



Corporación Nacional del Cobre de Chile  
División Salvador  
Dirección de Sustentabilidad y Asuntos Externos  
Avenida Bernardo O'Higgins 105, Edificio Cine Inca  
Fono: 52-2472546  
El Salvador, Chile

DSAL-GG-DSAE-304/2016

22 de diciembre de 2016

Señor  
Cristián Franz Thorud  
Superintendente del Medio Ambiente  
Teatinos 280, piso 8  
Santiago



**Ref.:** Presenta actualización a metodología de Balance de Azufre y Arsénico de la Fundición Potrerillos de Codelco Chile División Salvador.

De mi consideración:

Mediante la presente, Codelco Chile División Salvador, de acuerdo a lo establecido en el Artículo 12 del D.S. N° 28/2013 "Norma de Emisión para Fundiciones de Cobre y Fuentes Emisoras de Arsénico", así como lo indicado en el punto 2 de la Resolución Exenta SMA N° 279 emitida el 4 de abril de 2016, mediante la cual se "Aprueba Metodología de Balance de Masa de Arsénico y Azufre Corporación Nacional del Cobre División Salvador", informa a Usted y solicita la autorización de vuestro Servicio, para efectuar modificaciones a la metodología de Balance Azufre-Arsénico de la Fundición Potrerillos.

Para lo anterior, adjunta a la presente el documento "Metodología de Balance Azufre Arsénico Fundición Potrerillos Codelco División Salvador – Actualización N° 1", que contiene los siguientes cambios principales:

- Corrección al número de piezas muestreadas en ánodos: esta modificación se requiere debido a que en la metodología anteriormente presentada, se incurrió en un error en la estimación del porcentaje de muestreo y capacidad de preparación mecánica de muestras asociadas a piezas de ánodos.
- Terminologías empleadas para estandarizar de acuerdo a Protocolo SMA.
- Mayor especificación de puntos de toma de muestras, así como diferenciación clara de puntos de muestreo para los distintos flujos.

Casa Matriz

Chuquicamata

Radomiro Tomic

Ministro Hales

Gabriela Mistral

Salvador

Ventanas

Andina

El Teniente

YP



Corporación Nacional del Cobre de Chile  
 División Salvador  
 Dirección de Sustentabilidad y Asuntos Externos  
 Avenida Bernardo O'Higgins 105, Edificio Cine Inca  
 Fono: 52-2472546  
 El Salvador, Chile

Sin otro particular, y esperando la buena acogida de la presente, saluda atentamente,

Alejandra Acuña Retamar  
 Directora de Sustentabilidad y Asuntos Externos  
 Codelco Chile - División Salvador



AAR/caf  
 Adjuntos: Lo indicado  
 Cc: Archivo

Casa Matriz

Chuquicamata

Radomiro Tomic

Ministro Hales

Gabriela Mistral

Salvador

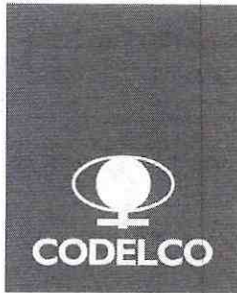
Ventanas

Andina

El Teniente

VP





CODELCO

**METODOLOGÍA DE BALANCE  
AZUFRE – ARSÉNICO  
FUNDICIÓN POTRERILLOS  
Codelco División Salvador**

**Actualización N° 1**

DICIEMBRE DE 2016

## Contenido

1. REQUERIMIENTOS GENERALES .....	3
2. IDENTIFICACIÓN DEL SISTEMA .....	7
3. FLUJOS .....	11
4. VALIDACIÓN DEL BALANCE .....	15
<i>Tonelaje de flujos de proceso</i> .....	17
<i>Inventarios de proceso</i> .....	17
<i>Leyes de azufre y arsénico</i> .....	18
5. MUESTREO .....	19
6. ANÁLISIS QUÍMICOS .....	23

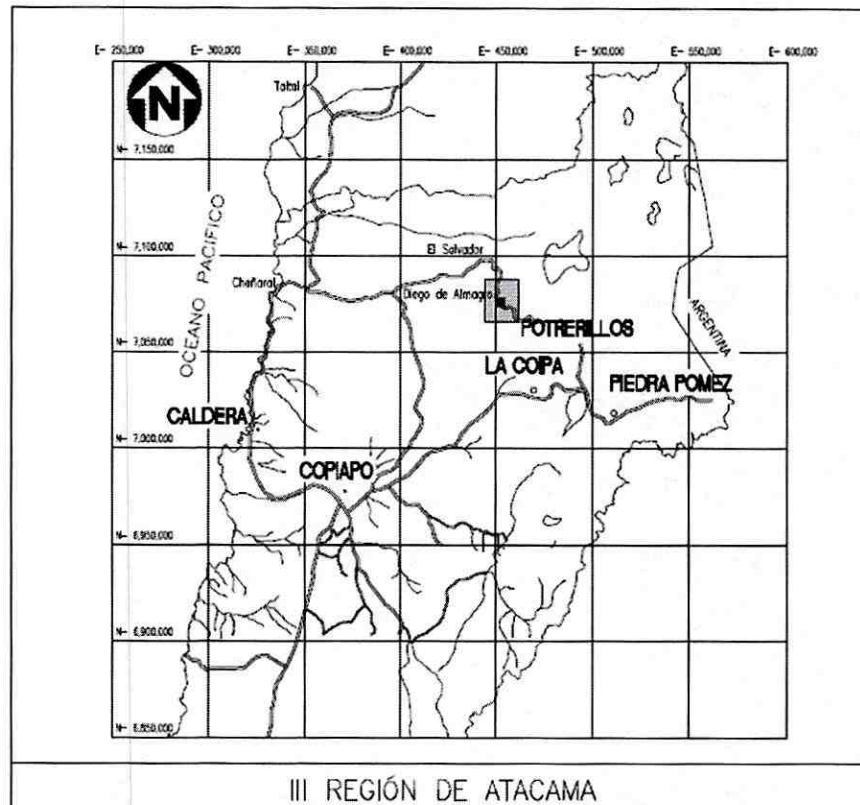


## 1. REQUERIMIENTOS GENERALES

### 1.1 Introducción

La Fundición de Cobre de Potrerillos, tiene una capacidad de fusión de 660.000 ton/año de concentrados secos de cobre, provenientes de la División Salvador (30% - 35% aproximadamente) y otros proveedores nacionales, siendo una fundición de carácter maquiladora.

La Fundición Potrerillos se encuentra ubicada en la Región de Atacama, Provincia de Chañaral, en la zona industrial de Potrerillos, ubicado a 180 Km al Este de la ciudad de Chañaral y a una altura de 2.950 m.s.n.m. aproximadamente. La siguiente imagen muestra la ubicación regional de la Fundición:



**Imagen 1: Ubicación Fundición Potrerillos.**

La Fundición de Potrerillos, cuyo inicio de la operación data de la década de 1920, procesa concentrados de distinta procedencia con el fin de generar ánodos como producto para enviar a la Refinería electrolítica y generar cátodos como producto comercial.

El proceso considera el secado de los concentrados para que puedan ingresar al proceso de fusión con una humedad inferior a 0,2%. En el proceso de Fusión, el cual es realizado en el horno Convertidor Teniente, se obtiene metal blanco como producto rico en cobre, y escoria de CT, la que es enviada a los inventarios de secundarios de la Fundición.

El metal blanco alimenta el proceso de conversión, el cual es realizado en los Hornos Pierce Smith (3 unidades), desde donde se obtiene cobre blíster que es enviado posteriormente a los Hornos de Ánodos para ser refinado y moldeado.

Por su parte, la escoria generada en el Convertidor Teniente (escoria de CT), es enviada para su procesamiento mediante molienda y flotación, a la Planta de Flotación de Escorias logrando extraer el cobre contenido en este material, el cual es retornado a la Fundición como **"Inventario Otros (Concentrado Planta de Flotación de Escorias)"**, y a su vez genera un residuo que es dispuesto en el Depósito de Relaves Filtrados, constituyendo una salida del Sistema **"Otros (Relave)"**.

Los gases de la Fundición son enviados a la Planta de Tratamiento de Gases, compuesta por la unidad de Manejo y Limpieza de Gases y Planta de Ácido Sulfúrico, esta última, de contacto simple.

En el Diario Oficial del 12 de diciembre de 2013 se publicó el Decreto Supremo N°28 del Ministerio del Medio Ambiente que establece **"Norma de Emisión de Fundiciones de Cobre y Fuentes Emisoras de Arsénico"**. Entre otros aspectos, el D.S. N° 28 define los **límites de la fuente emisora**, que determinan los flujos de entrada y salida de un conjunto de operaciones consideradas en el balance de masa de arsénico y de azufre. Además, para las fuentes emisoras nuevas y las existentes, el D.S. N° 28 define los **límites máximos anuales de emisión de SO<sub>2</sub> y As** y los **plazos para su cumplimiento**. Las fuentes emisoras existentes, deberán tener una **captura mínima de azufre y de arsénico de 95%**.

En el caso de la Fundición Potrerillos, los plazos de cumplimiento de los límites establecidos en el D.S. N° 28/2013, corresponden a 5 años a contar del 12 de diciembre de 2013, por ser una fuente emisora con Planta de Ácido de contacto simple. Para el **período de transición**, que comprende desde la entrada en vigencia del D.S. N° 28 hasta el diciembre del año 2018, las emisiones máximas permitidas para la Fundición Potrerillos corresponden a **89.500 (ton/año) para el SO<sub>2</sub>**, y **800 (ton/año) para As**.

**Con fecha 21 de agosto del 2015, la Superintendencia del Medio Ambiente emite la resolución N° 694 que tiene por objetivo aprobar el "PROTOCOLO PARA VALIDACIÓN DE METODOLOGÍAS DE BALANCE DE MASA DE ARSÉNICO Y AZUFRE EN FUENTES EMISORAS DE ACUERDO AL D.S. 28/2013 MMA"**. En base a las directrices entregadas en este protocolo, División Salvador de Codelco desarrolló su Metodología para la confección del balance de azufre y arsénico de la Fundición Potrerillos, la cual fue aprobada mediante la Resolución Exenta SMA N° 297 emitida el 4 de abril de 2016.

Producto de una revisión interna realizada a la metodología aprobada mediante la Res. Ext. N° 297/2016, y la verificación de los procesos de muestreo y análisis realizada durante el año 2016,

División Salvador requiere presentar a la Superintendencia el presente documento, el cual contiene una actualización de la metodología indicada precedentemente, a fin de incorporar mejoras y mayor precisión al documento aprobado.

Los cambios principales contenidos en el presente documento corresponden a:

- Corrección al número de piezas muestreadas en ánodos: esta modificación se requiere debido a que en la metodología anteriormente presentada, se incurrió en un error en la estimación del porcentaje de muestreo y capacidad de preparación mecánica de muestras asociadas a piezas de ánodos.
- Terminologías empleadas para estandarizar de acuerdo a Protocolo SMA.
- Mayor especificación de puntos de toma de muestras, así como diferenciación clara de puntos de muestreo para los distintos flujos.

## 1.2 Resumen de Metodología

La determinación de las emisiones de azufre y arsénico en Fundición Potrerillos, se calcularán de acuerdo a las orientaciones entregadas por la Superintendencia del Medio Ambiente, utilizando las ecuaciones de balance aplicadas a la unidad de control, que para el caso de Potrerillos ha sido definida como el área comprendida entre la Planta de Secado como entrada, y las salidas de los distintos procesos productivos tales como ánodos, relaves, ácido sulfúrico, efluentes, entre otros materiales. Adicionalmente, se consideran las variaciones de inventario de los flujos internos tales como circulantes, carga fría, entre otros.

Su cálculo se efectuará utilizando las siguientes ecuaciones principales.

$$\text{Emisión } As_{mes} = As_{entrada} - As_{salida} - [As_{(final)} - As_{(inicial)}] \quad \text{Ec.1}$$

$$\text{Emisión } S_{mes} = S_{entrada} - S_{salida} - [S_{(final)} - S_{(inicial)}] \quad \text{Ec.2}$$

Esquemáticamente se considera la siguiente conceptualización de control:



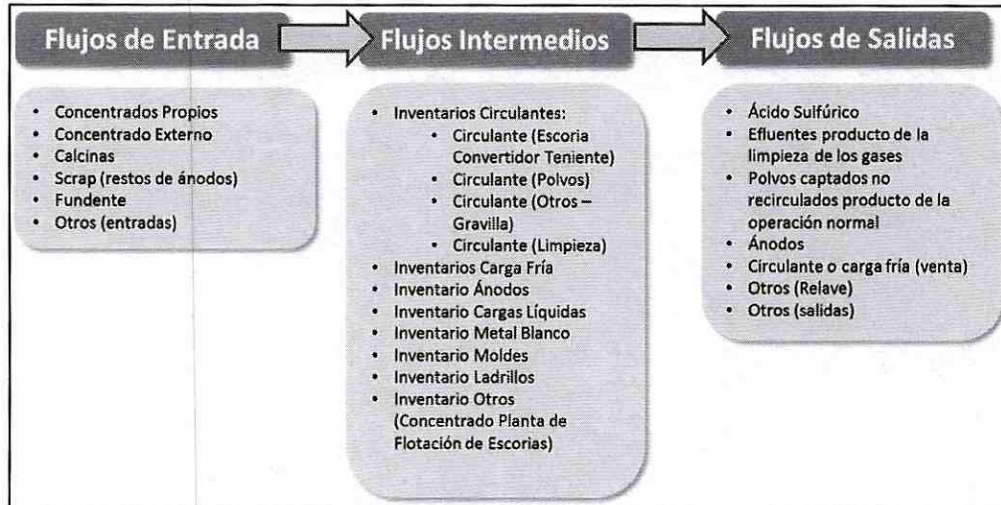


Imagen 2. Esquema general de balance fundición Potrerillos.

Para la aplicación de las ecuaciones de balance, se consideraran los flujos másicos obtenidos de la reconciliación del balance de Cobre, la cual, en el caso de División Salvador, se realiza mediante el software informático SIGMAFINE, el cual entrega los valores reconciliados de todos los flujos de entrada y salida del nodo de control y los inventarios y subinventarios de los distintos nodos de control internos, mediante la aplicación de factores de tolerancia aplicados a cada dato, según la confiabilidad de la fuente que los origina.

Respecto a las leyes de azufre y arsénico que serán utilizadas, éstas corresponden a los análisis obtenidos de las muestras recolectadas en cada nodo definido en el modelo de control, las que son obtenidas de acuerdo a las características del flujo correspondiente, resguardando la representatividad del flujo y de acuerdo a las normativas de calidad asociadas a estas actividades (normas CNAM Codelco, Normas Internacionales de Muestreo, Estándares ISO, etc.) y con la frecuencia indicada por la Autoridad según las características de transporte y tipo de flujo.



### 1.3 Antecedentes del Titular

**Tabla 1. Antecedentes del Titular de la Fundición Potrerillos.**

<b>Titular de la actividad, proyecto o fuente fiscalizada:</b>		<b>RUT o RUN:</b>	
División Salvador – Codelco Chile		61.704.000-k	
<b>Identificación de la fuente:</b>			
Fundición de concentrados de cobre Potrerillos			
<b>Dirección:</b>	<b>Región:</b>	<b>Provincia:</b>	<b>Comuna:</b>
Av. Bernardo O’Higgins 103, El Salvador	III Región de Atacama	Chañaral	Diego de Almagro
<b>Correo electrónico:</b> <a href="mailto:javen001@codelco.cl">javen001@codelco.cl</a>		<b>Teléfono:</b> 52-2472510	
<b>Representante Legal:</b>		<b>RUT:</b>	
Juan Carlos Avendaño Díaz		7.408.565-2	
<b>Dirección:</b>	<b>Región:</b>	<b>Provincia:</b>	<b>Comuna:</b>
Av. Avenida Bernardo O’Higgins 103, El Salvador	III Región de Atacama	Chañaral	Diego de Almagro

## 2. IDENTIFICACIÓN DEL SISTEMA

La Fundición Potrerillos se encarga de procesar concentrados de cobre, tanto internos como externos, para generar ánodos como producto y ácido sulfúrico como subproducto comercial. Para lograr este objetivo, cuenta con 3 macro unidades de proceso que corresponden a Fundición, Planta de Flotación de Escorias y Planta de Tratamiento de Gases.

- Fundición: es el proceso que abarca desde la recepción de los concentrados hasta el moldeo de ánodos. Comprende las unidades de procesos de Recepción y mezcla, Planta de Secado, Fusión, Conversión, Refino y Moldeo.
- Planta de Tratamiento de Gases: es el proceso que se encarga de procesar los gases ricos en azufre generados por los procesos de fusión y conversión. Para ello cuenta con la unidad de Manejo y limpieza de gases, donde se retiran las partículas gruesas contenidas en el gas, y una unidad Planta de ácido, que se encarga de realizar la limpieza húmeda de los gases, la conversión de SO<sub>2</sub> a SO<sub>3</sub> y por último, la absorción de SO<sub>3</sub> en agua para obtener el ácido sulfúrico producto.
- Planta de Flotación de Escorias: es el proceso de tratamiento de escorias, que considera recuperar el cobre contenido en escorias por medio de las etapas de molienda, flotación, espesamiento y filtrado. El producto de esta planta corresponde a un concentrado de cobre que retorna al CT para ser fundido.

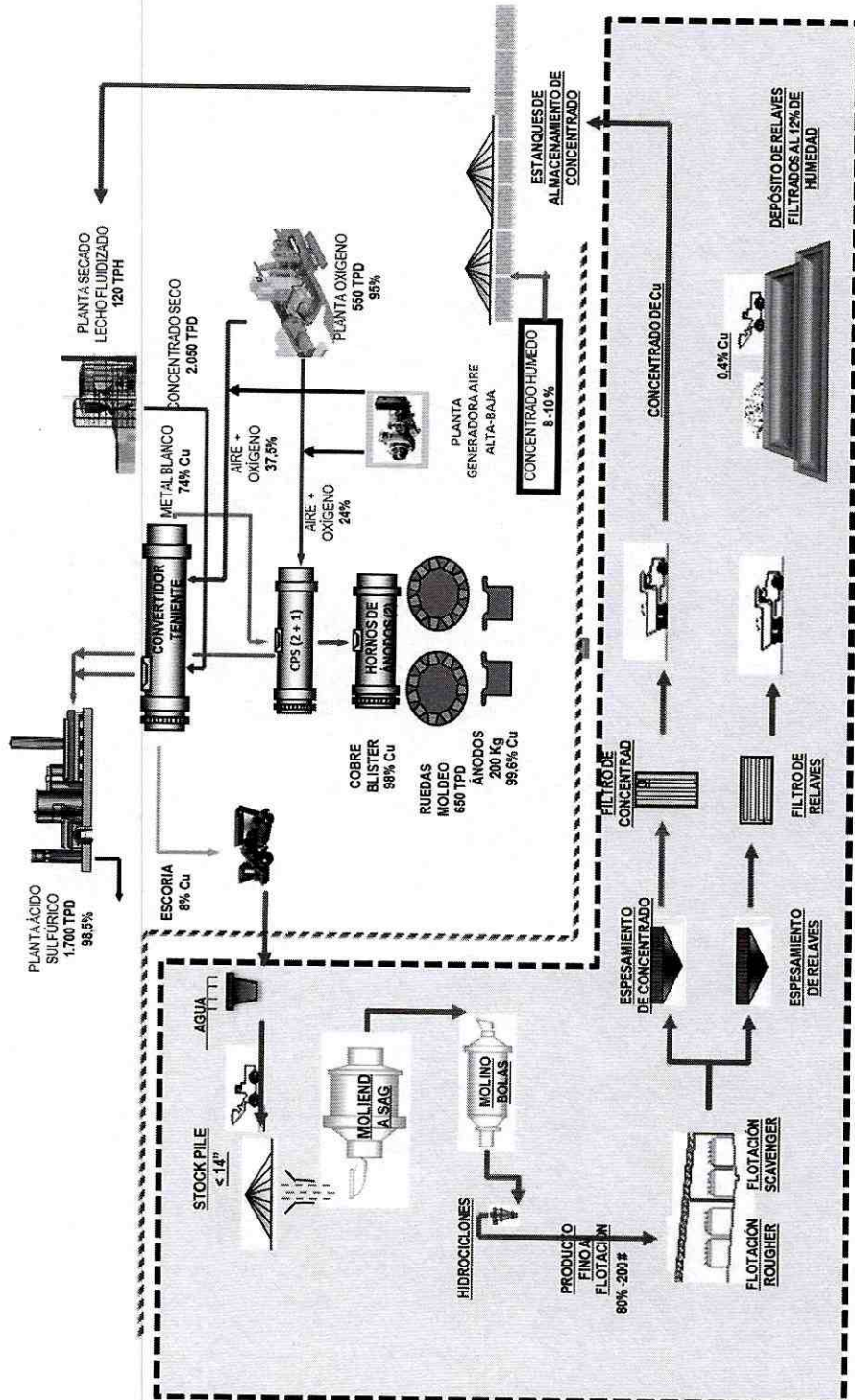


Imagen 3: Diagrama de proceso Fundición Potrerillos.



El diagrama de flujo general de proceso y los flujos del balance se presenta a continuación:

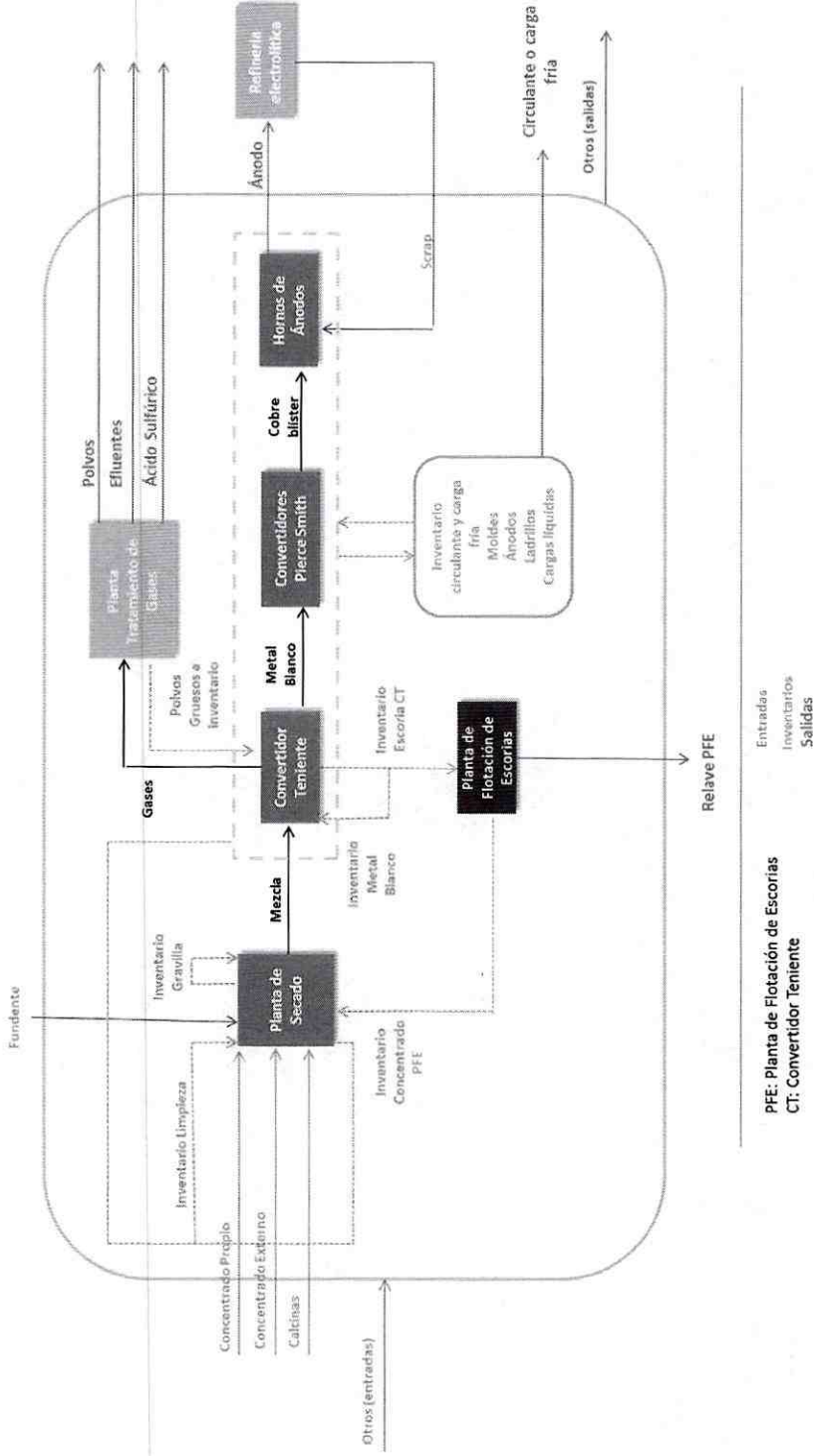


Imagen 4. Diagrama de Proceso y Flujos.



Los puntos de control corresponden a las siguientes descripciones:

1. **Entradas - Material a fusión:** Concentrados Propios, Concentrado Externo, Calcinas, Scrap, Fundentes, Otros.
2. **Movimientos Internos:** Flujos de consumo y generación de Circulantes y Carga Fría.
3. **Salidas - Productos:** Ánodos, Polvos captados no recirculados, Circulantes o Carga Fría a venta, Ácido Sulfúrico y efluentes productos de la limpieza de gases, Relave, Otros (eventuales).
4. **Emisiones:** Calculada en función de la reconciliación de los nodos de control.

Los equipos operacionales asociados a los procesos de Fundición Potrerillos se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 2. Identificación de equipos Fundición Potrerillos.**

Equipo/ instalación	Cantidad	Dimensiones	Capacidad	Marca/ modelo	Año instalación
Planta de Secado	1	Cámara distribuidora (ØxL): 4,74 m x 3,13 m; Fluoplaca de marco circular de 0,75 m de altura Cámara de expansión de 6,6 m de altura.	Diseño 120 tph y Nominal de 83,3 tph	METSO MINERALS / Planta de secado Fluosólido	2002
Convertidor Teniente	1	22,0 x 5,0 m (LxØ)	2.000 tpd de concentrado	Convertidor Teniente	2002
Convertidores Pierce Smith	3	9,1 x 4,0 m (LxØ)	700 pie <sup>3</sup>	CMS Chile S.A. /Convertidor convencional	-
Hornos de ánodos	2	9,1 x 3,65 m (LxØ)	220 ton/ciclo	CMS Chile S.A. /Horno de Refino	-
Rueda de moldeo	2	16 moldes por rueda	Nominal de 66 tph para ánodos de 220 kg	DEMAG	2003
Planta de Ácido	1	Convertidor Catalítico de Contacto Simple	200.000 Nm <sup>3</sup> /h	LURGI /Planta de Contacto Simple	1999
Planta de Flotación de escorias	1	Molino SAG Molino Bolas 20 Celdas Flotación 20m <sup>3</sup> 2 espesadores 1 Filtro Prensa 2 Filtros Cerámicos	Diseño: 1700 tpd	OUTOTEC	2014

### 3. FLUJOS

Los límites del sistema a establecer para el balance se presentan en la siguiente imagen, en la cual se identifican las entradas, salidas, inventarios y emisiones:

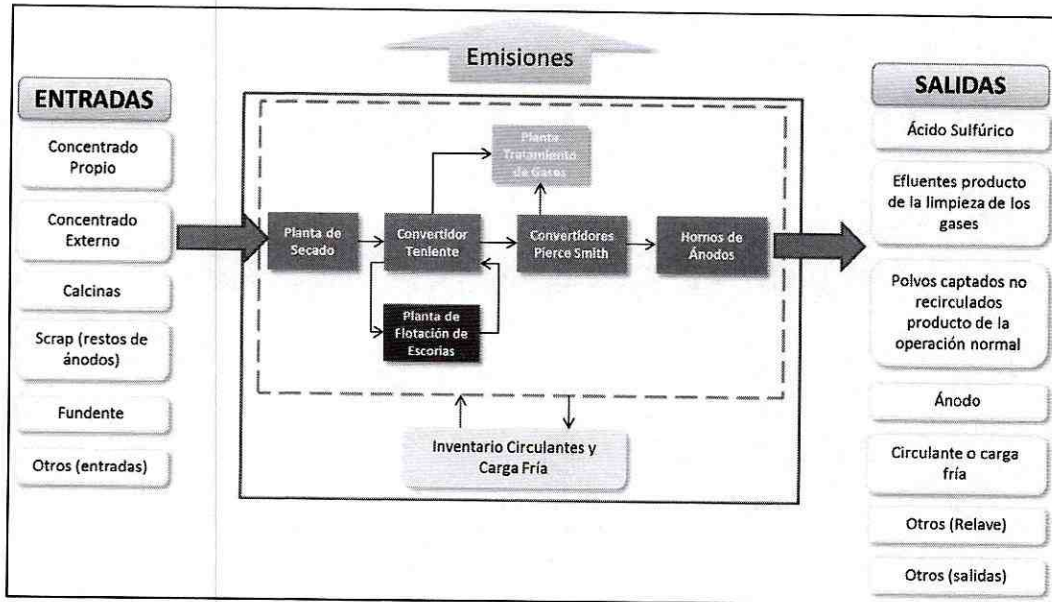


Imagen 5. Esquema general de Balance Fundición Potrerillos.

Los flujos ya mencionados, que conforman las entradas, salidas e inventarios, son caracterizados en términos de masa por medio de instrumentos y/o métodos cálculo, los que se presentan a continuación:

#### ENTRADAS

##### **Entradas alimentadas por silo a la Fundición:**

- **Concentrado propio:** corresponde a los Concentrados que se generan en los procesos de concentración de División Salvador.
- **Concentrado externo:** corresponde a todos los concentrados provenientes de proveedores distintos a División Salvador, tales como corporativos y otras empresas mineras.
- **Calcinas:** corresponde a un concentrado tostado. Este material recibe el mismo procesamiento que los concentrados.
- **Fundente:** corresponde al fundente silíceo utilizado en el horno de fusión.

Los puntos de control para la determinación del flujo de *concentrados propios, externos, calcinas y fundentes*, que son alimentados por silo a la Fundición Potrerillos corresponden a:

- **Correa R07:** El muestreo en esta correa se efectúa para los materiales que son recepcionados y almacenados en estanque. El material es cuantificado por medio del pesómetro ubicado en la correa que transporta material desde los estanques de almacenamiento hasta los silos de concentrado/materiales húmedos, desde la cual se toman muestras para la determinación de humedades y análisis químicos.
- **Recepción de Camiones:** Para los camiones que ingresan directamente a silo, y que no pasan por la correa R07, se determina la masa que ingresa a la Fundición a través de báscula de camiones certificada. Para determinar el tonelaje seco de estos concentrados, se toma una muestra a través de un brazo robótico de muestreo, la cual también sirve para su posterior análisis químico.

#### ***Entradas alimentadas directo a reactores en Fundición:***

- **Scrap (restos de ánodos):** este flujo corresponde al material generado por el desgaste de los ánodos en proceso de refinación electrolítica.

La determinación del flujo de *Scrap* que ingresa a la Fundición se determina mediante su pesaje en báscula estática.

#### ***Otras Entradas:***

- **Otras (entradas):** corresponde a flujos puntuales o no permanentes que pudieran darse en un periodo.

La determinación del flujo de *Otras Entradas* dependerá del tipo de material para la determinación de masa y muestreo.

#### **SALIDAS**

- **Ácido sulfúrico:** corresponde a un subproducto de proceso.

El flujo *Ácido Sulfúrico* se determina considerando el valor de despacho real de producto y el inventario medido por medio de sensores de nivel.

- **Efluentes producto de la limpieza de los gases:** corresponde a los efluentes generados en las limpiezas húmedas de los gases.

El flujo de los *Efluentes* se determina por medio de flujómetro.



- **Polvos captados no recirculados producto de la operación normal:** corresponden a los polvos generados por la limpieza de gases con precipitadores electrostáticos. Estos polvos pueden ser enviados a disposición final o a comercialización de acuerdo a los acuerdos comerciales que genere la División, y la normativa vigente.

El flujo de *Polvos captados no recirculados producto de la operación Normal* se determina mediante el tonelaje medido en báscula certificada.

- **Ánodos:** corresponden al producto principal de la Fundición (cobre anódico).

El flujo de *Ánodos* se determina mediante el cálculo del tonelaje asociado, para lo cual se registra la cantidad de piezas generadas por día y se multiplican por el peso promedio de ánodos, que corresponde al dato que se obtiene desde el proceso de Refinación Electrolítica, que alimenta este material pesado a su celda.

- **Circulante o carga fría (a venta):** corresponde a un flujo eventual que se genera cuando se alcanzan acuerdos comerciales o su procesamiento en otra unidad de negocio de la División.

El flujo de *Circulante o Carga Fría* se determina en la báscula de pesaje de camiones certificada.

- **Otros (Relave):** corresponde al material residual que se obtiene como descarte del procesamiento de la escoria de Convertidor Teniente en la Planta de Flotación de Escorias.

El flujo de *Otros (Relave)* se determina mediante la reconciliación del balance metalúrgico de Cobre de la Planta de Flotación de Escorias. Cabe indicar que esta Planta puede operar en forma independiente de la fusión de concentrados en Fundición, produciendo una reducción del inventario de la escoria de Convertidor Teniente.

- **Otras (salidas):** corresponden a pérdidas por manejo y secado, y otros flujos puntuales o no permanentes que se pudieran dar en un periodo.

El flujo de *Otras Salidas* dependerá del tipo de material para la determinación de masa y muestreo.

### **INVENTARIOS**

- **Inventarios de Circulante:** corresponde a flujos de materiales que son reprocesados en el Convertidor Teniente, los cuales pueden tener origen en limpiezas de nave, techos, correas, ser generados por el proceso y cuyo contenido de cobre está en una concentración entre 6 y 30 % de Cu.

El flujo de *Inventarios de Circulante* se determina mayoritariamente en básculas estáticas.

Los principales circulantes, y la determinación de su flujo se presentan a continuación:

- **Circulante (Escoria Convertidor Teniente):** corresponde al material generado en el Convertidor Teniente, el cuál es extraído en ollas y dispuesto en el sector de enfriamiento, generando un circulante sólido que es acopiado. El flujo se calcula multiplicando la cantidad de ollas con escorias extraídas, por el tonelaje promedio determinado por medio del pesaje aleatorio en báscula de ollas en forma periódica. Este material es alimentado como circulante a la Fundición y como flujo de alimentación a la Planta de Flotación de Escorias.
- **Circulante (Concentrado Planta de Flotación de Escorias):** corresponde al material generado en la planta de flotación de escoria como concentrado, producto del tratamiento de escorias de circulantes provenientes de nave fundición. El flujo se determina dependiendo de si el material es alimentado por correa o en forma directa a la Fundición:
  - **Correa R07:** el material es cuantificado por medio del pesómetro ubicado en la correa que transporta el material, desde la cual se toman muestras para la determinación de humedades y análisis químicos.
  - **Recepción de Camiones:** Para los camiones que ingresan directamente a silo, y que no pasan por la correa R07, se determina la masa que ingresa a la Fundición a través de báscula de camiones certificada, mientras que el muestreo se realiza a través de un brazo robótico de muestreo.
- **Circulante (Polvos):** corresponden a los polvos gruesos extraídos del sector de pre cámara y cámara del sistema de Manejo de gases. Este material puede ser alimentado a fusión. Su flujo se determina mediante pesaje en báscula certificada.
- **Circulante (Otros - Gravilla):** corresponde a un insumo utilizado en la Planta de Secado. Una vez que este material se contamina, es extraído del secador y acopiado en el sector de secundarios de la Fundición. Con el fin de optimizar el uso de recursos, se realiza limpieza de algunas fracciones de este material, con el fin de retornarlo a la Planta de Secado. Este material puede ser alimentado a fusión. Su flujo se determina mediante pesaje en báscula certificada.
- **Circulante (Limpieza):** Son los materiales recuperados desde las correas, techos, y áreas de tránsito producto de la ejecución de actividades de aseo industrial en dichas áreas. Su flujo se determina mediante pesaje en báscula certificada.
- **Inventario de Carga fría:** corresponde al material de alta ley (superior al 30%) que se extrae de la limpieza interior de la Nave de fundición (derrames, entre otros) y de la extracción de las cáscaras que se forman al interior de las ollas que trasladan líquidos al interior de la Fundición. Su flujo se determina mediante pesaje en báscula certificada.



### **EMISIONES**

- **Emisiones:** corresponde a la pérdida de proceso que se producen en las chimeneas de la Fundición y se calcula en base a los datos definidos en la reconciliación del balance, al cual se alimenta información base de las mediciones isocinéticas de todas las chimeneas del sistema definido para el balance azufre y arsénico.

Para la aplicación de las ecuaciones del balance, se considerarán los flujos máxicos obtenidos de la reconciliación del balance de Cobre, la cual, en el caso de División Salvador, se realiza mediante el software informático SIGMAFINE, el cual entrega los valores reconciliados de todos los flujos de entrada y salida del nodo de control, y los inventarios y subinventarios de los distintos nodos de control internos, mediante la aplicación de factores de tolerancia aplicados a cada dato según la confiabilidad de la fuente que los origina.

Respecto a las leyes de azufre y arsénico que serán utilizadas, éstas corresponden a los análisis obtenidos de las muestras recolectadas en cada nodo definido en el modelo de control, las que son obtenidas de acuerdo a las características del flujo correspondiente, resguardando la representatividad del flujo y de acuerdo a las normativas de calidad asociadas a estas actividades (normas CNAM Codelco, Normas internacionales de muestreo, Estándares ISO, etc.) y con la frecuencia indicada por la Autoridad según las características de transporte y tipo de flujo.

#### **4. VALIDACIÓN DEL BALANCE**

La información para el cálculo del Balance de Masa se incorpora diariamente en los distintos sistemas operacionales de la División, la cual será validada por el encargado designado de reportabilidad de operaciones (GFR), quien podrá rectificarla según el respaldo con que cuente para cada caso, lo que quedará consignado en el control de cambio que posee el sistema SIGMAFINE. La determinación de los inventarios se efectúa a fines de cada mes, siendo responsabilidad del encargado de balance (GRMD) la incorporación de esta información al sistema de registro SIGMAFINE. **Para efectos de cierre, el cálculo del Balance de Masa considera la información hasta las 08:00 hrs. del primer día del mes siguiente.**

Los datos cargados al sistema SIGMAFINE que serán considerados como datos de entrada, se reconciliarán mediante los algoritmos internos propios del software, entregando valores reconciliados según las tolerancias e incertidumbres asignadas a cada flujo.

Para los balances de azufre y arsénico, se utilizarán para su confección los valores de flujos reconciliados del balance de cobre, obtenidos de la forma antes descrita; mientras que las leyes de cada flujo serán las medidas en cada punto de control esquematizado anteriormente.



#### 4.1 Modelo de cálculo

El modelo de cálculo del Balance para el proceso Pirometalúrgico de División Salvador, corresponderá a lo instruido por la entidad ambiental en la Res. Ext. SMA N° 694 del año 2015, apartado 3.4.1., que indica lo siguiente:

*“Es importante destacar que los balances de As y S no se ajustan directamente, si no que al contar con los flujos, los pesos secos ajustados y sus leyes, en cada flujo, estos se aplican para obtener un balance de As y S validado.*

*Para el balance de arsénico se tienen los pesos secos ajustados de cada flujo de entrada, salida y acumulado y el análisis químico para arsénico de cada uno de éstos flujos.*

*Luego se multiplica el peso seco del flujo ajustado por la fracción en peso de arsénico (porcentaje dividido por cien) y así se obtiene el peso de arsénico o fino de arsénico en todos los flujos.*

$$\text{Fino As en flujo } i = \text{Peso seco flujo } i_{(\text{ajustado})} \times \frac{\% \text{ en peso As del flujo } i}{100}$$

*Si el análisis está en ppm (cuando hay muy poco Cu), entonces la ecuación anterior se divide por 10.000.*

$$\text{Fino As en flujo } i = \text{Peso seco flujo } i \times \frac{\% \text{ en peso As del flujo } i}{100 \times 10000}$$

*Conocido el fino de arsénico en cada flujo se reemplazan en la ecuación anterior, según corresponda (flujo entrada, salida o acumulado), obteniéndose el balance de As validado:*

$$\text{Emisión Validada } AS_{\text{mes}} = AS_{\text{entrada}} - AS_{\text{salida}} - [AS_{(\text{final})} - AS_{(\text{inicial})}]$$

*Para el azufre se sigue la misma metodología de cálculo, así se tiene:*

$$\text{Fino S en flujo } i = \text{Peso seco flujo } i_{(\text{ajustado})} \times \frac{\% \text{ en peso S del flujo } i}{100}$$

*Conocido el fino de azufre en cada flujo se reemplazan en la ecuación 3:*

$$\text{Emisión Validada } S_{\text{mes}} = S_{\text{entrada}} - S_{\text{salida}} - [S_{(\text{final})} - S_{(\text{inicial})}]$$

*Para realizar algún ajuste en el balance de arsénico y de azufre se deberá considerar lo siguiente, en orden jerárquico:*

- *Primero, ajustar los flujos máxicos de acuerdo a los balances de cobre y/o hierro.*
- *Segundo, si no cuadra el balance de arsénico y/o de azufre variar la concentración de arsénico y/o de azufre de acuerdo al rango de concentración de los mismos, del resultado del análisis químico (el análisis químico entrega el promedio junto con la desviación de la muestra).*
- *Tercero, si no cuadra el balance de arsénico y/o de azufre volver al punto inicial.”*

## 4.2 Consideraciones del balance

### ***Tonelaje de flujos de proceso***

El tonelaje de todos los flujos corresponderá al valor reconciliado en el balance de cobre, el cual es efectuado previo a los balances de azufre y arsénico, utilizando el software SIGMAFINE.

La trazabilidad y ajustes de estos flujos estarán entonces registradas en el control de cambio asociado al sistema de reconciliación divisional.

### ***Inventarios de proceso***

Los tonelajes de los inventarios finales, también serán considerados como los resultantes del balance de cobre ya reconciliados. Siendo los finales de cada mes los iniciales del periodo siguiente.

Para efecto del aporte de inventarios en el balance de azufre y arsénico, se determinará la variación de inventarios efectiva, mediante la diferencia resultante del inventario final menos el inventario inicial del periodo.

La validación de los inventarios se efectuará al cierre de cada mes, dejando registro de esta toma de inventario, para lo cual se verificará la información de operaciones respecto a la generación y consumo de cada inventario y su variación efectiva en el mes, y se contrastará con el inventario físico existente. La contrastación de los inventarios se podrá efectuar según la factibilidad asociada al volumen y tipos de material, debiendo efectuarse según las siguientes prioridades:

- a. Conteo
- b. Pesaje
- c. Lectura de instrumentos de medición
- d. Transferencia a través de PI System
- e. Topografía
- f. Medición Láser
- g. Estimaciones, sólo de manera excepcional y con razones fundadas en el concepto beneficio-costo, de acuerdo a volúmenes conocidos.

Los volúmenes encontrados junto con sus respectivas densidades permiten calcular los tonelajes secos de cada uno de ellos, información que está disponible en los registros del sistema.

Las densidades aplicadas son determinadas anualmente y los resultados son parte de los registros existentes. El inventario pesado en báscula estática es considerado para la estimación mensual del total del inventario existente. Los antecedentes que dan cuenta de este pesaje están en el registro correspondiente.

Los resultados de los tonelajes calculados se mantienen en los registros respectivos.

#### ***Leyes de azufre y arsénico***

De acuerdo a las orientaciones entregadas por SMA, para cada flujo de proceso éstas serán utilizadas de forma directa según las mediciones entregadas por los laboratorios químicos, y controladas en cada uno de los flujos y puntos de control, antes mencionado.

El valor de las leyes que se cargará al sistema, corresponderá al valor analizado en los compósitos diarios, conformados por incrementos tomados en los puntos de control según la frecuencia indicada por la Autoridad.

Para las leyes de los inventarios finales, se considerará las resultantes del cálculo entre los contenidos finos iniciales de cada acopio, más el ingreso controlado, menos los flujos de consumos, considerando el inventario como un conjunto.





## 5. MUESTREO

Tabla 3. Descripción de Muestras.

ENTRADAS							
Ítem	Flujos	Punto de Muestreo	Forma de determinación	Metodología	Frecuencia	Tipo de Muestreo	N° de incrementos
1	Concentrados Propios	PRM/Correa R07	Analizada	Manual con un composito por turno de 12 horas	Cada 15 minutos	Manual	4 inc./hora
		PRM/Camión	Analizada	Composito de máximas 300T	Cada Camión	Automático (Brazo robótico)	20 inc./camión
2	Concentrado Externo	PRM/Correa R07	Analizada	Manual con un composito por turno de 12 horas	Cada 15 minutos	Manual	4 inc./hora
		PRM/Camión	Analizada	Composito de máximas 300T	Cada Camión	Automático (Brazo robótico)	20 inc./camión
3	Calcinas	PRM/Correa R07	Analizada	Manual con un composito por turno de 12 horas	Cada 15 minutos	Manual	4 inc./hora
		PRM/Camión	Analizada	Composito de máximas 300T	Cada Camión	Automático (Brazo robótico)	20 inc./camión
4	Scrap (restos de ánodos)	NA	Asignado	Valor asignado de acuerdo a valores controlados en producción anódica	NA	NA	NA
5	Fundente	PRM/Correa R07	Analizada	Manual con un composito por turno de 12 horas	Cada 15 minutos	Manual	4 inc./hora
6	Otros (entradas)	Según producto	Según producto	Según producto	Según producto	Según producto	Según producto

\*inc.: incremento.

PRM: Planta de Recepción y Mezcla.



Tabla 3. Descripción de Muestreos (continuación).

SALIDAS							
Ítem	Flujos	Punto de Muestreo	Forma de determinación	Metodología	Frecuencia	Tipo de Muestreo	N° de incrementos
7	Ácido Sulfúrico	Planta de Ácido Sulfúrico	Analizada	Toma de incremento manual con compuesto por día	Diaria	Manual	4inc./día
8	Efluentes producto de la limpieza de los gases	Planta de Ácido Sulfúrico	Analizada	Toma de incremento manual con compuesto por día	Diaria	Manual	4inc./día
9	Polvos captados no recirculados producto de la operación normal	Manejo y Limpieza de Gases/ Silo de llenado de Maxisaco	Analizada	Toma de incremento manual por saco	Cada saco	Manual	1 inc./saco
10	Ánodo	Mustrera Refinería	Analizada	Toma de incrementos por perforación de piezas	Cada Moldeo	Manual perforación con taladro	20 inc./pieza, considera 3 piezas mayor al 0,25% del ciclo de moldeo
11	Circulante o Carga Fría a venta	Stock inventario	Analizada	Toma de incrementos manual y compuesto de máximas 300 t	Cada camión	Manual	10 inc./camión
12	Otros (relave)	Salida Planta Flotación Escoria	Analizada	Incrementos por cortador automático	Cada 15 minutos	Automático	4 inc./hora
13	Otros	Según producto	Según producto	Según producto	Según producto	Según producto	Según producto

\*inc.: incremento.

PRM: Planta de Recepción y Mezcla



Tabla 3. Descripción de Muestreos (continuación).

INVENTARIOS							
Ítem	Flujos	Punto de Muestreo	Forma de determinación	Metodología	Frecuencia	Tipo de Muestreo	N° de incrementos
14	Circulantes (Escoria de Convertidor Teniente)	Alimentación Planta de Flotación de Escoria	Analizada	Toma de muestra en cortador automático	Cada 15 minutos	Automático	4 inc./hora
15	Circulantes (Gravilla)	Acopios secundarios	Analizada	Toma de incrementos manual y compuesto de máximas 300 t	Cada vez que se traslada	Manual	15 inc.
16	Circulante (Polvos)	Acopios secundarios	Analizada	Toma de incrementos manual y compuesto de máximas 300T	Cada vez que se traslada	Manual	15 inc.
17	Circulante (Limpieza)	Acopios secundarios	Analizada	Toma de incrementos manual y compuesto de máximas 300 t	Cada vez que se traslada	Manual	15 inc.
18	Circulante Carga Fría	Sector de parrillado	Analizada	Toma de incrementos manual y compuesto de máximas 300T	Cada vez que se traslada	Manual	15 inc.
19	Ánodo	NA	Asignada	Valor asignado de acuerdo a valores controlados en producción anódica	NA	NA	NA
20	Metal Blanco	Ingreso Fundición	Analizada	Toma de incrementos manual y compuesto de máximas 300 t	Cada vez que se traslada	Manual	15 inc.
21	Moldes	NA	Asignada	Valor asignado a valor histórico del cobre anódico	NA	NA	N/A
22	Ladrillos	Cancha de ladrillos	Analizada	Toma de incrementos manual y compuesto de máximas 300 t	Cada vez que se traslada	Manual	15 inc.
23	Otros (Concentrado Planta Flotación Escorias)	PRM/Correa R07	Analizada	Manual con un compuesto por turno de 12 horas	Cada 15 minutos	Manual	4 inc./hora
		PRM/Camión	Analizada	Compósito de máximas 300T	Cada Camión	Automático (Brazo robótico)	20 inc./camiión

\*inc.: incremento.  
PRM: Planta de Recepción y Mezcla





A continuación se presenta el diagrama de procesos y flujos, con los puntos de medición y muestreo:

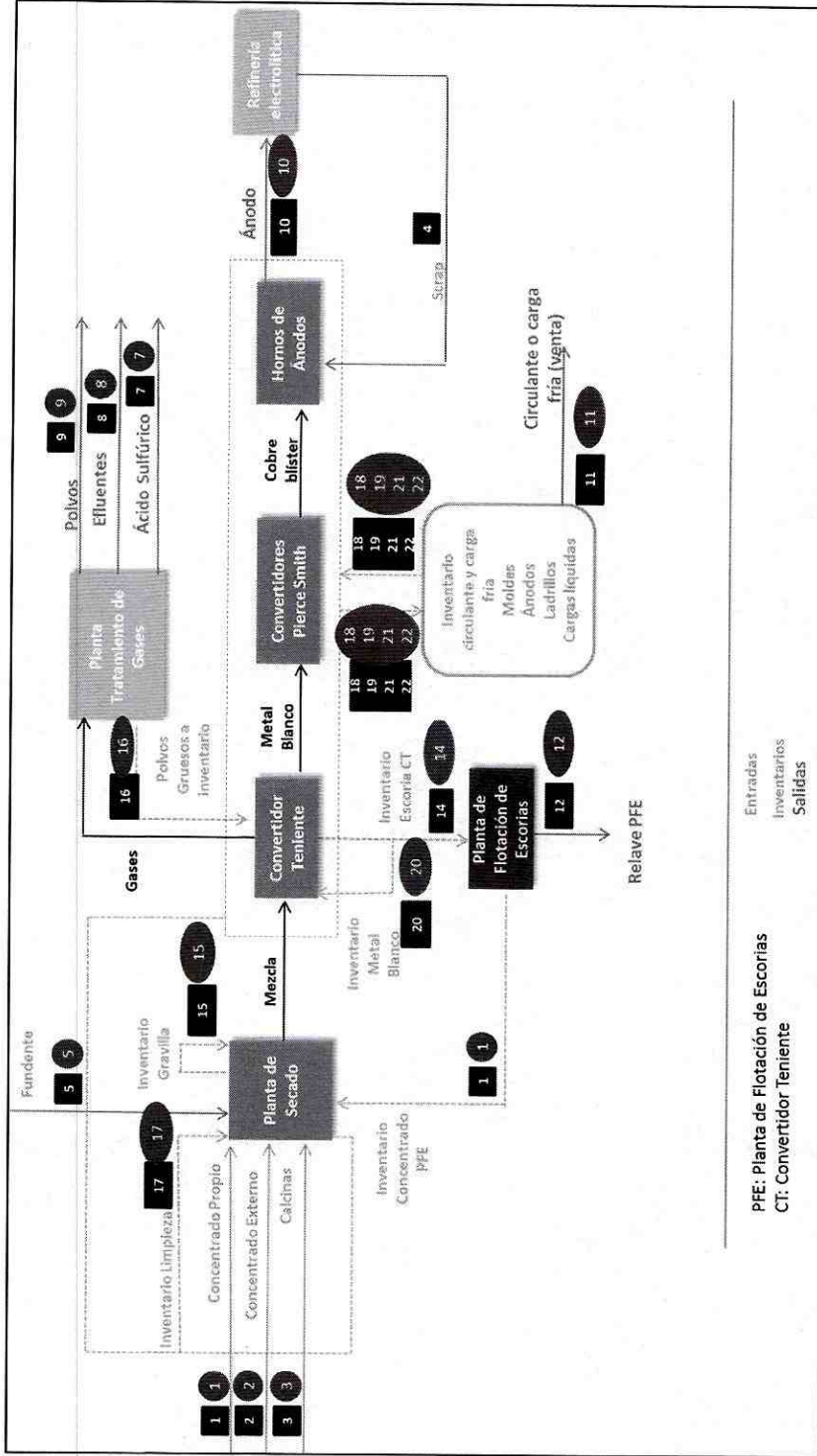


Imagen 6. Diagrama de Puntos de Medición y Muestreo.



## 6. ANÁLISIS QUÍMICOS

Tabla 4. Descripción del Análisis Químico.

N°	Flujo	Frecuencia de Análisis	Tipo de muestreo / equipos	Técnica de Análisis S	Limite detección S	Error S	Técnica de análisis As	Limite detección As	Error As
1	Concentrados Propios	Por lote	ICP-OES	Fusión peróxido de Na, lectura ICP-OES	0,001%	0,5% +/-	Ataque Ácido, lectura ICP-OES	0,001%	0,01 % +/-
2	Concentrado Externo	Por lote	ICP-OES	Fusión peróxido de Na, lectura ICP-OES	0,001%	0,5% +/-	Ataque Ácido, lectura ICP-OES	0,001%	0,01 % +/-
3	Calcinas	Por lote	ICP-OES	Fusión peróxido de Na, lectura ICP-OES	0,001%	0,5% +/-	Ataque Ácido, lectura ICP-OES	0,001%	0,01 % +/-
4	Scrap	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
5	Fundentes	Por lote	ICP-OES	Fusión peróxido de Na, lectura ICP-OES	0,001%	0,5% +/-	Ataque Ácido, lectura ICP-OES	0,001%	0,01 % +/-
6	Otras (entradas)	Según producto	Según producto	Según producto	Según producto	Según producto	Según producto	Según producto	Según producto

Tabla 4. Descripción del Análisis Químico (continuación).



SALIDAS									
N°	Flujo	Frecuencia de Análisis	Tipo de muestreo / equipos	Técnica de Análisis S	Limite detección S	Error S	Técnica de análisis As	Limite detección As	Error As
7	Ácido Sulfúrico	Diaria	Por técnicas	Ácido producto, indirecto => Pureza, por volumetría de neutralización	0,01%	0,5% +/-	Generación de Hidruros	0,2 ppm	5 ppm +/-
8	Efluente producto de la limpieza de los gases	Diaria	Por técnicas	Ácido producto, indirecto => Pureza, por volumetría de neutralización	0,01%	0,5% +/-	Generación de Hidruros	0,2 ppm	5 ppm +/-
9	Polvos captados no recirculados producto de la operación normal	Por lote	ICP-OES	Fusión peróxido de Na, lectura ICP-OES	0,001%	0,5% +/-	Ataque Ácido, lectura ICP-OES	0,001%	0,01 % +/-
10	Ánodo	Por moldeo	S/LECO As/ICP-OES	S-detección IR (S leco)	0,0002%	0,1 % +/-	Ataque Ácido, lectura ICP-OES	2 ppm	50 ppm +/-
11	Circulante o carga fría a venta	Cada vez	ICP-OES	Fusión peróxido de Na, lectura ICP-OES	0,001%	0,5% +/-	Ataque Ácido, lectura ICP-OES	0,001%	0,01 % +/-
12	Otros (relave)	Diaria	ICP-OES	Fusión peróxido de Na, lectura ICP-OES	0,001%	0,5% +/-	Ataque Ácido, lectura ICP-OES	0,001%	0,01 % +/-
13	Otros (salidas)	Según producto	Según producto	Según producto	Según producto	Según producto	Según producto	Según producto	Según producto





Tabla 4. Descripción del Análisis Químico (continuación).

INVENTARIOS									
N°	Flujo	Frecuencia de Análisis	Tipo de muestreo / equipos	Técnica de Análisis S	Límite detección S	Error S	Técnica de análisis As	Límite detección As	Error As
14	Circulante (Escoria de Convertidor Teniente)	Cada vez	ICP-OES	Fusión peróxido de Na, lectura ICP-OES	0,001%	0,5% +/-	Ataque Ácido, lectura ICP-OES	0,001%	0,01 % +/-
15	Circulante (Gravilla)	Cada vez	ICP-OES	Fusión peróxido de Na, lectura ICP-OES	0,001%	0,5% +/-	Ataque Ácido, lectura ICP-OES	0,001%	0,01 % +/-
16	Circulante (Polvos)	Cada vez	ICP-OES	Fusión peróxido de Na, lectura ICP-OES	0,001%	0,5% +/-	Ataque Ácido, lectura ICP-OES	0,001%	0,01 % +/-
17	Circulante (Limpieza)	Cada vez	ICP-OES	Fusión peróxido de Na, lectura ICP-OES	0,001%	0,5% +/-	Ataque Ácido, lectura ICP-OES	0,001%	0,01 % +/-
18	Circulante carga fría	Cada vez	ICP-OES	Fusión peróxido de Na, lectura ICP-OES	0,001%	0,5% +/-	Ataque Ácido, lectura ICP-OES	0,001%	0,01 % +/-



Tabla 4. Descripción del Análisis Químico (continuación).

INVENTARIOS									
N°	Flujo	Frecuencia de Análisis	Tipo de muestreo / equipos	Técnica de Análisis S	Limite detección S	Error S	Técnica de análisis As	Limite detección As	Error As
19	Ánodo	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
20	Metal Blanco	Cada vez	ICP-OES	Fusión peróxido de Na, lectura ICP-OES	0,001%	0,5% +/-	Ataque Ácido, lectura ICP-OES	0,001%	0,01 %+/-
21	Moldes	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
22	Ladrillos	Cada vez	ICP-OES	Fusión peróxido de Na, lectura ICP-OES	0,001%	0,5% +/-	Ataque Ácido, lectura ICP-OES	0,001%	0,01 %+/-
23	Otros (Concentrado Planta de Flotación de Escoria)	Diaria	ICP-OES	Fusión peróxido de Na, lectura ICP-OES	0,001%	0,5% +/-	Ataque Ácido, lectura ICP-OES	0,001%	0,01 %+/-

ICP-OES: Espectrómetro Óptico de Plasma.