

## PARTE I - EL ALUMINIO Y SU RECICLADO

### 1. INTRODUCCIÓN

El proyecto busca mejorar los resultados operativos de una fábrica a través de la optimización de un proceso de fusión de aluminio. Para esto, primero es necesario reconocer que se está frente a una situación problemática. La operación de un proceso pasa a ser un problema cuando su aplicación y tecnología utilizada no van de la mano con el crecimiento de la empresa.

Este es el caso de la empresa Bremet S.A. que se dedica a la inyección a presión de metales no ferrosos y cuenta con un sector dedicado a la recuperación del scrap y colada de su propio proceso de inyección. Este proceso de recuperación de aluminio, fue un salto enorme para la organización en términos de ahorro de dinero ya que anteriormente el scrap y la colada se mandaban a procesar afuera a un costo elevado. No obstante, hoy en día se cree que la compañía está trabajando por debajo del nivel óptimo. Las razones de esta aclaración se detallarán en el presente trabajo así como el camino para su optimización y la factibilidad de su desarrollo.

El objetivo del proyecto se centra en la mejora de dos aspectos. El correcto funcionamiento del proceso de fusión de aluminio por medio de una aplicación adecuada de la metodología de desarrollo de tal proceso, con el objetivo fin de reducir la merma del mismo y optimizar la calidad del producto final, y la reformulación del método para trasladar el material desde la zona de reciclado (scrap) hasta los hornos a crisol que alimentan las máquinas.

Por otra parte, también se estudia una alternativa a futuro, en caso de que la empresa crezca y con ella el volumen de producción mensual. Para este caso se analiza la existencia de un equilibrio entre la inversión realizada para incorporar nueva tecnología y los beneficios esperados de dicha implementación.

## 2. HISTORIA DEL ALUMINIO

A mitad del siglo XIX, era tan caro producir aluminio que se le consideraba un metal semiprecioso. El aluminio era tan apreciado, que Napoleón, emperador de Francia, tenía un servicio de mesa de aluminio para ocasiones especiales.

El aluminio empezó a obtenerse industrialmente en 1886 siendo los padres del proceso Charles Martin Hall en Estados Unidos y Paul L.T. Heroult en Francia. De aquí resulta que la base de todas las plantas fundidoras de aluminio primario es el proceso denominado Hall-Heroult. Gracias a este invento, la producción de aluminio se abarató considerablemente.

Hoy en día, es el metal no férreo más utilizado del mundo y está presente en sectores tan diferentes como el transporte, los envases, la construcción o la medicina. En poco más de 100 años, su consumo ha llegado a ser de 25 millones de toneladas anuales.

## 3. 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.

#### 4. CARACTERÍSTICAS DEL ALUMINIO

A continuación se marcan algunas de las características que hacen que el aluminio sea considerado “el material del futuro”:

- No magnético

Si se acerca un imán (de los de heladera, por ejemplo) a una lata de bebida y no se queda pegado, es de aluminio.

- Ligero

Una lata de aluminio pesa sólo 13,6 gramos. Las demás latas pesan más del doble. Con una sola lata no se nota mucha diferencia, pero si se compara el peso de 10 latas de aluminio con 10 latas de hojalata se comprueba que las primeras son mucho más ligeras.

- Resistente a la corrosión

Una lata de aluminio nunca se oxida. Gracias a esta característica, el aluminio se utiliza para exteriores como perfiles de ventana, tejados o puertas.

- Dúctil y maleable

El aluminio es un material muy dúctil y maleable. Por ello se utiliza para aplicaciones tan diversas como automóviles, trenes, aviones, perfiles de ventanas, envases tipo latas, bandejas, papel de aluminio, etc.

- Fácil de decorar

El aluminio tiene un color tan brillante que resulta atractivo para decorar. Algunas marcas no pintan todo el borde de una lata sino que dejan partes en que se ve el aluminio como si fuera otro color formando parte de la decoración.

- Impermeable al agua, la luz y los olores.

El aluminio protege totalmente los alimentos sin dejar que traspasen olores, luz ni líquidos. Y lo hace utilizando muy poca cantidad de material. Por ejemplo, un solo gramo de una hoja de aluminio alarga la vida del alimento varias veces.

- Mas barato reciclar que fabricar

Al reciclar aluminio se ahorra el 95% de la energía que necesitaríamos para producir el mismo aluminio a partir de la bauxita. Para formar una lata, por cada lata que se recicla se ahorra la energía de una bombilla de 200 w o la energía que gasta un televisor funcionando una hora.

- El reciclado es bueno, económica y ecológicamente.

Las latas y envases de aluminio usadas tienen valor en el mercado, por esto hay muchos grupos o personas que se dedican a recoger latas y envases de aluminio para luego venderlos a recuperadores, ayudando a mantener limpio el medio ambiente, reducir las basuras y ahorrar recursos naturales.

## 5. 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	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$

Pero una de las mayores ventajas del aluminio es que puede ser reciclado una y otra vez sin perder su calidad ni sus propiedades.

## 6. OBTENCIÓN DEL ALUMINIO PRIMARIO

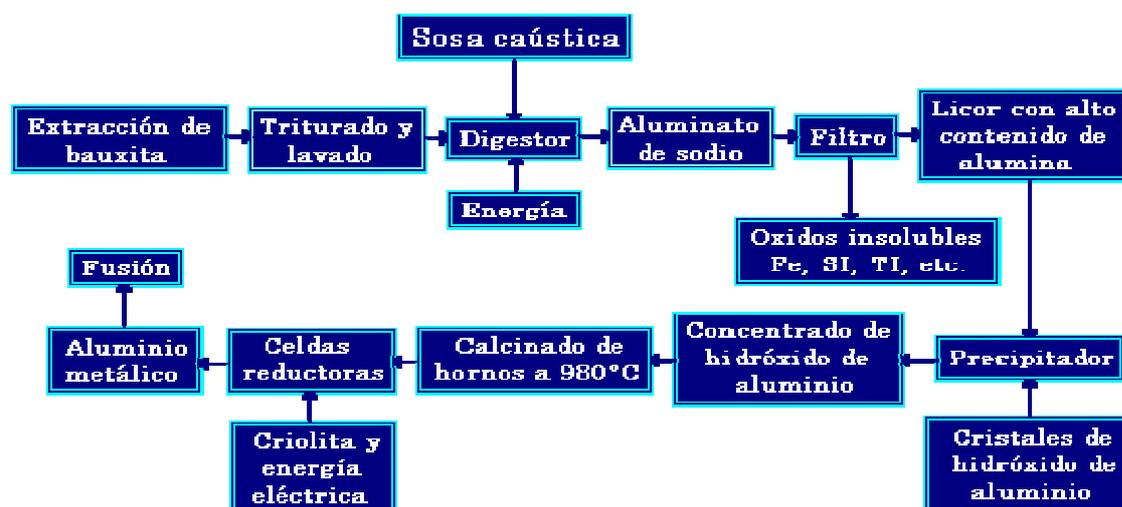


Figura 1- Proceso de obtención de aluminio

El mineral del cual se puede obtener aluminio comercial se llama bauxita, la cual regularmente puede ser encontrada en minas de depósito abierto. Para

lograr uniformidad en el material se tritura y con agua a presión se lava para eliminar otros materiales y sustancias orgánicas. Posteriormente el material se refina para obtener la alúmina, lo que ya es un material comercial de aluminio con el que se pueden obtener lingotes por medio del proceso de fundición.

### **6.1. BAUXITA**

Existen numerosos depósitos de bauxita principalmente en la zona tropical y subtropical del mundo y también en Europa. Forman estratos o bolsas que se encuentran generalmente a 12 metros o más abajo del suelo o de una cubierta de vegetación. La clase de bauxita comercial debe de contener al menos 40% de óxido de aluminio. La bauxita es generalmente extraída por una mina de tiro abierto. La cubierta se quita, se remueve la bauxita y se transporta a la refinería. Una vez que la extracción haya sido terminada, la capa del suelo y la vegetación se reemplazan. En Brasil y Australia, por ejemplo, hay programas de plantación y conservación que ayudan a la vegetación a regenerarse por sí misma.

Dos de tres toneladas de bauxita son requeridas para producir una tonelada de alúmina dependiendo de la clase de bauxita.

### **6.2. ALUMINA**

La bauxita es refinada en alúmina usando el proceso Bayer. La bauxita se lava y se disuelve en sosa cáustica (hidróxido de sodio) a una presión y temperatura alta. El resultado es un licor que contiene una solución de aluminato de sodio y residuos de bauxita sin disolver que contienen hierro, silicio y titanio. Estos residuos se hunden gradualmente hasta el fondo del tanque y son removidos. Son comúnmente conocidos como "barro rojo".

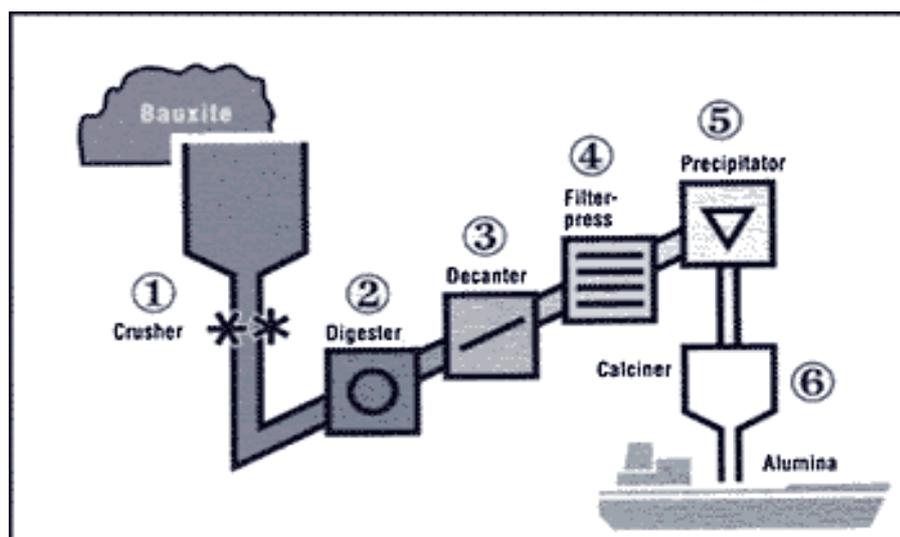


Figura 2- Proceso de obtención de alúmina. La alúmina es un material comercializable ya que a partir de este se puede obtener aluminio mediante el proceso de fundición.

La solución clara de aluminato de sodio es bombeada a un tanque muy grande llamado precipitador. Las partículas finas de alúmina son agregadas para despepitarse la precipitación de partículas de alúmina puras mientras que el licor se enfría. Las partículas se hunden hasta el fondo del tanque y son removidas y luego se pasan a un calcinador rotador o fluidizador a 1100°C para apartar el agua que está combinada. El resultado es un polvo blanco, alúmina pura. La sosa cáustica se regresa al principio del proceso y se vuelve a utilizar.

Dos toneladas de alúmina se requieren para producir una tonelada de aluminio.

### 6.3. ALUMINIO

La base de todas las plantas fundidoras de aluminio primario es el proceso Hall-Héroult, inventado en 1886. La alúmina se disuelve mediante un baño electrolítico de criolita fundida (fluoruro aluminico sódico) en un recipiente de hierro revestido de carbón o grafito conocido como "crisol". Una corriente eléctrica se pasa por el electrolito a un bajo voltaje pero con una corriente muy alta generalmente 150,000 amps. La corriente eléctrica fluye entre el ánodo (positivo) de carbono hecho del coque de petróleo y brea, y un cátodo (negativo) formado por un recubrimiento de carbón grueso o grafito del crisol.

El aluminio fundido es depositado en el fondo del crisol y se revuelve periódicamente, se lleva a un horno, de vez en cuando se mezcla a una aleación especificada, se limpia y generalmente se funde.

El aluminio se forma a cerca de 900°C pero una vez que se ha formado tiene un punto de fusión de solo 660°C. En algunas fundidoras este ahorro de calor es utilizado para fundir metal reciclado que luego es mezclado con el metal nuevo.

El metal reciclado requiere solo 5% de la energía necesaria para producir el metal nuevo. Mezclar metal reciclado con un nuevo metal permite ahorrar energía considerablemente así como el uso eficiente del calor procesado. No hay diferencia entre el metal primario y el metal reciclado en términos de calidad y propiedades.

La mayoría de los hornos produce aluminio del 99.7% de pureza que es aceptable para la mayoría de las aplicaciones. Sin embargo, el aluminio muy puro de 99.99% es utilizado para aplicaciones especiales, generalmente aquellas dónde la alta ductilidad y conductividad es requerida. El margen de diferencia en pureza del aluminio da cambios significantes en las propiedades del metal.

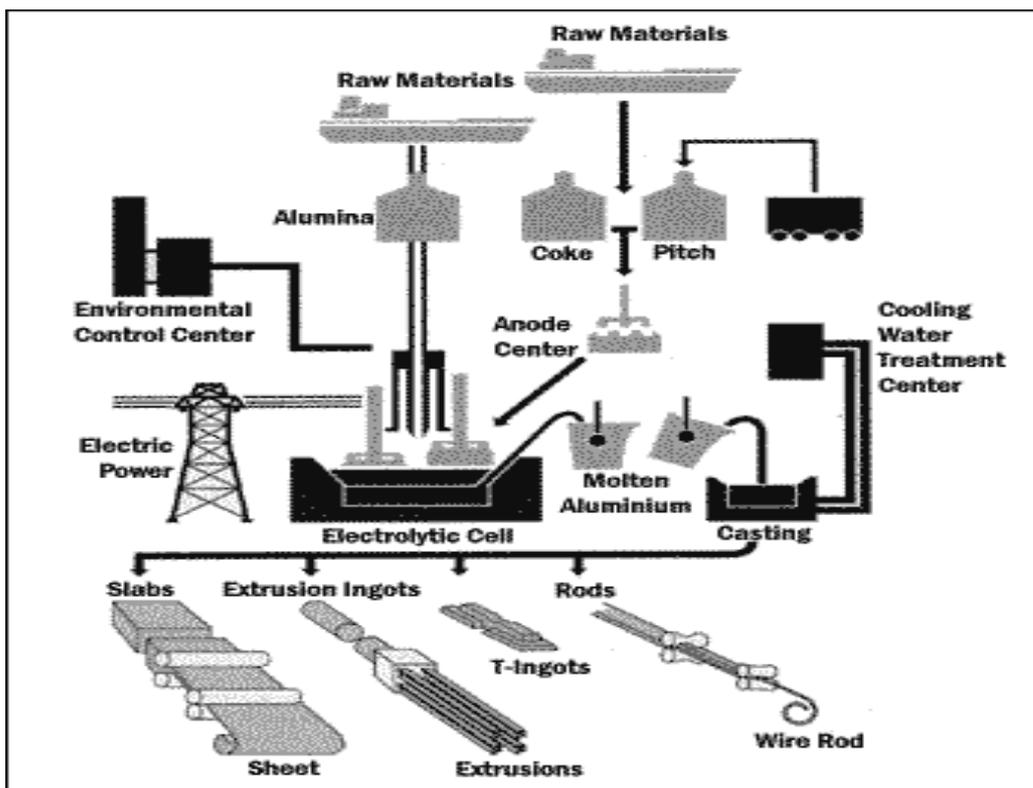


Figura 3- Proceso Hall-Heroult (1886). Base para la obtención de aluminio.

Para la producción de cada kilogramo de aluminio se requiere 2 kg de alumina, los que son producto de 4 kg de bauxita y 8 kwh de electricidad.

Al final de la vida útil del producto que contiene aluminio, este puede ser utilizado una y otra vez sin que se pierda su calidad, ahorrando energía y materiales en bruto (reciclado).

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

Cualquier cosa hecha de aluminio puede ser reciclada repetidamente: no solo latas, también hojas, láminas, moldes, marcos de ventanas, muebles de jardín, componentes de automóvil que son derretidos y se usan para hacer los mismos productos de nuevo.

El material de desecho en todas sus fases es meticulosamente recolectado y clasificado por tipos de aleación por todas las compañías de aluminio. A diferencia de otros metales, el aluminio de desecho tiene un valor significativo y buenos índices de precios en el mercado.

El aluminio es el único material de empaque que cubre más allá de su costo de recolección, proceso y traslado al centro de reciclaje. La industria del aluminio está trabajando con los fabricantes de componentes de automóviles para permitir que los autos con componentes de aluminio sean fácilmente desmantelados y que los desechos sean clasificados y reutilizados para partes nuevas idénticas. En la mayoría de otros proyectos de reciclaje los desechos de material son rara vez reutilizados para su misma aplicación, este tiene que ser degradado a una aplicación que tiene menos propiedades de metal.

La tasa de reciclaje para aplicaciones de construcción y transporte va desde el 60 al 90% en varios países. El metal es reutilizado en aplicaciones de alta calidad.

## **7. RECICLADO**

El Aluminio es un material metálico cuyas propiedades y características no se ven afectadas cuando ha sido transformado en un determinado producto. Por consiguiente, puede ser reciclado y reutilizado todas las veces que sean necesarias sin perder su calidad. Conserva el gran valor de este metal y ofrece un incentivo económico suficiente para que pueda ser recogido, tratado, fundido y reutilizado de una forma similar o comparable al final de la vida útil del producto. El consumo de Energía Eléctrica para producir 1kg. de aluminio reciclado es sólo un 5% del consumo energético necesario para producir 1 kg. de aluminio primario, razón por la cual la mayoría de las industrias encuentran el reciclado de aluminio como una actividad beneficiosa.

### **7.1. LA INDUSTRIA DEL RECICLADO**

Actualmente, la obtención de materias primas derivadas de un producto final utilizado, representa "una mina superficial" que puede ser renovada indefinidamente. Cuando esa operación resulta beneficiosa desde la óptica ambiental, con ecuación energética adecuada y técnica y económicamente factible, se tornan en una actividad industrial evolucionada y confiable. Estas consideraciones son principalmente aplicables a la industria del aluminio, los neumáticos, el cobre y el plástico, que en todo proceso de transformación, posibilitan la recuperación de los scraps generados y permiten desarrollar una industria de reciclado.

### **7.2. CHATARRERO Y SU INCIDENCIA EN EL MERCADO**

La industria del aluminio y especialmente las fundiciones, se encuentran hoy, frente a la problemática de que hay una demanda insatisfecha de aluminio secundario. Esto se debe principalmente a que gran parte de los productos fabricados en el país, son destinados al mercado de exportación. De esta manera, no contamos con la permanencia de dichos productos en el mercado local para que, una vez finalizada la vida útil de los mismos, puedan ser procesados para su reutilización.

Aquí es donde entran en juego los chatarreros, que son en gran medida, y aunque parezca difícil de creer, los que manejan el mercado. Los chatarreros se dedican a recuperar chatarra. Pagan un precio bajo a particulares por cualquier tipo de objeto que este echo de aluminio y generan un pequeño stock clasificando según el producto. Entonces esperan y deciden jugar con los precios de acuerdo a las necesidades del comprador.

En este caso el comprador es el fundidor de chatarra que procesa el material, separando impurezas y agregando aditivos para obtener aluminio secundario.

Este aluminio secundario que se vende en forma de lingotes (7-8 kg. Aprox.) ó en estado liquido (industrias grandes) lo compran las empresas dedicadas a la fundición en moldes de coquilla ó fundición a presión.

El problema radica en que son los consumidores finales los que manejan la demanda interna y externa, y detrás de estos, están todos los productores que tratan de satisfacer sus necesidades. Para satisfacer esta demanda, los productores de aluminio secundario deben recurrir a los chatarreros para conseguir la materia prima de sus procesos, pagando precios muy elevados. A continuación se presenta el flujo de material que comienza con la demanda del consumidor:

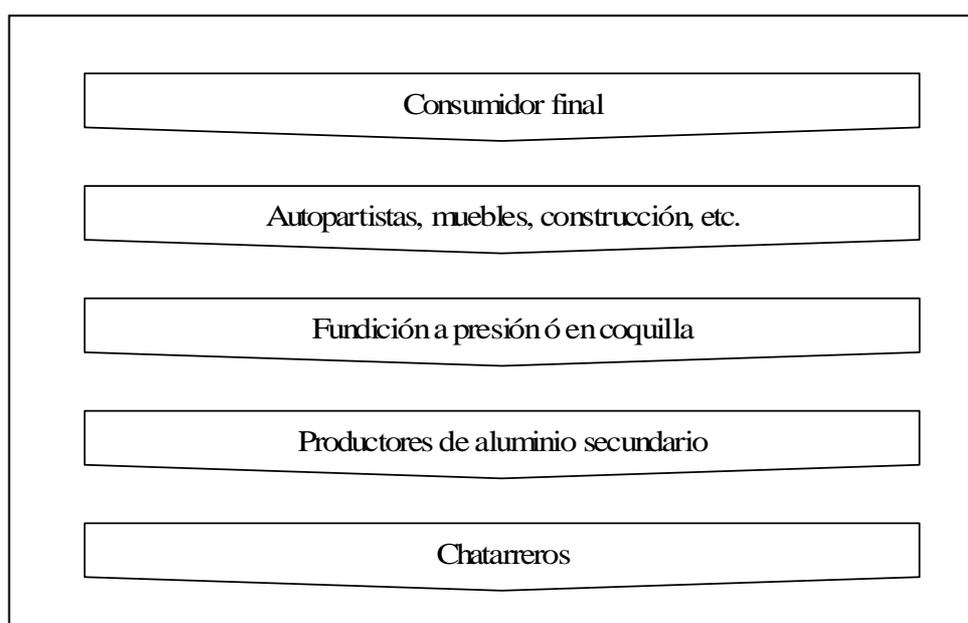


Figura 6- Cadena de demanda. Los chatarreros están al final de la misma.

Es por esto que los chatarreros cobran carácter de oportunistas, aprovechándose de la situación (muchísima demanda y poca oferta) y colocando los precios de sus chatarras cada vez más altos. Trabajan generando un stock de material y lo conservan el tiempo que sea necesario hasta que se les pague lo que piden, ya que saben que tarde o temprano, le pagaran lo pedido.

Esto genera inestabilidad en la industria ya que la fluctuación constante de los precios implica la renegociación tardía de los mismos (traslado del aumento) generando pérdidas y conflictos entre los distintos actores.

Para este problema hay dos soluciones alternativas:

Una, es la generación de un programa de recuperación de residuos sólidos urbanos, en donde se pide la colaboración de la comunidad para la recuperación de latas y otros residuos post-consumo de manera que se preserve el medio ambiente y aumente la oferta para el reciclado de aluminio. Los actores que formarían parte dentro de este programa son: Aluar, la Cámara del Aluminio, Extrusores, Fundiciones, Usuarios del Aluminio Secundario y Municipios.

La otra alternativa, es la Recuperación Tecnológica del Scrap Industrial que significa obtener la materia prima a un precio mucho mas bajo mediante el proceso de reciclado. Este proceso se profundizará en la PARTE II.

### **7.3. EL CICLO DE RECICLAJE DEL ALUMINIO**

El reciclado del aluminio es un proceso complejo, en el que intervienen diversos factores. Tanto sus canales de recuperación como sus aplicaciones y mercados presentan múltiples posibilidades. El papel del recuperador se convierte en fundamental ya que se encuentra en el centro del “ciclo” y colabora en forma decisiva para darle el mejor uso posible a un material que puede ser reciclado prácticamente en un 100%.

El aluminio usado llega principalmente por dos canales: de los desechos del consumo ya sea doméstico o industrial (por ejemplo, cables eléctricos, planchas litográficas, latas de bebidas, otros envases y embalajes, desguace de vehículos, derribos, etc.) y de los recortes y virutas que se producen durante la fabricación de productos de aluminio.

Por lo tanto, para los recuperadores mayoristas, pueden haber diferentes tipos de proveedores: la industria en general, fábricas, pequeños talleres, plantas de selección, minoristas o mayoristas, poniéndose de manifiesto una creciente internacionalización de este sector.

Existen muchos tipos de aluminio distintos que se comercializa en el mercado de la recuperación, pero se pueden agrupar básicamente en cuatro: los productos laminados (planchas de construcción, planchas de imprentas, papel de aluminio, partes de carrocerías de vehículos...), los extrusionados (perfiles para ventanas, piezas para vehículos...), los aluminios moldeados ya sea por gravedad o por inyección (piezas para motores, manubrios de las puertas, etc.) los trefilados para la fabricación de cables y otros usos.

La industria también clasifica el aluminio en primario, cuando se extrae de su mineral bauxita, y de segunda fusión o secundario, cuando su materia prima básica son las chatarras y recortes de aluminio provenientes de aluminio ya usado y de recortes de fabricación.

Se utiliza aquí el término “chatarra” en sentido amplio, como desechos de productos metálicos ya utilizados, conscientes de que el sector recuperador

aplica principalmente este término a los desechos de productos de hierro y acero.

### 7.3.1. EL PAPEL DEL RECUPERADOR

Una vez que llega el aluminio usado al recuperador, éste se encarga de darle la preparación óptima para su comercialización. En el caso de los mayoristas, por ejemplo, tratan de estandarizar la calidad del material para el cumplimiento de las normas nacionales e internacionales que existen en el sector. Para ello, el comerciante de chatarras tiene que preparar el aluminio, separándolo de los restos de otros metales y materiales por diversos métodos (manualmente, fragmentado, triturado, cizallado, etc.).

Es importante una buena clasificación del aluminio, para poder darle la mejor salida posible. La chatarra suele ser prensada, ya que de esta forma el transporte resulta mucho más fácil. Tras estos necesarios procesos, se lleva el material a una fundición, que puede darle el mismo uso de origen, o usarlo para fabricar otros objetos. Después el fundidor o refinador lo convierte, mediante fusión, en lingotes, tochos, productos de desoxidación, etc.

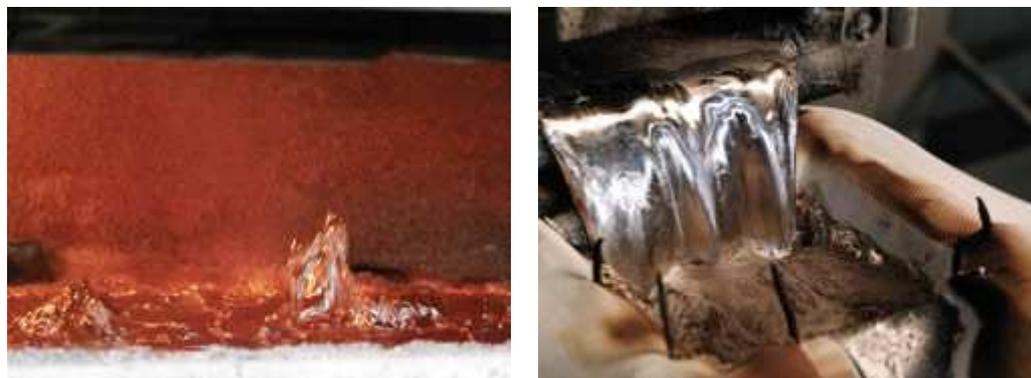


Figura 7- Fusión y vertido de aluminio en estado líquido. Temp. de fusión: 660°C

Como se ha comentado antes, hay muchos tipos de aluminio recuperado, y cada calidad puede tener salidas diferentes. Según la pureza del material, éste será utilizado para una aplicación u otra. Dentro de los productos laminados, nos podemos encontrar, por ejemplo, con latas, que se pueden usar para fabricar aluminio refinado para volver a hacer latas si son nuevas o han sido muy bien clasificados a su llegada al recuperador y otros productos de aluminio.

También, dentro de los productos laminados, están los recortes de fabricación de muy diversas aleaciones, que pueden ser utilizados para fabricar lingotes de la misma o de diferentes aleaciones. El aluminio de chapas litográficas y cables eléctricos, es un aluminio muy puro por lo que su aplicación en el reciclado es bastante amplia, utilizándose para la fabricación de aleaciones de alta pureza o, mediante mezcla, para reducir los porcentajes de aleantes presentes en otras chatarras recuperadas. Dada la versatilidad de utilización de estos materiales de alta pureza, su precio es el más caro del mercado de la recuperación.

El aluminio “cárter” procedente de llantas de coche, culatas, bloques o cárteres de motor, piezas de fundición, etc., se destina a la fabricación de lingotes con destino a ser fundidos y moldeados, siendo el porcentaje más alto de los lingotes que se producen por las plantas de segunda fusión, aproximadamente un 70% del total de su producción. Las mismas salidas tienen las virutas de aluminio, procedentes del torneado de piezas fundidas.

### **7.3.2. COMERCIALIZAR CON ALUMINIO**

A la hora de comercializar con el aluminio, hay que tener en cuenta los factores que influyen en su precio. A priori, el más cotizado será siempre el material más puro, como es el caso del aluminio cable, que contiene un 99,7% de pureza, por lo que se puede destinar para cualquier otro uso. Es decir, cuanto más puro es el material, más salidas puede obtener. El precio está condicionado, además, por los diferentes materiales aleados que contiene la chatarra.

También una parte del aluminio recuperado, en efecto, puede tener revestimientos, lacados, etc., con lo que su precio es más bajo por el efecto de las mermas y por los sofisticados sistemas de filtrado de humos que encarecen el reciclado. También hay que tener en cuenta que el aluminio está sujeto a la cotización de la Bolsa de Metales de Londres o LME y del dólar diariamente.



Figura 8- Traslado y almacenamiento de lingotes de aluminio.

Este hecho condiciona también el proceso del reciclaje, ya que cuando los precios caen se recupera menos material. En cualquier caso, gracias a que cotiza en Bolsa (LME), el del aluminio es un mercado abierto, por lo que los precios son los mismos en cualquier parte del mundo. Eso sí, la ley de la oferta y la demanda, como en cualquier otro sector, es la que dicta las pautas en cada momento.

### **7.3.3. EL REFINADOR**

Las refinerías de aluminio son el último eslabón de la cadena de reciclaje de este material. Normalmente sus compras exceden las 10 toneladas, por lo que sus suministradores son siempre recuperadores mayoristas. Cuando se ha llegado a un acuerdo de compra con ellos, se realizan análisis generales de la materia prima para verificar sus características.

Además, cuando el material entra en la refinería, también se analizan muestras de cada camión para evitar introducir en el horno sustancias no indicadas para el proceso de producción de la refinería.

En estas instalaciones, si funden latas de aluminio, por ejemplo, o cualquier otra chatarra con revestimiento, se produce la combustión de los mismos, siendo captados los productos de la combustión mediante unos filtros especiales por los que pasan los humos y así evitar la contaminación atmosférica.

Para fundir este tipo de material se necesitan hornos especiales provistos de instalaciones de filtraje, que normalmente son más costosas que el propio

horno. El producto final de las refinerías son los lingotes de aluminio, de medidas y aleación según la demanda del cliente.

## PARTE II - EL PROCESO ACTUAL

### 8. EL PROBLEMA

No es una tarea difícil identificar los procesos que operan en forma deficiente dentro de una empresa. Basta con conocer el funcionamiento de dichos procesos en países del primer mundo para saber que se está operando por debajo del óptimo. Lo difícil es poder establecer un equilibrio entre la situación de la empresa y la tecnología a utilizar.

En esta oportunidad se identificó que el proceso de fusión de aluminio de la empresa Bremet S.A. estaba un paso atrás de lo que es la empresa y su evolución.

Para entender este análisis se debe conocer sobre la historia y evolución de la empresa. Bremet S.A. está dentro del rubro metalúrgico y se dedica a la inyección a presión de metales no ferrosos (aluminio en especial). Se encuentra en la zona de Beccar dentro de un parque industrial llamado Parque Llave. Se trata de una empresa familiar fundada hace diez años que comenzó con un taller de armado y mecanizado de auto-partes para una fábrica de inyección de plásticos. Contaba con balancines y una mesa de armado con destornilladores neumáticos. Con el tiempo la empresa creció, y fue comprando maquinaria para dedicarse a la inyección de aluminio. Hoy en día, tiene una dotación total de 48 empleados, 7 máquinas de inyección y un consumo mensual de 50 toneladas de aluminio.

Esta evolución hizo que la empresa pasara de comprar 100% material virgen (en sus comienzos), a contratar a un tercero para que le recupere el scrap y la colada, y terminó finalmente comprando un horno sclener para recuperar su scrap y colada dentro de la empresa.

Este paso le permitió a Bremet S.A. percibir un ahorro importante, pero aun así, hoy es notable que el proceso de reciclado de aluminio está por debajo de su nivel óptimo de funcionamiento.

El proceso es deficiente ya que tiene una merma del 7% y si esto se suma a la merma que generan los hornos a crisol que es del 4% se tiene una merma total del 11% lo cual es mucho en términos de dinero considerando una producción mensual de 50 toneladas.

## 9. DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA UTILIZADA

La tecnología utilizada no solo comprende el instrumental y maquinaria para llevar a cabo dicho proceso sino también el método utilizado. Para comprender la tecnología y los métodos utilizados se detalla a continuación el funcionamiento básico de la actividad que se desarrolla en Bremet S.A.



Figura x – Horno Sclemer. Figura x – Depósito de scrap y colada.

El proceso de inyección consiste en fundir el aluminio en hornos de crisol (figura 9) en donde se mantiene el material a 700 °C. Se toma el material fundido con un cucharón en forma manual y se vierte en el contenedor del pistón. Una vez que esta la matriz cerrada, avanza el pistón e inyecta el aluminio. La aleación permanece durante unos segundos para solidificarse y una vez cumplido este ciclo se abre la cara móvil de la matriz permitiendo extraer la pieza. La misma se deposita sobre un tobogán y al final del mismo, cuando la pieza ya tiene una temperatura menor, la toma un operario, le hace un control visual y separa la colada del producto y en otro tacho deposita el scrap.

De aquí, los productos de inyección tienen distintos destinos. El producto que está listo para ser entregado al cliente tal como sale de la máquina (sin la colada) va al depósito de producto terminado. El producto que necesita ser procesado va al almacén de producto semi-elaborado. Finalmente, la colada y el scrap, van al depósito de scrap y colada donde se encuentra el sclener (ver foto adjunta).

El sclener es un horno que trabaja a llama directa y funde el aluminio en un proceso en donde se le agregan sales fundentes, desgascificantes y se obtiene como producto final aluminio en lingotes que tienen la misma forma que como viene la materia prima. Estos lingotes se vierten en los hornos a crisol para obtener la aleación líquida. De aquí, los lingotes son palletizados y almacenados en el almacén de materia prima.

Básicamente, el circuito del material es el siguiente: la materia prima llega en camiones y palletizada. Se procede a descargar el camión con un autoelevador y se lleva la materia prima a la zona de almacenaje. Se retira la materia prima de acuerdo a la necesidad de las máquinas, descargándola con el autoelevador y depositando el pallet al pie de la máquina. Una vez que se genera el producto terminado es inspeccionado, y se traslada palletizado y con zorra manual al almacén de producto terminado o semi-elaborado según el caso. El scrap y la colada se llevan al depósito de scrap y colada. Paso previo a esto, se pesa el material para llevar un control del mismo.

Para describir la tecnología utilizada y entender el funcionamiento del proceso en sí, no hay mejor forma que detallar cada una de las actividades que componen al proceso de fundición.

## **9.1. FUSIÓN**

Se deben tener en cuenta para la fusión tres aspectos. Uno es el objetivo de los hornos utilizados, otro es el formato de los mismos y finalmente el combustible que se utiliza.

Se pueden diferenciar dos tipos de hornos según su objetivo. Esto es básico. Se puede tener como finalidad la fusión propiamente dicha del material o el mantenimiento de temperatura del mismo. Si se trata de un horno de fusión este requiere un ingreso de energía alto y la probabilidad de generar gases y óxidos también es alta. Este es el caso del sclener con el que cuenta la empresa que recibe material en forma de scrap, colada y lingotes. Tiene una merma del 7% y el producto del proceso son lingotes de aproximadamente 7Kg. Si se trata de un horno a crisol su finalidad es mantener el material a temperatura con un ingreso bajo de energía y la probabilidad de óxidos y gases es baja. Aquí se resalta que la empresa hace un funcionamiento inadecuado de la tecnología ya que utiliza los hornos a crisol para fundir lingotes lo cual genera básicamente tres inconvenientes. Uno es que se genera una merma de 4% que es alto para tratarse de hornos a crisol, otro es

que se entrega gran cantidad de energía en este proceso cuando no debería ser el caso. Finalmente, y producto de introducir los lingotes en el horno, es muy difícil mantener estable la temperatura del material, generando esto una reducción de la calidad del producto final.

El formato de los hornos que se utilizan son dos. Cada máquina se abastece de un horno a crisol (figura 10) que se encuentran al costado de las mismas y varían en tamaño según el tonelaje de la máquina y el horno de reverbero (figura 9) que es el sclener y se encuentra separado de la planta por una pared divisoria debido al calor que se genera (el funcionamiento de los mismo se detallara a continuación).

La energía generalmente es combustible o electricidad. En este caso ambos hornos trabajan a combustible gaseoso proveniente de la red. La propiedad de este tipo de combustible es que posee menor calor radiante que el combustible líquido pero resulta ser más fácil de regular su graduación.

### **9.1.1. HORNO SCLENER**

El funcionamiento del horno de reverbero es muy simple. Como se puede observar en el esquema adjunto (figura 9), la llama proveniente de un soplador ingresa en el interior del horno estableciendo contacto directo con el material. El horno a su vez posee una chimenea que permite el escape de los gases y el material líquido se va depositando en el fondo del horno. La carga del material se produce por la parte superior del mismo y una vez que el material se encuentra en esta líquido, mediante una palanca que acciona un tornillo sin fin, se inclina el horno y sale el material a través de un pico vertedor.

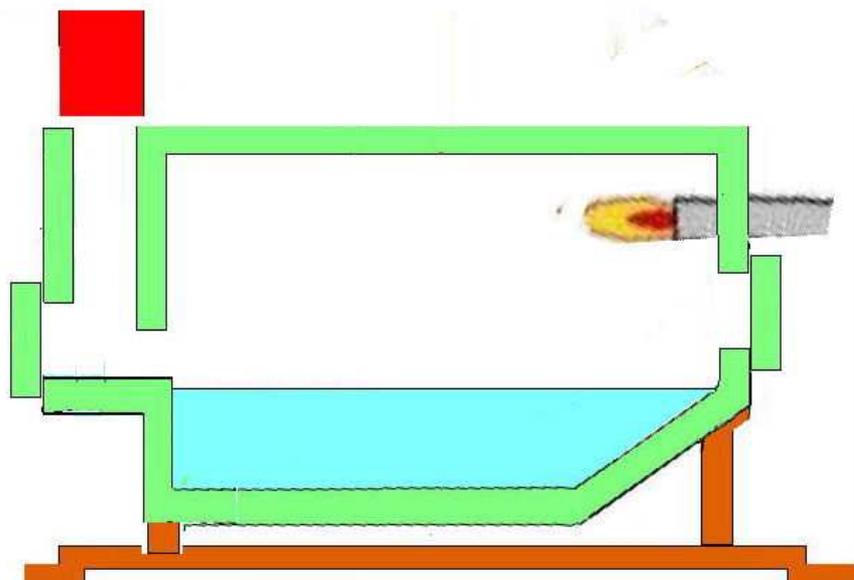


Figura 9- Horno de reverbero o Scener.

Para comprender mejor el funcionamiento del mismo ver fotografías del Scener en el apéndice.

### 9.1.2. HORNO A CRISOL

El crisol se encuentra en el interior del horno y es lo que toma contacto en su cara interna con el material a fundir y con la cara externa con el fuego que genera el soplador. El horno está compuesto en su cara externa por una malla metálica que le da la estructura y rigidez del mismo. Ya en su interior, posee un recubrimiento de ladrillos refractarios que toman la forma curva de horno. Estos ladrillos están diseñados para soportar altas temperaturas y forman una superficie circular entre la pared del horno y el crisol propiamente dicho y que permite que con una separación de entre 7cm y 10cm la mezcla de gas y aire en combustible circule varias veces entregando calor antes de salir por la chimenea. En el caso de los hornos a crisol la merma es menor ya que no hay contacto directo entre el material y el fuego. En la parte superior del horno se utiliza material de amianto que es ignífugo y hace las veces de junta para que no se fugue el calor.

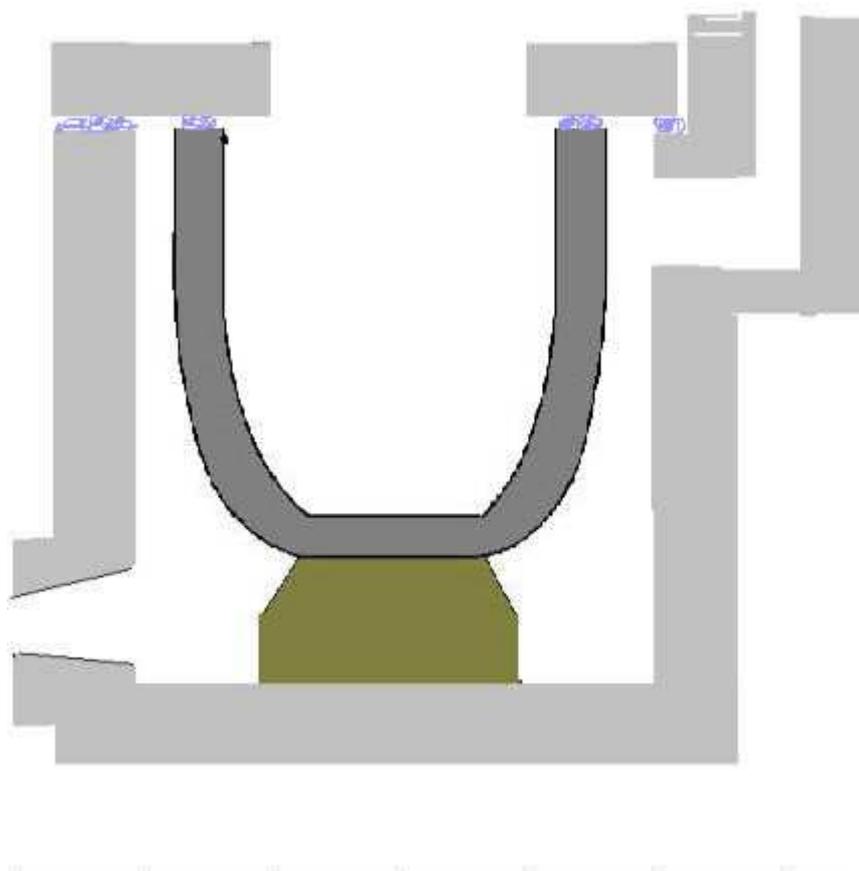


Figura 10 – Horno a crisol

## 9.2. CONTROL DE TEMPERATURA

El control de temperatura del material es fundamental. Para cumplir con las especificaciones del producto es necesario tener presente que la temperatura cumple un rol fundamental en dicho aspecto. Es menester comprender que hay que respetar una temperatura para el desgasificado, una para la fusión respetando tanto los límites superior e inferior como los tiempos en que el material puede permanecer a determinada temperatura sin perder propiedades.

Es este el motivo por el cual se debe contar con elementos de medición de temperatura que sean de uso práctico y confiable.

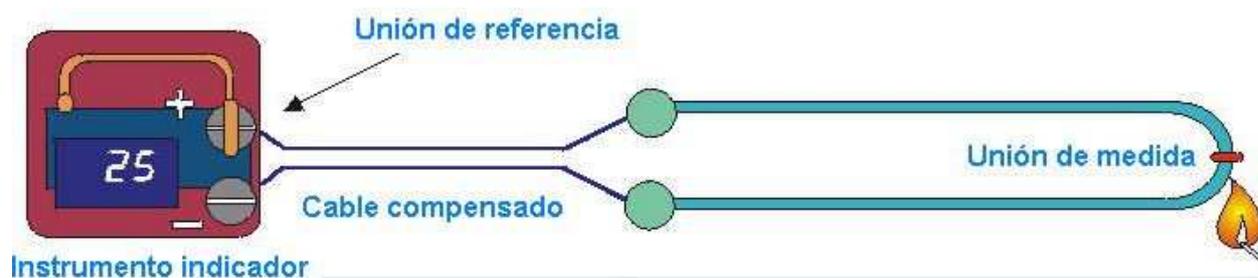


Figura 11- Pirómetro termoeléctrico. Funcionamiento de una termocupla.

El par termoeléctrico o termocupla (figura 11) es el corazón del sistema y está formado por dos alambres de distinta composición soldados entre sí en un extremo. Si se calienta el extremo soldado se origina una fuerza electromotriz entre las puntas frías que es función de la diferencia de temperatura. Lo importante es que al instrumento de medición llegue la FEM originada. El par termoeléctrico más usado en este rango es el de Cromel-Alumel, que origina una FEM aproximada de 50 mv cada 1000°C

Bremet S.A. cuenta con un pirómetro termoeléctrico (ver fotos apéndice) para llevar un control de la temperatura de los hornos pero este se usa rara vez como herramienta para mantener los procesos bajo control ya que hay solamente uno y es portátil, por lo tanto tendría que haber un operario dedicado a recorrer los hornos constantemente para regular la temperatura. Contrariamente al ideal, los operarios acusan controlar la temperatura por el método visual en donde encienden o apagan el horno según el color del material. Este método no es recomendable ya que el aluminio es un material reflectivo y distintas temperaturas podrían reflejar colores similares según la luminosidad del día. La empresa utiliza el pirómetro termoeléctrico como herramienta de medición para registrar la temperatura del material y asentarla en la hoja de parámetros del proceso pero no como medida preventiva dentro de control de calidad de procesos.

En definitiva esta es una herramienta confiable y precisa pero poco práctica para mantener la temperatura de los hornos en un rango establecido ya que se debería tener una persona constantemente midiendo y bajando o subiendo la llama en forma manual.



Figura 12- Pirómetro óptico

Los pirómetros de radiación, llamados pirómetros ópticos, tienen el mismo defecto que la vista: la radiación es enmascarada por la reflexión, por lo que los resultados no son confiables. Esta herramienta de medición también es utilizada por la empresa pero para medir temperatura de moldes, vástagos y pistones.

### **9.3. AFINO**

Las aleaciones base aluminio desarrollan sus mejores propiedades cumpliendo con las normas de composición, pero esto no es suficiente. También es necesario considerar óxidos, gases y estructura macro y micrográfica. Se tomará el término "afinado" en su sentido más amplio, incluyendo los procedimientos necesarios para llegar a un metal óptimo.

Los objetivos fundamentales del afinado son eliminar gases, óxidos y materiales extraños e inocular afinadores de grano y mejoradores de la estructura metalográfica.



Figura x – Desescoriado del proceso de fusión.

Las herramientas con que se cuenta para desarrollar estos objetivos son dos. Durante el proceso de fusión una vez que el material está en estado líquido, se apaga la llama y se le arroja un polvo de color blancuzco. Este polvo hace salir a la superficie todo tipo de materiales extraños logrando que queden a flote para posteriormente sacarlos con la cuchara o espumadera (ver foto adjunta). Una vez que se extrajo esta capa que se denomina escoria, y con la llama apagada se arroja al material una pastilla con forma de disco pequeño que actúa como desgasificante. Este producto lo que hace es justamente sacar el gas del material para evitar que las piezas salgan con poros.

#### 9.4. TRANSFERENCIA DEL METAL

La transferencia del metal debe ser cuidadosamente estudiada por varios motivos. Entre ellos se cree conveniente destacar dos. Debido a que se está trabajando con metal líquido que se encuentra a 700°C es indispensable tener en cuenta la seguridad del trabajador. Otro aspecto a tener en cuenta es que el traslado del material.

En cuanto a seguridad, la empresa considera haber tomado todas las medidas necesarias para preservar la salud del trabajador. Esto es que el mismo utilice la indumentaria adecuada, protector visual y sobre todas las cosas, que el trabajador sea conciente de que cuando el material a 700°C toma contacto con la lingotera “fría” o “húmeda” el material salpica pudiendo producir quemaduras graves al operario.

Por otro lado, la metodología de traslado de material desde el sclener hasta los hornos a crisol es errónea. Esto se debe a que como se comentó en la descripción del proceso, el material sufre la transformación de sólido a líquido en dos ocasiones durante el proceso y esto es un error catastral. Nótese que al transformar el aluminio en lingotes a la salida del sclener para alimentar los hornos a crisol se está fundiendo el mismo material dos veces. Esto genera exceso de merma y un gasto innecesario de energía.



Figura x – Transferencia de material líquido con cuchara.

Para transferir el material de los hornos a crisol al contenedor y alimentar la maquina se utilizan cucharas. Estas cucharas varían su tamaño de acuerdo al

volumen requerido por la pieza en producción. Están hechas de hierro y llevan un recubrimiento de una pintura para soportar altas temperaturas y evitar que el hierro contamine el aluminio cuando se sumerge la cuchara.

La cuchara puede ser operada por un robot o simplemente por un operario (figura x) según la tecnología que se disponga.

## 10. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El problema del proceso es la merma que genera. Esta merma que se calculo pesando lo que entra y lo que sale del proceso durante un turno de trabajo, es del 7%, lo que significa una perdida mensual de \$12.000 pesos para la empresa. Si a esto le sumamos la merma que se genera en lo hornos a crisol (del 4% fundiendo lingotes) tenemos una perdida mensual de \$18.700 para todo el proceso. Este calculo se realizo considerando un consumo de 30.000 kg mensuales de material, los cuales el 7% y el 4% correspondientes a dichos procesos se pierden a un costo de 5,7 \$/kg de aluminio.

Otro problema que presenta el proceso es el estado en que se traslada el material. No solo existe la merma en el horno sclener sino que también se produce merma en el horno a crisol que alimenta la maquina. Con esto se quiere decir que todo el proceso en si, es incorrecto, ya que comienza fundiendo lingotes de material virgen en los hornos a crisol (merma del horno a crisol), luego se obtiene el producto de la fundición mas la colada y el scrap en estado sólido y se llevan hasta el sclener. Aquí, pasan de estado sólido al estado líquido y salen del proceso en forma de lingotes, para finalmente realimentar a las maquinas (en estado sólido en forma de lingotes). Lo que se quiere resaltar es que en este proceso el material pasa de estado sólido a líquido dos veces lo cual es innecesario y costoso.

Se resalta que se esta operando incorrectamente porque los hornos a crisol son hornos de mantención (mantienen el material líquido a 700°C) y no son para fundir material. Esto no resulto una novedad para los directivos de la empresa ya que esto se conocía pero no se había hecho nada al respecto ya que se ignoraba la magnitud del problema en cuanto a gastos.

## 11. CAUSAS

Las causas que llevaron a la empresa a la situación descrita en el punto anterior son varias. Entre ellas vale la pena mencionar que la empresa comenzó diez años atrás como un taller de mecanizado y fue creciendo a pasos agigantados, lo cual generó desorden y confusión. Esta evolución a través de un desarrollo descontrolado tiende a nublar la visión de los directivos haciendo que algunos problemas pasen a ser parte del funcionamiento normal de la empresa. Es por este motivo que generalmente se recomienda escuchar la opinión de un ojo ajeno a la empresa ya que éste ve lo que muchas veces desde adentro no se ve.

## **12. SOLUCIÓN TENTATIVA**

Al fundir material en los hornos a crisol y en el sclener, se esta produciendo merma en cada uno de estos procesos. Entonces, lo que se propone es fundir en el sclener y luego transportar el material líquido hasta los hornos a crisol. Estos solamente se utilizarán para mantener la temperatura del material y serán reabastecidos con aluminio líquido según el consumo de la maquina.

La propuesta se considera viable ya que optimiza el proceso reduciendo la merma y se realiza manteniendo el horno sclener. Lo que se hace es un replanteo del proceso modificando dos aspectos fundamentales. El traslado de material y el proceso de fusión en sí, incluyendo controles estrictos de temperatura y afino del material.

### **12.1. TRASLADO LÍQUIDO DEL MATERIAL**

La descarga del material se hará directamente sobre un balde de tipo convencional (figura x) que se coloca a la altura del pico del sclener y mediante el accionamiento manual, un operario efectuará la descarga del mismo.



Figura x – Balde convencional para traslado de aluminio líquido.

El balde consta del conjunto crisol – armazón en donde el armazón juega un rol fundamental a los efectos de mantener la temperatura del material con una tapa brindando a su vez seguridad contra desbordes. Además permite la movilidad del conjunto ya que se monta sobre un mecanismo de transporte y gira sobre su eje mediante el accionamiento de una palanca.

La capacidad del balde debe ser de 80 litros para abastecer con una descarga del horno a las 7 máquinas de la planta. Cada horno requiere (cuando la máquina se encuentra en producción continua) un abastecimiento de material según la siguiente tabla (en kg por hora):

Maq 1	Maq 2	Maq 3	Maq 4	Maq 5	Maq 6	Maq 7
30	30	35	40	50	40	60

Cabe aclarar que generalmente no están las 7 máquinas en marcha simultáneamente. Por lo que habría que abastecer a 6 máquinas en el transcurso de un turno. El horno se descarga (según la pieza que se este produciendo) a razón  $\frac{1}{3}$  cada 20 minutos. Esto quiere decir que cada 20 minutos el sclener debe realizar una descarga de 70 kg aproximadamente para abastecer a las máquinas de material líquido.

El traslado del material se hará mediante un sistema de rieles que lleva el balde a una altura de 50cm del suelo. La idea es que el material con el operario que lo transporta recorran un trayecto recto y libre de imperfecciones que pudieran producir desbordes y eventualmente accidentes. Esto se logra mediante un sistema de rieles con vigas doble T amuradas a la pared de mampostería y con refuerzos de soldadura.

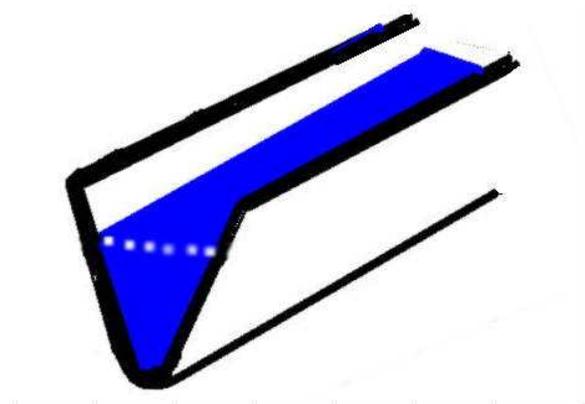


Figura x – Canal sección en “V”.

La circulación del material se realizará por el camino lindero a la pared de la planta entre la misma y los hornos. El material se transporta dentro del balde convencional a través de un riel montado con vigas doble “T”.

La descarga del material se realizara a través de un canal (figura x) que cubrirá el espacio entre el balde y el horno. Este canal será único para todos los hornos y se trasladará con el balde por el mismo riel. Tiene un largo de 1,6 metros y un acople en cada horno que lo mantiene fijo mientras se realiza la descarga. El fondo del mismo es redondeado y deberá estar recubierto con la misma pintura que las cucharas para resistir la temperatura del material.

## 12.2. TRATAMIENTO LÍQUIDO DEL MATERIAL

Debido al aumento de exigencias sobre las propiedades de las piezas obtenidas y a la necesidad de disminuir la generación de productos defectuosos, se determino que gran parte de los problemas se originan durante la conducción del estado líquido y se arrastran hasta el producto final.

De acuerdo a esta condición es de suma importancia tener en claro las actividades a realizar dentro del tratamiento del aluminio líquido.

### Formación del pie de baño

Se toma el caso de la refusión de sólidos, tratando de señalar los pasos básicos de una buena práctica que asegure larga vida del horno y poca merma de metal, así como bajo consumo de energía.

1. El metal a fundir debe formar primero un pie de baño, en el supuesto de que se arranque con horno vacío. Para formar este "pie", primero entrará la carga gruesa, o sea los trozos de metal más grandes, con baja relación superficie-volumen. Esta prioridad asegura.
  - a. Baja oxidación del metal.
  - b. Menor cantidad de escoria generada.
  - c. Formación rápida del pie de baño.
  - d. Disminución del riesgo de proyecciones de metal líquido, ya que los trozos de mayor tamaño son los que suelen tener cavidades que pueden contener agua, y de esta manera se le da la oportunidad de evaporar antes de la fusión del bloque.

### Secuencia de carga

2. A continuación se cargarán los materiales más livianos y de relación S/V creciente, procurando de que no queden expuestos a las llamas de los quemadores más tiempo del necesario. Las virutas conviene cargarlas en buchetas vasocomunicantes con el horno y preferiblemente forzadas a sumergirse mediante artificios mecánicos. En general todo el material que se cargue debe ser obligado a incorporarse al pie de baño.
3. Si el proceso exige transvasar metal líquido desde otro horno o contenedor cualquiera, el momento de hacerlo es después de fundida la carga sólida; el criterio es que el salto o diferencia de altura entre la puerta de carga y el nivel de líquido sea el menor posible. Sin embargo, dependiendo de las proporciones relativas de cada tipo de carga, puede ser conveniente hacerlo después de la fusión de la primera carga sólida (gruesos). Otra variante, si el metal líquido ingresa con mucho sobrecalentamiento, es emplearlo como ayuda a la fusión de esa primera carga, pero cuidando de que la misma ya esté cercana a la temperatura de liquefacción, para evitar puentes fríos y proyecciones originables por reservorios de humedad.

4. Ajuste de composición. Luego de obtener el baño líquido, se agregarán los elementos de ajuste de composición, de acuerdo al control por análisis químico.

### Desescoreado

Esta operación conviene realizarla cuando la acumulación de escoria sea considerable. No debe permitirse que se acumule o aglomere en montículos, pues puede llegar a encenderse debido a la facilidad con que se oxida. Si se enciende y no se retira inmediatamente del horno, se combustiona prácticamente todo el aluminio metálico contenido y aumenta la combustión de la primera capa de metal líquido, con lo que se pierde el valor de la escoria y se aumenta la merma global de aluminio.

Durante las operaciones normales de fusión, se genera una espuma formada por óxidos de aluminio y de magnesio, si este elemento está presente; esta espuma se denomina también escoria "grasa" y puede contener porcentajes muy elevados, (90 a 95%), de aluminio en forma metálica.

Es muy conveniente que esta espuma formada se mantenga pastosa y de color metálico durante todo el proceso de conducción del aluminio líquido hasta el momento de desescorear. De esta manera se asegura la protección del baño metálico por las propiedades aislantes del medio ambiente propias de la espuma grasa, sin necesidad de aditivos artificiales. Lo único desaconsejable, cuando se desgasa en horno, es emplear cloro debajo de esa espuma pues la oxida fácilmente.

Cuando llegue el momento de retirar esa espuma, por su crecimiento o por aproximarse el momento de la colada, se procederá al escorificado, operación que consiste en transformar a la espuma grasa en escoria de menor contenido metálico, "desgrasada", más aterronada, porosa, y por. todas estas condiciones más fácil de barrer mecánicamente del interior del horno. Luego de este escorificado, debe retirarse la escoria del horno lo más pronto posible, ya que por sus características y su capacidad aislante hace muy ineficiente el calentamiento del baño, obliga a un gran consumo de energía, recalentamiento de los hornos y termina quemando el aluminio residual de la escoria.

Se cree oportuno hacer una aclaración: se denomina espuma a la mezcla de óxidos y aluminio metálico formada espontáneamente, con gran contenido de metal, mayor al 85% y que cubre al baño como una piel más o menos

gruesa. Se denomina escorificar a la operación de transformar a la espuma en escoria, siendo esta última la de apariencia aterronada, irregular, porosa y de contenido metálico menor del 85%, llegando hasta valores tan bajos como 5% si se la deja combustionar.

Se denomina desescorear a la operación de arrastrar mecánicamente a la escoria fuera del horno.

#### Conducción del horno: exceso de aire

Para evitar el exceso de aire en el horno, debe lograrse una buena relación de combustión y un equilibrio de presiones entre interior y exterior.

Cuando esto no se cumple, aumenta la oxidación del baño, la incorporación de hidrógeno al mismo y una gran pérdida de calor por chimenea con el correspondiente incremento en el consumo energético. Si la puerta está abierta para cargar o por otras razones, los quemadores deberían apagarse y la clapeta de chimenea tendría que obturar automáticamente para evitar el tiraje de aire. Conviene predisponer la carga al pie del horno o en el dispositivo cargador, para minimizar el tiempo de puerta abierta.

#### Empleo de Fundentes

No es posible formular una receta única, válida para todas las aleaciones de aluminio y condiciones de contorno que se pueden encontrar en las diversas fundiciones. Sin embargo, se trata de señalar algunas pautas generales que puedan usarse en el análisis de cada caso en particular bajo la designación de sales fundentes, Fluxes, o simplemente fundentes. Se hace referencia a una familia de productos para ser empleados en crisoles, en hornos o "en línea" (en el camino entre el horno y el puesto de colada).

Esta familia puede encasillarse de la siguiente manera:

- Fluxes de limpieza
- Fluxes desoxidantes
- Fluxes de cobertura o de protección
- Fluxes escorificantes
- Fluxes desgasantes
- Fluxes afinantes
- Fluxes para efectos especiales (ejemplo: "demagging", reducción del contenido de magnesio).

Generalmente, los fabricantes de productos para fundición aconsejan fuertemente el empleo de gran parte de ellos, en forma independiente o combinada, para el logro de una fusión adecuada.

Los argumentos básicos son: menores pérdidas de metal, escoria más seca, paredes del horno autolimpiables, mayor vida útil del horno, mejor calidad del producto final, etc.

En contraposición, ciertos fundadores veteranos y algunas fundiciones de empresas líderes, manifiestan haber reducido costos y problemas cuando erradicaron los "polvos mágicos" de sus hornos de fusión, y con el consiguiente agradecimiento de los refractarios.

La verdad no es única ni sencilla, y probablemente no sea ninguno de los extremos. Sucede que hay fluxes que están diseñados para ciertas finalidades y el uso masivo industrial, a veces indiscriminado, logra efectos contrarios al deseado. Esto puede agravarse por las condiciones de almacenamiento, tipo de aleación, ambiente del horno, asociación con otros productos, forma de distribución, temperatura, oportunidad de su agregado, etc..

Algunos conceptos importantes:

1. La pretendida acción de algunos fluxes de eliminación de óxidos por disolución no es correcta. En las condiciones de un horno de aluminio, lo que es modificable es el valor de tensión superficial entre los óxidos y el metal líquido; estos óxidos que se forman, ni se disuelven ni se reducen.
2. En base a lo anterior, la mejor práctica es la que disminuye al máximo la oxidación del metal, siendo las fuentes principales de esta oxidación la reacción del aluminio con la humedad y el oxígeno del medio ambiente.

Algunas causas posibles de la reacción son:

- a. Causas mecánicas: cascadas, turbulencias, saltos por diferencia de cotas de trabajo, batidos del baño, borboteo violento de gases.
- b. Causas térmicas: alta temperatura del metal, escorias encendidas y /o en reacción termítica.
- c. Causas químicas: productos de combustión de quemadores, exceso de aire, combinados con el tipo de llama y su incidencia, estado superficial del metal líquido.
- d. Organización de la fundición: reducción de las aperturas de puerta, eliminación previa del agua y productos orgánicos de la chatarra, diseño adecuado del método de carga, minimización de

los tiempos muertos de permanencia de metal fundido en horno, optimización de las canalizaciones.

3. El flux de protección o cobertura, ayuda solamente a mejorar el item "estado superficial del metal líquido". No se pretende negar sus beneficios, pero no es la causa más importante de pérdida de metal, siendo este flux costoso y riesgoso para algunos de los refractarios.
4. Al contrario de lo que sucede en el Magnesio y sus aleaciones, el Aluminio puede fundirse y mantenerse sin uso de fluxes, protegido como ya se menciona por su propia espuma grasa, mientras esta no engrose tanto que se transforme en cúmulos excesivamente oxidados.
5. Si por razones de programación debe mantenerse a un horno en situación de "stand by " por un tiempo prolongado, se justificaría el empleo de un flux de protección, aplicado sobre el metal líquido limpio y siempre que haya compatibilidad (ejemplo: no. emplear fluxes con NaCl cuando la aleación tenga un límite estricto de Na para su uso final). El efecto de protección se puede perder si se perturba al baño de metal.
6. Los fluxes escorificantes, se diferencian de los de cobertura o protección, por su acción sobre la tensión superficial metal-óxido, ayudando al escudriñamiento de pequeñas gotas de aluminio líquido que pueden o no integrarse al baño de metal, según el grado de corrección de la maniobra. En muchos casos se oxidan en tránsito, como sucede en las escorias ardientes. Para lograr un mejor escurrimiento, los fluxes escorificantes producen mayor exotermia que los de cobertura, denominándose por tal razón "exotérmicos". Pero atención, ello no es gratuito: el verdadero exotérmico es el aluminio quemándose con el oxígeno del ambiente; los fluxes son sólo iniciadores del incendio, aportando a veces oxígeno y otras una cierta proporción de polvo de aluminio para facilitar la primera reacción. En síntesis, liberamos algo de metal de la escoria, quemando uno de los combustibles más valiosos de la fundición, además del costo del flux.
7. La escoria seca o "desgrasada", contiene aún entre 40 y 60% de aluminio metálico, que irá disminuyendo por continuación del quemado, tanto dentro del horno como en los recipientes de escoria. El ritmo es vertiginoso, del orden del 1% por minuto de demora hasta su enfriamiento y apagado.

### Fluxes de limpieza y desoxidantes

Intentan llevar a la superficie a los óxidos que están en el seno del baño líquido, modificando la tensión superficial y densidad, y a su vez retenerlos en la superficie del baño cuando lleguen allí por flotación. Obviamente ésto exige un contacto íntimo entre flux y baño, lo que puede lograrse en un crisol, pero es prácticamente imposible en un gran horno de reverbero.

Además, la agitación y mezclado que debería efectuarse aumentaría las

reacciones con el medio ambiente pudiendo ocurrir que sea más el óxido que se genera que el presente originalmente en el baño. Para lograr el efecto desoxidante, entendiéndose "hacer flotar a los óxidos" las formulaciones presentan mayor proporción de fluoruros, principalmente el fluoruro de sodio, silicofluoruro de sodio y criolita. La presencia de NaCl en la formulación, solo cumple el rol de ajuste del rango de fusión. En el caso de tratarse de aleaciones que contengan magnesio, se agrega el cloruro de magnesio para controlar la pérdida de Mg metálico producida por casi todos los fluxes de limpieza.

### Fluxes para desescorear o escorificantes

Tienen la misión comentada anteriormente, de transformar a la espuma grasa en escoria relativamente "seca" para recuperar algo de aluminio líquido y facilitar el arrastre. En su composición se introducen compuestos oxigenados, principalmente sulfatos y carbonatos, para lograr aumentar la combustión del aluminio y lograr así el efecto exotérmico. Puede existir hasta un 3% de polvo de aluminio para ayudar a comenzar la reacción. El resto de los componentes son muy similares a los de un flux desoxidante o de limpieza.

### Fluxes desgasantes

Tienen por objetivo básico disminuir la cantidad de hidrógeno disuelta en el baño de metal, a valores compatibles con el uso final del aluminio. Sin embargo, tienen otro efecto no menos importante, y es el de disminuir el contenido de inclusiones no metálicas en el seno del baño, generalmente óxidos de Al y Mg con densidad y tamaño insuficientes como para flotar por sí mismos. Un efecto adicional es la disminución del contenido de ciertos elementos como Li o Na, que pueden estar presentes como impurezas

Luego de desgasar se permite reposar al baño durante 15 a 45 minutos, preferiblemente con quemadores al mínimo necesario para mantener la temperatura de colada. Este reposo permite completar la flotación de inclusiones, y se está en condiciones de colar. Bajo ningún concepto se debe batir o perturbar al baño de metal, salvo para alguna maniobra menor de introducir una termocupla o tomar muestra para análisis. Si hubiera que retocar composición con ligas madres o elementos puros, se perderá todo el trabajo de desgasado y flotación, debiéndose empezar de nuevo.

### Fluxes afinantes de grano

Son diversas combinaciones de boro y titanio, por ejemplo, en forma de fluoritanatos y fluorboratos de potasio o sodio, que además de su reacción gaseosa para mejor distribución, se presume que forma núcleos afinantes de carburo de titanio. Necesitan temperaturas elevadas para reaccionar correctamente, superiores a 730/ 740°C.

## **12.3. CONTROL DE LA TEMPERATURA DEL MATERIAL**

Durante todo el proceso de obtención del baño de metal líquido, es importante el control de temperatura, pero el rango permitido es generoso siendo suficiente la medición y control por bóveda, como en los hornos de reverbero, o en el exterior del crisol. La zona de trabajo debe permitir al metal líquido estar comprendido entre 660 y 750 °C, según la fase del proceso .

Sin embargo, luego del desgasificado y acercándose el momento de la colada, el control térmico se vuelve exigente por las siguientes razones:

- a. La temperatura óptima de colada está comprendida en un rango restringido para la mayoría de los métodos, como ejemplo, entre 720 y 730°C en la piquera del horno.
- b. El punto anterior conduce a medir con termocupla sumergida en el baño líquido. El deterioro producido por el Al sobre los materiales inmersos en él, obliga a proteger a los termopares con gruesas vainas metálicas o con refractarios en general poco conductores del calor. Todo esto significa gran inercia de lectura, entre 5 y 20 minutos, o sea que lo que se lee en los instrumentos es lo que sucedió hace un tiempo atrás, no lo que se tiene en el instante. A este desfase, hay que agregar la pérdida de calor por las vainas que produce un error por defecto que puede estar comprendido entre 5 y 20°C, dependiendo de las características constructivas y del grado de inmersión. Inversamente, si las llamas de los quemadores, productos de combustión o escoria ardiendo, sobrecalientan la vaina externa, puede aparecer un fuerte error por exceso. La inmersión mínima de la vaina no debería ser inferior a diez diámetros, aunque si se cuele por superficie, ésta puede estar a una temperatura diferente.
- c. Los hornos y crisoles grandes, presentan gradientes térmicos importantes. Es muy notorio en los hornos calentados por reverbero, donde la superficie recibe la energía radiante, no actuando la convección natural: la superficie está más caliente que el fondo, y esta

situación es estable. Según se cuele por el vientre o por piquera superficial el puesto de colada recibirá el metal más caliente o el más frío.

Manejando bien la medición y el control de temperatura, conociendo la inercia y errores de las termocuplas, verificando la calibración de instrumentos, cables compensadores y juntas frías, jugando con los tiempos de reposo y los golpes de calor de quemadores, puede lograrse no solo que el metal líquido esté en rango térmico en el momento de colar, sino también que los gradientes del horno estén a favor del proceso.

#### **12.4. OPERACIÓN RECOMENDABLE A LA EMPRESA**

No puede definirse un proceso ideal que contemple todas las condiciones de contorno, las aleaciones y los usos finales. En cambio, el mismo fundidor puede diseñar la mejor aproximación conociendo un poco más las características de cada etapa. En el caso de Bremet S.A. se efectuarán pruebas de merma hasta alcanzar un valor mínimo.

La tendencia en los últimos años es efectuar la mayor cantidad de acciones sobre el metal líquido "en línea", y no adentro del horno. Esto evita todos los problemas asociados al uso de fundentes y a los tratamientos masivos gaseosos, disminuyendo costos, oxidación de metal y generación de escorias. Además se trata solamente al líquido que se empleará en la colada o proceso de solidificación.

La secuencia de operaciones recomendable es la siguiente:

- a. Preparación del baño minimizando la oxidación con las recomendaciones sobre prioridades de cargas, predisposición de las mismas, control de temperatura, etc., mencionadas en el texto.
- b. No emplear fluxes para desoxidado o protección, en cambio, proteger al metal líquido con su propia espuma en piel continua.
- c. Cuando la acumulación de espuma haga necesario retirarla, puede emplearse algún flux escorificante para facilitar su arrastre, pero habrá que desescorear y enfriar esa escoria lo más rápidamente posible, para conservar el aluminio metálico que contiene, que es parcialmente recuperable y da valor a esa escoria.

- d. Dar especial importancia al secado y desgasado de los refractarios de todas las canalizaciones así como el secado de los accesorios para distribución y control de nivel.
- e. Efectuar fuera del horno, en línea, las operaciones de desgasado, filtrado y refinamiento de grano, de acuerdo a las exigencias del producto. Junto con la operación de desgasado, puede reducirse el tenor de algunos elementos considerados impurezas, como Na y Li, jugando con la reactividad de los gases empleados. En todo el camino del metal líquido, y principalmente luego del tratamiento en línea, evitar saltos, turbulencias y en general la perturbación de la piel naturalmente formada.
- f. Como opción, evaluar el contenido absoluto de H<sub>2</sub> con algún método para tomar medidas correctivas en lo posible.

## **PARTE III – IMPLEMENTACIÓN**

### **13. RECOMENDACIONES**

Según recomendaciones del señor Pérez de Delia Croche, empresa dedicada a la fusión y comercialización de aluminio secundario, hay algunos aspectos que no pueden pasar por alto en el tratamiento del material líquido durante el proceso de fusión. Es de suma importancia no superar la temperatura de 720°C durante el proceso ya que de lo contrario la oxidación del material se produce a un ritmo acelerado. El ingreso del material debe ser por la puerta, tratando que la misma este la menor cantidad de tiempo abierta para evitar el exceso de ingreso de oxígeno, pero bajo ningún punto de vista debe realizarse por la chimenea. Debe respetarse el orden d carga de los materiales y para el caso de virutas o materiales livianos se los debe sumergir en el baño mediante una cuchara o elemento similar. Se debe desgasificar cuando una vez apagada la llama, la temperatura del baño comienza a bajar.

Se recomienda tener presente que para el caso de esta fundición, no es necesario un horno rotativo. Caer en la tentación de comprar uno, podría resultar costoso e innecesario

### **14. FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN**

La empresa Comac S.A., dedicada a la fundición a presión de aluminio, a pesar de ser competidora directa de Bremet S.A. mantiene una buena relación con la misma y se vio dispuesta a compartir información sobre sus procesos. Esta empresa cuenta con un horno sclener con capacidad de carga de 1000 kg. El principio de funcionamiento de este horno es el mismo que el que tiene Bremet S.A. con la diferencia de que la llama no tiene contacto directo con el material, sino que impacta contra la pared del horno y genera un torbellino antes de salir por la chimenea. De esta manera se logra que la oxidación del materia sea mucho menor y que el calor no se disipe rápidamente, ahorrando energía. La diferencia principal entre los dos hornos es la capacidad. Esta característica hace que sea más fácil fundir en baño. Esto es, permitir que el material a refundir se sumerja en el baño líquido, siendo esto, uno de los factores claves para reducir la merma al mínimo posible. Comac S.A., trabajando con las técnicas de fusión descritas, y fundiendo lingotes y piezas con baja relación superficie/volumen tiene una merma del 2%.

Esto indica que si bien el sclener de Bremet S.A. tiene una capacidad considerablemente menor (300 kg), obtener una merma del 2% es factible si se funde con la técnica adecuada. Un inconveniente podría ser el volumen de producción de la empresa ya que si la producción aumenta, el horno no dará abasto para alimentar a las maquinas y fundir en baño, incrementando de esta forma la merma y volver así al problema original. Si este fuere el caso, habría que analizar la compra de un horno con mayor capacidad para operar en las mismas condiciones pero a mayor escala.

El traslado de aluminio líquido no es un inconveniente ya que es una técnica conocida y practicada por las empresas del rubro.

## 15. CONCLUSIÓN

De acuerdo a la investigación desarrollada mediante el presente trabajo, se puede decir que de implementar los cambios propuestos en el proceso de fusión de aluminio, se genera un salto de mejora en el funcionamiento de la empresa. El camino para la mejora continua es el de capacitación, en donde cada uno de los actores del proceso debe conocer no solamente “que” hacer sino también el “porque” hacerlo, de manera tal que se comprenda el proceso de fusión en su totalidad. Esto es fundamental ya que como se comento anteriormente, no existe una única solución o metodología para el proceso de fusión, sino que la técnica de fusión debe adaptarse al proceso en si, incorporando o retirando fluxes y aditivos al proceso según convenga.

La importancia de controlar este proceso trae consigo innumerables beneficios. Aquí, no solamente se trata del beneficio económico que significa una reducción de la merma en un 50%, también se destaca que mediante la mejora de este proceso la empresa goza de una materia prima de calidad controlada por la misma. Esto hace referencia a un viejo proverbio ingles “garbage in, garbage out” cuya traducción al castellano es “basura compras, basura vendes” lo cual nos da una idea de la importancia de contar con una materia prima de calidad deseada y controlada por la misma empresa. La calidad de este producto se verá reflejada en la reducción de porosidades en las piezas, reducción de rechazos internos y externos y mejora de la imagen de la empresa frente a sus clientes.

Por lo tanto, se recomienda la implementación de la técnica de fusión descrita y el traslado de aluminio líquido por medio del balde convencional con la finalidad de generar una reducción de costos del proceso, operar en forma segura y eficiente, y generar una materia prima que permita obtener un producto final de calidad.

## 16. APÉNDICE



Figura x – Pirómetro termoelectrico utilizado en Bremet S.A.



Figura x – Pirómetro óptico utilizado en Bremet S.A.



Figura x – Horno Scener



Figura x – Horno Scener



Figura x – Horno Scener. Quemador.



Figura x – Horno Scener. Carga de material por la chimenea.



Figura x – Horno Scener. Desescoriado.



Figura x – Horno Scener. Desescoriado.



Figura x – Lingotera para solidificar el material.

Fecha: 16/05/05						
Turno: mañana						
Horario	Carga de material (kg.)	Descarfa de material (kg.)				
6 a 7	192					
7 a 8		lingotes				
8 a 9	203					
9 a 10		lingotes				
10 a 11	211					
11 a 12		lingotes				
12 a 13	207					
13 a 14		lingotes				
<b>Total</b>	<b>813</b>	<b>755</b>				
Cálculo: $(755/813)*100= 92,87$ <b>Merma= 7,13%</b>						

Tabla x – Cálculo de la merma en un turno de 8 horas. La carga se realiza con baldes de 50 kg. Aprox. Y la descarga se realiza en lingotes que van palletizados y se pesan al final del turno descontando el peso del pallet.

## 17. BIBLIOGRAFÍA

- ◆ Enciclopedia del aluminio, vol 2, Cap. XI
- ◆ H. Scagnetti, Desgasado de aluminio líquido, Marzo 1977
- ◆ R. Dutto, Análisis térmico de las aleaciones Al-Si (Texsid Fonderie, Div. AL)
- ◆ Dr. Arnoldo Varsavsky, Junio 2000. Herramientas para la optimización del aluminio líquido. Curso dictado en la Federación Universitaria Social Argentina.
- ◆ Características del aluminio,  
[http://www.ceamse.gov.ar/recicla\\_abc\\_aluminio.html](http://www.ceamse.gov.ar/recicla_abc_aluminio.html)
- ◆ Instituto Nacional del Tecnología Industrial, Programa de reciclado industrial