

ANEXO C

**“RESUMEN DESCRIPTIVO DE LAS TECNOLOGÍAS
Y OPERACIÓN DE LAS FUNDICIONES PRIMARIAS
DE CONCENTRADOS DE COBRE DE CHILE”**



ANEXO C: RESUMEN DESCRIPTIVO DE LAS TECNOLOGÍAS Y OPERACIÓN DE LAS FUNDICIONES PRIMARIAS DE CONCENTRADOS DE COBRE DE CHILE

Documento Técnico elaborado por la Comisión Chilena del Cobre en base a la información entregada por las fundiciones chilenas - Abril 2004

LAS FUNDICIONES PRIMARIAS DE CONCENTRADOS DE COBRE EN CHILE

Conceptualmente, una fundición primaria de concentrados de cobre es aquella cuya alimentación está constituida exclusivamente por concentrados de cobre, oro y/o plata provenientes de una planta de beneficio de minerales. Los materiales circulantes (carga fría, ripios, rechazos) y el scrap de ánodos y rechazo de cátodos provenientes de las refinerías electrolíticas integradas, constituyen materiales de recirculación interna del complejo de fundición- refinería. La única vía externa de ingreso de cobre al proceso es el contenido en los concentrados.

En Chile, a la fecha, ninguna de las 7 fundiciones primarias de concentrados de cobre procesa materiales reciclados.

ETAPA DE FUSION

Fundamentos Pirometalúrgicos

El proceso consiste en la fusión de concentrados a temperaturas del orden de 1.150 - 1.250 °C para producir dos fases líquidas inmiscibles: escoria (óxido) y eje o mata rica en cobre (sulfuro). El producto principal del proceso de fusión es un eje o mata de $\text{Cu}_2\text{S-FeS}$ (50-70% Cu), que pasa al proceso de conversión para la producción de cobre blister. La escoria de fusión se envía a un etapa de limpieza para recuperar la mayor parte del cobre que contiene.

Además del concentrado y los fundentes, en los hornos a veces se cargan otros materiales de recirculación tales como:

- Carga fría, que es una mezcla de materiales provenientes del enfriamiento del material líquido circulante en la fundición;
- Ripios, material recirculado desde la planta de tratamiento de polvos de la fundición, el que se mezcla con el concentrado;
- Líquidos internos recirculados, metal de los hornos de limpieza de escorias, escorias de conversión y de las etapas de refinado.
- Cobre rechazado.

Físico-química de la fusión

Los principales constituyentes de una carga de fusión son los sulfuros y óxidos de hierro y cobre. La carga también contiene óxidos, tales como Al_2O_3 , CaO , MgO y principalmente SiO_2 , que puede estar presente en el concentrado original, pero que también se agrega como fundente.

Es el hierro, cobre, azufre, oxígeno y sus óxidos lo que controla mayoritariamente la química y constitución física del sistema eje-escoria. Otra influencia importante es el potencial de oxidación/reducción de los gases usados para calentar y fundir la carga.

El primer propósito de la fusión es asegurar la sulfurización de todo el cobre presente en la carga, para que así entre a la fase eje o mata. Esto se asegura por la presencia de FeS en el eje, el que tiende a sulfurizar virtualmente todo el cobre no sulfurizado de la carga por las reacciones del tipo:



Descomposiciones Piríticas

Todas estas reacciones dan como resultado la aparición de sulfuro de cobre (Cu_2S), sulfuro de hierro (FeS), y azufre pirítico (S_2). Por lo tanto la carga, independiente de su composición química y mineralógica, puede considerarse formada por cuatro componentes principales: Cu_2S , FeS , S_2 pirítico y ganga que pasa a la escoria.

Fusiones y Disoluciones

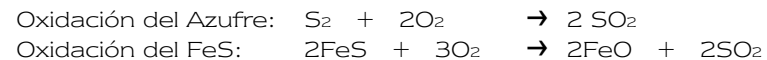
A la temperatura de trabajo de los hornos de fusión (1.250°C) el S_2 pirítico generado se encuentra en estado vapor y, por lo tanto, pasa a la fase gaseosa.

El proceso de formación de las dos fases líquidas (eje o mata y escoria) comienza con la fusión y disolución del FeS y el Cu_2S (digestión) en el baño líquido. El eje o mata que se encuentra en el interior del horno es una solución homogénea formada por dos componentes Cu_2S y FeS , los cuales por tener el mismo tipo de unión química (enlace covalente), son mutuamente solubles (no se separan en dos fases líquidas diferentes). Por lo tanto, el eje, es decir la mezcla $\text{Cu}_2\text{S} - \text{FeS}$, siempre darán origen a una sola fase líquida, cualquiera sea el contenido o ley de cobre.

En tanto, la escoria comienza a formarse por la reacción entre fundentes y los óxidos generados por el soplado.

Procesos Químicos Principales

Las principales reacciones de oxidación que ocurren a consecuencia del soplado del baño fundido son las siguientes:



El oxígeno inyectado oxida el azufre pirítico y el FeS mientras que el calor generado por estas oxidaciones funde una nueva carga.

Los hornos de fusión utilizados por las fundiciones chilenas de concentrados de cobre son los siguientes:

1.- Convertidor Teniente (CT)

La tecnología del Convertidor Teniente ha sido aplicada exitosamente en Chile, donde fue desarrollada, desde 1977.

El proceso de fusión conversión en el Convertidor Teniente está basado en los fenómenos físico-químicos de inmiscibilidad en fase líquida.

El objetivo del proceso es producir Metal Blanco con un contenido de cobre entre 74 y 76%. Las reacciones de oxidación en el proceso de fusión-conversión se regulan mediante la razón másica de la carga alimentada y el flujo de oxígeno inyectado al CT. El calor generado en el CT se debe a las reacciones de oxidación que ocurren en él y su velocidad de generación depende del flujo de oxígeno y de la ley del metal blanco. El balance de calor se ajusta mediante la adición de los circulantes fríos generados en el proceso de fundición, por el grado de enriquecimiento del aire de soplado y por el uso del quemador sumergido.

La fusión-conversión en el CT se produce a temperaturas cercanas a los 1.240°C mediante la inyección a presión de aire enriquecido al 35 – 36% en oxígeno. El CT dispone de toberas de aire – oxígeno repartidas en varios paños y una tobera adicional de inyección de concentrados, por cada paño.

El soplado continuo del baño fundido a través de las toberas, mediante la mezcla gaseosa formada por aire comprimido de baja presión y oxígeno industrial, permite la agitación del baño fundido y la oxidación parcial del sulfuro de hierro y del azufre contenido en la carga.

De acuerdo a las condiciones nominales de operación, el concentrado seco es inyectado continuamente al baño fundido mediante toberas especiales. A través del garr-gun se alimenta el fundente o sílice y el material circulante. Eventualmente pudiera ser necesario alimentar concentrado húmedo a través del garr-gun, para propósitos de control operacional y ajuste de la temperatura del proceso.

En el Convertidor Teniente se generan tres flujos de materiales:

- a) Metal Blanco líquido, con 74 - 76% de cobre (1.220 °C);
- b) Escoria líquida, con 8% de cobre (1.240 °C); y
- c) Gases, con un 25% de SO₂ (1.260 °C).

El metal blanco producido en el CT, que contiene como promedio 75% Cu; 3% Fe y 21% S, se extrae a una temperatura de 1.220 °C de manera intermitente mediante tazas, a través del pasaje de sangría respectivo, refrigerado por agua. Las tazas de Metal Blanco se transportan mediante puentes grúa a los convertidores Peirce-Smith, donde continúa el proceso de producción con la etapa de conversión.

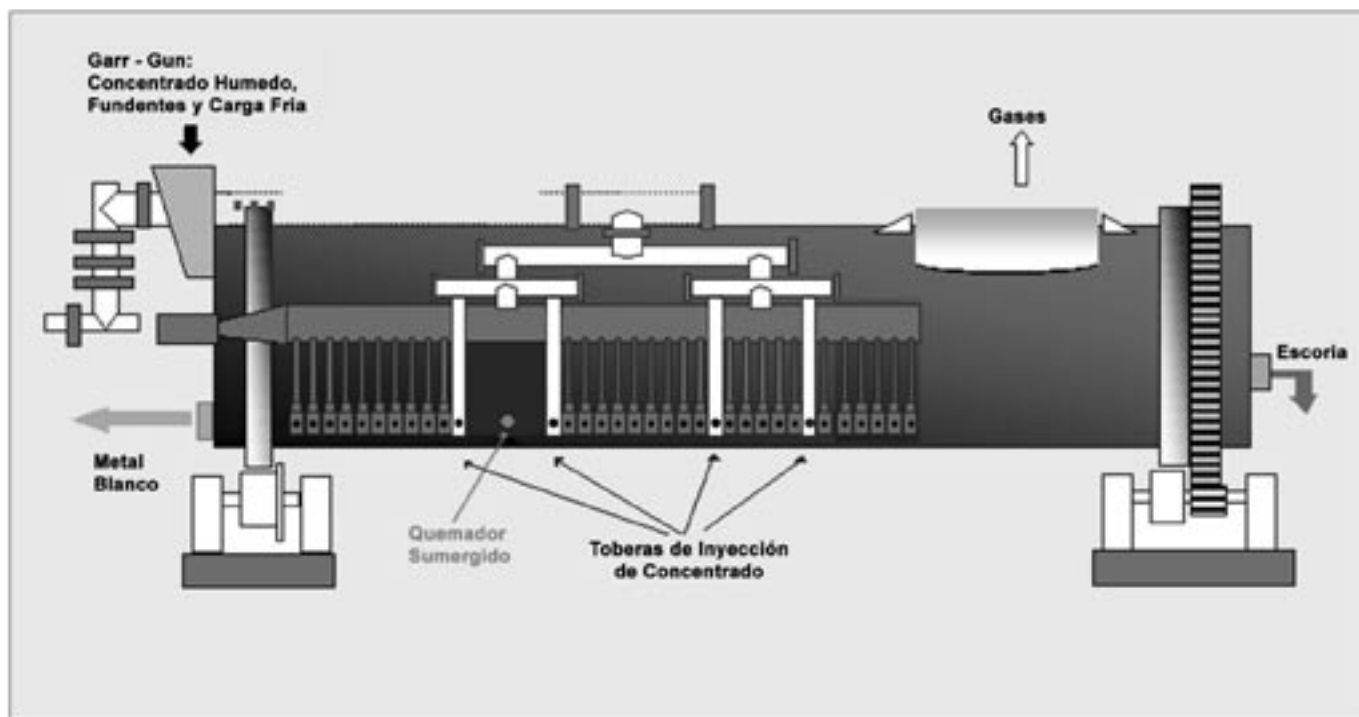
La escoria, que está formada por óxidos, fayalita, magnetita, sílice libre y componentes de la ganga, tiene un contenido promedio de 8% Cu; 37,5% Fe total; 28% SiO₂ y 18% Fe₃O₄.

La escoria se extrae a 1.240 °C por sangrado intermitente, por un pasaje de sangría, refrigerado por agua, ubicado en la culata hacia la zona de la boca del CT, la cual fluye hasta una taza que es trasladada a los Hornos de Limpieza de Escoria (HLE), donde se procesa para recuperar el cobre atrapado.

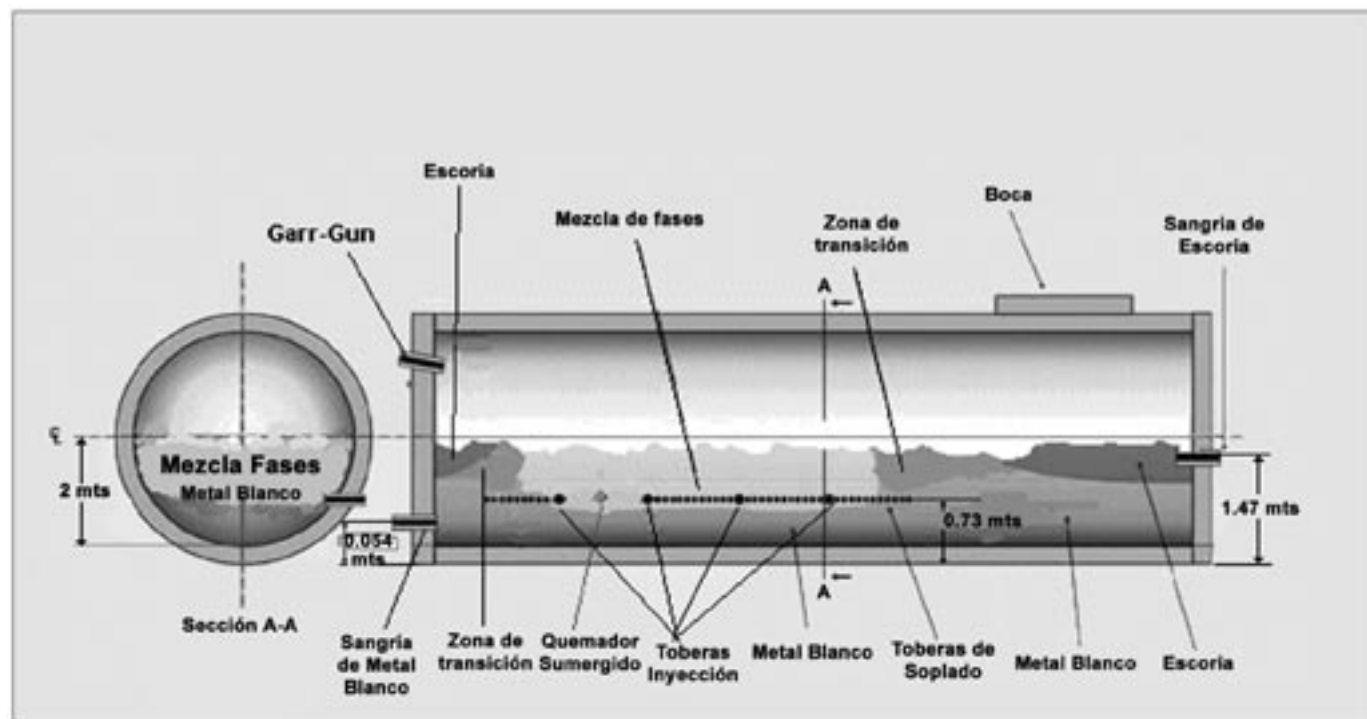
La composición química de la escoria fayalítica formada en el proceso de fusión-conversión se controla con la adición de fundente silíceo al baño a través del garr-gun localizado en el extremo superior de la culata, hacia el sector de sangría de Metal Blanco.

Los gases de proceso del reactor, que contienen principalmente anhídrido sulfuroso (25 % SO₂ en volumen, medidos en la boca), se extraen en forma continua a través de la boca del CT a una temperatura promedio de 1.260 °C. Estos gases junto con el polvo arrastrado, se colectan por medio de una campana refrigerada por agua y se envían al circuito de enfriamiento y manejo de gases y polvos, para ser tratados finalmente en la Planta de Acido.

Esquema General del Convertidor Teniente



Distribución de Fases al Interior del Convertidor Teniente



En este corte del CT se aprecia en el fondo el metal blanco. En la zona de soplado, con mucha agitación, una mezcla mecánica de las dos fases presentes, en tanto que en la zona de más calma (a la derecha del reactor) la escoria se estratifica en la parte superior, lo que permite retirarla por el pasaje de sangría de escoria. La sangría del metal blanco, ubicada a la izquierda del convertidor, permite extraer este producto más denso de la parte baja del reactor.

Generación de Gases en el proceso de fusión

En el proceso de fusión-conversión por digestión en el baño la fase gaseosa que emite el reactor es captada por la campana del CT y conducida a la planta de limpieza de gases, donde se trata para fijar el azufre contenido como ácido sulfúrico. Estas emisiones están compuestas por:

- Gases y Vapores:

entre los que comúnmente se encuentran los siguientes

- **Nitrógeno:** que proveniente principalmente del aire inyectado por toberas y del aire infiltrado;
- **Oxígeno:** inyectado por toberas y que no alcanzó a reaccionar en el baño, además del proveniente del aire infiltrado;
- **Anhídrido Sulfuroso:** proveniente de la oxidación del azufre pirítico y de la oxidación del FeS;
- **Vapor de agua:** proveniente de la evaporación del agua de la carga y de la quema de combustibles derivados del petróleo;
- **CO₂ y CO:** en aquellos casos en que hay quema de un combustible fósil.

- Humos y Material Particulado:

son líquidos o sólidos finamente divididos que tienden a aglomerarse. Las partículas más grandes sedimentan y caen rápidamente en los ductos, mientras que las de tamaño mediano se depositan más lejos y las más pequeñas permanecen suspendidas y son transportadas por los gases, comportándose como tales.

- Material Particulado Propiamente Tal:

Corresponde a arrastre de material sólido o líquido desde el reactor, en especial cuando se carga por garr-gun, o proyecciones de líquido debido a la agitación del baño. También se forma material particulado a partir del material sublimado desde el interior del reactor y que por efecto del descenso de la temperatura se solidifica en los ductos, alcanzando tamaños superiores a 0,01 micrón.

2.- Horno Flash Outokumpu

Los hornos Flash utilizan el calor generado por la oxidación de parte de la carga de sulfuros para aportar gran parte o el total de la energía requerida para la fusión. Los hornos Flash son excelentes desde el punto de vista ambiental porque producen gases ricos en SO₂, desde los cuales el anhídrido sulfuroso puede recuperarse eficientemente como ácido sulfúrico. El producto principal de la fusión en horno Flash es un eje o mata rico en cobre (45 – 50% Cu).

La fusión Flash consiste en el soplado de concentrados secos junto con aire enriquecido con oxígeno en el corazón caliente del horno. Una vez en el horno, las partículas de sulfuro reaccionan rápidamente con los gases oxidantes, produciéndose una oxidación parcial controlada de los concentrados y una gran generación de calor. La combustión de las partículas de sulfuro es extremadamente rápida y el calor producido por las reacciones de oxidación es suficiente para fundir los minerales parcialmente oxidados. Las gotas fundidas caen a la capa de escoria, donde se completan las reacciones de formación del eje y la escoria y donde todo el cobre oxidado se reduce nuevamente a Cu₂S.



Las gotas de eje resultantes decantan a través de la escoria para formar la capa de eje o mata.

El proceso Flash Outokumpu, que usa aire precalentado enriquecido con oxígeno, no es autógeno, por lo que se utilizan combustibles para cubrir el déficit térmico. Para permitir un flujo ininterrumpido de partículas a través de los quemadores el proceso trata concentrados secos. El producto gaseoso de las reacciones de oxidación de los sulfuros es SO₂ y los gases efluentes tienen concentraciones de 10 – 15%.

El reactor Flash Outokumpu consta de tres partes principales: la Torre de Reacción (Reaction Shaft), el Sedimentador (Settler) y la Torre de Salida de Gases (Uptake Shaft).

El gas oxidante, que es aire enriquecido con oxígeno (65 – 85%), se precalienta a 450 – 1.000 °C. Los quemadores de concentrado están ubicados en la parte superior de la Torre de Combustión, en uno de los extremos del horno, y los concentrados, fundentes y gases se soplan simultáneamente hacia abajo de la torre sobre la superficie de la escoria. Los quemadores de petróleo también están ubicados en la parte superior de la torre de reacción. Los gases efluentes abandonan el horno a través de la Torre de Salida de Gases que se encuentra ubicada en el extremo opuesto del horno.

La configuración del quemador en sentido vertical hacia abajo tiene por finalidad provocar el impacto de las partículas de concentrado sobre la superficie de la escoria. Esto aumenta la tendencia de las partículas de concentrado a adherirse a la superficie de la escoria, y minimiza las pérdidas de concentrado (polvo) a través de los gases de proceso.

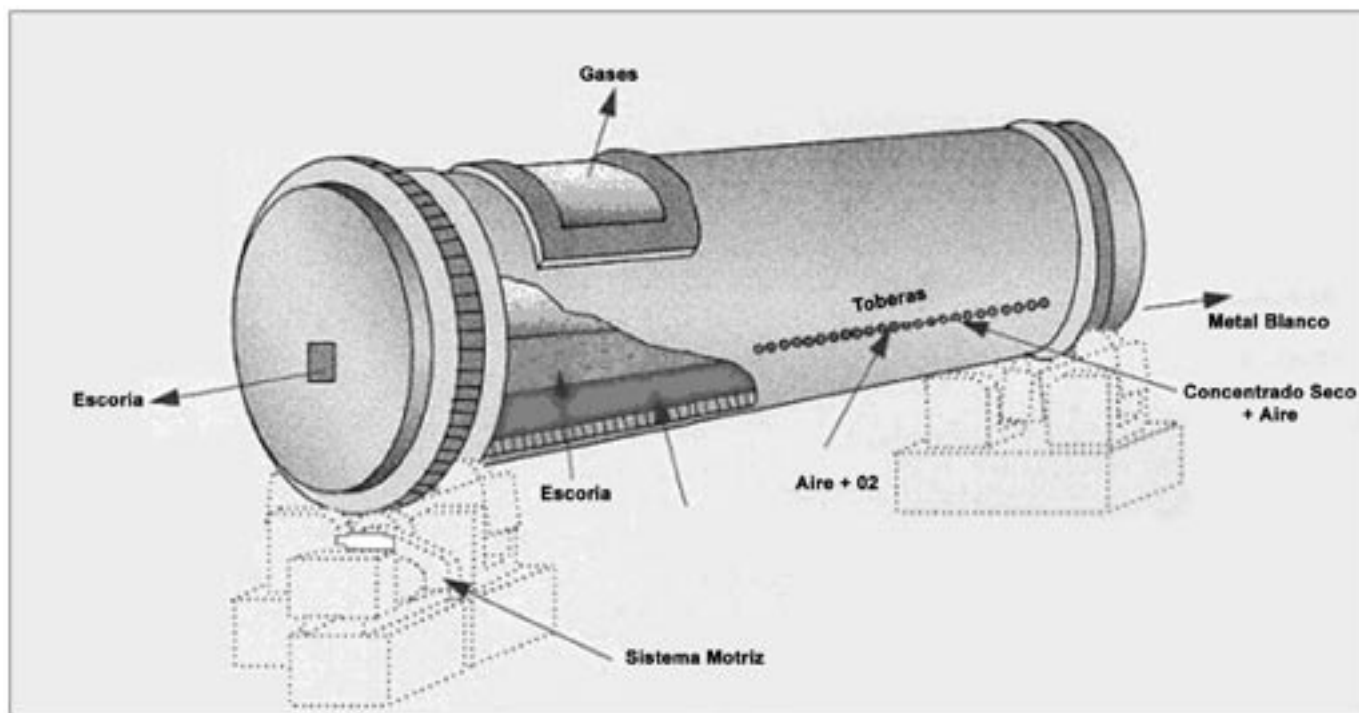
El eje y la escoria se descargan en forma intermitente del sedimentador a través de canaletas de sangría. La temperatura del eje es del orden de 1.260 °C y los gases de salida alcanzan temperaturas de 1.300-1.350 °C.

3.- Reactor Noranda

El proceso de fusión Noranda es un proceso de fusión continua de cobre, diseñado para tratar en forma muy eficiente concentrado de cobre y materiales de reciclables que contengan el metal. El proceso involucra la producción de un eje con alto contenido de cobre en un equipo cilíndrico recubierto de refractarios. Es importante destacar que, a diferencia de las fundiciones de Noranda en Canadá, hasta la fecha, en Chile el reactor se opera sólo con concentrados de cobre y los circulantes (carga fría) necesarios para el equilibrio térmico del proceso.

El reactor continuo Noranda conceptualmente es muy similar al Convertidor Teniente. El concentrado seco se alimenta en forma lateral a través de las toberas de inyección y los fundentes, circulantes y concentrado húmedo se introducen por la parte superior del horno. Al igual que en el caso del convertidor Teniente, el calor necesario para el proceso lo genera la oxidación del azufre y del fierro, suplementado si el balance calórico así lo requiere, por quemadores de gas natural o diesel y oxígeno. El aire enriquecido con oxígeno se sopla en el metal fundido usando toberas sumergidas.

En el reactor continuo se produce la fusión de la carga alimentada generando un baño líquido a una temperatura comprendida entre 1.200 y 1.280 °C. Durante el proceso se separan las dos fases líquidas: escoria en la parte superior y metal blanco en la inferior. La escoria se sangra periódicamente por el extremo opuesto a la carga del horno. El metal blanco extraído del reactor continuo se vacía a ollas y se traslada a los convertidores Peirce-Smith. Los gases metalúrgicos salen del reactor a una temperatura de 1.280 °C.



ETAPA DE CONVERSIÓN

Convertidor Peirce-Smith (CPS)

El Metal Blanco o Eje proveniente de los hornos de fusión contiene como principales componentes cobre, hierro y azufre, así como más de 3% de oxígeno disuelto. Además, contiene cantidades menores de impurezas metálicas, tales como arsénico, bismuto, níquel, plomo, zinc y metales preciosos, provenientes del concentrado fresco y que se eliminaron durante la etapa de fusión. Este Eje o Metal Blanco se carga fundido (1.100 °C) a los convertidores para obtener “cobre Blister”.

El propósito de la etapa de conversión es eliminar el hierro, el azufre y las otras impurezas, produciendo así cobre metálico líquido en la forma de cobre Blister (98,5 – 99,5% Cu). Esto se logra oxidando con aire enriquecido con oxígeno el eje fundido a alta temperatura (1.150 – 1.250 °C), utilizando sílice como fundente. Esta eliminación se desarrolla en dos etapas sucesivas, conocidas como “soplado a escoria” y “soplado a cobre”. Las reacciones que se producen son espontáneas y fuertemente exotérmicas, suministrando el calor necesario para el desarrollo del proceso, lo cual lo convierte en un proceso autógeno.

En Chile, y en la mayor parte del mundo, el proceso de conversión se realiza en convertidores Peirce-Smith. El metal blanco o eje fundido se carga en el convertidor por una gran abertura o “boca” y el aire enriquecido con oxígeno se sopla en el eje a través de toberas ubicadas a lo largo del reactor.

El convertidor está provisto de un mecanismo de rotación que permite posicionarlo correctamente para cargar, soplar y vaciar. Esta capacidad de rotación permite también levantar las toberas desde los líquidos en el caso que falle el ventilador, o bien sumergir las toberas en los líquidos a la profundidad deseada. Esto último permite al operador, durante la etapa de “soplado a cobre” dirigir el aire al metal blanco (Cu_2S) más que al cobre blister. Las toberas normalmente están sumergidas 20 a 30 cms. en el eje.

Los productos de la etapa de conversión son:

- cobre blister (99% Cu), que pasa a la siguiente etapa de refinación;
- escoria de convertidor, que se envía a tratamiento para recuperar el cobre remanente (3 – 5%); y
- anhídrido sulfuroso gaseoso.

Etapas del Proceso de Conversión

La conversión ocurre en dos etapas sucesivas química y físicamente distintas, aunque ambas involucran el soplado de aire en la fase fundida:

- a) El “soplado a escoria”, en que el FeS se oxida a FeO , Fe_3O_4 y SO_2 gaseoso. Los puntos de fusión del FeO y el Fe_3O_4 son 1.385 °C y 1.597 °C respectivamente, y en esta etapa se agrega sílice como fundente para que se combine con el FeO y parte del Fe_3O_4 formando así la escoria líquida. La etapa de formación de escoria finaliza cuando se ha oxidado casi completamente el FeS en el eje o mata, es decir cuando contiene menos de 1% de FeS . La escoria líquida ($2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$), saturada con magnetita, se vacía varias veces durante esta etapa. El principal producto de esta etapa es “metal blanco”, Cu_2S líquido impuro.
- b) El “soplado a cobre”, en que el azufre remanente se oxida a SO_2 . El cobre no es oxidado por el aire hasta que está casi exento de azufre, por lo que el producto de la conversión que es el cobre blister tiene bajos contenidos tanto de azufre como de oxígeno (0,02 – 0,1% S; 0,5 – 0,8% O_2).

Los principales elementos que se eliminan del eje o mata durante el proceso de conversión son el hierro y el azufre, aunque también se eliminan muchas otras impurezas tanto a través de los gases, como de las escorias.

Durante la conversión en los gases se van principalmente el arsénico, bismuto, cadmio, mercurio, plomo, antimonio y estaño, mientras que el zinc es eliminado junto con el hierro en las escorias.

La mayor parte de los metales preciosos, el níquel y el cobalto continúan en el cobre blister, desde donde son recuperados durante la electro-refinación.

ETAPA DE REFINACIÓN Y MOLDEO DE ANODOS

El objetivo principal de la refinación a fuego es remover el azufre (del orden de 500 ppm) y el oxígeno (del orden de 5.000 ppm) del cobre blister, a fin de evitar la formación de ampollas durante la solidificación. Tradicionalmente, esto se realiza en dos etapas:

- Oxidación: del azufre a SO_2 , mediante la adición de aire, hasta alcanzar valores de 10 – 30 ppm de azufre en el cobre.
- Reducción: eliminación del oxígeno disuelto en el cobre prove-

niente de la conversión y de la anterior etapa de oxidación, hasta alcanzar valores del orden de 500 – 1.000 ppm. Esto se realiza introduciendo un reductor (madera en bruto no impregnada con algún compuesto químico, hidrocarburo, carbón) para remover el oxígeno como CO y H₂O.

El refinado a fuego se realiza principalmente en hornos rotatorios alcanzando éstos una temperatura de operación del orden de 1.200 °C, lo que aporta el suficiente sobrecalentamiento para la posterior etapa de moldeo de ánodos.

Las reacciones de la etapa de refinación producen muy poco calor, por lo que para mantener la temperatura de los hornos es necesario utilizar algún combustible.

Una vez terminados los procesos de refinación se realiza el moldeo del producto final en grandes ruedas de moldeo del tipo giratorio, donde también las temperaturas fluctúan alrededor de los 1.200 °C.

TRATAMIENTO DE ESCORIAS

Esta etapa del proceso permite la recuperación del cobre contenido en las escorias de alta ley (4 – 10% Cu) provenientes de los procesos de fusión y/o conversión. En Chile se usan tres procesos para el tratamiento de las escorias: hornos tipo Teniente, hornos eléctricos y planta de flotación de escorias.

El tratamiento de las escorias en hornos tipo Teniente o eléctricos es esencialmente el mismo proceso, que consiste en la reducción del contenido de magnetita (Fe₃O₄) en la escoria por medio de un agente sólido, líquido o gaseoso, de manera de cambiar sus características físicas y químicas. Una posterior sedimentación de las partículas de mata atrapadas mecánicamente, permite generar una escoria de descarte y una fase rica en cobre. Este proceso puede desarrollarse en modalidad discontinua (“batch”) o semicontinua.

La operación de un horno de tratamiento de escoria comprende básicamente las siguientes etapas:

- Carga de la escoria al horno;
- Reducción: la reducción de la magnetita se traduce en una disminución de la viscosidad de la escoria, lo que permite la separación de las fases contenidas. Para que este proceso se lleve a cabo se necesita que el horno tenga una temperatura superior a los 1.200 °C. Como las reacciones de reducción son endotérmicas, para mantener la temperatura del baño se requiere, en el caso del horno tipo Teniente del

calor generado por un quemador, y en el caso del horno eléctrico del calor entregado a través de los electrodos. El agente reductor está compuesto de carbono, hidrógeno y algo de azufre;

- Sedimentación: la escoria reducida se deja en reposo para permitir la decantación de las partículas con contenido metálico. La separación de las fases se produce debido a la mayor densidad de las gotas de sulfuro metálico respecto de la escoria. Para mantener la temperatura del horno por sobre los 1.200 °C se debe seguir suministrando calor. El tiempo de sedimentación de la mata varía entre 30 y 60 minutos, pudiendo en algunos casos ser bastante más largos.

Los productos obtenidos después de la sedimentación son: una escoria descartable con bajo contenido de cobre (0,7 – 1%) que es enviada a botadero, y una mata con alto contenido de cobre (50 – 70%), que se recircula al proceso, usualmente a los convertidores Peirce-Smith.

LIMPIEZA Y TRATAMIENTO DE GASES

Los gases metalúrgicos ricos en anhídrido sulfuroso (SO₂) que se producen en las etapas de fusión y conversión se captan en los respectivos hornos mediante campanas y se someten a un proceso que consta de 3 pasos principales:

- Enfriamiento y purificación del anhídrido sulfuroso (SO₂) gaseoso proveniente de los hornos de fusión y conversión. Para eliminar las impurezas contenidas en el gas (N₂, O₂, material particulado, vapor de agua, arsénico, fluor, etc.) se utilizan cámaras de enfriamiento y precipitadores electrostáticos y luego torres de lavado y precipitadores electrostáticos húmedos. En las cámaras de enfriamiento el gas se somete a un proceso de enfriamiento rápido.
- Conversión del anhídrido sulfuroso gaseoso a anhídrido sulfúrico (SO₃). En la planta de ácido el gas es secado y luego se conduce al convertidor catalítico.
- Absorción del SO₃ en ácido sulfúrico (H₂SO₄), obteniéndose un producto de 98% de pureza.

Todos los efluentes líquidos evacuados desde el sistema de limpieza, secado y absorción se tratan en una planta para neutralizarlos y separar el arsénico contenido en ellos, obteniéndose un producto estable que, previamente envasado, va a disposición final en vertederos especiales.

DESCRIPCION DE LAS FUNDICIONES PRIMARIAS CHILENAS

1- CHUQUICAMATA – CODELCO-Chile

La fundición de Chuquicamata tiene una capacidad instalada de procesamiento de concentrados de 1,63 millones de toneladas anuales para producir del orden de 550 mil toneladas de ánodos de cobre.

La fundición recibe concentrados (propios y externos), fundentes y materiales de recirculación en tolvas y camas de almacenamiento, donde se preparan para los requerimientos específicos de las diferentes unidades productivas. Desde el almacenamiento el concentrado es llevado a las unidades de secado (2 secadores rotatorios), donde entran con una humedad promedio de 8% y se descargan con 0,2%.

El concentrado seco se entrega, vía transporte neumático, a las unidades de fusión que son: un horno Flash Outokumpu y un Convertidor Teniente (CT). Las características más relevantes de los productos de los equipos de fusión son:

- Horno Flash : Eje (60 a 62% Cu)
Escorias (2 a 2,5% Cu)
Gases (18 a 20% SO₂) a planta de ácido
- CT : Metal Blanco (73 a 75% Cu)
Escorias (5 a 6% Cu; 18 a 20% Fe₃O₄)
Gases (8 a 10% SO₂) a planta de ácido

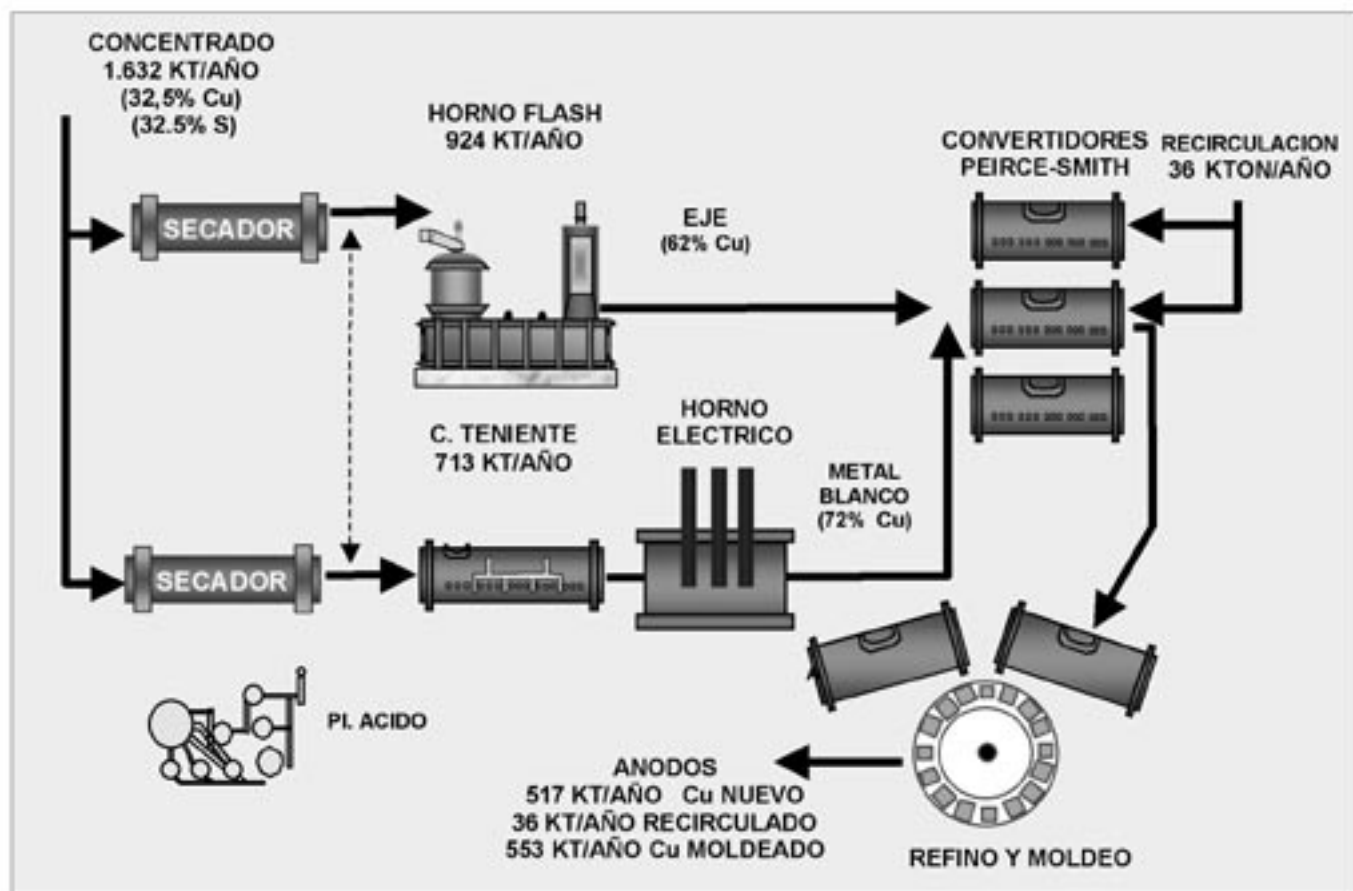
El Eje y el Metal Blanco se alimentan a los convertidores Peirce-Smith (CPS) para su conversión a Blister. La fundición tiene 4 CPS, tres operativos y uno en stand by.

La escoria del horno Flash se trata en un horno pirometalúrgico para recuperar parte del cobre y luego va a botadero. La escoria del CT va a un horno eléctrico de limpieza de escorias, donde se recupera el cobre atrapado, el que es retornado a los CPS.

El cobre Blister producido por los CPS pasa a una etapa de refinación que se realiza en hornos de refino (6 pero normalmente se opera con 4). El cobre resultante se moldea como ánodos en las ruedas de moldeo.

La fundición tiene también plantas de oxígeno, que proveen del insumo para el proceso y plantas de ácido con sus respectivas plantas de tratamiento de efluentes, donde se tratan los gases generados en los procesos de fusión y conversión.

A continuación se muestra un esquema de la operación actual de la fundición.



1.1 Concentrados fundidos

La composición de los principales elementos contenidos en los concentrados fundidos en Chuquicamata es la siguiente:

| | | |
|------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| Cobre : 35% | Azufre : 32,7% | Hierro : 19,7% |
| Arsénico : 0,78% | Al ₂ O ₃ : 1,1% | SiO ₂ : 5,3% |
| Zinc : 1,7% | Molibdeno : 0,131% | Calcio : 0,17% |
| Plomo : 0,048% | Insoluble : 3,4% | |

El contenido típico de impurezas expresado en ppm es el siguiente:

| | | |
|---------------|-------------------|------------------|
| Plata : 154,4 | Oro : 0,82 | Bismuto : 95,6 |
| Cloro : 135,5 | Cobalto : 45,7 | Magnesio : 337,9 |
| Níquel : 16,9 | Antimonio : 396,6 | |

1.2 Composición de Fundentes

Los fundentes que se utilizan en el proceso están constituidos por cuarzo, con un contenido promedio de SiO₂ de 85,8%. La composición típica de estos materiales es:

| | | |
|---------------------------------------|------------|--------------------------|
| Al ₂ O ₃ : 2,6% | CaO : 0,8% | SiO ₂ : 85,8% |
|---------------------------------------|------------|--------------------------|

1.3 Combustibles utilizados

Como se indicó anteriormente, las reacciones producidas en los hornos de fusión son exotérmicas, de modo que el proceso es autógeno para la fusión de la carga. Se utilizan algunos combustibles en la partida de los procesos, donde es necesario utilizar quemadores para iniciar la reacción y en el proceso de reducción.

No existe información respecto de la composición de los combustibles utilizados por la fundición de Chuquicamata.

2. POTRERILLOS – CODELCO-Chile

La fundición Potrerillos de la División Salvador tiene una capacidad de procesamiento de concentrados de 680.000 toneladas anuales, 32% de los cuales provienen de su complejo mina-concentradora y el resto son concentrados externos.

Los concentrados se almacenan en tolvas en la Planta de Recepción y Mezcla y desde allí son enviados mediante una correa transportadora de tipo tubular a una tolva de almacenamiento intermedio,

desde donde se alimentan al secador de lecho fluidizado, el que utiliza una mezcla de aire y gases de combustión de petróleo combustible N°6 como medio de transferencia de calor.

En la etapa de fusión en el convertidor Teniente (CT) el concentrado seco (0,2% humedad) se inyecta al baño fundido en forma sumergida a través de toberas y se insufla aire enriquecido con oxígeno (35 – 37%). En el reactor los concentrados se funden en forma autógena. A través del garr-gun se alimenta el fundente (sílice) y el material circulante.

En el CT se generan tres flujos de material:

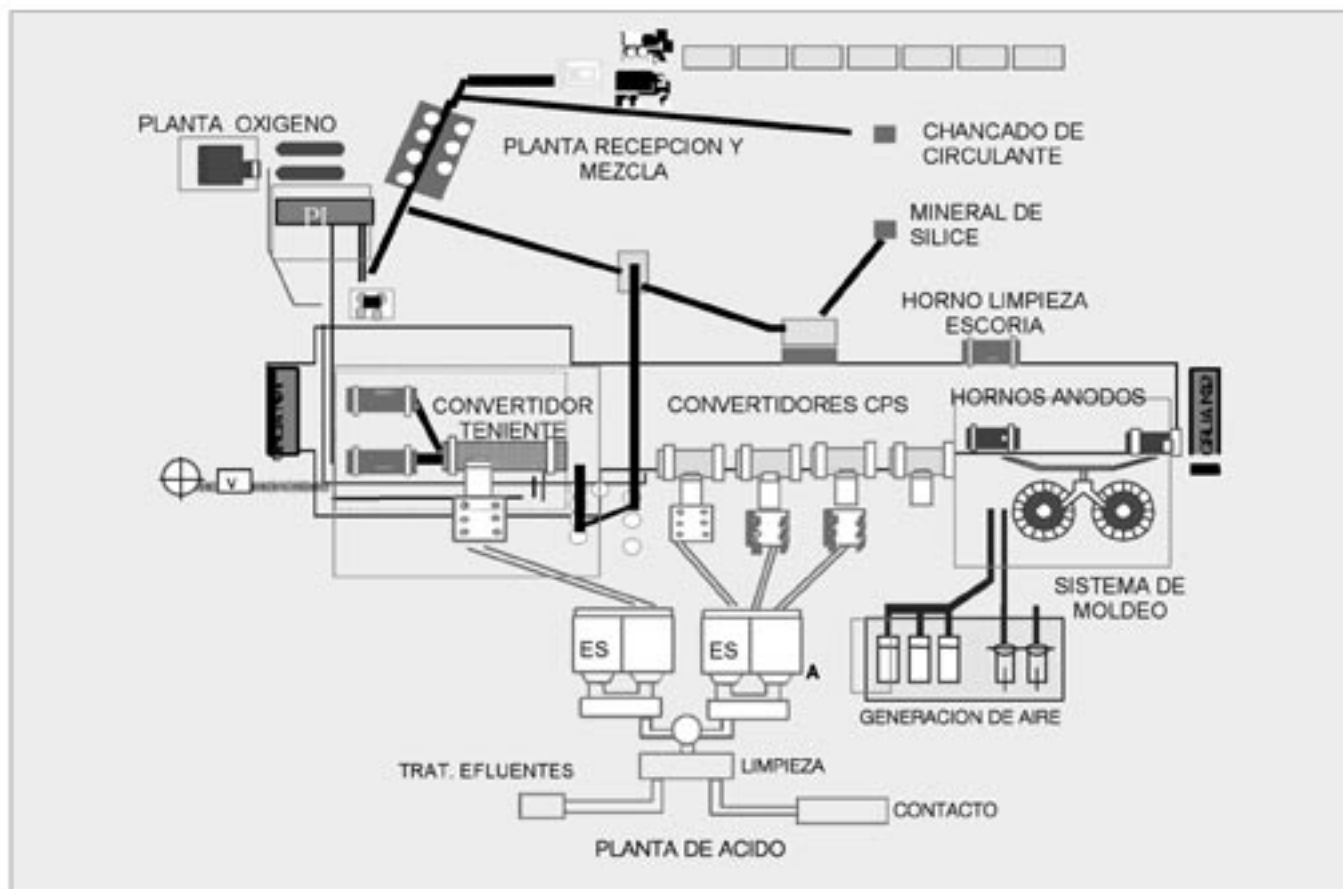
- Metal Blanco líquido, con 72-75% de Cu, 5% Fe y 21% S
- Escoria líquida, con 8% Cu, 38% Fe y 26% SiO₂
- Gases con alto contenido de SO₂

El Metal Blanco líquido (1.220 – 1.250 °C) se extrae del CT en forma intermitente a través de un pasaje de sangría, y se transporta en ollas a los convertidores Peirce-Smith (CPS) para continuar con el proceso de conversión.

La escoria líquida (1.220 – 1.250 °C) se extrae también en forma intermitente y se transporta gravitacionalmente hasta los Hornos pirometalúrgicos de Limpieza de Escoria (3). La escoria final, con 0,9% Cu, se transporta a botadero para disposición final.

En el proceso de conversión en los CPS (3) se insufla aire enriquecido con oxígeno (25%) al baño fundido y se alimenta carga fría para controlar la temperatura. El producto, que es cobre Blister líquido (98 – 99% Cu), se transporta a los Hornos de Ánodos (2), donde se somete a una refinación a fuego para eliminar el exceso de oxígeno, y luego se moldea a la forma de ánodos. La escoria semi-líquida se enfría en pozos para ser chancada y reciclada al CT como circulante.

La fundición Potrerillos en sus instalaciones cuenta también con una planta de oxígeno y una planta de ácido, con su respectiva planta de tratamiento de efluentes.



2.1 Concentrados Fundidos

La composición de los principales elementos contenidos en los concentrados es la siguiente:

| | | | |
|--------------------------------|-----------------|------------------|----------------|
| Cobre | : 30,8 – 38,3% | Azufre | : 31,2 – 33,6% |
| Hierro | : 19,1 – 27,8% | Arsénico | : 0,09 – 0,83% |
| Al ₂ O ₃ | : 3,1 – 6,1% | SiO ₂ | : 3,7 – 7,7% |
| Oro | : 0,5 – 3,0 ppm | Plata | : 73 – 110 ppm |
| Otros | : 0,7 – 10% | | |

3. CALETONES – CODELCO-Chile

La fundición de Caletones de la División El Teniente de CODELCO-Chile posee una capacidad instalada para procesar 1,25 millones de toneladas de concentrados de cobre, siendo aproximadamente un 90% concentrado propio y un 10% externo, proveniente de la División Andina de la misma empresa. Su producción de cobre blister es del orden de 365.000 toneladas anuales.

El concentrado se alimenta a la fundición con una humedad promedio de 8 – 9%, y es sometido a una etapa de secado en 2 secadores de lecho fluidizado, de donde sale con una humedad inferior al 0,2%.

El proceso de fusión se realiza en 2 convertidores Teniente y se inicia con la inyección de concentrado seco, en forma neumática, por medio de toberas al baño fundido del reactor. Aquí se aprovecha el calor generado por la reacción del oxígeno presente en el aire de soplado con los sulfuros de hierro y cobre contenidos en el concentrado, que genera un eje de alta ley o Metal Blanco de 74 a 76% de cobre, una escoria con 4 a 8% de cobre y 16 a 18% de Fe₃O₄, y una corriente de gases con un 23 a 26% de SO₂ en la boca del reactor, concentración que depende principalmente del enriquecimiento en oxígeno del aire de soplado.

Los gases del convertidor Teniente arrastran una cantidad de polvo que es recuperado en los precipitadores electrostáticos y posteriormente enviados a la planta de tratamiento de polvos, donde se recupera el cobre soluble por métodos hidrometalúrgicos y el material no soluble es retornado a la fundición mezclado con el concentrado. Este retorno representa alrededor del 0,1% del concentrado alimentado a la fundición.

Además de concentrado en el convertidor Teniente se alimentan otros materiales internos de la fundición:

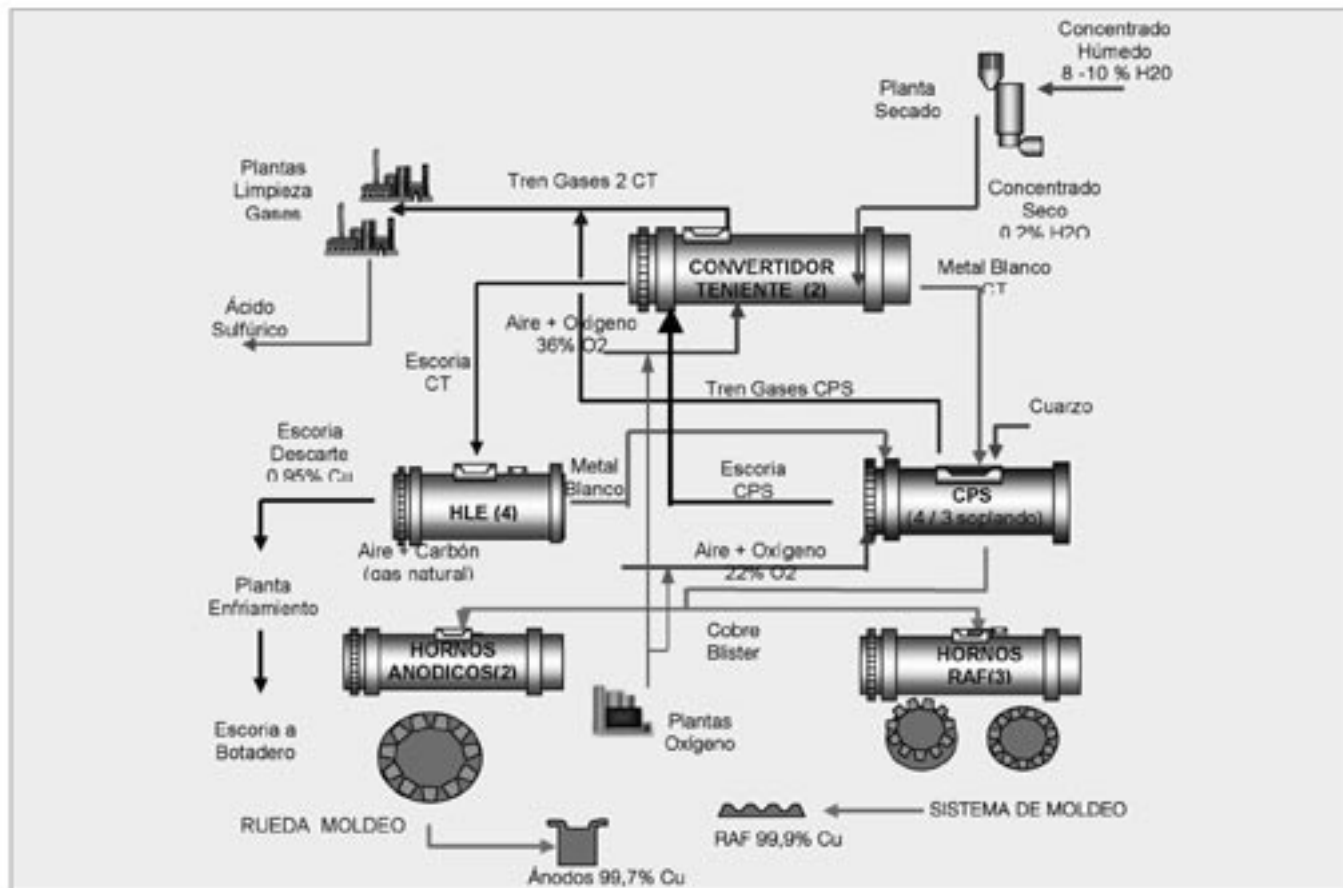
- Carga fría, que es una mezcla de materiales proveniente del enfriamiento del material líquido circulante en la fundición;
- Ripios, material recirculante desde la planta de tratamiento de polvos mezclado con el concentrado;
- Líquidos internos recirculantes, metal de hornos de limpieza de escorias, escorias de conversión y etapas de refinado.

La escoria generada en los convertidores Teniente se trata en 4 hornos pirometalúrgicos de limpieza de escorias. Los productos que se obtienen en estos hornos son una escoria descartable con un contenido bajo en cobre (0,7 a 1,0%) y un metal blanco con contenidos de 60 a 74% de cobre.

El metal blanco producido en los convertidores Teniente y en los hornos de limpieza de escorias se transporta a los convertidores Peirce-Smith (4) para realizar el proceso de conversión. Una vez obtenido el cobre blister con un 99% de pureza, éste pasa a la etapa de refinado y moldeo. La escoria que se produce en la etapa de conversión retorna a los convertidores Teniente.

El cobre blister líquido puede ser refinado en los 2 hornos anódicos o 3 hornos de refinado a fuego, dependiendo de las necesidades de producción de ánodos o cobre RAF. Una vez terminado el proceso de refinado se realiza el moldeo del producto final.

El diagrama del proceso en la Fundición El Teniente se muestra a continuación:



3.1 Composición química de las entradas

| | Cu % | Fe % | S % | SiO ₂ % | Al ₂ O ₃ % | Fe ₃ O ₄ % | Au ppm | Ag ppm | Pb ppm | Ni ppm | As ppm | Sb ppm | Bi ppm |
|--------------------|---------|---------|--------|-----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Concentrado | 31,8 | 24,5 | 30,1 | 6,1 | 2,4 | | 0,35 | 51 | 527 | 24 | 1890 | 182 | 8 |
| Ripios | 37,6 | 5,9 | 14,2 | | | | | | 9,51% | 90 | 0,66% | 0,5% | 0,16% |
| Carga fría fundida | 27,7 | 27,9 | 5,9 | 20,5 | 3 | 15,6 | | | 670 | 160 | 1370 | 247 | 1 |

El concentrado de cobre tiene un contenido de cloro de origen inorgánico que fluctúa entre 150 y 200 ppm.

3.2 Características de los fundentes

Los fundentes que utiliza la fundición son cuarzo (SiO_2), ceniza de soda (Na_2CO_3) y carbonato de calcio (CaCO_3) y sus características químicas se pueden apreciar en la siguiente tabla:

| Fundente | Componente (% peso) | | | | | | |
|--------------------------|---------------------|--------------------------|----------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------|
| | CaCO_3 | Na_2CO_3 | SiO_2 | CaO | MgO | FeO | Al_2O_3 |
| SiO_2 | -- | -- | 95,0 | 0,5 | 0,5 | 1,5 | 2,5 |
| CaCO_3 | 85,0 | -- | 5,0 | -- | 2,5 | 2,5 | 5,0 |
| Na_2CO_3 | -- | 99,0 | 1,0 | -- | -- | -- | -- |

3.3 Combustibles utilizados

Los principales combustibles y reductores utilizados en la fundición son petróleo combustible N° 6, diesel y carbón derivado del petróleo.

4. VENTANAS – Empresa Nacional de Minería (ENAMI)

Las fundiciones de ENAMI tienen como misión fundamental prestar servicios de fundición y refinación de cobre a productores de la pequeña, mediana y gran minería.

La fundición Ventanas tiene una capacidad instalada para procesar alrededor de 420.000 toneladas anuales de concentrados para producir 110.000 toneladas de ánodos de cobre.

El proceso productivo comienza con la recepción y manejo de diversos concentrados y productos mineros provenientes de una gran variedad de proveedores de diversa escala. Esto incluye productos adquiridos por ENAMI a través de las agencias de compra, como también productos en calidad de servicios de maquila para fusión y refinación.

Estas materias primas pasan a un proceso de mezcla formando un concentrado húmedo cuya ley de cobre es del orden de 30%. El proceso de secado de estos concentrados se realiza en secadores rotatorios, utilizando como combustible gas natural. El concentrado seco se descarga a un transportador que permite una alimentación controlada a un sistema de vasos presurizados, que mediante transporte neumático alimentan una tolva.

La tecnología de fusión utilizada es un convertidor Teniente, cuya operación, como ya se ha señalado, es autónoma, ya que no requiere de eje semilla para mantener el balance de calor y sólo un leve soporte térmico que se suministra a través de un quemador sumergido a gas natural. Durante la fusión se inyecta aire enriquecido con oxígeno (36%) directamente en la fase metálica a través de toberas sumergidas en el baño.

Los productos son una fase líquida rica en cobre, el Metal Blanco (75% Cu), que se envía a los convertidores Peirce-Smith (3) para continuar el proceso de conversión a Blister, y una fase líquida pobre en cobre, la escoria (8% Cu), que se envía a un proceso de limpieza en un Horno Eléctrico. La fase gaseosa rica en SO_2 se lleva a la Planta de Ácido previo enfriamiento y limpieza.

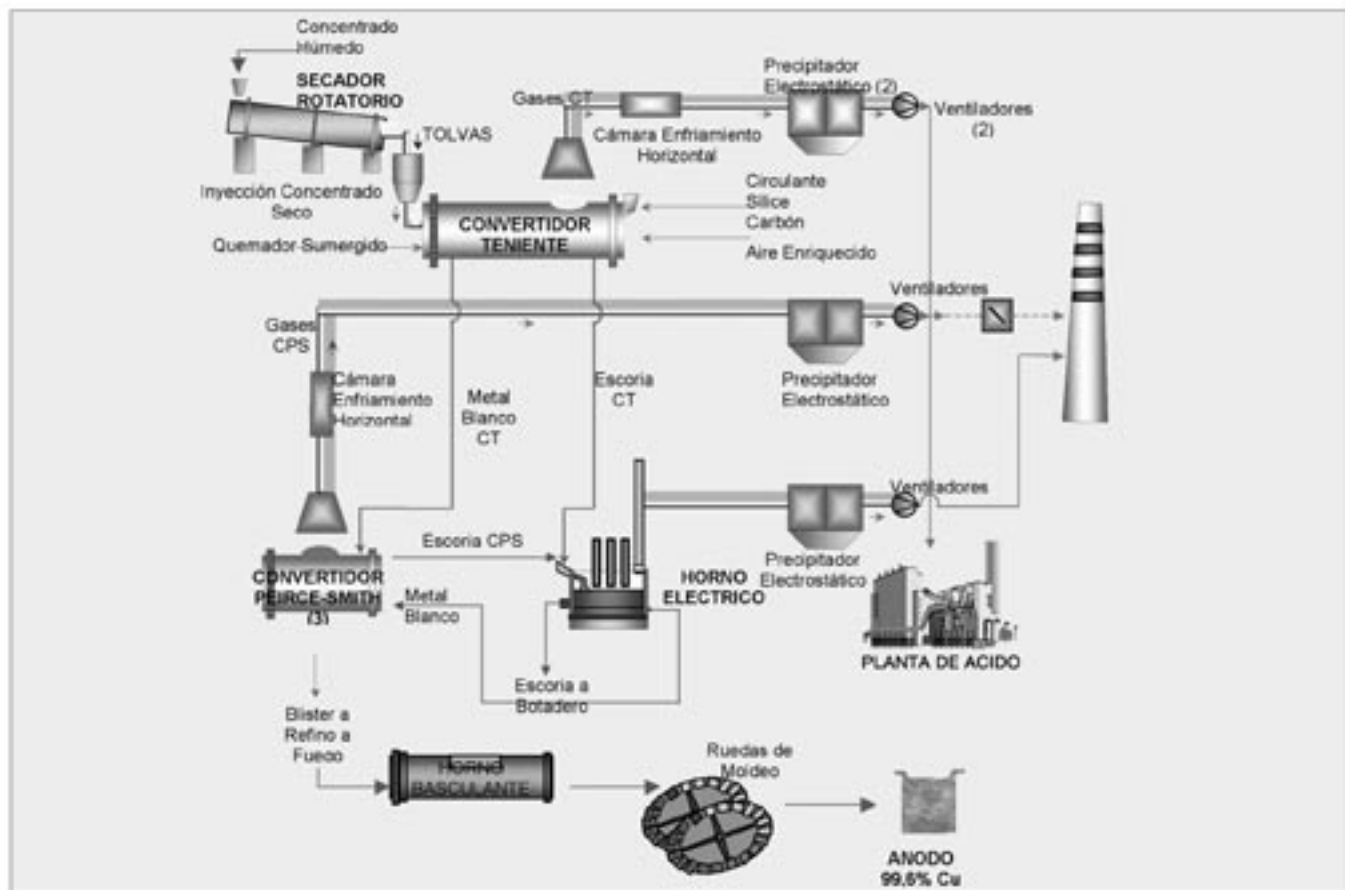
En el proceso de conversión se sopla aire enriquecido en oxígeno (24%) a través de toberas sumergidas en el baño del reactor. Los productos del proceso son una fase líquida que es el Blister (98% Cu) que va al proceso de refinación a fuego y una escoria que se reprocesa en la fundición.

En el horno eléctrico de limpieza de escoria, que es del tipo de electrodos sumergidos, se procesan las escorias provenientes del convertidor Teniente y se funden gran parte de los circulantes que se producen en la fundición, como derrames de metal blanco, costras y otros materiales. Los productos líquidos que se obtienen son un eje de alta ley (70% Cu) que va a los CPS y una escoria de descarte que se lleva a botadero.

El proceso de refinación a fuego se realiza en un horno basculante, obteniéndose un cobre anódico que a temperaturas superiores a los 1.200 °C fluye hacia las ruedas de moldeo.

La fundición Ventanas cuenta con una planta de oxígeno y una planta de ácido de doble contacto.

El diagrama de flujo de la fundición Ventanas es el siguiente:



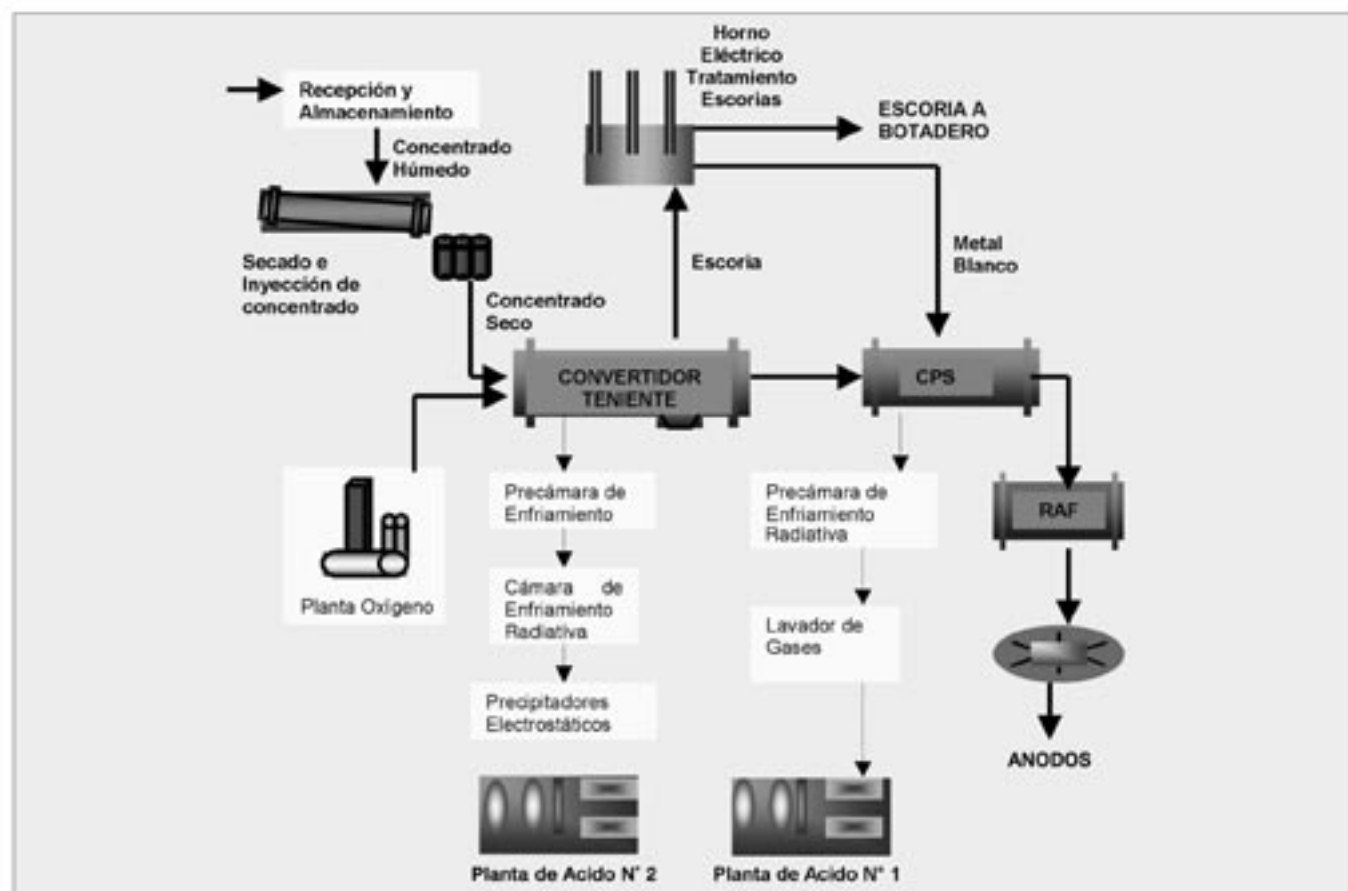
5. HERNAN VIDELA LIRA (PAIPOTE) – Empresa Nacional de Minería (ENAMI)

La fundición Paipote tiene una capacidad de procesamiento de concentrados de 300.000 toneladas/año para producir sobre 90.000 toneladas de blister y ánodos de cobre.

El proceso de secado de concentrado, al igual que en Ventanas, se realiza en un secador rotatorio, pero en este caso se usa como combustible petróleo Diesel.

Todo el proceso en la fundición Paipote es idéntico al de la fundición Ventanas, con la única diferencia que en lugar de gas natural se usa petróleo Diesel como combustible en el quemador sumergido del convertidor Teniente en la etapa de fusión y en el horno basculante en la etapa de refinado a fuego.

La fundición Paipote cuenta con una planta de oxígeno y dos plantas de ácido, con sus respectivas plantas de tratamiento de riles.



5.1 Concentrados Fundidos

La composición química de los concentrados procesados por las fundiciones de la Empresa Nacional de Minería (ENAMI) es en promedio la siguiente:

| | | |
|---------------------------------------|----------------------|---------------------------------------|
| Cobre : 27,6% | Fierro Total : 28,5% | Fe ₃ O ₄ : 1,7% |
| SiO ₂ : 6% | Azufre : 31,8% | Arsénico : 0,04% |
| Al ₂ O ₃ : 1,2% | CaO : 1,2% | MgO : 0,3% |
| Antimonio : 0,02% | Plomo : 0,2% | Cloro : 500 ppm |

5.2 Características de Combustibles

5.2.1 Coke Industrial

| | | |
|------------------|------------------|----------------|
| Carbono : 94,84% | Hierro : 0,04% | Azufre : 1,03% |
| Sílice : 0,23% | Aluminio : 0,11% | Calcio : 0,04% |
| Magnesio : 0,04% | Volátiles : 1,5% | |

5.2.2 Coke Residual Petróleo

| | | |
|---------------|---------------|-----------------|
| Carbono : 85% | Azufre : 1,2% | Volátiles : 12% |
| Cenizas : 6% | | |

5.2.3 Gas Natural

| | |
|---|--|
| Metano : 91% | Etano : 6,05% |
| Propano : 2,13% | Butano : 0,93% |
| Pentanos y superiores : 0,3% | Dióxido de Carbono : 2% |
| Nitrógeno : 0,8% | AcidoSulfhídrico : 6 mg/m ³ |
| Azufre (mercaptanos) : 23 mg/m ³ | Azufre total : 100 mg/m ³ |

6. ALTONORTE – Noranda Chile Ltda.

Esta fundición acaba de terminar su proyecto de expansión que le permitió aumentar su capacidad de procesamiento de concentrados a 820.000 toneladas anuales para producir del orden de 290.000 toneladas/año de ánodos de cobre.

El proyecto de expansión significó el reemplazo del antiguo horno reverbero por un convertidor de tecnología desarrollada por Noranda,

que corresponde a un reactor de fusión igual al que usan sus fundiciones ubicadas en Canadá.

El reactor tiene 54 toberas destinadas al soplado de aire enriquecido con oxígeno al proceso y 12 toberas para la inyección de concentrados secos. En condiciones normales de operación, el concentrado seco es alimentado al reactor vía toberas de inyección utilizando un transporte neumático en fase ultradensa. El reactor puede ser alimentado, además, con concentrado húmedo, a través de un inyector localizado en la culata de metal blanco, y que también es utilizado para agregar fundente, coke y carga fría al proceso. El calor necesario para el proceso lo genera la oxidación del azufre y fierro, suplementado si el balance calórico así lo requiere, por quemadores de gas natural o diesel y oxígeno.

La planta de secado de concentrados incluye un horno rotatorio de 4 metros de diámetro y 40 metros de largo, con sus instalaciones anexas, destinada al secado de concentrados de cobre nuevos y aquellos provenientes de la planta de flotación de escorias. La humedad final de los concentrados es de un 0,2%. El concentrado seco se transporta neumáticamente a las tolvas de almacenamiento para la alimentación del reactor.

En el reactor continuo se produce la fusión de la carga alimentada, generando un baño líquido a una temperatura entre 1.200 y 1.280 °C, de dos fases líquidas inmiscibles entre sí, metal blanco y escoria. La carga fría y circulantes son los materiales que se utilizan para el control de la temperatura del baño líquido del reactor.

La escoria generada - de una ley de entre 6% y 8 % de cobre - es descargada del reactor de fusión a través de una placa de sangría instalada en el muro opuesto a la sangría de metal blanco. Para recuperar el contenido de cobre, la escoria se trata posteriormente mediante enfriamiento, molienda y concentración por flotación.

El metal blanco producido (con un contenido de entre 72% y 75 % de cobre) se extrae del reactor a través de dos placas de sangrías, instaladas en la parte baja de la culata de metal blanco y se transporta en ollas a los hornos convertidores tipo Peirce-Smith (3), para continuar con el proceso de conversión, que involucra la oxidación del azufre remanente con aire enriquecido con oxígeno insuflado a través de toberas sumergidas en el baño líquido, para obtener como producto principal cobre blister.

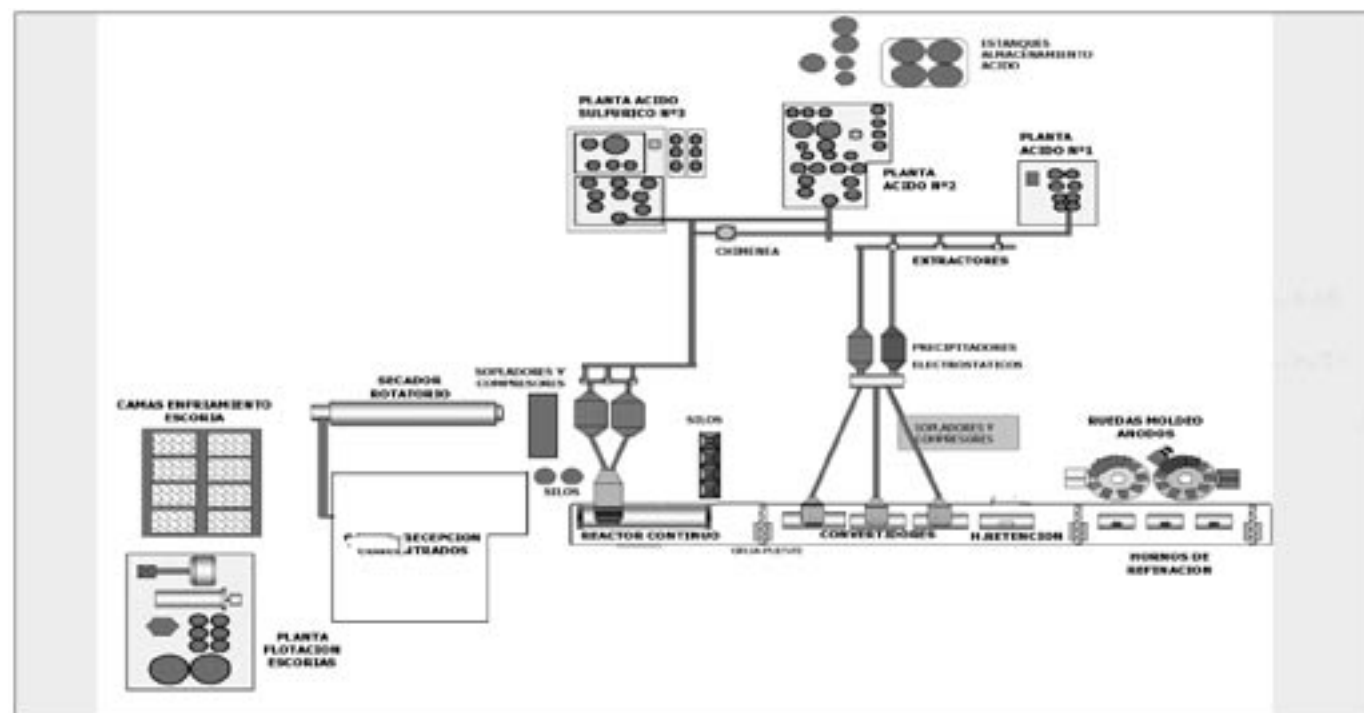
La escoria producida por los convertidores Peirce-Smith se recircula e

inyecta como carga fría para ser procesada por el reactor de fusión en estado sólido.

El cobre blister se transfiere a los hornos de refino, en los cuales se somete primero a una oxidación que elimina el azufre remanente, y luego a un proceso de reducción mediante gas natural para eliminar el exceso de oxígeno, quedando finalmente el cobre refinado de 99,6 – 99,7% de pureza, apto para su moldeo en forma de ánodos.

Los gases generados en el proceso (con una temperatura del orden de 1.240 °C) son captados a través de campanas. Posteriormente, los gases se enfrían en una cámara evaporativa con agua atomizada (350 °C a 400 °C) y se envían a las plantas de ácido (3) a través de precipitadores electrostáticos y ventiladores de tiro inducido.

Fundición Altonorte



7. CHAGRES – Anglo American Chile Ltda.

La fundición Chagres tiene una capacidad instalada para procesar 480.000 toneladas anuales de concentrados de cobre y producir entre 150.000 y 170.000 toneladas de ánodos.

En la zona de preparación de la carga se hacen las mezclas adecuadas de concentrado y sílice para ser procesadas en el horno Flash. El secado de concentrado y fundente se efectúa en 2 hornos secadores a vapor, reduciéndose la humedad del concentrado desde 8% a 0,2% y la de sílice de 2,5% también a 0,2%. La mezcla seca se transporta neumáticamente hasta una tolva de almacenamiento y al sistema de dosificación controlada para la alimentación al horno de fusión.

El reactor donde se realiza la fusión es un horno Flash de tecnología y diseño Outokumpu, que consta de tres partes principales: la torre de reacción, el sedimentador y la torre de salida de gases.

Una de las partes más importantes del horno Flash es el quemador de concentrado, que va instalado en el centro del techo superior de la torre de reacción. Recibe simultáneamente el flujo de carga seca y aire de proceso enriquecido con oxígeno. La combustión se complementa con los quemadores de oxígeno petróleo instalados en la misma torre. Las salidas de eje y escoria del sedimentador descargan en canaletas de sangría de eje y escoria respectivamente.

Los gases salen del horno Flash a una temperatura de 1.400 °C y se enfrían en una caldera hasta una temperatura entre 350 y 390 °C, para pasar luego al precipitador electrostático.

El eje o mata del horno Flash y de los hornos de tratamiento de escorias pasan al proceso de conversión en hornos Peirce-Smith (3), en que se oxida la mata líquida a altas temperaturas (1.150 – 1.250 °C) soplando aire a través del eje fundido, utilizando sílice como fundente, lo que permite remover el azufre, hierro y otras impurezas del eje.

Las materias primas que entran a los convertidores son: el eje o mata; fundente o escorificante (cuarzo); carga fría; aire y oxígeno. La carga fría la constituyen en general desechos internos de la fundición, tales como escoria del convertidor, cobre rechazado y eje frío.

Los productos de la etapa de conversión son:

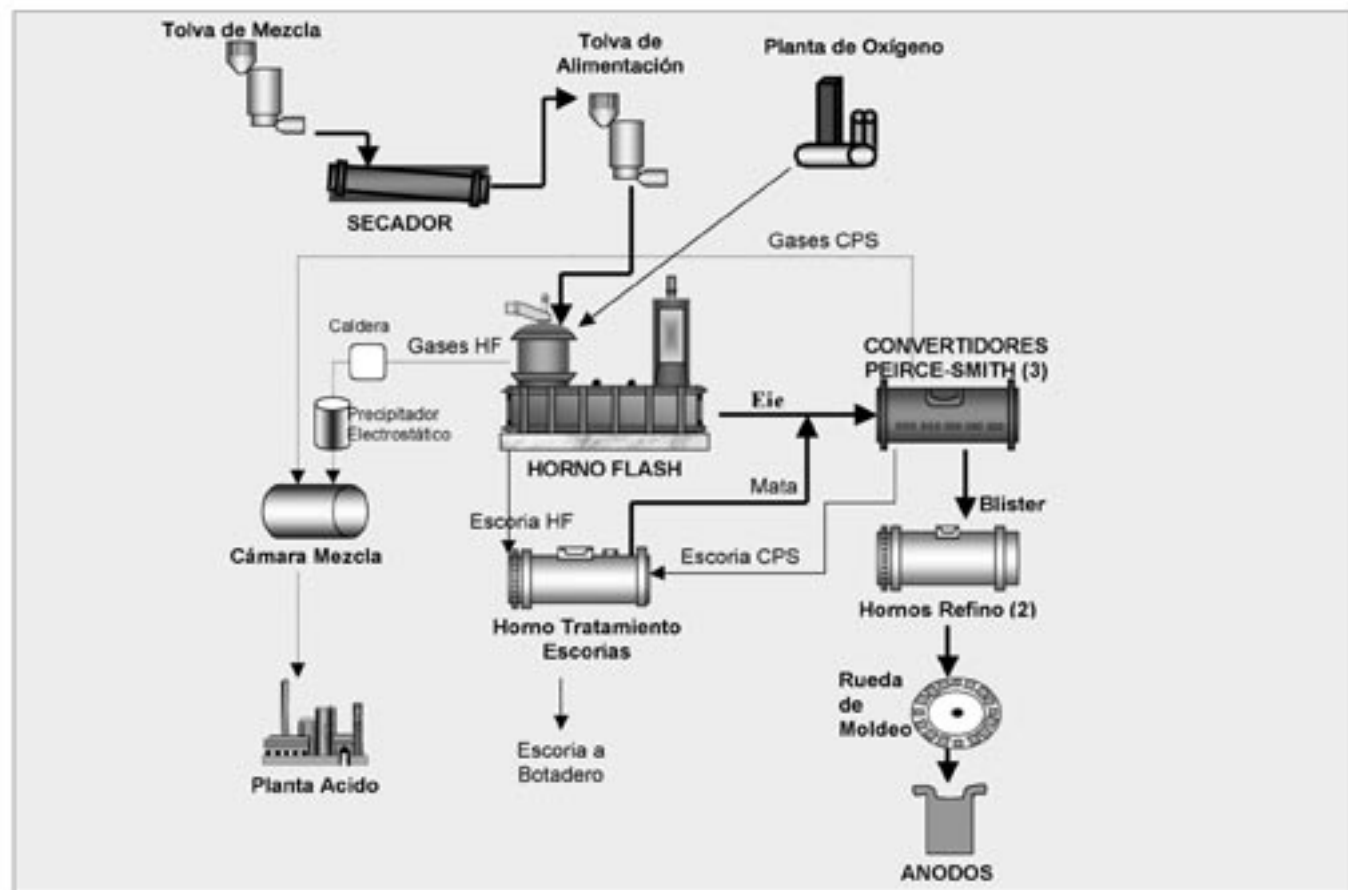
- Cobre Blister (99% Cu)
- Escoria de convertidor (50% Fe, 25% SiO₂), que además del hierro contiene entre 3 y 5% de Cu, el que se recupera recirculando la escoria a los hornos de tratamiento.
- Dióxido de azufre, cuya concentración en los gases del convertidor es del orden de 5 – 8%.

Para la recuperación del cobre contenido en las escorias se utilizan hornos pirometalúrgicos de tratamiento (2). La operación de estos hornos es un proceso “batch” que comprende básicamente 4 etapas: carga de la escoria al horno, reducción de la magnetita contenida en la escoria alimentada, sedimentación de la mata o separación de las fases metal y escoria, y extracción de la escoria final y mata de alta ley. Los productos obtenidos son una escoria descartable con bajo contenido de cobre (0,7 – 1%) que va a botadero, y una mata con alto contenido de cobre (50 – 70%), que es recirculada al proceso de fundición en los convertidores Peirce-Smith.

El cobre Blister proveniente de la etapa de conversión presenta contenidos de azufre (500 ppm) y oxígeno (5.000 ppm) que es necesario eliminar para evitar la formación de ampollas durante la solidificación, lo que se logra a través del proceso de refinación a fuego en los hornos de refinación (2).

Posteriormente, viene la etapa de moldeo que se realiza a temperaturas entre 1.190 y 1.205 °C, y para lo cual la fundición cuenta con una rueda de moldeo de ánodos.

Para el manejo y limpieza de gases se cuenta con una caldera recuperadora de calor, un precipitador electrostático, una cámara de mezcla, ventiladores y la planta de ácido con su respectiva planta de tratamiento de efluentes.



7.1 Caracterización de Concentrados

El rango de composición química de los concentrados procesados por la fundición de Chagres es la siguiente:

| | | |
|--|---------------------------------|--------------------------------|
| Cobre : 27,9 – 41,7% | Hierro : 21,7 – 24,5% | Azufre : 25,9 – 34,1% |
| As : 135 – 819 ppm | Ag : 58 – 63 ppm | Au : 0,1 – 1 ppm |
| SiO ₂ : 3,8 – 14,3% | MgO : 0,12 – 0,9% | CaO : 0,28 – 1,5% |
| Al ₂ O ₃ : 1,06 – 3,9% | Na ₂ O : 0,41 – 1,3% | K ₂ O : 0,5 – 0,59% |
| Mn : 0,01 – 0,1% | F : 132 – 144 ppm | Zn : 311 – 547 ppm |
| Hg : 1 – 2 ppm | Pb : 52 – 196 ppm | Ni : 10- 51 ppm |
| Mo : 35 – 2.462 ppm | Co : 38 – 140 ppm | Se : 3 – 57 ppm |
| Bi : 10 – 49 ppm | Te : 0,4 – 1,8 ppm | Cl : 46 – 85 ppm |
| Sb : 8,7 – 59 ppm | Sn : < 20 ppm | |

7.2 Caracterización de Fundentes

La composición de los cuarzos utilizados como fundentes es la siguiente:

| | | | |
|---------------------------------|---|--------------------|-------------------|
| Cuarzo Grueso | | | |
| SiO ₂ : 95,9 – 96,9% | Al ₂ O ₃ : 0,77 – 0,97% | CaO : 0,03 – 0,07% | Fe : 0,41 – 1,02% |
| Cuarzo Fino | | | |
| SiO ₂ : 82 – 95,2% | Al ₂ O ₃ : 1,1 – 7,76% | CaO : 0,07 – 4,23% | Fe : 0,64 – 0,96% |

ANEXO C: ANTECEDENTES RESPECTO DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LAS FUNDICIONES CUYAS MEDICIONES SUSTENTAN EL FACTOR DE EMISION DE DIOXINAS DETERMINADO PARA LA PRODUCCIÓN PRIMARIA DE COBRE

Documento Técnico elaborado por la Comisión Chilena del Cobre - Abril 2004

EL FACTOR DE EMISION PARA PRODUCCIÓN PRIMARIA DE COBRE DEL INSTRUMENTAL NORMALIZADO Y LAS MEDICIONES QUE LO SUSTENTAN

El punto 6.2.4.1 del “Instrumental Normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos” del PNUMA, justifica el valor del factor de emisión para la producción primaria de cobre, señalado en la Tabla 27, en mediciones realizadas en fundiciones de Alemania y Suecia, las que fueron reportadas en el Inventario Europeo de Dioxinas de 1997 (LUA 1997).

En el caso de las fundiciones alemanas de cobre el Volumen 2 del Inventario Europeo de Dioxinas reporta lo siguiente:

Germany

03 03 06 Primary Copper Production

“Because in Germany no plants exist which could be considered to produce purely with primary materials this emission source will be treated below (03 03 09)”

03 03 09 Secondary Copper Production

Plant Data

“In Germany there are 3 copper smelters of which one processes copper concentrate as well as scrap while the other 2 plants are scrap smelters”

Los párrafos citados del Inventario Europeo de Dioxinas dejan claramente establecido que la producción de cobre en Alemania es mayoritariamente de carácter secundario, aún cuando una fundición utiliza como materia prima una mezcla de concentrados y materiales reciclados (NA en Hamburgo).

Para confirmar lo anteriormente señalado en relación a la producción de cobre en Alemania se visitó la página web http://www.na-ag.com/NA_en/rohstoffe_frame.html de Nordduetsche Affinerie, donde se señala lo siguiente:

*“NA’s copper production is based to 60 % on the copper concentrates supplied by the mines (primary raw materials). These concentrates are generally composed to one third each of copper, iron and sulphur. **The remaining 40 % of the raw material supply is covered by copper scrap (secondary raw materials) and process residues.** Accordingly, we process, for instance, scrap, shredder scrap, bronze, casting scrap and cable granules as well as galvanic slimes, slag, ash and filter dusts.*

*Whilst only secondary materials are used at Hüttenwerke Kayser AG in Lünen for cathode production, **NA uses a mixture of concentrates and recycling materials in its primary smelting process in Hamburg.** In addition to high-purity cathode copper we also recover the by-products, iron silicate stone and high-purity sulphuric acid, as well as the important co-elements: lead, silver, gold and various compounds of these co-elements, such as selenium and nickel.”*

Además, en la misma página la empresa destaca su importancia en el mercado mundial del reciclaje:

"The NA Group recycles significant quantities of copper scrap and is the largest processor of secondary materials worldwide. Copper scrap comes in a variety of forms and qualities and is processed in several plants depending on the composition of the material. In Hamburg scrap is additionally used as a cooling material during the melting of copper concentrates. Due to the surplus heat arising during this process it is possible to melt scrap in an environmentally friendly manner without using additional energy."

"Due to our modern technical facilities we can offer you processing possibilities for a variety of recycling materials. Examples of these are: printed circuit boards; non-ferrous metal-bearing waste; lead scrap; NE-contaminated slimes; NE-contaminated slag; NE-contaminated dust; foundry sand; contaminated soil; silicon bearing residue; blast slag residue; catalysts as well as a variety of other materials."

En el caso de la producción de cobre en Suecia, el Volumen 2 del Inventario Europeo de Dioxinas reporta lo siguiente:

Sweden

03 03 06 Primary Copper Production

Plant Data

"A primary smelter is described producing diverse non ferrous metals with copper being about 50% of the products. The plant uses ores and secondary materials (electronic scrap and plastic covered cables as well). It is a large and complex operation consisting of numerous activities".

La descripción de la planta, que corresponde a la fundición de Rönnskär de Boliden, aunque la define como una fundición primaria establece que además de concentrados procesa materiales secundarios, entre otros, scrap de electrónicos y cables recubiertos con plásticos, lo que se confirma en la página web de la empresa <http://www.boliden.com/> que informa:

"The Rönnskär smelter in northern Sweden extracts base metals and precious metals from concentrates of copper and lead as well as from recycled materials. It also extracts considerable amounts of zinc clinker and sulphur products."

"Rönnskär is located in Skelleftehamn, approximately 20 kilometers east to the town of Skellefteå in northern Sweden. The first copper

ingot was cast in 1930. Today, Rönnskär is one of the largest copper smelters of its kind in the world. It is also one of the largest plants for the recovery of base metals and precious metals from recycled materials, such as electronic and metal scrap, residues and slag."

"Rönnskär is a world leader in the recycling of base metals. Values are extracted from scrap and other waste containing metal. Copper ashes from the brass industry, scraped printed circuit boards, sorted metal fractions from dismantlers and shredders, copper cables and old silver coins illustrate the multitude of sources of recycled materials. Zinc is recovered from slags and ashes as well as from steel mill dust."

"At Rönnskär approximately 140,000 tonnes of secondary raw material are recycled every year; the biggest items are ashes from brass foundries, zinc-rich dust from steel mills, electronic scrap, copper/lead cable and pure copper scrap."

"Every year approximately 25,000 tonnes of electronic scrap are recycled. Electrical and electronic products that have been used for many years are mixed with production waste from the manufacturing industry. The value is in metals such as copper, gold and silver in varying proportions. The highest grade electronic scrap is of most interest, and these materials can have a gold content that is 10 times that of ore from a gold mine."

"The Kaldö process uses the plastic in the scrap as fuel and as a reducing agent at the same time as organic compounds are destroyed. The melt is brought together with the primary copper flow and is refined into metals of a very high quality and purity."

Como se puede observar de la información transcrita en los párrafos anteriores, a diferencia de las fundiciones primarias de concentrados de cobre de Chile, la fundición de Norddeutsche Affinerie en Hamburgo y la de Rönnskär en Suecia no son fundiciones primarias puras, ya que ambas procesan en sus instalaciones materiales reciclados de distintas calidades, además de concentrados de cobre.

En otras partes del mundo, como por ejemplo en Canadá, las fundiciones se operan de manera similar a las fundiciones europeas, esto es, usando como alimentación una mezcla de concentrados y materiales reciclados.

Noranda, una de las empresas productoras de metales más importantes de Canadá y a nivel mundial, informa en su página web (<http://www.noranda.com>) bajo el título de Canadian Copper and Recycling lo siguiente:

*"In 2001, Noranda created a new business unit with a strong strategic focus on recycling and processing complex materials. Through its Canadian Copper and Recycling business, Noranda is one of the largest recyclers of copper and precious metals in the world, sourcing over 300 types of material from more than 18 countries. **Recycled material provides on average about 15% of the feed for Noranda's smelters in Canada.***

Noranda's Canadian Copper & Recycling business unit consists of the Horne smelter in Rouyn-Noranda, Quebec, a custom copper smelter and sulphuric acid plant. It also operates the CCR copper and precious metals refinery in Montreal-East, Quebec.

*With over 50 years of experience in the recycling industry, Noranda is the world's largest recycler of electronic components and a major recycler of secondary copper, nickel, gold, silver, platinum, palladium, and lead. **Approximately 15% (150,000 tonnes)** of the raw material feed for our primary Canadian copper & recycling operations is from recyclable materials. **Gross value of recyclable raw materials was \$328 million in 2001.***

- *Noranda/Falconbridge Canadian operations process approximately 150,000 metric tonnes of recyclable raw materials annually*
- *In 2001, Canadian Copper and Recycling represented 29% of Noranda/Falconbridge's total revenue*

Of the total refined metal produced by Noranda, recycled materials account for:

| | Total Metal Produced in 2001 | From Recycled Material 2001 |
|--------------------|---|--|
| Copper | 323,000 mt | 10% |
| Gold | 1.2 mil oz | 15% |
| Silver | 43 mil oz | 10% |
| Platinum/Palladium | 120,000 oz | 90% |
| Lead | 108,000 mt | 7% |

Noranda is the world's largest custom processor of copper and precious metal-based feeds through its smelting and refining facilities in Canada. The versatility of Noranda's metallurgical process, and strong working relationships with an expanding network of suppliers to develop innovative recycling solutions, have been key to Noranda's growth as a recycler."

Las estadísticas de producción de cobre, de acuerdo a su procedencia (concentrados o materiales secundarios reciclados), de las distintas fundiciones que se encuentran en la actualidad operando en el mundo muestran que las fundiciones de Estados Unidos, México, Chile, Japón, Australia y las de Huelva en España y Harjavalta en Finlandia procesan cantidades mínimas de carga recirculada interna, que se usa como carga fría en los convertidores. En el otro extremo, las fundiciones de Beerse y Hoboken en Bélgica y Brixlegg en Austria son completamente secundarias.

Finalmente, por todo lo anteriormente expuesto, tanto en relación a la descripción detallada de las tecnologías y condiciones de operación de las fundiciones primarias de concentrados de cobre en Chile, como respecto de los antecedentes que acreditan que las fundiciones que se tomaron como referencia para determinar el factor de emisión de dioxinas de la producción primaria de cobre tienen condiciones distintas de operación y calidad de la alimentación, que las asimila a operaciones de carácter secundario, es que Chile solicita revisar la inclusión de la producción primaria de cobre en el Instrumental Normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos" preparado por PNUMA.