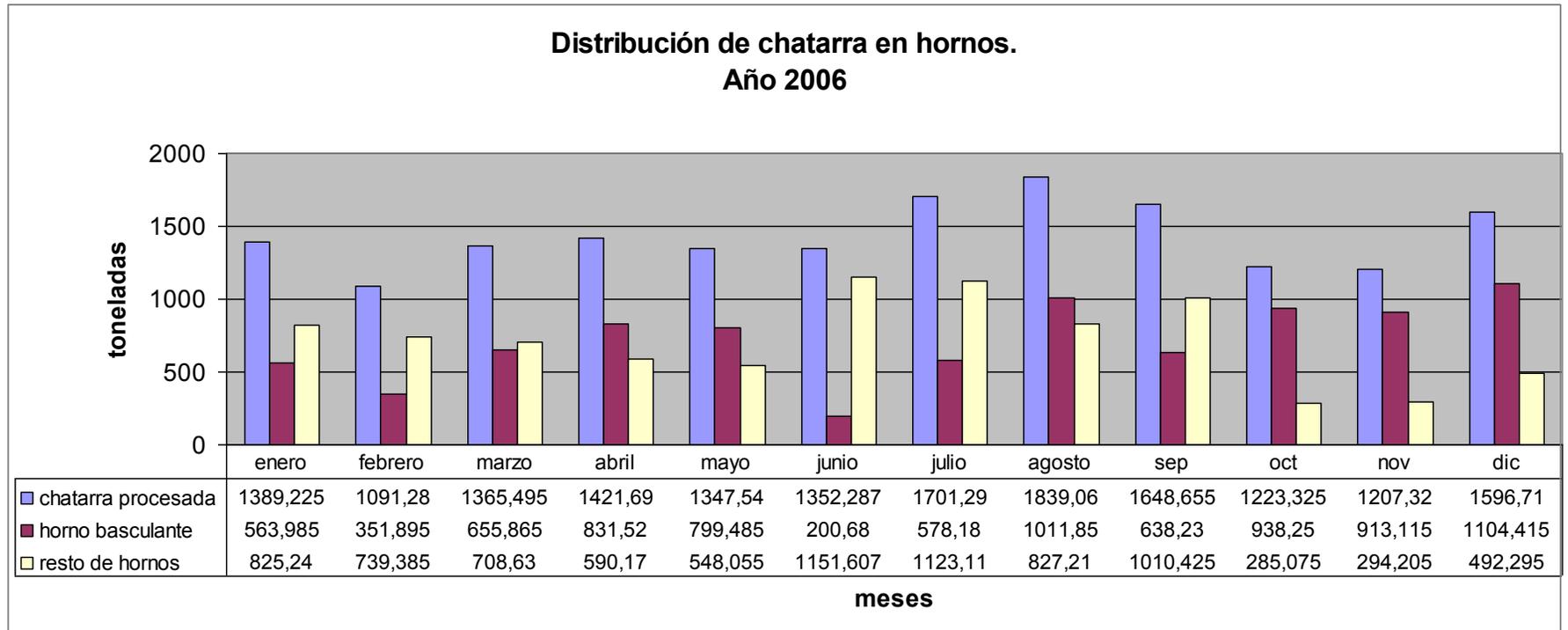
En el gráfico anterior se mostró la cantidad de chatarra que fue procesada para el año 2005, graficando las toneladas de chatarra cargada al horno basculante contra los demás hornos del área de colada de CVG VENALUM.

Se puede observar que existen meses donde la carga de chatarra fue mayor en el resto de los hornos. Para el mes de febrero el 79.14% de la chatarra cargada fue procesada en los 11 hornos del área de colada; el horno N° 11 y horno N° 12 refundieron la mayor cantidad de chatarra, en cilindros defectuosos 147,245tm y en chatarra de despunte 369,92 tm. Debido a que, por ser estos hornos los que estaban colando el aluminio para cilindros de extrusión, y contenían la misma especificación química, fue cargada la chatarra para refundirse ahí mismo. Para el mes de Marzo, igualmente los hornos N° 11 y N° 12 procesaron la mayor cantidad de chatarra, 196,98tm de cilindros defectuosos y 350.98tm en despunte de cilindros.

En el mes de abril el horno basculante procesó el 67.52% de la chatarra total, de la cual 79,150 tm provenían de envarillado y 535,35tm de despunte de cilindros, para este mes no se produjo alta cantidad de cilindros defectuosos (70tn). En comparación con el mes de agosto, donde los hornos N° 7, N° 11 y N° 12 procesaron de cilindros defectuosos 375,78tm y despunte de cilindros 476,965tm.

Para el año 2005 se procesaron 14666.96tm de chatarra, de las cuales 5846,67tm fueron cargadas en el horno basculante, es decir 39,9% de la carga total y 8802,29tm fueron procesadas en los 11 hornos restantes. En promedio, el horno basculante refundió al mes 487,2225tm de chatarra. Las grandes variaciones que se dieron en los meses de febrero, marzo, agosto y

octubre se debieron al aumento de cilindros defectuosos los cuales fueron refundidos en los hornos N° 7, N° 9, N° 11 y N° 12.



**Grafico N° 8:** Chatarra procesada en hornos de la Sala de Colada de CVG VENALUM durante el año 2006.

Elaborado con datos tomados del Sistema Integral de Colada.

Para el año 2006 la distribución de la chatarra estuvo más equilibrada entre los hornos a excepción del mes de junio, octubre, noviembre y diciembre.

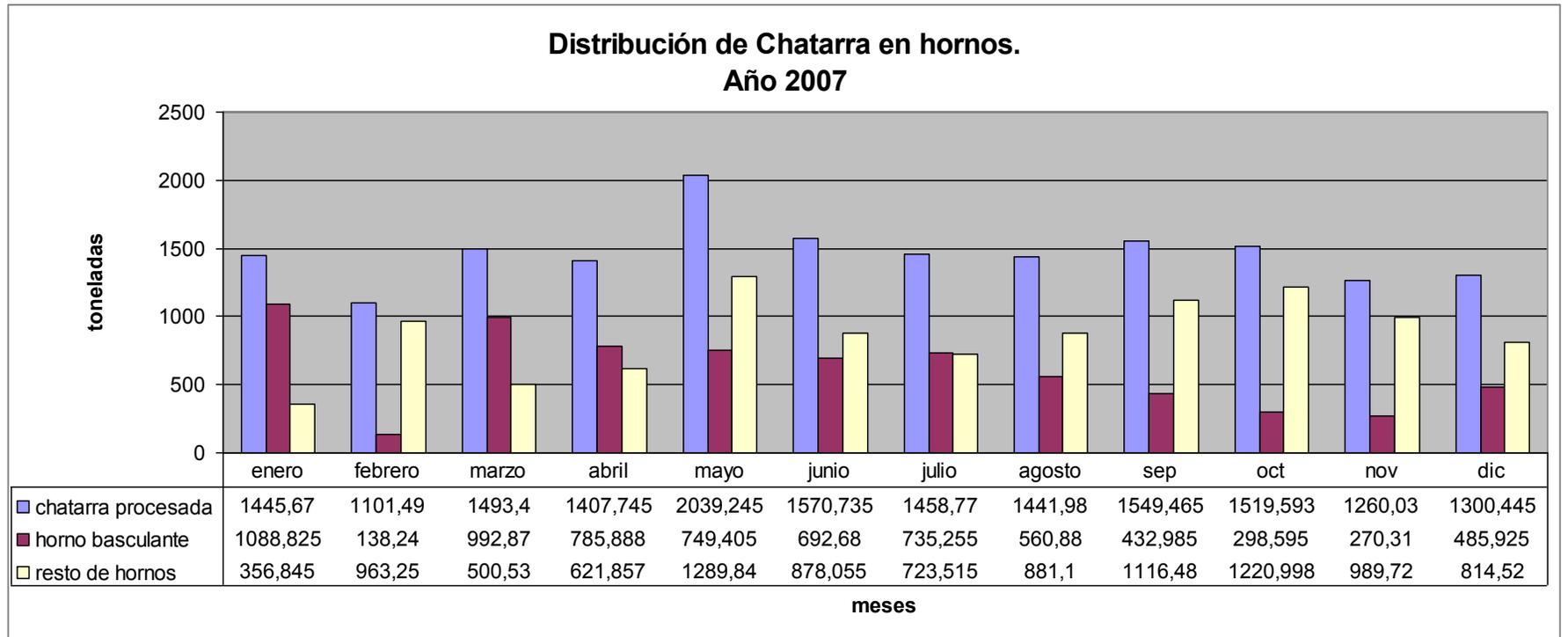
Para el mes de junio el horno basculante únicamente procesó el 14.84% de la chatarra generada. La mayor generación de chatarra fue en despuentes de cilindros 754.6tm, cilindros defectuosos con 170,335tm y envarillado con 71.035tm.

En el mes de octubre y noviembre el horno basculante refundió la mayoría de la chatarra, el 76.7% y 75.6% respectivamente, del total de la chatarra generada. Para el mes de octubre cilindros defectuosos y despunte de cilindros fueron las chatarras más generadas, en total 833.8tm seguidas de envarillado con 127.745tm. En noviembre, igualmente, la chatarra de cilindros defectuosos y despunte de cilindros sumaron la mayor cantidad a procesar, 744.83tm.

Al finalizar el año 2006 se refundió un total de 17183,877tm de chatarra, de las cuales el 49,97%, es decir, 8587,47tm se procesaron en el horno basculante y el resto, se refundió en 12 hornos de la sala de colada. En promedio el horno basculante refundió 715,6225tm al mes

La mayor utilización del horno basculante para este año pudo haberse debido a:

- El aumento de la producción de cilindros para extrusión, de 89561,741tm en el año 2005 a 109194,463tm y por lo tanto el aumento de chatarra a procesar.
- Mayor disponibilidad del horno, debido a la reducción de los tiempos muertos por paradas, averías, ajustes o mantenimiento.



**Grafico N° 9:** Chatarra procesada en hornos de la Sala de Colada de CVG VENALUM durante el año 2007.

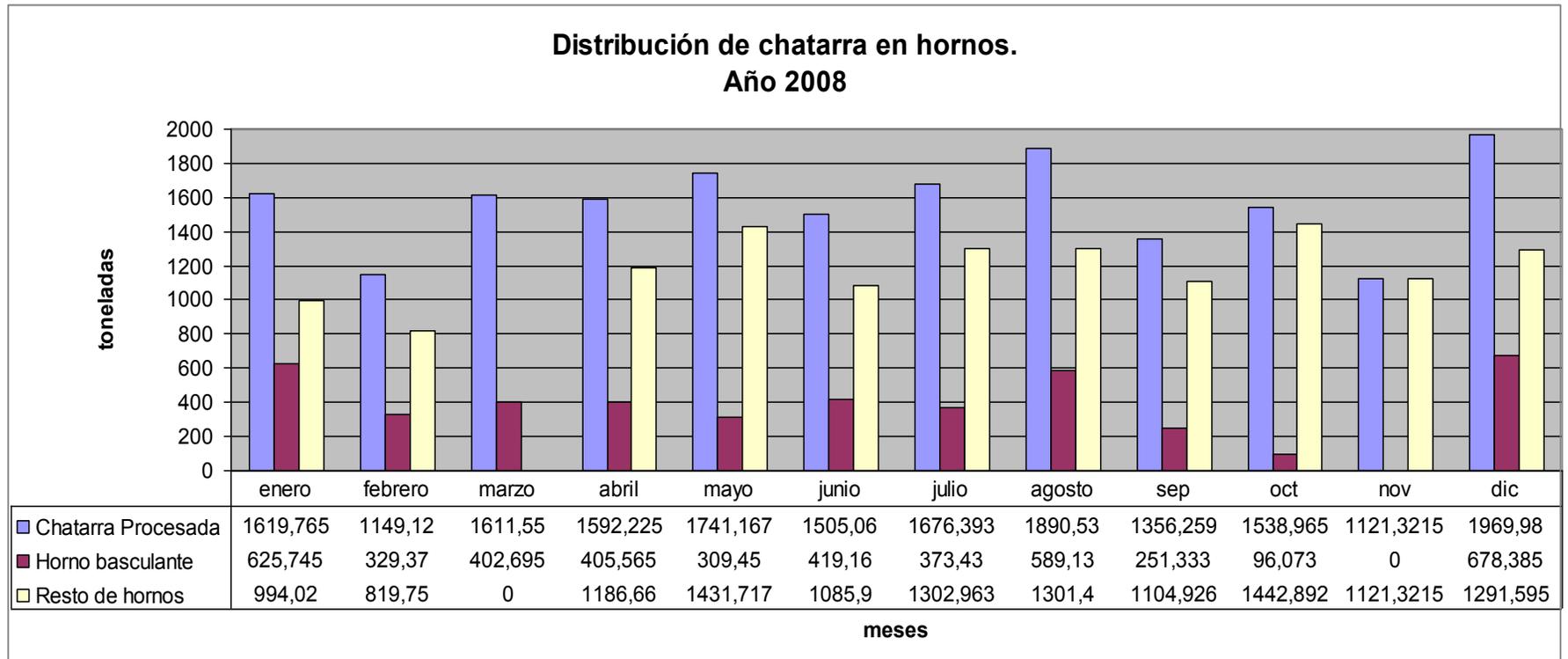
Elaborado con datos tomados del Sistema Integral de Colada.

El mes de febrero del año 2007, fue el mes en el cual el horno basculante procesó la menor cantidad de chatarra, únicamente se le cargó 138,24tm de 1101,49tm procesadas. La chatarra que en mayor cantidad se generó fue despunte de cilindros con 556,285tm, en drenajes 241,170tm y envarillado con 104,485tm.

En el mes de octubre, de las 1519,593tm que se generaron, solo el 19,65% se proceso en el horno basculante, de las que 139,215tm eran de despunte de cilindros, 48,145tm de envarillado y 35,84tm de drenajes. La mayor cantidad de chatarra, que fue de cilindros defectuosos 539,7tm, fueron refundidas en los hornos N° 4, N° 7, N° 8, N° 11 y N° 12; y las 426,565tm de despunte de cilindros se refundieron en los hornos N° 7, N° 8, N° 11 y N° 12.

El horno basculante para el mes de noviembre solo refundió 270,31tm de las 1260,03tm que se generaron. Al igual como se ha observado en los años anteriores, para cada mes, la mayor producción de chatarra sigue siendo cilindros defectuosos con 251,625tm y despunte de cilindros con 411,245tm.

Para el año 2007 se procesaron 17588,568tm de chatarra, de éstas, 7231,858tm se refundieron el en horno basculante; en promedio, se le cargaron 602,654tm mensualmente.



**Grafico N° 10:** Chatarra procesada en hornos de la Sala de Colada de CVG VENALUM durante el año 2008.

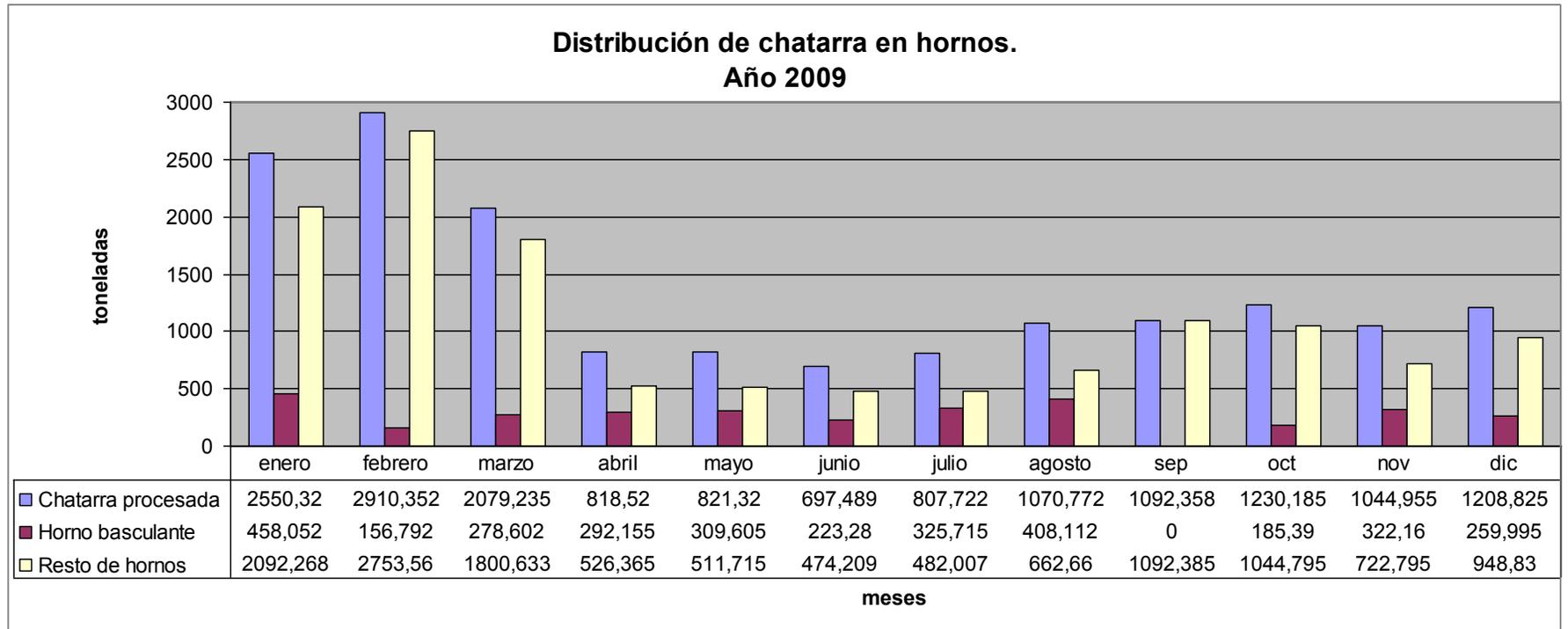
Elaborado con datos tomados del Sistema Integral de Colada.

Para este año, la utilización del horno basculante disminuyó notablemente según el gráfico anterior, basado en los datos suministrados por el Sistema Integral de Colada de CVG VENALUM. En todos los meses el procesamiento de la chatarra se realizó en mayor cantidad en los 10 hornos operativos; en total se refundió 18772,3355tm de chatarra tanto interna como externa, de las cuales solo 4480,336tm, es decir, el 30.33% fue procesada en el horno basculante.

El mes más crítico fue noviembre, donde toda la chatarra se procesó en el resto de los hornos. Cabe destacar, que este fue el mes con menor generación de chatarra del año, debido a que no hubo gran cantidad de cilindros defectuosos como en otros meses y años, apenas alcanzó 33,165tm, mientras que la chatarra por despunte de cilindros se ubicó en 653,181tm, lo cual es aceptable, ya que la chatarra por despunte de cilindros y viruta representan el 10% de la producción de cilindros, la cual para este mes se ubicó en 8540,0455tm de cilindros para extrusión.

En diciembre se generó 1969,68tm de chatarra, de las cuales las más generadas fueron despunte de cilindros con 631,517tm, drenajes 224,880tm, cilindros defectuosos 114.620tm y chatarra en forma de moldes estacionarios 433,485tm. Esta última, debido al aumento de llegadas de crisoles con alto porcentaje de hierro (>.20%Fe), no fueron vaciados directamente en hornos para no contaminarlos, por el contrario, se fabricaron pailas de 500kg, las cuales se dosificaron en los hornos N° 3, N° 5, N° 6 y N° 13 para ser refundidas.

En promedio el horno basculante refundió al mes 373,361tm, ubicándose casi en la mitad de toneladas que procesó en el año 2007.



**Grafico N° 11:** Chatarra procesada en hornos de la Sala de Colada de CVG VENALUM durante el año 2009.

Elaborado con datos tomados del Sistema Integral de Colada.

Para este año, Febrero se posesionó como el mes de mayor generación de chatarra (con 2910,352tm) registrado en los años de estudio (2005 al 2009). Cifra que refleja en mayor medida chatarra generada en cilindros defectuosos 1946,265tm de las cuales el 97.65% se refundió en hornos de retención (hornos N° 7, N° 8 y N° 11), 335,622tm de chatarra por despunte de cilindros y 168,537tm en moldes estacionarios alto hierro.

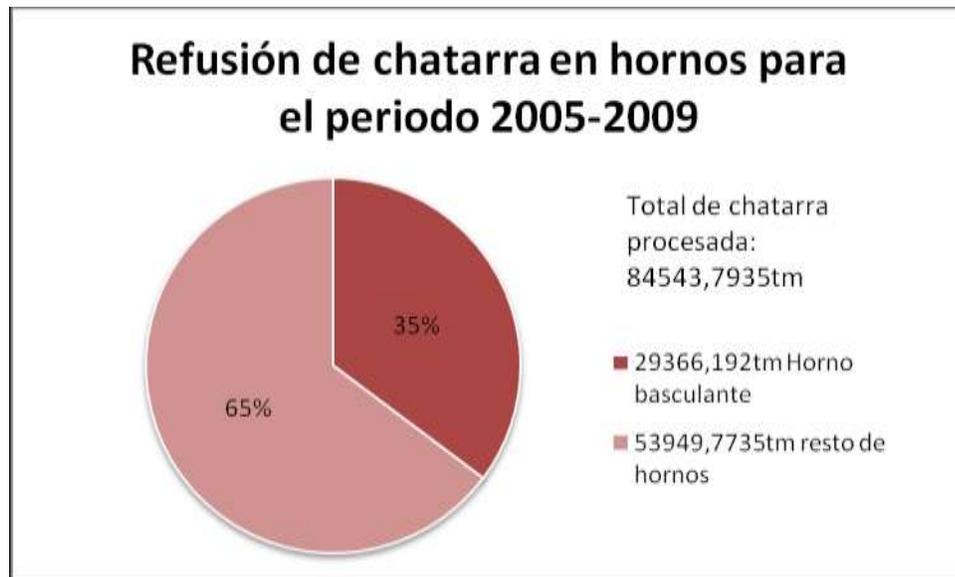
El aumento de chatarra debido a cilindros defectuosos, pudo haber ocurrido como consecuencia de:

- Cilindros rechazados por defectos superficiales, que impide utilizarlos en el proceso de homogeneizado y corte.
- Cilindros de coladas interrumpidas: generados al momento de detener una colada, a causa de fallas o problemas operacionales.
- Homogeneizado de cilindros: cilindros generados en el proceso de homogeneizado a causa de las desviaciones en los parámetros de operación, tiempo y temperatura.

Para Septiembre el horno basculante no estuvo refundiendo; esta situación pudo haberse debido a paradas del horno por mantenimiento correctivo o preventivo.

Los hornos refundieron en total 16332,053tm, de las cuales 3219,858tm (19,71%) se refundieron en el horno basculante, en promedio 268.3215tm mensuales.

Sintetizando todo lo anterior, se muestra el siguiente grafico donde se refleja el porcentaje de refusión de chatarra que se dio en los hornos para el período de estudio:



**Grafico N°12:** Refusion de chatarra en hornos de Sala de Colada. Elaborado con datos tomados del Sistema Integral de Colada.

En base a todo lo anterior, y desglosando los términos, tenemos la siguiente información:

**Tabla N° 9:** Clasificación de la producción de aluminio.

Producción aluminio (tm)	2005	2006	2007	2008	subtotal	%	2009	total
<b>Total</b>	374.692	403.864	390.562	390.325	1.559.443	100	342.898	1.902.341
<b>Cilindros</b>	89.561	109.164	89.896	86.743	375.394	24	39.847	415.241
<b>Resto*</b>	285.401	294.700	300.666	303.582	1.184.049	76	303.051	1.487.100

\*producción de aluminio primario en forma de pailas de 680kg y lingotes de 10kg y 22kg

**Fuente:** datos tomados del Sistema Integral de Colada.

En el año 2006 la chatarra generada por la producción de cilindros fue de 12770tm es decir 11.7%, valor que fue tomado como base para calcular de los niveles de producción de chatarra (despunte, viruta, cilindros defectuosos) para el resto de los años, ya que éste año fue el que alcanzo la

mayor producción de cilindros para extrusión y por lo tanto, tuvo la mayor generación de chatarra. Así obtenemos:

**Tabla N° 10:** Clasificación de la chatarra.

<b>Chatarra generada (tm).</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>subtotal</b>	<b>2009</b>	<b>total</b>
<b>total</b>	14666	17183	17588	18772	68209 (100%)	16332	84541
<b>De cilindros</b>	10478,6	12770	10517,8	10149	43915,4 (64,4%)	4462	48377,4
<b>De resto*</b>	4187.4	4413	7070,2	8623	24293,6 (35,6%)	11870	36163,6

**Fuente:** datos tomados del Sistema Integral de Colada. Elaboración propia.

**Tabla N° 11:** Distribución de la chatarra en hornos.

<b>Chatarra procesada (tm)</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>subtotal</b>	<b>2009</b>	<b>total</b>
<b>Basculante</b>	5846	8588	7231	4480	26145	3219	29364
<b>% refusión</b>	39,9	50	41,1	23,9	38	20	35
<b>Otros**</b>	8802	8595	10356	13083	40836	13112	53948
<b>%refusión</b>	60	50	58,9	69,7	60	80	64

**\*\*Hornos de retención de la sala de colada**

**Fuente:** Elaboración propia. Datos tomados del Sistema Integral de colada.

Para un escenario del año 2005 al 2008, tenemos:

- De la producción total de aluminio, el 24% es destinado a la producción de cilindros para extrusión y un 76% a la producción de lingotes y pailas.
- Tomando como referencia el año 2006 de mayor producción de cilindros, se observa que la chatarra generada por cilindros defectuosos, despunte y viruta, representan el 11.7% de la producción de cilindros. Al restar la cantidad de chatarra generada por cilindros del total de la chatarra generada para cada año, obtenemos la chatarra generada por el resto de los procesos, ubicándose en 2.4% promedio de la producción del resto de los procesos.
- Se observa que la menor cantidad de chatarra generada se procesa en el horno basculante y la mayor cantidad de y la mayor cantidad en “otros hornos” (hornos de retención). Como lo muestra el promedio del 2005 al 2008 de la distribución de la chatarra generada para su procesamiento (tabla N° 1).
- Los porcentajes de generación de chatarra por proceso, están próximos a los porcentajes de distribución de chatarra en hornos.

**Tabla N° 12:** Porcentajes de chatarra generada y procesada

Chatarra generada		Chatarra procesada	
De Cilindros	64,4 %	otros	60%
De resto	35,6%	basculante	38%

**Fuente:** Elaboración propia.

- Por todo lo anterior, se determina en general, que la chatarra generada en las áreas principalmente de cilindros, es reprocesada o fundida mayormente en sus respectivos hornos (hornos de retención), dejando para el horno basculante solo el resto de la chatarra

generada, como son derrames, moldes estacionarios, envarillado, etc. Originando capacidad ociosa en éste. Una de las causas determinantes de dicha distribución, con la cual se genera inactividad en el horno basculante, son principalmente las dimensiones excesivas de la chatarra por cilindros defectuosos, que para poder ser cargada en el horno basculante, requiere de exceso de manipulación, uso de equipo auxiliar y tiempo de operación prolongado para introducir los cilindros de forma diagonal en dicho horno, restando capacidad de carga, debido a que de forma recta, los cilindros no entran en el horno por sus dimensiones de longitud. Esta situación genera la posibilidad de dañar la puerta del horno al momento de carga, marcos y refractarios. Actualmente realizan el corte de cilindros por la mitad para facilitar la carga, pero esto, genera un costo adicional de corte, mayor movimiento de maquinaria, disponibilidad de equipo (sierra) y aumento de operaciones de corte que representarían demoras en el proceso.

Estas causas influyen de gran manera en la decisión de fundir chatarra de cilindros defectuosos en el horno basculante. Ahora bien, procesando este tipo de chatarra en los hornos de retención, se elimina las causas anteriores, pero se presentan también aspectos negativos para estos hornos, como son: 1. Daño al refractario frontal del horno, ya que carece de la rampa que va al borde de la puerta hacia el piso, la cual evita el golpe de la chatarra al momento de su carga, 2. Daños en el marco de la puerta por el roce mecánico de los cilindros durante su cargado, 3. Reduce la disponibilidad de carga de metal líquido proveniente de la sala de celdas por los prolongados tiempos de refusión, pudiendo generar cuellos de botella en la distribución del aluminio líquido, 4. El diseño de los hornos de retención no es para fundir metal sólido, por lo que los tiempos de

fusión y la generación de escoria pudieran estar por encima de lo normal.

Si a todo lo anterior, se agrega que se tiene programado incrementar la producción de cilindros para extrusión, en el momento que esta planeación se concrete, los hornos (otros) de retención, serán insuficientes para procesar la chatarra generada por el incremento de colada de cilindros, corriendo el riesgo de generar retrasos para la distribución de metal proveniente de celdas.

En el mismo sentido, se debe considerar que la vida útil actual del horno basculante es de 2 años y 8 meses aproximadamente y llegará el momento donde requerirá de una parada para su reacondicionamiento general, por lo tanto, CVG VENALUM deberá establecer el proyecto y programa para la fabricación de un nuevo horno que reúna las características necesarias para revertir los efectos negativos que se tienen tanto en el horno basculante actual como en los hornos de retención, y así, sean utilizados para su principal función en el proceso productivo (retención) y estén en la total disposición y capacidad de recibir metal líquido .

**3. Diseñar un método basado en el análisis de regresión lineal para determinar las proyecciones de producción de chatarra interna y externa.**

A partir de los datos históricos del año 2005 al 2009 sobre los niveles de producción total de aluminio y los niveles de chatarra procesada, obtenidos del sistema integral de colada, se realizó el análisis de regresión lineal, con la

finalidad de obtener una ecuación que permitirá generar valores sobre proyecciones de niveles de generación de chatarra.

La siguiente tabla muestra los valores en toneladas de los niveles de producción del aluminio sólido y la chatarra procesada para los 12 meses de cada año, desde el 2005 al 2009:

**Tabla N° 13:** Valores de producción total (Xi) y chatarra (Yi).  
Datos (tm):

<b>Producción total de aluminio (Xi)</b>	<b>Chatarra procesada (Yi)</b>	<b>Producción total de aluminio (Xi)</b>	<b>Chatarra procesada (Yi)</b>
29416,545	1399,9	33476,6945	625,745
31083,8695	1048,32	31073,845	1149,12
31650,055	1133,68	31892,593	1611,55
31926,665	1156,44	31222,186	1592,225
31714,7385	1187,68	33013,3535	1741,167
29890,225	1187,415	32492,1535	1505,06
33654,013	1355,02	31956,76	1676,393
32051,95	1299,445	30912,375	1890,53
29966,3615	1081,055	29669,059	1356,259
31173,2395	1189,105	35357,4505	1538,965
29623,873	1301,965	34445,9015	1121,3215
32810,513	1326,935	34812,8635	1969,98
33104,329	1389,225	33550,5565	2550,32
30469,8365	1091,28	27898,5155	2910,352
34010,354	1365,495	32336,625	2079,235
33244,6985	1421,69	29890,0025	818,52
35734,2095	1347,54	27493,8455	821,32
34783,8475	1352,287	28775,4115	697,489
34191,974	1701,29	29979,7045	807,722
35344,6255	1839,06	27927,7465	1070,772
33559,53	1648,655	24851,9005	1092,358
33387,6345	1223,325	28645,449	1230,185
32113,888	1207,32	24805,2025	1044,955
33919,2035	1596,71	26743,7495	1208,825
32769,1065	1445,67	33494,484	1458,77
30706,4265	1101,49	33302,935	1441,98
33045,2195	1493,4	33331,8655	1549,465
31967,0185	1407,745	34947,686	1519,593
33039,756	2039,245	30597,2065	1260,03
31754,6335	1570,735	31606,561	1300,445

**Fuente:** Propia.

Realizando las operaciones respectivas se obtienen los valores necesarios para la obtención de los coeficientes a y b:

**Tabla N° 14:** Valores de sumatorias.

$\Sigma Xi$ (tm)	$\Sigma Yi$ (tm)	$\Sigma Xi.Yi$ (tm)	$\Sigma Xi^2$ (tm)
1902613.022	83549.7735	2666939896	60682786015

**Fuente:** Propia.

$$b = \frac{n\Sigma XiYi - (\Sigma Xi)(\Sigma Yi)}{n\Sigma Xi^2 - (\Sigma Xi)^2} = 0.05$$

$$a = \frac{\Sigma Yi - b\Sigma Xi}{n} = -193.015$$

Considerando n=60.

La ecuación de regresión lineal obtenida para los valores anteriores de los coeficientes a y b fue:

$$Y = a + bx$$

$$Y = -193.015 + 0.05x$$

Donde x, la variable independiente, está representada por la cantidad de aluminio sólido producido (productos) y Y es nuestra variable dependiente, cantidad de chatarra producida, la cual siempre va en función de la producción total. A partir de esta ecuación se pueden obtener valores aproximados sobre la generación de chatarra futura que se tendrá en la sala de Colada de CVG VENALUM.

Considerando el aumento que se tendrá de 190000tm de cilindros para extrusión cuando se incorpore la tercera mesa de colada de y a partir de un promedio calculado en base a la producción total de aluminio para los años del 2005 al 2009, de 380522.6044tm, se obtiene las toneladas de chatarra aproximadas que se generarían:

Total de toneladas de aluminio producido (x):

$$(190000+380522.6044)=570522.6044$$

$$Y = -193.015 + 0.0501x$$

$$Y = -193.015 + 0.0501 (570522.6044)$$

$$Y = 28390.6044$$

Y= 28390,6044tm, es la estimación o el valor obtenido a través de la ecuación predicción lograda, que representa las toneladas aproximadas de chatarra que se procesarían para X =570522.6044tm de aluminio sólido.

**4. Evaluar una alternativa para la adquisición de horno que satisfaga las necesidades presentes y futuras de refusión de chatarra en el área de Colada.**

En base a lo analizado en el objetivo N° 2, la propuesta desarrollada, es la incorporación o instalación de un horno de fusión que cumpla con las siguientes características:

## **1. Dimensiones físicas del horno en función y proporción a las dimensiones físicas y a la cantidad del mayor porcentaje de chatarra actual generada y de generación futura.**

Las dimensiones del mayor porcentaje de chatarra generada son los provenientes de colada representadas por la longitud de los cilindros (6.35 m) por lo que las dimensiones del nuevo horno responderán a esta necesidad principalmente.

### **1.1 Las dimensiones actuales del horno basculante son:**

Exterior: 6m de frente; 7,2 m de profundidad y 2,9 m altura

Interior: 5 m de frente; 6,2 m de profundidad y 2.1 m de altura de cámara útil (considerando el espesor estándar de refractario de paredes laterales y frontales así como piso y techo.) y 0,735 m de altura de baño.

Estas dimensiones internas dificulta la carga de los cilindros, debido a que la longitud de estos es de 6,35m (dicha dificultad se aumentará, ya que la proyección de longitud con el incremento de producción de cilindros con la nueva mesa será de 7.23 m de longitud bruto, para generar cilindros de 7m neto).

### **1.2 Opciones de carga en condiciones actuales**

Para lograr una maximización de refusión de chatarra generada en colada existen tres opciones actualmente:

**A)** refundirlos en hornos de retención,

**B)** cargar solo pocos cilindros en el basculante de forma diagonal

**C)** cortarlos por la mitad, para poder ser cargados de forma paralela a la puerta de horno.

La opción **-A-** conlleva como es actualmente, a que los hornos de retención no tengan capacidad disponible para la recepción de metal líquido, y la generación de demoras en el proceso, por prolongados tiempos de fusión.

La opción **-B-** conlleva a mínimos porcentajes de carga debido principalmente al alto tiempo de operación de carga, excesivo enfriamiento de horno, daño a refractario laterales y marcos de puerta, requerimiento de equipos de carga móvil adicionales para auxiliar en el cargado de cilindros.

La opción **-C-** conlleva a adicionar a la chatarra generada el costo por corte de sierra, la generación de viruta, requerimiento de personal y equipo móvil adicional, así como la disminución de disponibilidad de corte para producción, (con el incremento de producción de cilindro, se incrementara también la demanda de corte de cilindro).

### **1.3 Dimensiones recomendadas para el nuevo horno de fusión**

El nuevo horno de fusión deberá contar con las dimensiones físicas de frente y profundidad que permita la carga del mayor porcentaje de generación de chatarra (cilindros) de forma práctica, segura y continua sin costo de transformación o adecuación adicional, y deberá permitir cargar lineal y rectamente los cilindros evitando el daño al refractario de paredes y marcos de puerta; deberá contar también con rampa interna entre el marco inferior de puerta y el piso de horno para evitar daños al piso del horno al cargar la chatarra.

Las dimensiones del horno propuesto son:

Exterior: 6,5m de frente; 9,5m de profundidad y 3,5m altura.

Interior: 5,5m de frente; 8,5m de profundidad y 2,7m de altura de cámara útil (considerando espesor estándar de refractario de paredes laterales y frontales así como piso y techo). Y 0,945 m de altura de baño líquido.

## **2. Capacidad de Quemadores**

Actualmente el horno basculante cuenta con dos quemadores convencionales que permiten una rata de fusión de 5 tm por hora, considerando un remanente de 20 tm, en la proporción que el remanente disminuye, la rata de fusión se incrementa.

### **Debe contemplarse en el diseño del nuevo horno:**

**2.1 La selección de quemadores fusores Regenerativos** de alta velocidad donde el aire de combustión es precalentado con los gases de combustión que salen del horno y permitirá considerables ahorros de energía entre el orden del 30 y50% en comparación con un quemador convencional. La selección adecuada de la capacidad, cantidad y calidad de quemadores que permitan uniformar la temperatura a lo largo de la superficie de la carga. Permitirá obtener tiempos de fusión cortos basados en la teoría de que la transferencia de calor en los hornos de refractario de quemadores, es una función de la temperatura y la velocidad de los gases calientes que pasan a través de la superficie receptora, por lo que a mayor velocidad de los gases sobre la superficie a calentar, mayor transferencia de calor tendrá.

### **2.2 Quemadores mantenedores.**

La incorporación de estos quemadores mantenedores, (adicionales a los fusores que demande la nueva cámara), actúan en el momento de apertura de puerta, evitando el enfriamiento de la zona de carga del horno, y logrando mantener la temperatura de la cámara durante la operación de carga.

La adecuada Selección de quemadores, su distribución, monitoreo y operación, así como el control de presión del horno para evitar filtraciones de aire frío, el mantener puertas y tuberías selladas sin fugas, la planeación de carga óptima y adecuada (tiempo de operación de carga Vs. Volumen y peso de carga) control adecuado de la relación aire-combustible, y mantenimiento adecuado en general del horno permitirá alcanzar tasas óptimas con el mínimo de remanente de metal por debajo de los parámetros actuales. Logrando reducir los inventarios de chatarra generada, y su reincorporación al proceso con su respectiva recuperación económica.

## CONCLUSIONES

Después de realizado el estudio y analizado los resultados obtenidos, se llegó a las siguientes conclusiones:

1. La generación de chatarra en la Planta de CVG VENALUM es clasificada en interna y externa; cada una de estas puede aumentar en función a varias situaciones.
  - La chatarra externa aumenta cuando existen mayores derrames en celdas y en el transporte de crisoles, debido al nivel de capacidad de manejo de los operarios y la chatarra que se genera en el proceso de rociado de los ánodos con aluminio líquido (envarillado) se considera como una chatarra de generación constante.
  - En la clasificación de la chatarra interna existen algunas que su generación es constante e inherente al proceso (merma), es el caso del despunte de cilindros y viruta que siempre se generan al momento de realizar el acabado final a los cilindros para extrusión. Mientras que la generación de cilindros defectuosos esta chatarra es considerada como desperdicio o rechazo y va en función de problemas de operación, fallas en equipos, capacidad técnica de los operarios.
2. Actualmente la sala de colada de CVG VENALUM cuenta con un horno basculante donde es refundida la chatarra, sin embargo este reproceso también se realiza en los hornos de retención con los que se cuenta, aún cuando no es su principal función; esto es debido a que en el cierto momento, durante el balance de carga y la distribución de los crisoles con alto contenido de hierro contaminaron

los hornos y por ende se utilizaron para refundir. Adicionalmente por los tiempos de parada del horno basculante a causa de daños físicos; es necesario utilizar los hornos de retención para continuar con el reproceso la fusión de la chatarra.

3. En el periodo de estudio del año 2006 al 2009, en el año 2006 se obtuvo la mayor producción de aluminio sólido, 403864.131tn, donde a partir de ese año, comenzó la disminución de la producción, ubicándose en 342898.709 tn para el año 2009.
4. El porcentaje de refusión de la chatarra para el año 2005 se ubicaba en 3.912% del total de la producción, aumentando a 4.763% del total de la producción para el año 2009.
5. En términos globales para el periodo en estudio; de la producción de aluminio para producto solido, fue destinado el 24% a la producción de cilindros para extrusión y un 76% a la producción de lingotes y pailas.
6. Los porcentajes de generación de chatarra por proceso son 64,4% de chatarra por cilindros y 35,6% de resto, los cuales están cercanos a los porcentajes de distribución de chatarra en hornos que se ubican en 38%de chatarra en el horno basculante y 60% de chatarra en los hornos de retención. Esta distribución genera capacidad ociosa en el horno basculante.
7. Se determina en general, que la mayor chatarra generada proviene de la producción de cilindros, es reprocesada o fundida mayormente en sus respectivos hornos (hornos de retención). Ya que las dimensiones de éstos, no permiten que sean cargados libremente en el basculante,

sino que requieren de trabajo y tiempo extra para su manipulación y preparación.

Procesar los cilindros en los hornos de retención genera daños físicos, Reduce la disponibilidad de carga de metal líquido proveniente de la sala de celdas y por no ser diseñados para fundir, aumentan los tiempos de fusión y generación de escoria.

8. Con el aumento de producción de cilindros para extrusión que se tendrá con la puesta en operación de la unidad de colada vertical N° 3, colapsara el sistema actual de refusión de chatarra en la Sala de Colada.

## RECOMENDACIONES

En base a los resultados y conclusiones se recomienda las siguientes acciones:

1. Implementar un horno de fusión a gas que cumpla con las características de dimensiones y capacidad de quemadores propuestas; logrando así, establecer el CENTRO DE MANEJO DE MATERIALES ASOCIADOS A LA DISTRIBUCION Y PREPARACION DE ALUMINIO LIQUIDO EN LA SALA DE COLADA.
2. Diseñar un plan o practica de trabajo de Carga de chatarra en Hornos (nuevo horno y horno basculante) en función a tiempos de carga, toneladas de chatarra a procesar, tipo de chatarra, utilización y manejo de equipos móvil.
3. Capacitar al personal encargo de la producción de cilindros para extrusión de las 3 unidades de colada vertical, evitando así el aumento de chatarra por este producto (cilindros con defecto superficial, cilindros taponados, cilindros de coladas interrumpidas).
4. Realizar las prácticas de mantenimiento preventivo adecuadas, que optimicen y garanticen la disponibilidad de los hornos de fusión.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FIDIAS, A. (2006). El proyecto de la investigación, introducción a la metodología científica. Caracas. Editorial Episteme, 5ta edición.

HUFNAGEL, W. (1992). Manual del aluminio. Barcelona. Editorial Reverté, 2da edición.

RODRÍGUEZ, M. (1993). Evaluación del proceso de generación y distribución de chatarra en sala de colada. Informe de Pasantía. Puerto Ordaz.

WALPOLE, R. y RAYMOND, M. (1985). Probabilidad y estadística para ingenieros. Madrid. Editorial Mc Graw Hill.

## **REFERENCIAS ELECTRÓNICAS**

CVG VENALUM. Manual de Inducción. Recuperado en diciembre de 2010, de: <http://venalumi>

CVG VENALUM. Práctica de trabajo de la Gerencia de Colada. Recuperado en Enero 2011, de <http://venalumi>

Hornos de Gas. Recuperado en Noviembre de 2010, de: <http://www.empresaeiciente.com/es/catalogo-de-tecnologias/hornos-de-gas>

# *Anexos*

## ANEXO N° 1



Figura N° 10: Crisol en balanza para su inspección.

## ANEXO N° 2

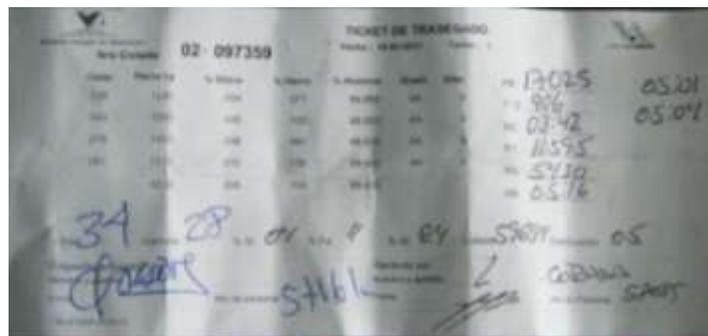


Figura N° 11: Ticket de trasegado.

### ANEXO N° 3



**Figura N° 12:** Crisoles en pasillo central.

### ANEXO N°4



**Figura N° 13:** Derrame en vía.

## ANEXO N° 5



**Figura N° 14:** Derrame en boca de carga de horno.

## ANEXO N°6.



**Figura N° 15:** Lingotes defectuosos.

## ANEXO N° 7



**Figura N° 16:** Derrame en puerta de horno por desnate.

## ANEXO N° 8



**Figura N° 17:** Aluminio recuperado de escoria procesada.

## ANEXO N° 9



**Figura N° 18:** Cilindros defectuosos.

## ANEXO N° 10



**Figura N° 19:** Despunte de cilindros en sierra.

## ANEXO N° 11



**Figura N° 20:** Maquina compactadora de viruta.

## ANEXO N° 12



**Figura N° 21:** Pailas con alto contenido de hierro



**Figura N° 22:** Paila con alto contenido de hierro en horno.

### **ANEXO N° 13**



**Figura N° 23:** Mesa de Colada para cilindros de extrusión, tecnología WAGSTAFG

## ANEXO N° 14



**Figura N° 24:** Horno basculante.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Eterno, por darme las fuerzas para trabajar día a día y la capacidad de desarrollar conocimiento.

A mis padres, Antonio Saloma y Genoveva Ibarra por su apoyo incondicional tanto en las situaciones simples como en las complejas.

A la Universidad por abrirme las puertas para desarrollar mis estudios y a la Empresa CVG Venalum por permitirme realizar mi práctica profesional.

A la Ing. Andreina Conde, el Ing. Andrés Blanco y a Antonio Saloma, por su ayuda en todo momento y por los conocimientos brindados, necesarios para la ejecución del trabajo de investigación.

Al Sr. Argenis Vera y al Sr. Antonio Rodríguez por su apoyo en la Sala de Colada y en la búsqueda de la información.

A Fabricio y Cesar, por su compañía en los momentos de cansancio y a Pacheco por su disposición a escucharme y su apoyo en las decisiones tomadas.

A Andreina, Carolina y Liseth, por su amistad incondicional, palabras de ánimo y compañía durante la carrera.

**Saloma Ibarra, Aura Nohemi**