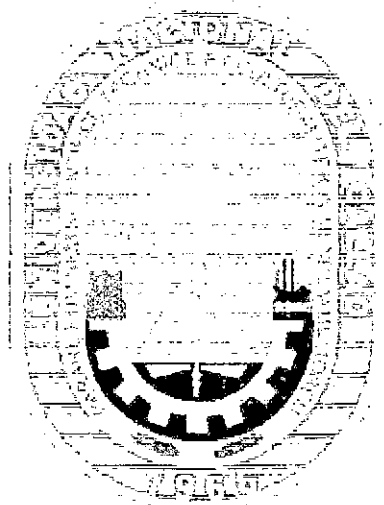


t
660.3
Z462

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



**“EVALUACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL
SEMTECH OPC (Optical Production Control) SYSTEM
EN EL CONVERTIDOR PEIRCE SMITH N° 5 DE LA
FUNDICIÓN DE SOUTHERN PERU COPPER
CORPORATION ILO – PERU”**
**TESIS DIRIGIDA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO QUÍMICO**

PRESENTADO POR : HUBER GIOMAR ZÁRATE PEÑA

**ASESORADO POR : Ing. JUAN TAUMATURGO MEDINA
COLLANA**

**MARZO 2008
CALLAO – PERÚ**

La presente Tesis fue Sustentada ante el **JURADO DE SUSTENTACION** conformado por los siguientes Profesores Ordinarios :

ING° LUÍS CARRASCO VENEGAS	PRESIDENTE
ING° ÓSCAR CHAMPA HENRÍQUEZ	SECRETARIO
ING° CALIXTO IPANAQUE MAZA	VOCAL
ING° JUAN MEDINA COLLANA	ASESOR

Según figura en el Libro de Actas N° 02, Folio N° 24 asentado en el Acta N° 207 de fecha **TRES DE MARZO DE 2008**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico en la modalidad de **Titulación con Sustentación de Tesis**, de acuerdo a lo normado por el Reglamento de Grados y Títulos aprobado por Resolución N° 047-92-CU de fecha 18 de junio de 1992.

INDICE

RESUMEN	1
I. INTRODUCCIÓN	2
1.1 Descripción del problema	2
1.2 Enunciado del problema	3
1.3 Objetivos	
1.3.1 Objetivo general	3
1.3.2 Objetivos específicos	3
1.4 Justificación	4
1.5 Antecedentes	4
1.6 Enunciado de la hipótesis	5
II. FUNDAMENTO TEORICO	6
2.1 Descripción del proceso de obtención del Cobre Blister	6
2.1.1 Materiales en proceso	7
2.1.2 Etapa de soplado a escoria	11
2.1.2 Etapa de soplado a cobre	17
2.2 Control del proceso de conversión del Cobre Blister	20
2.2.1 Variables de proceso	20
2.2.2 Variables de control	21
2.3 Descripción del Semtech OPC System	22
2.3.1 La óptica y la termodinámica de conversión	22
2.3.2 Fundamentos de operación del OPC	24
2.3.3 Indicadores del OPC	27
2.3.3.1 Parámetro óptico PbS	28
2.3.3.2 Parámetro óptico PbO	30
2.3.3.3 Parámetro óptico CuOH/PbO	31

III. EQUIPOS

3.1	Convertidor Peirce Smith	32
3.2	Carro de Punzar	33
3.3	Soplador de Aire	34
3.4	Semtech OPC System	34
	3.4.1 Gabinete principal	34
	3.4.2 Telescopio y fibra óptica	35
	3.4.3 Software de monitoreo	37

IV. RESULTADOS

4.1	Primera campaña del convertidor Peirce Smith N° 5	38
	4.1.1 Contenido de Fe_3O_4 en las escorias del CPS N°5	38
4.2	Segunda campaña del convertidor Peirce Smith N° 5	41
	4.2.1 Contenido de Fe_3O_4 en las escorias del CPS N°5	41
4.3	Desempeño del OPC	45
	4.3.1 Cumplimiento del objetivo del OPC	45
	4.3.1.1 Causas del no cumplimiento del objetivo	46
	4.3.2 Performance de las tendencias de PbO y PbS generadas por el OPC en el soplado a escoria	56
	4.3.3 Tiempo de soplado a escoria y cobre	61
	4.3.3.1 Soplado a escoria	61
	4.3.3.2 Soplado a cobre	64
	4.3.4 Punto final del soplado a escoria y cobre	68
	4.3.4.1 Punto final de soplado a escoria	68
	4.3.4.2 Punto final de soplado a cobre	71

V. CONCLUSIONES		73
VI. RECOMENDACIONES		76
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS		77
ANEXO 1	: Especificaciones Técnicas del OPC	79
ANEXO 2	: Presentación Corporativa del Semtech OPC System	82
ANEXO 3	: Diagrama de flujo de la Fundición de Southern Perú Copper Corporation antes de la Modernización	83
ANEXO 4	: Diagrama de flujo de la Fundición de Southern Perú Copper Corporation después de la Modernización	84
ANEXO 5	: Diagrama de flujo del Horno Reverbero y el Horno Isasmelt	85
APENDICE 1	: Análisis Químicos de escoria I Campaña CPS N° 5	87
APENDICE 2	: Análisis Químicos de escoria II Campaña CPS N° 5	89
APENDICE 3	: Histórico del contenido de Fe_3O_4 en las escorias del CPS N° 5	92
APENDICE 4	: Glosario	94

RESUMEN

La conversión de la mata de cobre se lleva a cabo casi universalmente en el CPS (Convertidor Peirce Smith), oxidando la mata fundida a temperaturas elevadas (1,150 a 1 250°C), con aire, produciendo así el cobre "blister".

El ambiente altamente hostil y agresivo en el interior del CPS, dificulta obtener información continua y en tiempo real sobre el seguimiento del proceso de conversión.

En la actualidad la mayoría de operadores de los CPS determinan los puntos finales de los soplados a escoria y cobre mediante indicadores cualitativos; con el tiempo se han ido desarrollando técnicas remotas de monitoreo y análisis en línea con la finalidad de lograr un control continuo para la optimización del proceso de conversión. SEMTECH ah desarrollado técnicas de monitoreo basado en la óptica y espectroscopia resultando ser una herramienta eficiente para el control en línea del proceso de conversión de las matas de cobre. El SEMTECH OPC SYSTEM fue instalado en el CPS N° 5 de la fundición de SPCC (Southern Perú Copper Corporation) – Ilo, y puesto a prueba su desempeño como herramienta de control del proceso de conversión.

En el presente trabajo se presentan los resultados de la evaluación del SEMTECH OPC SYSTEM instalado en el CPS N° 5, para lo cual se realizo un seguimiento exhaustivo muestreando cada soplado a escoria y cobre, verificando la evolución del control de la formación de magnetita así como también la determinación de los puntos finales de las etapas formadoras de escoria y cobre.

I INTRODUCCIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En el nuevo esquema de la fundición de SPCC – Ilo, tiene contemplado reemplazar los Hornos Reverberos 3 y 4 por dos Hornos de Limpieza de Escoria para la recuperación de cobre de las escorias provenientes de los CPS, utilizando cargas de fierro arrabio, para la reducción del contenido de Fe_3O_4 (Magnetita) y así la posterior recuperación del cobre. Para una correcta operación de los Hornos de Limpieza de Escoria se requiere que las escorias provenientes de los CPS tengan un contenido menor o igual a 18% en magnetita.

Por otro lado las restricciones de planta de acido de solo soportar en línea á 2 CPS en proceso (2 soplando, 1 caliente, 1 en reparación), demanda una continuidad de los ciclos de soplado y por tanto las demoras en los ínter ciclos deberán de ser minimizadas. Por ello la habilidad y experiencia del Operador del CPS es un factor fundamental para la buena performance del proceso de conversión y la correcta identificación de los puntos finales de soplado a escoria y cobre pues la mayoría de los indicadores son variables cualitativas al no contar con un dispositivo que permita un medición en línea del avance de la reacción en el interior del CPS debido a su naturaleza agresiva.

Por lo tanto la continuidad en el proceso de las etapas de soplado a escoria y cobre, la obtención de escorias con un contenido menor a 18% de magnetita y la alimentación oportuna de cobre blister a los Hornos de Afino, son de vital importancia para evitar un problema de cuello de botella en los CPS.

1.2 ENUNCIADO DEL PROBLEMA

- ¿Cómo se podría controlar el contenido de la magnetita en las escorias de los CPS?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL.

- Evaluar el desempeño del "Semtech OPC (Optical Production Control) System", como herramienta de control de proceso para la operación del CPS N° 5 de la fundición de SPCC.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

Teniendo como herramienta de control de proceso de conversión el OPC:

- Evaluar el control de la formación de magnetita en las escorias del CPS N° 5.
- Evaluar los tiempos de proceso de las etapas de soplado a escoria y cobre en el CPS N° 5.
- Estimar los puntos finales de soplado a escoria y cobre.
- Evaluar las ventajas y/o desventajas sobre el comportamiento del proceso de conversión del CPS N° 5.

1.4

JUSTIFICACIÓN

De acuerdo al esquema de la nueva fundición de SPCC Ilo – Perú, los hornos reverberos 3 y 4 dejarán de operar reduciendo así la capacidad de procesar escorias de alto contenido de magnetita (mayor a 18%), los cuales serán reemplazados por los Hornos de Limpieza de Escoria 1 y 2 que para su eficiente proceso requieren escorias con un contenido de magnetita menor o igual a 18% y así asegurar la recuperación de cobre además las restricciones de planta de acido de solo soportar en línea 2 CPS en proceso, demanda continuidad de los ciclos de soplado por lo que las demoras de ínter ciclo y final de soplado a cobre deberán de ser minimizadas.

1.5

ANTECEDENTES

El OPC, ah sido instalado en más de 10 fundiciones en el mundo como son: Boliden Mineral AB – Suecia, Norddeutsche Affinerie AG – Alemania, Huttenwerke Kayser AG – Alemania, Codelco – Chile, Xstrata Copper Mount Isa – Australia, Atlantic Copper – España, Outokumpu – Finlandia, Onahama Smelting – Japón, Thai Copper industries – Tailandia, Southern Perú Copper Corporation – Perú.

La fundición de Southern Perú Copper Corporation Ilo – Perú, es la primera fundición de cobre en el Perú en instalar el “Semtech OPC System”, como herramienta de control del proceso, el cual esta instalado en el Convertidor Peirce Smith N° 5 y su desempeño ah sido evaluado para su implementación en los demás convertidores de la fundición en mención.

1.6

ENUNCIADO DE LA HIPÓTESIS

El dispositivo "Semtech OPC System", instalado en el CPS N° 5 permite controlar el contenido de la formación de magnetita en las escorias además de reducir los tiempos de soplado a escoria y cobre evitando demoras en el proceso de conversión.

II

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DEL COBRE BLISTER.

El cobre blister se obtiene generalmente mediante la conversión de matas de cobre y se lleva a cabo casi universalmente en los CPS. La conversión de matas de cobre básicamente es una oxidación selectiva en el estado líquido, que se lleva a cabo con la finalidad de eliminar la mayor parte del fierro y del azufre por el oxígeno dando origen a una selectividad que puede justificarse termodinámicamente mediante una comparación de los estados de energía libre. Por lo tanto la conversión es una reducción en la cual el agente reductor es el azufre contenido en la mata y el agente oxidante es el oxígeno alimentado al CPS a través de una línea de toberas a lo largo de la coraza. El proceso de conversión de la mata de cobre puede describirse en dos etapas la cuales son :

- La primera etapa de conversión es la eliminación de fierro la cual se inicia con la reacción de oxidación del FeS contenido en la mata dando lugar a la formación de FeO , el cual mediante la adición de SiO_2 al CPS forman un compuesto complejo FeO.SiO_2 (Fayalita), dichas reacciones son referidas a la etapa formadora de escoria ó también conocida como etapa de soplado a escoria, para lo cual se alimenta la mata y recirculante por una abertura ubicada en la parte central del CPS llamada boca, la silica se alimenta por medio de una faja ubicada en la parte superior del CPS la cual cae directo a la bañó fundido.
- La segunda etapa básicamente consiste en la oxidación del Cu_2S presente el metal blanco hasta la formación de cobre

blister, dicha etapa de conversión es denominada soplado a cobre.

Las reacciones de oxidación ocurridas tanto en la primera etapa como en la segunda son del tipo exotérmicas liberando una gran cantidad de energía haciendo al proceso de conversión autógeno prescindiendo de combustibles para mantener fundida la carga del CPS.

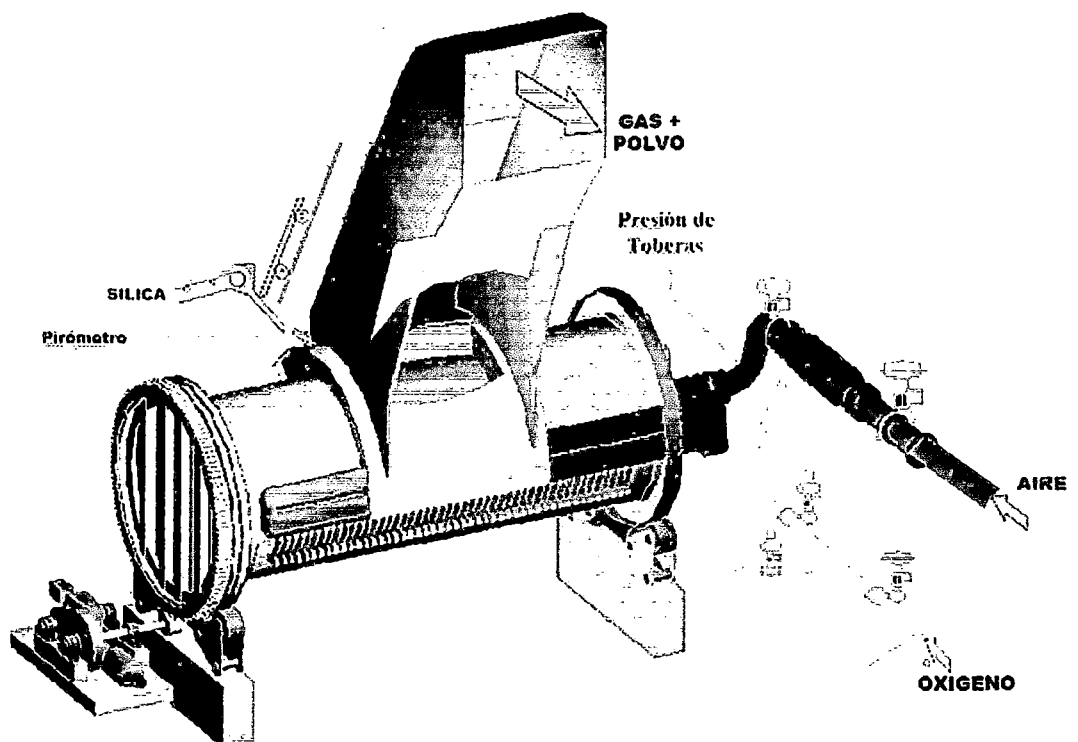


Figura 5. Esquema del Convertidor Peirce Smith
(Fuente: Smelter Project SPCC)

2.1.1

MATERIALES EN PROCESO.

A) MATA:

Es la materia prima principal provenientes de los Hornos Reverberos, la cual esta constituida por una solución de sulfuros de cobre (Cu_2S) y fierro (FeS) presentes en proporciones muy

variables con un contenido de cobre en el rango de 35% – 40%, en la cual además se disuelven también otros sulfuros metálicos como son el sulfuro de níquel, de cobalto de bismuto, de plomo, de cinc, de selenio, de telurio así como también la plata y el oro.

El conocimiento del contenido de cobre en la mata es un factor muy importante para la operación del CPS pues un alto contenido de cobre significara que el contenido de FeS es menor por ello se tendrá que usar menor cantidad de SiO₂ para una buena formación de escoria además se dispondrá de menor cantidad de energía producto de la oxidación del FeS por lo que se fundirá menor cantidad de material frío. Por el contrario una mata de bajo contenido de cobre significara que el contenido de FeS es mayor por ello se tendrá que usar mayor cantidad de SiO₂ para una buena formación de escoria además se dispondrá de mayor cantidad de energía producto de la oxidación del FeS por lo que se podrá fundir mayor cantidad de material frío¹.

B) MATERIAL FRÍO

Es el agente regulador de temperatura del baño del convertidor que además en algunos casos aportan con cobre, por lo general esta constituido por :

- Salpicaduras y/o derrames de operación
- Barras y/o Scrap de Cu de las plantas de moídeo
- Polvos recuperados.

¹ BISWAS - DAVENPORT. "El Cobre: Metalurgia Extractiva", Pag 215

C) SILICA :

La silica es un mineral compuesto principalmente por un 85% – 90% de SiO_2 (Oxido de Silicio) y otros óxidos. Para el proceso de conversión desarrollado en el CPS se alimenta una mezcla de frío (recirculante) y silica dando una mezcla denominada Silica Flux la cual se carga a los convertidores para la formación de escoria.

D) AIRE DE PROCESO

Para las reacciones de oxidación ocurridas en la conversión de la mata es necesario la alimentación de oxígeno al CPS, lo cual se logra mediante la alimentación de aire atmosférico comprimido el cual vence la presión del baño y a una razón de flujo de alimentación de 47,000 – 50,000 Nm^3/h para el CPS N° 5, el cual es alimentado a través de una línea de toberas.

E) ESCORIA

La escoria del CPS es aquella fase metálica fundida por donde se elimina el fierro casi en su totalidad en forma de escoria fayalítica ($\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$), la cual no difiere muy radicalmente de las obtenidas en los hornos de fusión de concentrados, por lo que su estudio puede en gran parte remitirse a aquellas. Como no se añade cal como fundente y las condiciones son mas oxidantes que en el horno de fusión, las concentraciones de CaO son aquí menores, pero mayores las cantidades de Fe_3O_4 . Además debido a las condiciones de turbulencia, las perdidas de cobre son en el CPS mucho mayores que en los hornos de fusión.

F) METAL BLANCO

El metal blanco viene a ser una solución líquida iónico covalente donde coexisten iones Cu^+ y S^{2-} con agrupaciones $\text{Cu}^+-\text{S}^{2-}-\text{Cu}^+$ que tratan de formar grupos semimoleculares. En el seno de este solvente pueden disolverse átomos de cobre desviando con ello la estequiometría originando una deficiencia de azufre. Al final de cada soplado a escoria en el interior del CPS se va incrementando la cantidad de Cu_2S pues tras finalizar cada soplado a escoria se descarga la escoria formando y el baño se va enriqueciendo de Cu_2S por ello antes de iniciar la etapa de soplado a cobre el baño fundido contenido en el CPS tiene una concentración promedio de 78% de Cu_2S .

G) RECIRCULANTES

El material recirculante o frío, es todo el material generado durante las operaciones de la Fundición y que normalmente se encuentra en el pasillo de grúas de convertidores o en botaderos especiales para tal fin. Este frío es nuevamente cargado al circuito de convertidores para ser fundido.

El recirculante FRÍO puede ser:

- Mata fría.
- Cáscaras de ollas (de mata, metal blanco del CMT, cáscaras de cobre y cáscaras de escoria).
- Derrames de materiales fundidos (mata, escoria, cobre y metal blanco)
- Espumas de materiales fundidos (del convertidor o del CMT)

- Polvos de fundición (de calderos o cottrelles).
- Productos de desecho de la Refinería (escoria de refino, cátodos descartados, cátodos de segundas liberadora, etc.)

La carga fría es usada para regular las altas temperatura de conversión y evitar el desgaste del refractario.

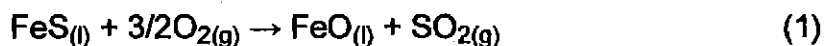
Toda la carga fría puede ser usada durante el soplado a escoria.

Para el soplado a cobre o etapa de desulfuración del metal blanco se debe usar la carga fría acumulada en :

- I. Debajo de los convertidores.
- II. En las Plantas de Moldeo.
- III. Desechos de la Refinería.

2.1.2 ETAPA DE SOPLADO A ESCORIA

La reacción principal de la etapa de soplado a escoria, es la oxidación del sulfuro de fierro disuelto en la mata hasta dejar solo el sulfuro de cobre, de acuerdo a la siguiente reacción referida a un mol de oxígeno:



De acuerdo a los datos de la tabulación de Kubaschewski y otros se tiene lo siguiente:

$$(\Delta G^{\circ}_T)_1 = -86,000 + 13.55 \cdot T, \text{ Cal} \quad (2)$$

La oxidación del FeS es una reacción liquido gas exotérmica, exoentropica garantizando con ello una gran espontaneidad. *Por cada mol de FeS que reacciona, se forma 1 mol de FeO el cual es un líquido muy reactivo, frente al oxígeno y a los refractarios por lo que en la escoria estarán presentes compuestos tales como Cr₂O₃, Al₂O₃ y MgO como componentes además debido a la agitación producida por el aire insuflado², la escoria contendrá gotas de mata y metal blanco.*

El ΔG se puede obtener mediante la isoterma de Van't Hoff:

$$(\Delta G_T)_1 = (-86,000 + 13.55 \cdot T) + \frac{2}{3} \cdot R \cdot T \cdot \ln \left(\frac{a_{\text{FeO}}}{a_{\text{FeS}}} \right), \text{ Cal} \quad (3)$$

De la expresión (3) se puede comentar que como a_{FeO} es aproximadamente constante, al comienzo del proceso ΔG_T prácticamente coincide con el cambio de energía de Gibbs de formación $(\Delta G^{\circ}_T)_1$, sin embargo, a medida que se desarrolla el proceso, decrece a_{FeS} haciendo con ello menos negativo el valor de ΔG_T reduciendo así la espontaneidad de la reacción. Simultáneamente con la pérdida paulatina de la espontaneidad de la reacción, ocurre un decrecimiento en la exotermicidad de la etapa. El cual se puede visualizar evaluando la variación de las entalpías a lo largo del proceso. Para tal efecto puede efectuarse la derivación de Gibas – Helmholtz a la expresión de la energía de Gibbs correspondiente a la reacción (1).

² NELSON H. SANTANDER. "Pirometalurgia del Cobre", Pag 41

$$\left[\frac{\partial(\Delta G_T)_1/T}{\partial 1/T} \right]_P = (\Delta H_T)_1 \quad (4)$$

Desarrollando la expresión (4) se tiene:

$$(\Delta H_T)_1 = -86,000 + \frac{2}{3} \cdot \overline{\Delta H}_{FeO} - \frac{2}{3} \overline{\Delta H}_{FeS}, \text{ Cal} \quad (5)$$

Según la expresión (5) solo al comienzo del proceso el ΔH_T de la reacción prácticamente coincide con el ΔH°_T , pero a medida que se desarrolla el proceso, $\overline{\Delta H}_{FeS}$ se hace cada vez más negativo disminuyendo con ello el efecto térmico de la reacción.

El FeO formado es un óxido básico termodinámicamente inestable en presencia de aire ya que tiende a oxidarse a magnetita y tiene un rango de fusión en las vecindades de 1 380°C cuando está puro. Para minimizar la actividad química de este óxido debe ponerse en contacto con un óxido ácido barato que no interfiera el proceso. Tales características las presenta el SiO₂, que agregado como Silica Flux tiende a acomplejar al FeO en forma de 2FeO.SiO₂ conocido en el estado sólido como fayalita.

La reacción de escorificación del FeO puede explicarse por medio de una reacción sólido líquido como se describe en la siguiente reacción:



Donde su ΔG°_T es :

$$\Delta G^\circ_T = -26,000 + 13.50 \cdot T \text{ Cal, Fayalita s\u00f3lida} \quad (7)$$

$$\Delta G^\circ_T = -4,000 + 12.03 \cdot T \text{ Cal, Fayalita líquida} \quad (8)$$

La reacción (6) en la práctica no es exactamente una formación de moléculas sino más bien una reacción en solución iónica polimérica tal como se ha sugerido en la moderna teoría de estructuras de escorias. De hecho, no tiene sentido hablar de moléculas de FeO, $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ o de Fe_3O_4 presentes en la escoria, pero sí de compuestos iónicos que tienen una existencia propia ya sea cuando la escoria se satura en uno o varios de ellos, o bien, cuando la escoria cristaliza. *Para los fines termodinámicos en todo caso, puede emplearse la notación molecular siempre que se mantenga una consistencia interna en los cálculos, y se suponga algún modelo estructural si se desea expresar las actividades de cada uno de los participantes³.*

Entre los óxidos que forman parte de la escoria los únicos que pueden responsabilizarse de equilibrios con el oxígeno, dentro de las presiones parciales reales de este gas en el CPS, son el FeO y el Fe_3O_4 . Desde el punto de vista termodinámico puede plantearse el equilibrio de oxígeno – reducción FeO/ Fe_3O_4 o bien el de oxígeno – reducción FeO/ Fe_2O_3 . Pero, desde el punto de vista de mecanismos, el primero resulta ser el más real por lo que la reacción que representa la oxidación del FeO viene representada por:

³ S. K. KAWATRA. "Primary Metal 2002", Pag 115

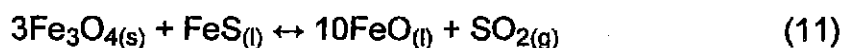


Para la cual :

$$\Delta G^\circ_T = -149,240 + 59.8 \cdot T \text{ , Cal} \quad (10)$$

Como a su vez el grado de oxidación de la escoria queda cuantificado con una mayor proporción de Fe^{3+} (correspondiente al Fe_2O_3), se da muchas veces, como medida del grado de oxidación, al cociente de concentraciones iónicas $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$. Además la reacción es muy favorecida tanto termodinámica como prácticamente puesto que las condiciones de un CPS soplando son altamente oxidantes. Para una temperatura dada en el CPS la constante de equilibrio K_9 es constante, y con flujo constante de soplado, con la misma sobre presión, p_{O_2} es constante, de modo que para bajar la actividad de la magnetita se hace necesario reducir la actividad del FeO. *Al hacer $a_{\text{FeO}} < 1$ la sexta potencia de a_{FeO} , que es el valor que participa de la constante, es aun mucho menor que 1. Si no se añade sílice para disminuir la actividad del FeO, la formación de magnetita es inevitable. Tal formación puede incluso aprovecharse para proteger el revestimiento al soplar a metal blanco sin añadir sílice, con lo cual se forma magnetita sólida que permite formar una chaqueta o camisa de protección del refractario del CPS⁴.*

Otra reacción importante es la de magnetita – mata, la cual es:



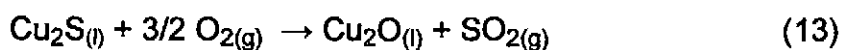
⁴ NELSON H. SANTANDER. "Pirometalurgia del Cobre", Pag 42

Para la cual :

$$\Delta G^{\circ}_T = 177,530 + 109.93 \cdot T \text{ , Cal} \quad (12)$$

Como en la primera etapa existe una vigorosa agitación del baño, se favorece la acción de ataque del sulfuro de hierro sobre la magnetita.

Otras reacciones secundarias en la etapa de soplado a escoria son las siguientes :



Reacciones en las cuales se oxida el Cu_2S pero debido a la presencia del FeS en el baño se vuelve a formar Cu_2S .

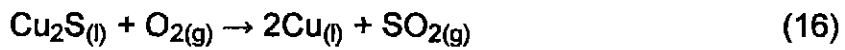
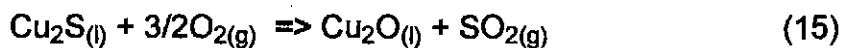
El punto final de soplado a escoria es determinado por el Operador del CPS mediante los siguientes indicadores:

- Tiempo de Soplado, alrededor de 60 minutos.
- Color de la llama, va cambiando de un verde azulado a verde oscuro.
- Forma de la llama, de una llama desordenada a una llama más compacta y brillante.
- Chispas de la llama.

- Temperatura, entre 1 200°C – 1 250°C
- La concentración de vapor de PbS disminuye y la concentración de vapor de PbO aumenta.

2.1.3 ETAPA DE SOPLADO A COBRE

La reacción principal de la etapa de soplado a cobre es la oxidación del sulfuro de cobre para dar origen a cobre puro según indica la siguiente reacción:



Cuya energía libre Standard para la reacción (16), calculada por los datos proporcionados por O. Kubaschewski es:

$$\Delta G^\circ_T = -51,970 + 6.22 \cdot T \cdot \log(T) - 11.47 \cdot T, \text{ Cal} \quad (17)$$

Esta reacción es exotérmica, exoentropica y espontánea dentro del rango de temperaturas correspondiente a la conversión. Debido a las altas temperaturas que se originan en el CPS se le alimentan cargas de chatarra de cobre⁵ En la región de las toberas es la de más alta temperatura en donde se forma Cu₂O el cual es muy agresivo frente a los refractarios disolviéndolos por ello la etapa de soplado a cobre es la que mas contribuye al desgaste de la mampostería. Además en el soplado a cobre como indica la reacción (15) se genera un mol de SO₂ por cada mol de O₂, mientras que la reacción (1) solo se genera 2/3 de

⁵ NELSON H. SANTANDER. "Pirometalurgia del Cobre", Pag 41

mol por cada mol de O₂, por ello en esta etapa se produce la mayor cantidad de gas SO₂ del proceso de conversión. Como se puede observar en las expresiones (18) y (19) a medida que a_{Cu₂S} decrece apreciablemente al final del soplado a cobre, ΔG_T se hace drásticamente menos espontánea, y $\overline{\Delta H}_{Cu_2S}$ se hace mas positiva desfavoreciendo con ello el efecto térmico de la reacción:

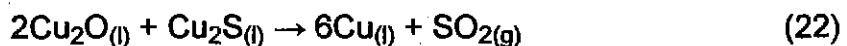
$$\text{Cal } (\Delta G_T)_{18} = (-51,970 + 6.22 \cdot T \cdot \log(T) - 11.47 \cdot T) - R \cdot T \cdot T \cdot \log(a_{Cu_2S}), \quad (18)$$

$$(\Delta H_T)_{18} = -51,970 - 2.70 \cdot T - \overline{\Delta H}_{Cu_2S}, \text{ Cal} \quad (19)$$

El SiO₂ y FeO residual dan origen a pequeñas cantidades de escoria, según la siguiente reacción:



El Cu₂O formado reacciona con el Cu₂S según la siguiente reacción :



Para la cual :

$$\Delta G^\circ_T = 19,252 + 23.76 \cdot T \cdot \log(T) - 96.59 \cdot T, \text{ Cal} \quad (23)$$

Se puede observar que esta reacción esta termodinámicamente muy favorecida permitiendo una fácil generación de gas SO_2

Para la Determinación del punto final del soplado a cobre el Operador del CPS cuenta con los siguientes parámetros:

- Tiempo de Soplado, aproximadamente 200 minutos.
- Color de la llama, de verde oscuro a verde naranja.
- Forma de la llama, de una llama larga vigorosa a una llama corta y débil.
- Chispas de la llama.
- Temperatura, entre 1190°C – 1220°C .
- Barra de Muestreo por tobera, la muestra en la barra va cambiando de un color gris oscuro a un color gris con manchas rojas.
- Cuchara de muestreo.
- Caída de la concentración del PbO en los gases e incremento de la concentración de CuOH .

La etapa de soplado a escoria y cobre puede resumirse en el siguiente diagrama de Ellingham de no equilibrio para la conversión de matas de cobre :

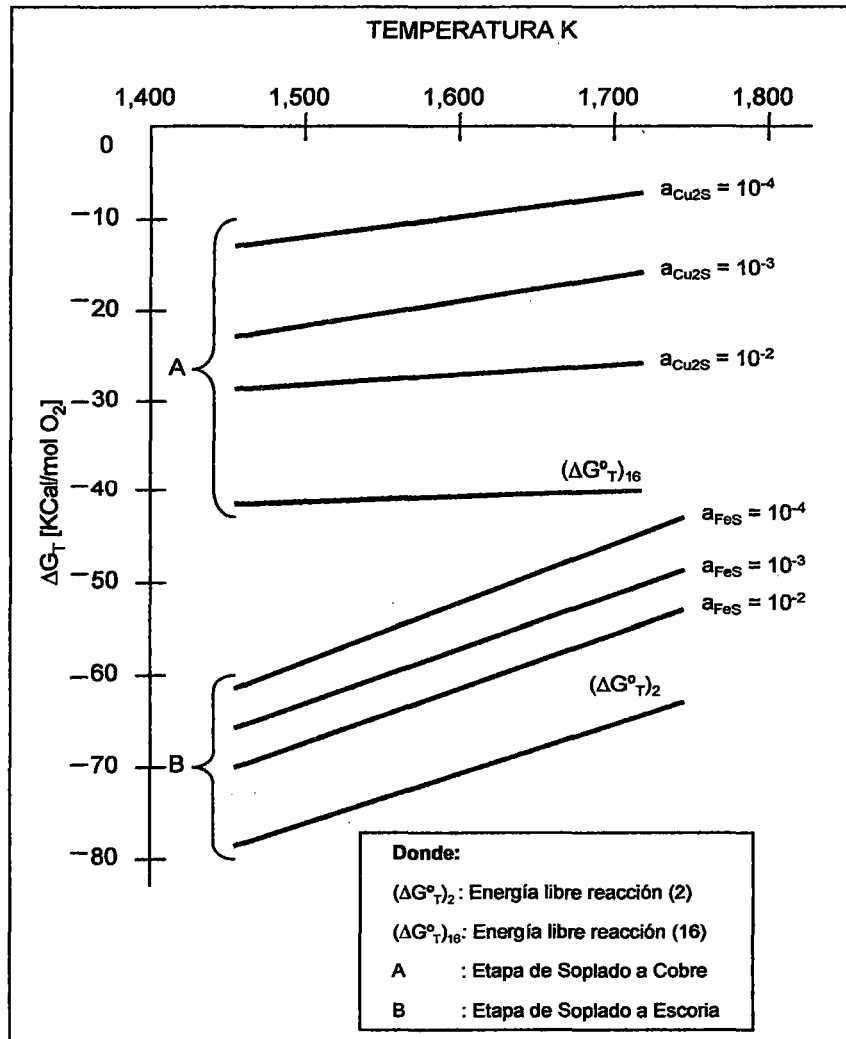


Figura 6: Diagrama de Ellingham – Conversión de Matas de Cobre⁶.

2.2 CONTROL DEL PROCESO DE CONVERSIÓN DEL COBRE BLISTER

2.2.1 VARIABLES DE PROCESO

Las principales variables de proceso involucradas en la operación del CPS son las siguientes:

⁶ NELSON H. SANTANDER. "Pirometalurgia del Cobre". Editorial Contribuciones Científicas y Tecnológicas. Pag 48

- Temperatura del proceso
- Calidad de Escoria
- Calidad de Cobre
- Cantidad de carga

2.2.2 VARIABLES DE CONTROL

Las variables de control involucradas en la operación del CPS son las siguientes:

- Flujo de aire de proceso y flujo de oxígeno.
- Adición de silica.
- Adición de mata.
- Adición de metal blanco del CMT.
- Adición de FRÍO.
- Calidad de carga.
- Tiempo de soplado.

2.3

DESCRIPCIÓN DEL SEMTECH OPC SYSTEM

2.3.1

LA ÓPTICA Y LA TERMODINÁMICA DE CONVERSIÓN

El uso de la óptica como instrumento de monitoreo del proceso de conversión es actualmente usado por muchos Operadores los cuales con su experiencia observan e identifican el color de la llama para la determinación del punto final del soplado a escoria y cobre. El análisis óptico-espectroscópico para monitorear la luz emitida por la llama que se genera en el baño fundido ah despertado el interés continuo para el desarrollo y diseño de diferentes métodos espectroscópicos que ayuden al control de procesos pirometalurgicos que por lo general presentan escenarios muy hostiles para el control en línea con instrumentos de medición de contacto directo. Las ventajas de la medición óptica son:

- Análisis en forma remota.
- Análisis en línea.
- Facilita la detección de constituyentes de corta vida, como los radicales.
- Provee de información en tiempo real.
- Son insensibles al ruido electrónico.

La concentración de un átomo o molécula específica en los gases de salida de los CPS esta determinado por la termodinámica de las reacciones químicas. Analizando espectroscopicamente la luz emitida por los gases de salida,

que son el producto de las reacciones ocurridas que generan la llama del proceso, es posible obtener información instantánea del estado real del proceso dentro del convertidor y su avance.

El FeS presente en el baño fundido se consume antes que el PbS, de acuerdo a la termodinámica del proceso de conversión en el cual la energía libre de oxidación del FeS ($\Delta G[\text{FeS} \rightarrow \text{FeO}]$), es mas negativa que la de la oxidación del PbS ($\Delta G[\text{PbS} \rightarrow \text{PbO}]$), como se puede observar en el diagrama de Ellingham de oxidación de sulfuros, en el cual se aprecia que efectivamente la reacción PbS/PbO ocurre después que la de FeS/FeO, debido a que la oxidación del FeS es mas espontánea que la oxidación del PbS, la cual se inicio solo cuando se consume todo el FeS⁷.

⁷ W. G. DAVENPORT; M. KING; M. SCHLESINGER; A. K. BISWAS. "Extractive Metallurgy of Copper", Pag 255

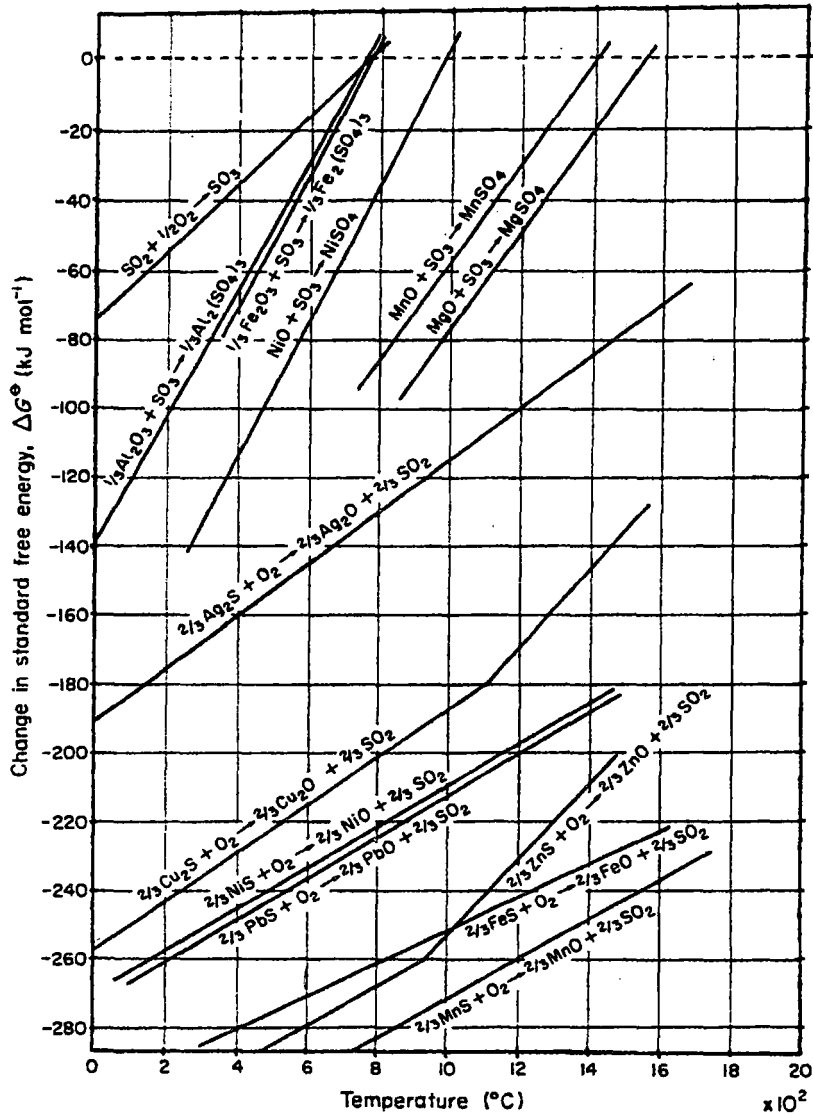


Figura 7: Diagrama de Ellingham – Oxidación de Sulfuros⁸

2.3.2 FUNDAMENTO DE OPERACIÓN DEL OPC

A medida que avanza el proceso de conversión la composición, propiedades físicas y químicas tanto del baño fundido como el de los gases producidos van cambiando dando información del avance de las reacciones químicas producidas en el interior del CPS. La presión de vapor de sus componentes variará y esta variación se refleja en la luz emitida por la llama; por ejemplo,

⁸ R. V. KUMAR. "Extraction and Recycling", Department of Materials Science and Metallurgy, Pag 30

refleja los cambios del sulfuro de plomo (PbS), del óxido de plomo (PbO) y del hidróxido de cobre (CuOH), que son los que interesan en el caso de la conversión de matas de cobre. Esto es debido a que en condiciones normales los átomos se encuentran en el estado fundamental, que es el más estable termodinámicamente, sin embargo, cuando se calientan absorben energía y alcanzan así un estado excitado donde poseen una energía determinada, que es característica de cada sustancia. Los átomos que se encuentran en un estado excitado tienen tendencia a volver al estado fundamental, que es energéticamente más favorable, para hacer esto deben perder energía, por ejemplo, en forma de luz. Puesto que los estados excitados posibles son peculiares para cada elemento y el estado fundamental es siempre el mismo, la radiación emitida será también peculiar para cada elemento y por lo tanto podrá ser utilizada para identificarlo. Esta radiación dependerá de la diferencia entre los estados excitados y el fundamental de acuerdo con la ley de Planck:

$$\Delta E = h \cdot \nu \quad (23)$$

Donde :

ΔE : Diferencia de energía entre los estados excitado y fundamental.

h : Constante de Planck ($6,62 \times 10^{-34}$ J.s)

ν : Frecuencia.

Por lo tanto, el espectro de emisión puede considerarse como "la huella dactilar" de un elemento que al ser analizada por un espectrómetro muestran anchos de onda bien definidos, los

cuales son característicos para cada átomo o molécula, permitiendo así la identificación de los diferentes elementos presentes en la llama, como se muestra en las figuras (8) y (9).

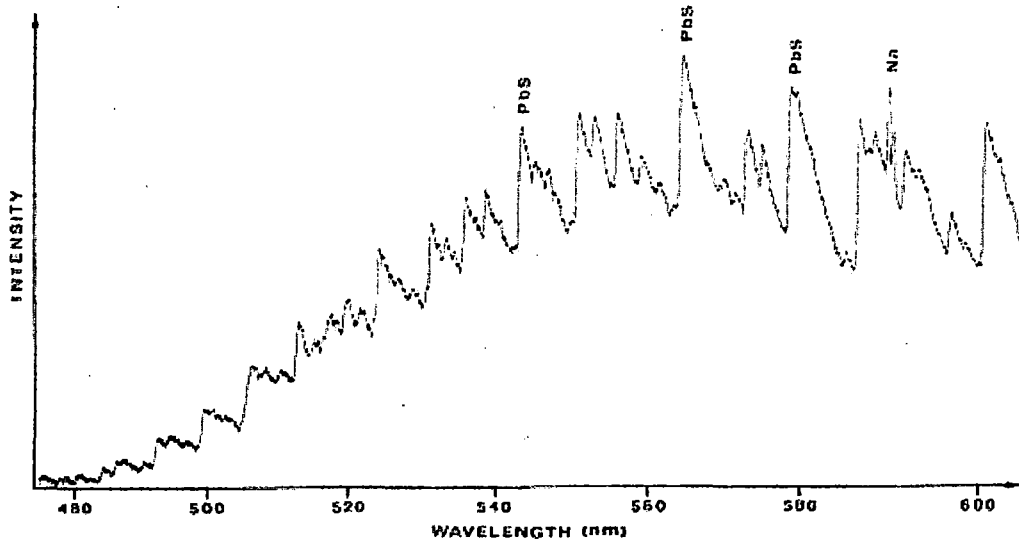


Figura 8 : Espectro de la etapa del soplado a escoria⁹

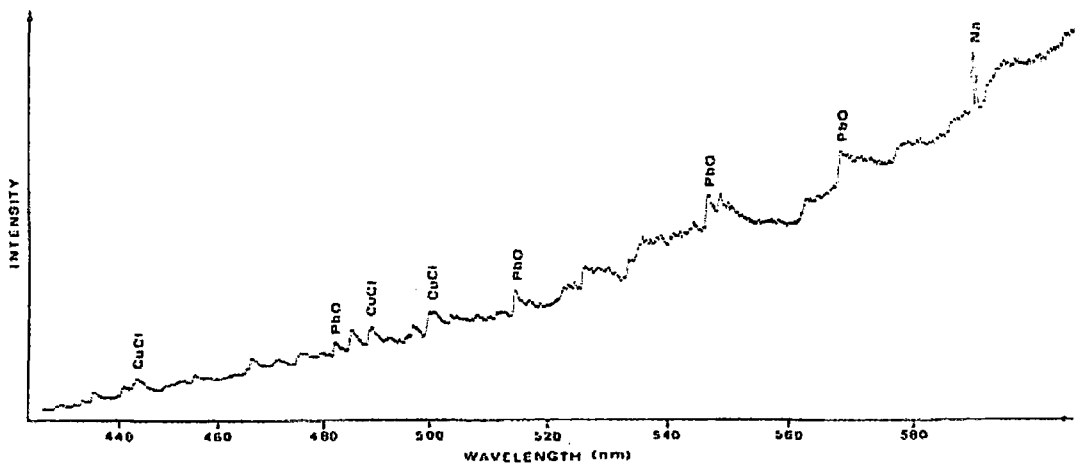


Figura 9 : Espectro de la etapa del soplado a cobre¹⁰

⁹ SEMTECH, "Manual OPC, Versión Español, SA SPCC 2006", Pag 10

¹⁰ SEMTECH, "Manual OPC, Versión Español, SA SPCC 2006" Pag 11

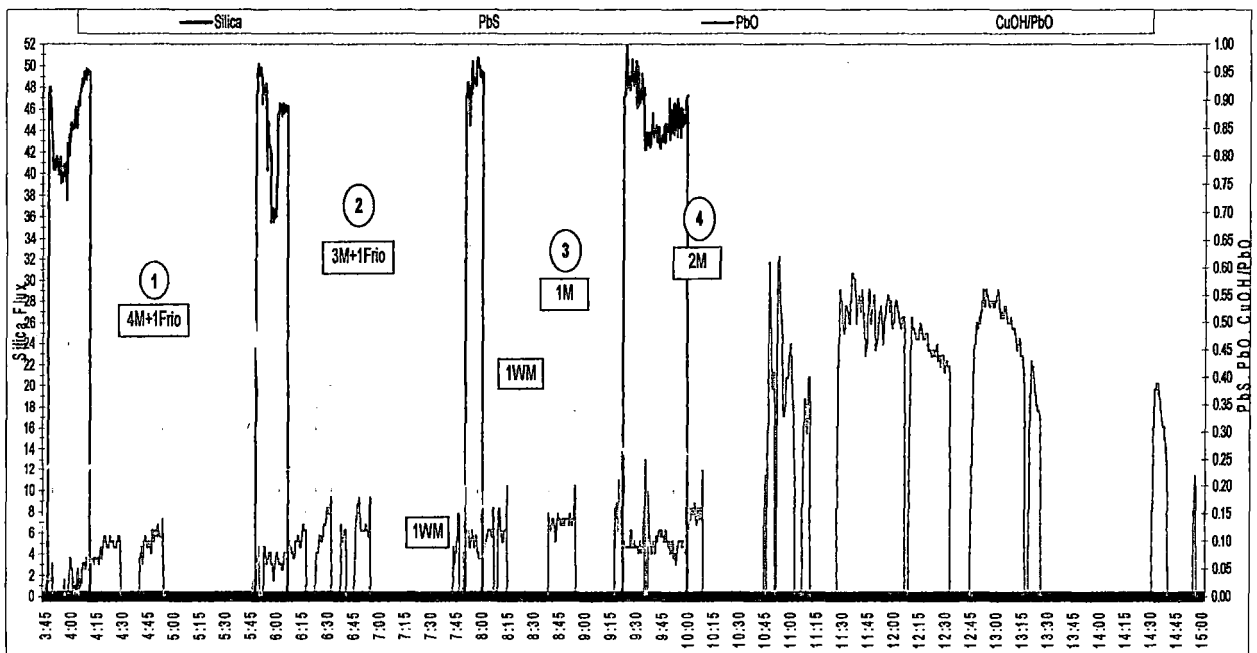
2.3.3

INDICADORES DEL OPC

Las longitudes de ondas emitidas por la llama en el interior del CPS es analizada por un visor telescópico, el cual es montado próximo a la campana que capta los gases de salida del CPS, obteniéndose así el espectro de los elementos presentes en la llama, en este caso los indicadores utilizados para la evaluación del avance de la reacción son el PbO, PbS y CuOH los cuales se van graficando en tiempo real.

El objetivo fundamental del OPC es hacer visible los cambios de la composición de los gases de salida del CPS, mostrando el espectro de intensidades de los diferentes elementos presentes en la llama, observaciones que finalmente se van graficando en tiempo real mostrando así el avance del proceso de conversión. La salida del sistema durante un ciclo completo del CPS, se puede observar en la figura (10), donde se muestran los valores instantáneos de los parámetros ópticos (PbS, PbO, CuOH), del proceso de conversión en tiempo real, dando una información fundamental para la optimización del proceso¹¹.

¹¹ SEMTECH, "Manual OPC, Versión Español, SA SPCC 2006" Pag 13



Fuente : Propia

Figura 10 : Ciclo completo del CPS N° 5

2.3.3.1 PARÁMETRO ÓPTICO PbS

De acuerdo con la termodinámica del proceso, el contenido de PbS es alto durante la etapa de formación de escoria (soplado de escoria), y durante la etapa de producción de cobre (soplado a cobre), contenido de PbS es bajo.

Una etapa típica de formación de escoria puede dividirse en tres partes:

- I. Durante la adición de silica.
- II. Consumo de silica, formación de escoria.
- III. Cuando se acaba la silica, oportunidad en la cual aumenta la señal óptica del PbS por volatilización del PbS, lo que se detecta en la llama del convertidor.

Cuando la señal óptica del PbS no aumenta, generalmente es indicativo que se ah agregado demasiada silica en el baño y no deja aparecer al PbS.

Cuando la silica se consume totalmente, la señal del PbS comienza a aumentar y el valor máximo que alcanza es una medida de la calidad de la escoria que por lo general su valor debe de estar entre 0,5 – 0,6, lo que corresponde a una escoria fluida con adecuado contenido de silica, por el contrario si la señal óptica del PbS esta por valor de 0,3, es señal que el fundente agregado fue insuficiente y el contenido de silica en la escoria es muy bajo y como resultado se tendrá una escoria alta en magnetita y viscosa¹².

A medida que la concentración de FeS disminuye en el baño la señal óptica del PbS comienza también a disminuir, pues a falta de FeS el oxígeno del aire de soplado empieza a reaccionar con el PbS formando PbO, dando una señal clara que la etapa de formación de escoria esta llegando a su fin.

En una correcta operación del CPS al inicio y durante la etapa de soplado a escoria la señal óptica del PbS debería de ser cero. En algunos casos la señal óptica del PbS se mantiene durante la etapa de soplado a cobre, este comportamiento no deseado se debe a que en la etapa de soplado a escoria no fue finalizada de forma correcta, quedando así un remanente de FeS en su interior, el cual se sigue oxidando y formando escoria probablemente por no haber realizado un soplado completo de la etapa de escoria o haber hecho una escorificación insuficiente.

¹² SEMTECH, "Manual OPC, Versión Español, SA SPCC 2006" Pag 14

Las consecuencias iniciar el soplado a cobre sin haber eliminado todo el Fe en el soplado a escoria, principalmente son:

- a.- Reducción de la eficiencia del oxígeno de soplado.
- b.- Menor transferencia de masa por mala distribución de los materiales reaccionantes o reactivos al interior del horno produciendo una prolongación no deseada del tiempo de soplado.
- c.- Dificultad para extraer un cobre limpio por el exceso de escoria e impurezas en el baño (el remanente de escoria conduce a un aumento en los niveles de impurezas en el cobre blister como As, Sb, por una reversión de estas impurezas que ya estaban estabilizadas en la escoria).
- d.- Peligro de espumado del convertidor por sobresoplado de la escoria remanente.

2.3.3.2 PARÁMETRO ÓPTICO PbO

De acuerdo a la termodinámica del proceso, la señal óptica del PbO debiera tomar un valor bajo al inicio de la etapa de formación de escoria, resultado de la eventual oxidación de PbS volatilizado que se encuentra con oxígeno sin reaccionar en la fase gaseosa. A medida que el contenido de cobre en el baño se acerca a 70-76 % y el contenido de Fe en el metal blanco se reduce a niveles inferiores a 1%, el valor óptico del PbO comienza a incrementarse por la desaparición de FeS y como consecuencia el oxígeno del aire de soplado reacciona con el PbS presente formando PbO. Las señales que indican el punto final de la etapa de formación de escoria son :

- a.- El aumento sostenido de la señal óptica del PbO.
- b.- El descenso de la señal óptica del PbS.

La tendencia creciente del PbO al final de la etapa de formación de escoria continúa durante el inicio de la etapa de formación de cobre. El valor del parámetro óptico PbO cambia por lo general cada carga mostrando variaciones especialmente debido a la calidad de la carga fría agregada al convertidor.

2.3.3.3 PARÁMETRO ÓPTICO CuOH/PbO

La luz verdosa observada en la boca de un horno de ánodos se debe a la emisión de la molécula de CuOH. La emisión de luz originadas por el CuOH esta presente en la salida de gas de las llamas de un CPS. Las observación de operación de CPS con el sistema OPC muestran que durante la etapa de formación de escoria la emisión de CuOH sube de cero solo en las postrimerías de dicha etapa, debido a un potencial de oxígeno alto. Durante la etapa de formación de cobre, la intensidad de la emisión del CuOH varia de la misma forma que la emisión del PbO y la tasa entre las dos intensidades es muy estable hasta el final de soplado a cobre. El parámetro óptico de proceso CuOH/PbO esta cercanamente relacionado a esta tasa y muestra solo pequeñas fluctuaciones. Levemente después de la limpieza de cobre, la intensidad de la señal del PbO cae, mientras que la intensidad del CuOH aumenta. Tomados en conjunto, la razón CuOH/PbO, comienza a aumentar al acercarse al final de soplado a cobre.

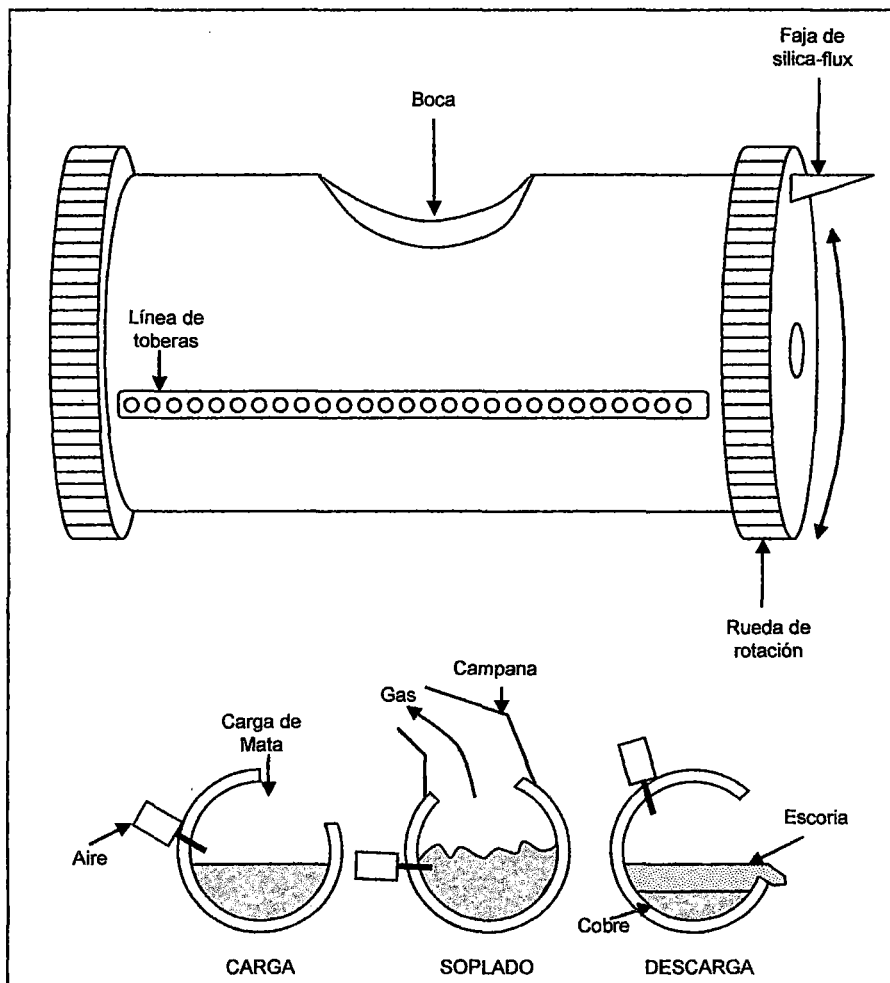
III

EQUIPOS

3.1

CONVERTIDOR PEIRCE SMITH

Es el reactor donde ocurre el proceso de conversión de las matas de cobre, el cual consiste en un cilindro horizontal compuesto por una coraza metálica revestido en su interior con ladrillos refractarios, provisto con una gran abertura ó también llamado boca del convertidor en la parte frontal por donde se alimentan las matas de cobre y además se descarga la escoria y cobre blister producido. El CPS cuenta también con una línea de toberas en la parte posterior por donde se alimenta el aire necesario para la conversión, la alimentación silica flux (mezcla SiO_2 y material frío), necesario para la formación de escoria, se alimenta a través de una faja situada en la parte lateral superior del convertidor. El CPS opera en tres posiciones básicamente girando sobre su eje mediante ruedas incorporadas en los extremos del CPS, dichas posiciones son: carga, soplado y descarga, como se muestra en la figura 11.



Fuente: Propia

Figura 11: Esquema y posiciones de operación del CPS

3.2 CARRO DE PUNZAR

El carro de punzar es una maquina diseñada para la limpieza de las toberas que consta de unas barras de fierro que atraviesan las toberas por medio de aire comprimido las cuales están incorporadas a un carro móvil que se desplaza a través de un riel logrando así abarcar toda la línea de toberas. La operación de limpieza de toberas se denomina "punzado" dicha operación se realiza constantemente sobre todo en el soplado a escoria ya que la formación FeO y Fe_3O_4 producen acresiones en las toberas ocasionando así una reducción de la cantidad de aire

alimentado al baño y aumento de presión, por ello periódicamente se limpian las toberas para evitar una obstrucción total.

3.3 SOPLADOR DE AIRE

Es el equipo responsable de abastecer a los convertidores de aire para el proceso de conversión de la mata de cobre, el cual de abaste a un flujo promedio de 47,000 Nm³/h

3.4 SEMTECH OPC SYSTEM

El SEMTECH OPC SYSTEM consta con los siguientes elementos:

- Gabinete Principal.
- El Telescopio y fibra óptica.
- El software de monitoreo.

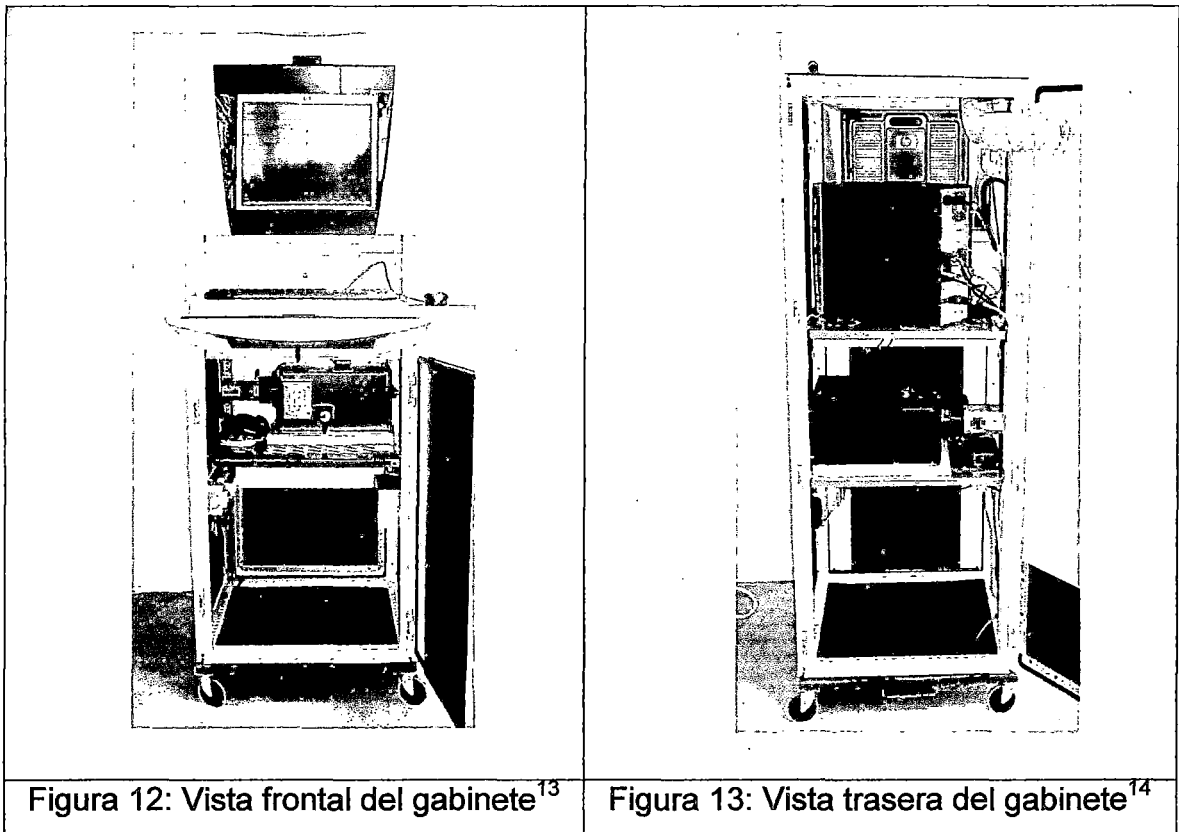
3.4.1 GABINETE PRINCIPAL

El gabinete es la unidad central del Sistema OPC ya que contiene la unidad de medición y análisis además del sistema traductor de las señales recibidas del proceso para que el Operador pueda ver los resultados a manera de tendencias en tiempo real y poder así tomar acción en el proceso de conversión.

Como seguridad el gabinete esta sellado y cuenta además con un sistema de aclimatación para el correcto funcionamiento de los equipos. El gabinete está armado con dos secciones: en la mitad superior se ubican el computador y el monitor. En la mitad inferior, se instala el espectrómetro, de modo de

minimizar la influencia de las variaciones de temperatura a medida que la unidad de A/C se encienda y apague, como se puede apreciar en la figura 8 y 9.

El detector CCD es conectado al espectrómetro durante el montaje del equipo, por ingenieros de SEMTECH, para asegurar una óptima alineación y rendimiento.



3.4.2 TELESCOPIO Y FIBRA ÓPTICA

La llama en el interior del CPS emite longitudes de onda características de los metales las cuales son captadas por el telescopio y son transmitidas al espectrómetro a través de fibra óptica. Estas señales de luz son transformadas mediante un detector CCD (Charge Coupled Device), en términos de los

¹³ SEMTECH, "Manual OPC, Versión Español, SA SPCC 2006", Pag 12

¹⁴ SEMTECH, "Manual OPC, Versión Español, SA SPCC 2006", Pag 12

parámetros ópticos del proceso de conversión tales como: CuOH, PbO, PbS.

Para la instalación del telescopio se toma en cuenta que pueden existir algunas salpicaduras que pueden ocasionar una obstrucción del campo visual del lente del telescopio por ello la utilización de aire comprimido por el interior del tubo para impedir el ingreso de partículas extrañas.

Una vez recibida la señal por el lente del telescopio esta es transmitida a través de fibra óptica la cual esta protegida por tubos externos especiales para evitar algún desperfecto que ocasione perdida de señal. El telescopio es enfocado hacia el centro de la llama del convertidor (algunos cm sobre la boca, en una visión horizontal de la llama), a través de un orificio de 20 cm practicado en la campana de gases. En el caso del Convertidor #5 de SPCC, este orificio fue hecho en la parte posterior de la campana.

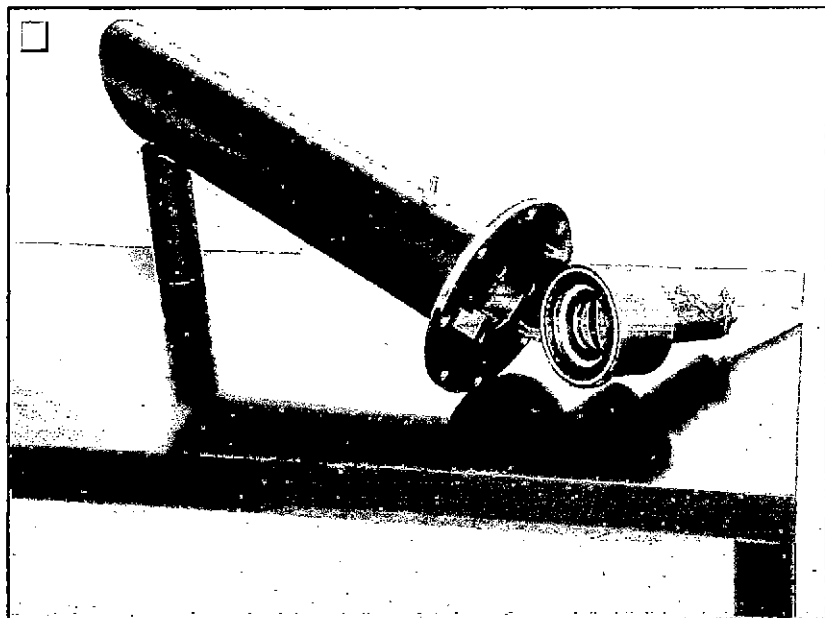


Figura 14: Telescopio del SEMTECH OPC SYSTEM.¹⁵

¹⁵ SEMTECH, "Manual OPC, Versión Español, SA SPCC 2006", Pag 14

3.4.3

SOFTWARE DE MONITOREO

Una vez captadas las longitudes de onda emitida por la llama en el interior del CPS, es transmitida al gabinete principal a través de una línea de fibra óptica, esta señal es procesada por el espectrómetro y los resultados son mostrados en un monitor en forma de curvas de tendencias en tiempo real de los parámetros ópticos: PbS, PbO, CuOH; las cuales son almacenadas en una base de datos.

Las señales generadas por el SEMTECH OPC SYSTEM son mostradas en el monitor del gabinete principal por medio del software SEMTECH OPC CLIENT. Como las señales de los parámetros ópticos son del tipo de 4 – 20 mA, por lo que se puede la transmisión hacia el servidor industrial es posible y poder así realizar análisis personalizados en tiempo real teniendo como herramienta el Active Factory, y así diseñar un reporte detallado online que ayude al buen uso del OPC.

IV RESULTADOS

Una vez implementado del SEMTECH OPC SYSTEM en el CPS N° 5, se procedió a un seguimiento exhaustivo del proceso de conversión tomando muestras al final de cada soplado a escoria y cobre. Los resultados se muestran según la evolución del control de la formación de Fe_3O_4 de la primera y segunda campaña, luego la evaluación del desempeño del OPC como herramienta de control de proceso, como objetivo principal del OPC es la obtención de escorias con un contenido de Fe_3O_4 menor o igual a 18%

4.1 PRIMERA CAMPAÑA DEL CONVERTIDOR PEIRCE SMITH N° 5

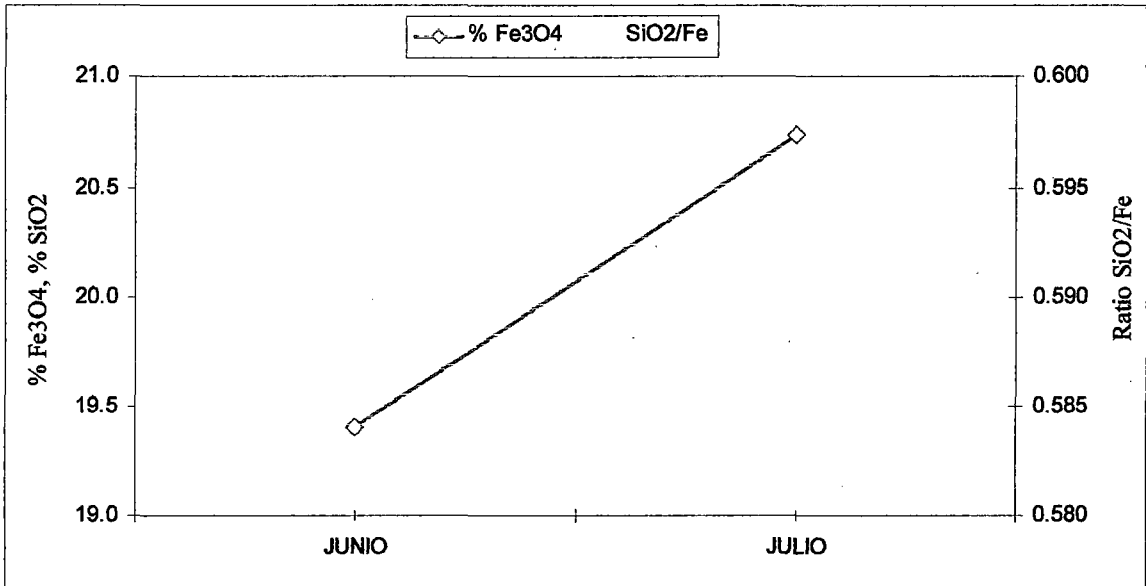
4.1.1 CONTENIDO DE Fe_3O_4 EN LAS ESCORIAS DEL CPS N° 5

El análisis del total de muestras de escoria de la primera campaña del CPS N° 5, muestran un contenido de 20.1% en promedio de magnetita como se muestran en el cuadro 1 y figura 15.

Mes	% Fe_3O_4		% SiO_2		SiO_2/Fe	
	Avg	Stdev	Avg	Stdev	Avg	Stdev
JUNIO	19.4	4.7	27.6	3.8	0.59	0.11
JULIO	20.7	5.3	27.8	2.8	0.59	0.13
PROMEDIO	20.1	5.0	27.7	3.3	0.59	0.12

Fuente: Propia

Cuadro 1: Contenido de magnetita y sílice en la escoria del CPS N° 5 – I
Campaña



Fuente: Propia

Figura 15: Tendencia de magnetita y sílice en la escoria del CPS N° 5 – I Campaña

El comportamiento de la magnetita y el ratio SiO₂/Fe en la escoria del CPS N° 5 correspondiente a los meses de Junio y Mayo se muestran a continuación :

N° DE SOPLADO	% Fe ₃ O ₄		SiO ₂ /Fe	
	Avg	Stdev	Avg	Stdev
I	19.8	5.0	0.58	0.09
II	19.8	5.3	0.60	0.11
III	18.6	3.8	0.60	0.12
IV	18.2	4.2	0.66	0.06

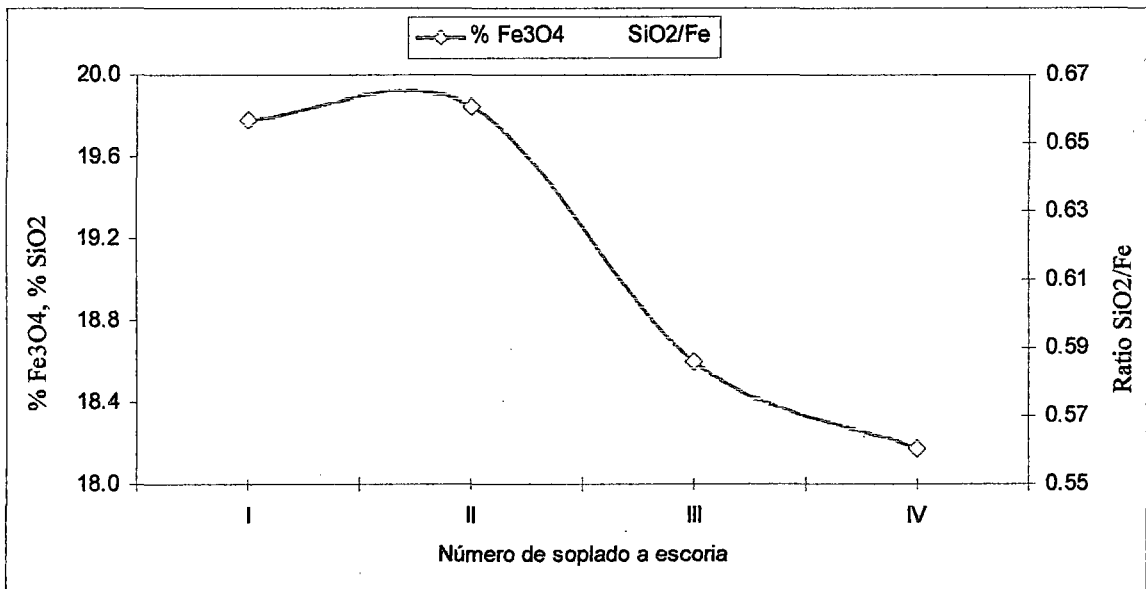
Fuente : Propia

Cuadro 2 : Análisis de Fe₃O₄ y SiO₂/Fe – Junio

N° DE SOPLADO	% Fe ₃ O ₄		SiO ₂ /Fe	
	Avg	Stdev	Avg	Stdev
I	19.4	4.8	0.57	0.08
II	22.3	6.0	0.59	0.20
III	21.1	5.6	0.61	0.09
IV	19.7	4.1	0.59	0.06

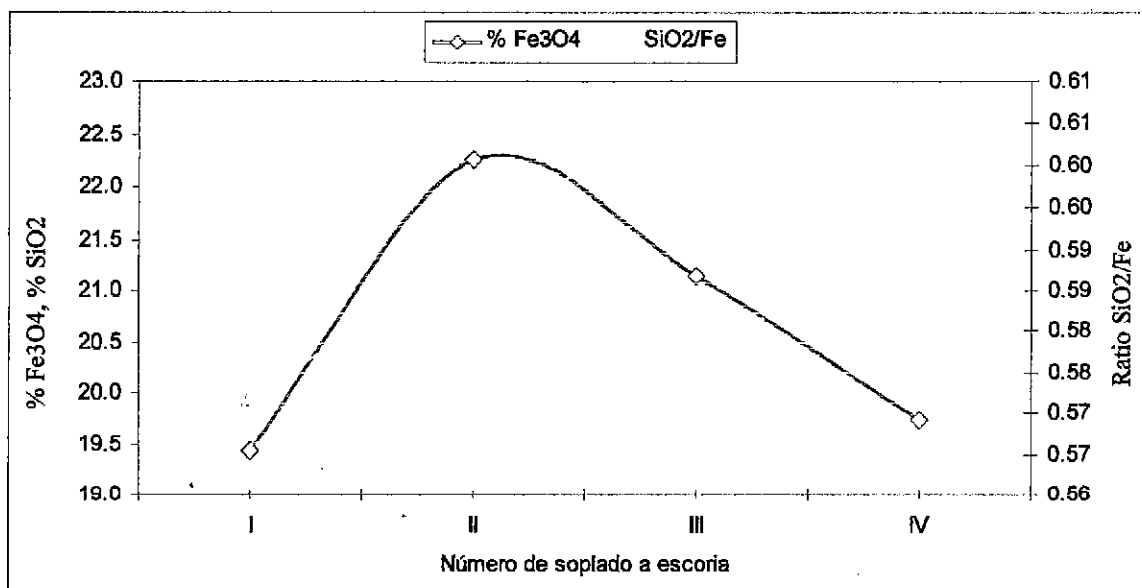
Fuente : Propia

Cuadro 3: Análisis de Fe₃O₄ y SiO₂/Fe – Julio



Fuente : Propia

Figura 16 : Tendencia del contenido Fe₃O₄ y ratio SiO₂/Fe CPS N° 5 – Junio



Fuente : Propia

Figura 17 : Tendencia del contenido Fe₃O₄ y ratio SiO₂/Fe CPS N° 5 – Julio

4.2 SEGUNDA CAMPAÑA DEL CPS N° 5

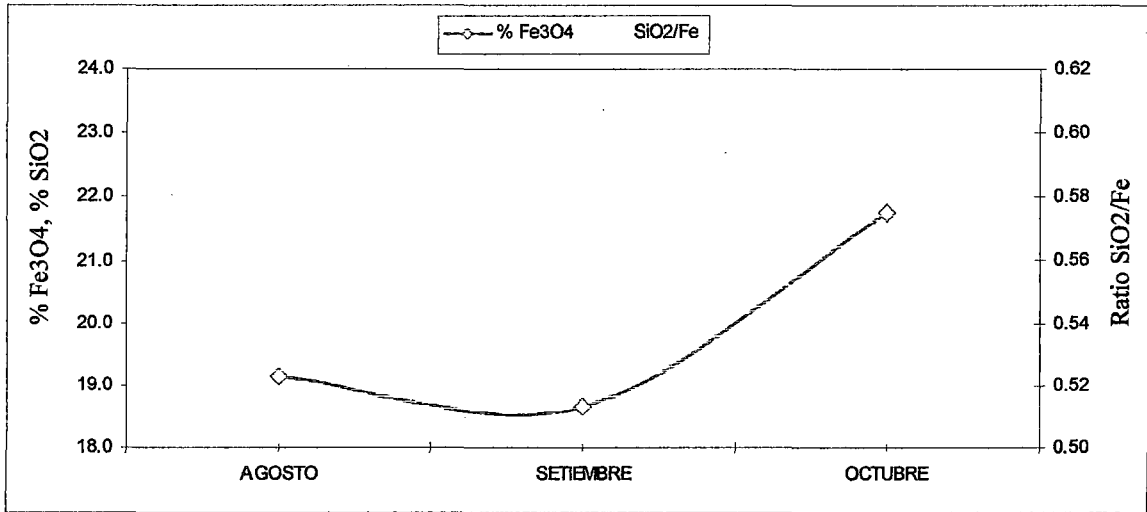
4.2.1 CONTENIDO DE Fe₃O₄ EN LAS ESCORIAS DEL CPS N° 5

El análisis del total de muestras de escoria de la segunda campaña del CPS N° 5, muestran un contenido de 19,9% en promedio de magnetita como se muestran en el cuadro 4 y figura 18:

Mes	% Fe ₃ O ₄		%SiO ₂		SiO ₂ /Fe	
	Avg	Stdev	Avg	Stdev	Avg	Stdev
AGOSTO	19.1	6.4	28.4	1.4	0.59	0.04
SETIEMBRE	18.7	5.1	28.2	1.8	0.58	0.06
OCTUBRE	21.8	6.4	27.1	1.6	0.54	0.05
PROMEDIO	19.9	6.0	27.9	1.6	0.57	0.05

Fuente : Propia

Cuadro 4 : Contenido de magnetita y sílice en la escoria del CPS N° 5 – II Campaña



Fuente : Propia

Figura 18 : Tendencia de magnetita y sílice en la escoria del CPS N° 5 – II Campaña

El comportamiento de la magnetita y el ratio SiO₂/Fe en la escoria del CPS N° 5 correspondiente a los meses de Agosto, Septiembre y Octubre se muestran a continuación:

N° DE SOPLADO	% Fe ₃ O ₄		SiO ₂ /Fe	
	Avg	Stdev	Avg	Stdev
I	19.7	5.6	0.57	0.04
II	18.3	7.1	0.58	0.04
III	19.2	5.4	0.60	0.04
IV	19.5	7.9	0.61	0.05

Fuente : Propia

Cuadro 5: Análisis de Fe₃O₄ y SiO₂/Fe – Agosto

N° SOPLADO	% Fe ₃ O ₄		SiO ₂ /Fe	
	Avg	Stdev	Avg	Stdev
I	19.5	5.0	0.55	0.06
II	18.3	5.1	0.57	0.04
III	18.5	5.9	0.60	0.08
IV	17.8	3.7	0.60	0.05

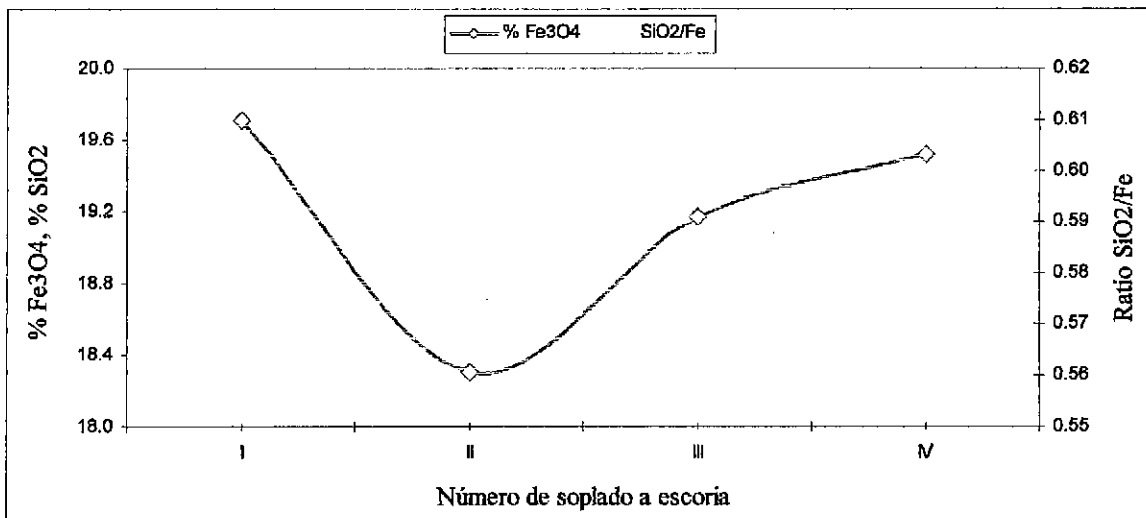
Fuente : Propia

Cuadro 6 : Análisis de Fe₃O₄ y SiO₂/Fe – Septiembre

N° SOPLADO	% Fe ₃ O ₄		SiO ₂ /Fe	
	Avg	Stdev	Avg	Stdev
I	22.1	6.2	0.52	0.04
II	22.2	6.3	0.54	0.05
III	21.1	7.4	0.55	0.04
IV	21.4	5.3	0.56	0.04

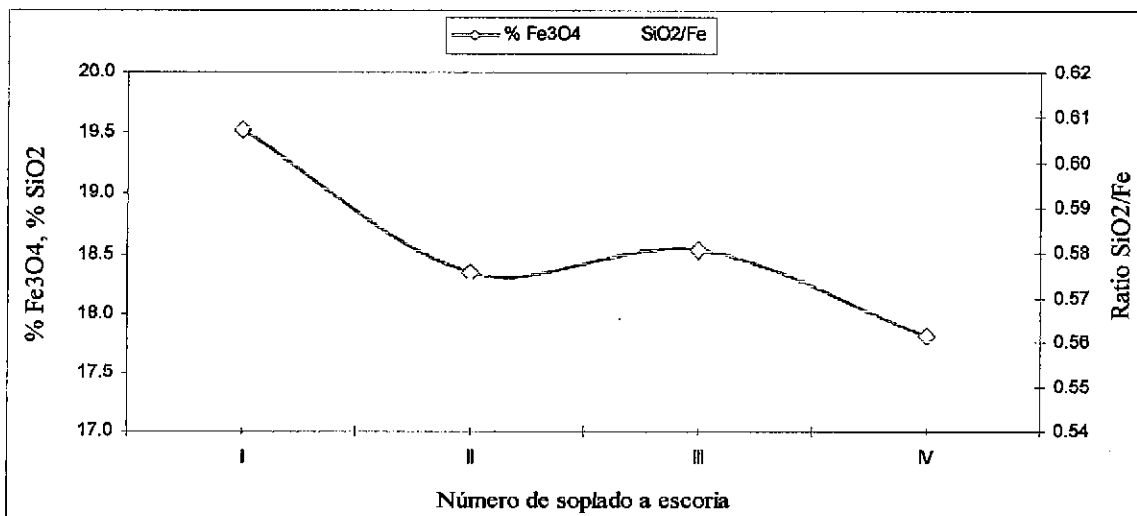
Fuente : Propia

Cuadro 7: Análisis de Fe₃O₄ y SiO₂/Fe – Octubre



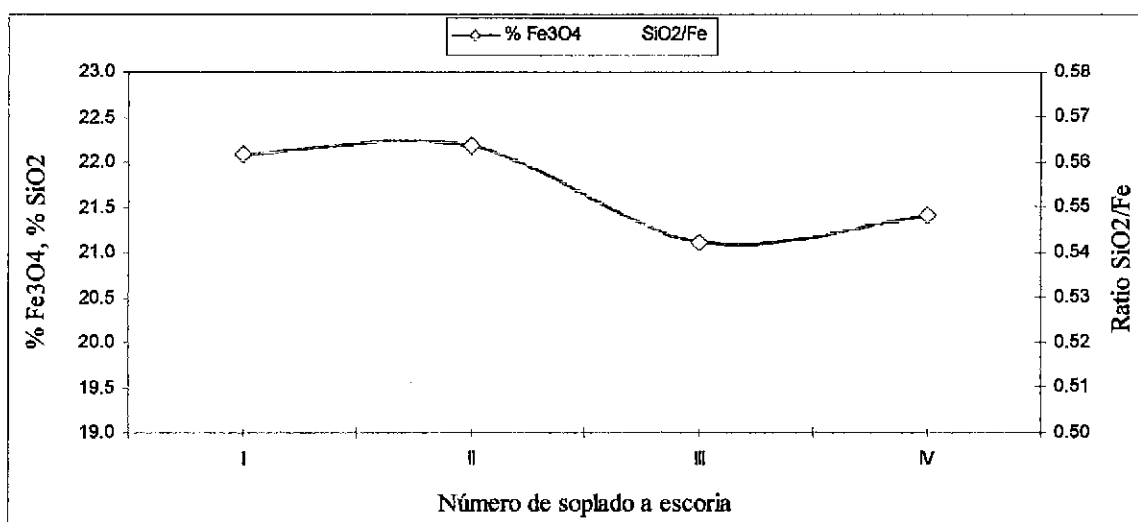
Fuente : Propia

Figura 19 : Tendencia del contenido Fe₃O₄ y ratio SiO₂/Fe CPS N° 5 – Agosto



Fuente : Propia

Figura 20 : Tendencia del contenido Fe₃O₄ y ratio SiO₂/Fe CPS N° 5 – Septiembre



Fuente : Propia

Figura 21 : Tendencia del contenido Fe₃O₄ y ratio SiO₂/Fe CPS N° 5 – Octubre

4.3 DESEMPEÑO DEL OPC.

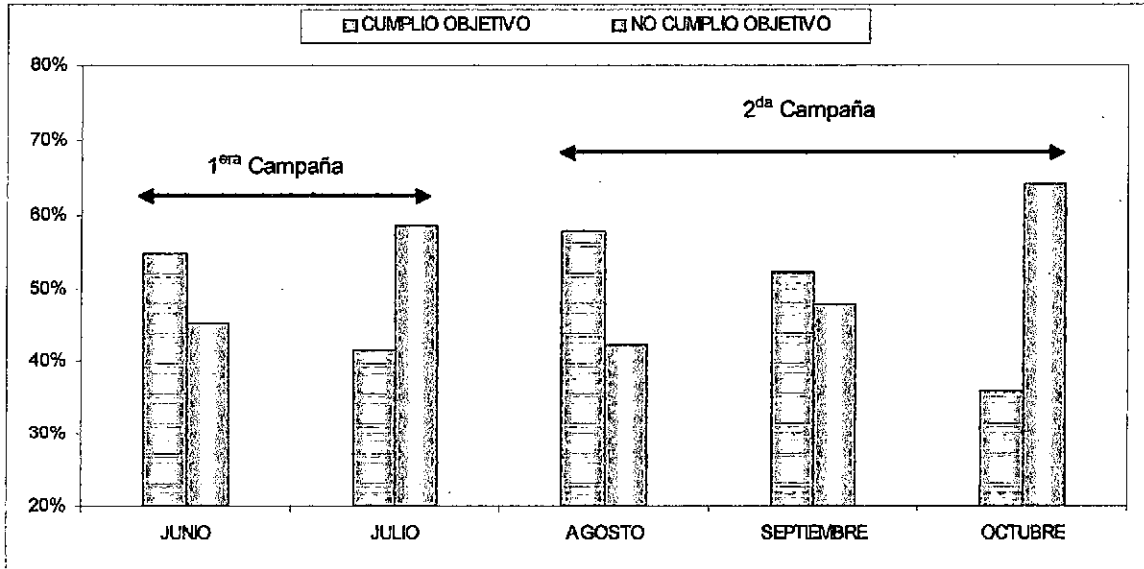
4.3.1 CUMPLIMIENTO DEL OBJETIVO DEL OPC.

La evaluación del desempeño del OPC en el CPS N° 5 esta basado principalmente en la capacidad de controlar la formación de Fe_3O_4 en la etapa de soplado a escoria, realizando el análisis para los meses: Junio, Julio, Agosto, Septiembre, Octubre (Correspondientes a la 1^{era} y 2^{da} Campaña), en el cual se considera como valores óptimos aquellas escorias con un contenido menor o igual á 18% de Fe_3O_4 , obteniendo en promedio 48% de cumplimiento y logrando un máximo del 58% en el mes de Agosto y un valor mínimo del 36% en el mes de Octubre, teniendo como herramienta de control el OPC, como se detalla a continuación en los siguiente cuadros y gráficos.

MES	N° Muestras	OBJETIVO	
		CUMPLIO	NO CUMPLIO
JUNIO	115	55%	45%
JULIO	106	42%	58%
AGOSTO	97	58%	42%
SEPTIEMBRE	163	52%	48%
OCTUBRE	173	36%	64%

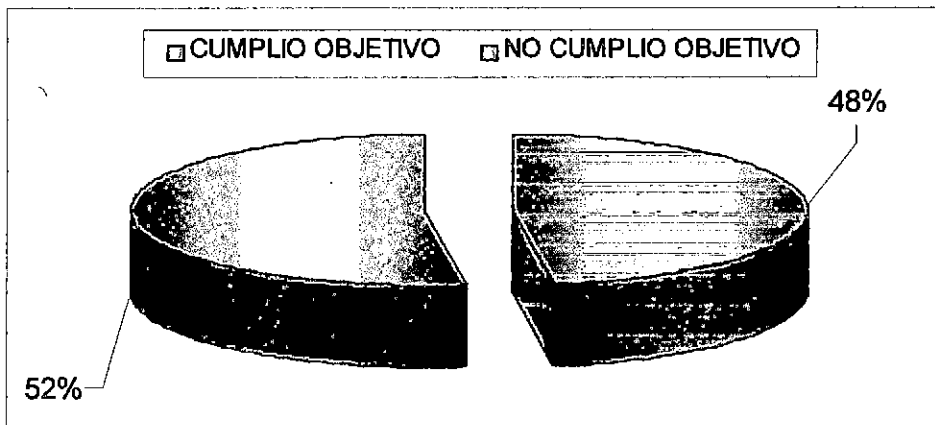
Fuente : Propia

Cuadro 8: Cumplimiento del Objetivo del OPC



Fuente : Propia

Figura 22 : Cumplimiento del Objetivo del OPC



Fuente : Propia

Figura 23 : Cumplimiento Global del OPC – 1ª y 2ª Campaña del CPS N° 5

4.3.1.1 CAUSAS DEL NO CUMPLIMIENTO DEL OBJETIVO.

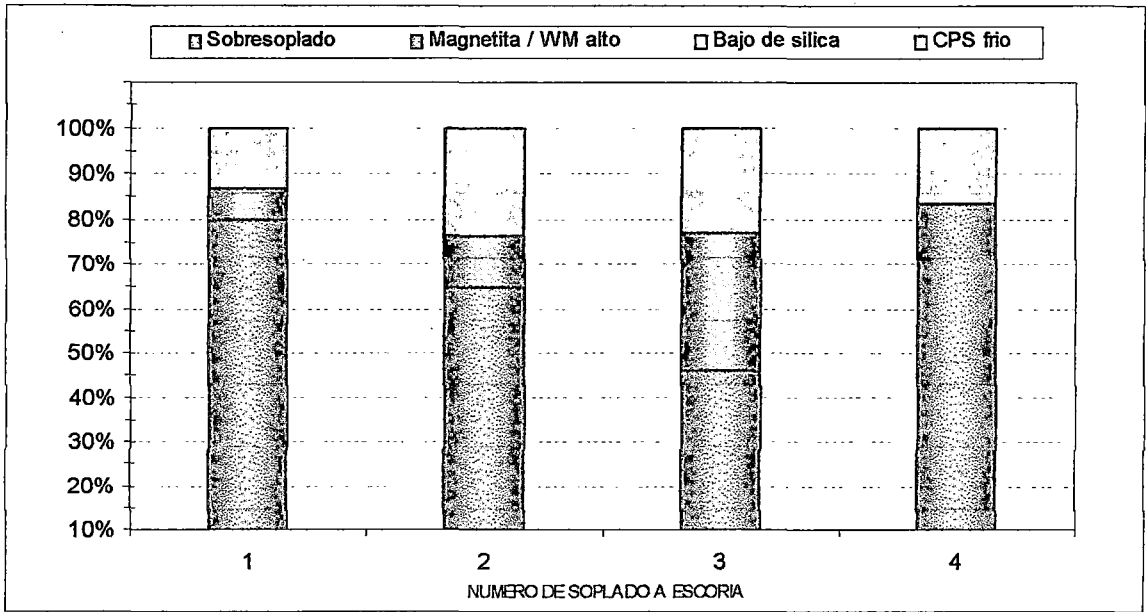
En la figura 22 se puede observar que al inicio de campaña el cumplimiento del objetivo del OPC para controlar la formación de escoria toma su valor máximo, luego va descendiendo gradualmente, las escorias que no lograron cumplir el objetivo

representan un importante porcentaje del total de escorias analizadas, teniendo como principales causas las siguientes:

- **Sobresoplado:** La no oportuna eliminación de la escoria formada en la oxidación del FeS genera una sobreoxidación del FeO generando una excesiva formación de magnetita ocasionando así que la fase de escoria sea mas viscosa produciendo un arrastre de cobre en la escoria. Un ejemplo claro de sobresoplado se puede visualizar en la figura 32 en donde se observa que en el segundo soplado los parámetros ópticos PbS y PbO se interseccionaron, llevando el metal blanco hasta 76-79% en Cu.
- **Magnetita / Metal blanco alto:** Cuando ocurre un sobresoplado a escoria, como se vio anteriormente la escoria formada tendrá un alto contenido de Fe_3O_4 y grado de metal blanco. En el soplado siguiente el alto grado de metal y la escoria remanente contenido en el baño favorecerá la formación de Fe_3O_4 . En la figura 31 se puede observar que en el primer soplado a escoria se produjo un sobresoplado el cual repercute de manera desfavorable en el control de la formación de magnetita.
- **Bajo de Silica:** El FeO es un óxido básico que a altas temperaturas y en presencia de oxígeno tiende a oxidarse a Fe_3O_4 , por ello la necesidad de la alimentación de sílica que siendo un óxido ácido baja la actividad del FeO acomplejándolo en forma de $2FeO.SiO_2$ y evitando así la excesiva formación de Fe_3O_4 . Por ello una baja adición de sílica en la etapa del soplado a escoria será insuficiente para la reducción de la actividad y acomplejamiento del FeO. Un ejemplo ello se puede apreciar en la figura 33

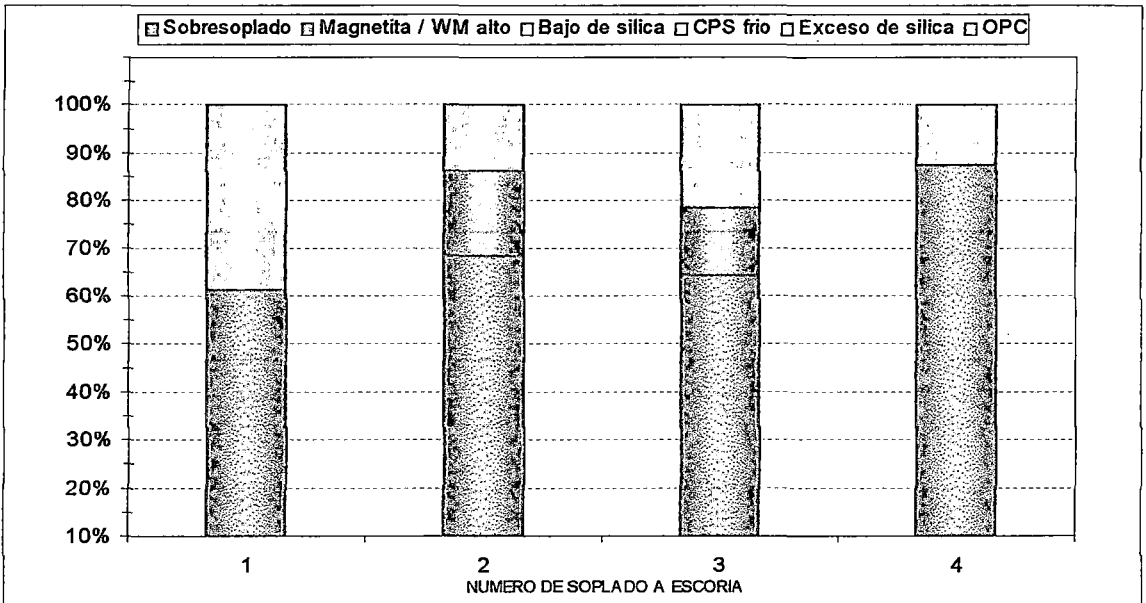
- **Exceso de Silica:** Un alimentación excesiva de silica al convertidor ocasiona una película de silica en el baño fundido perturbando la formación de la llama en el interior del convertidor, ocasionando una tardía medición de los parámetros ópticos del OPC interrumpiendo el correcto seguimiento de la reacción de conversión. Un ejemplo ello se puede apreciar en la figura 34
- **OPC:** La causa denominada "OPC", es principalmente debido a la falla del sistema de medición ocasionado por la obstrucción o ensuciamiento del telescopio y también a la falla del sistema de almacenamiento de información hacia el servidor industrial. Un ejemplo ello se puede apreciar en la figura 35

A continuación se presenta los gráficos de las causas del no cumplimiento del objetivo del OPC por soplado a escoria correspondientes a la 1^{era} y 2^{da} campaña del CPS N° 5



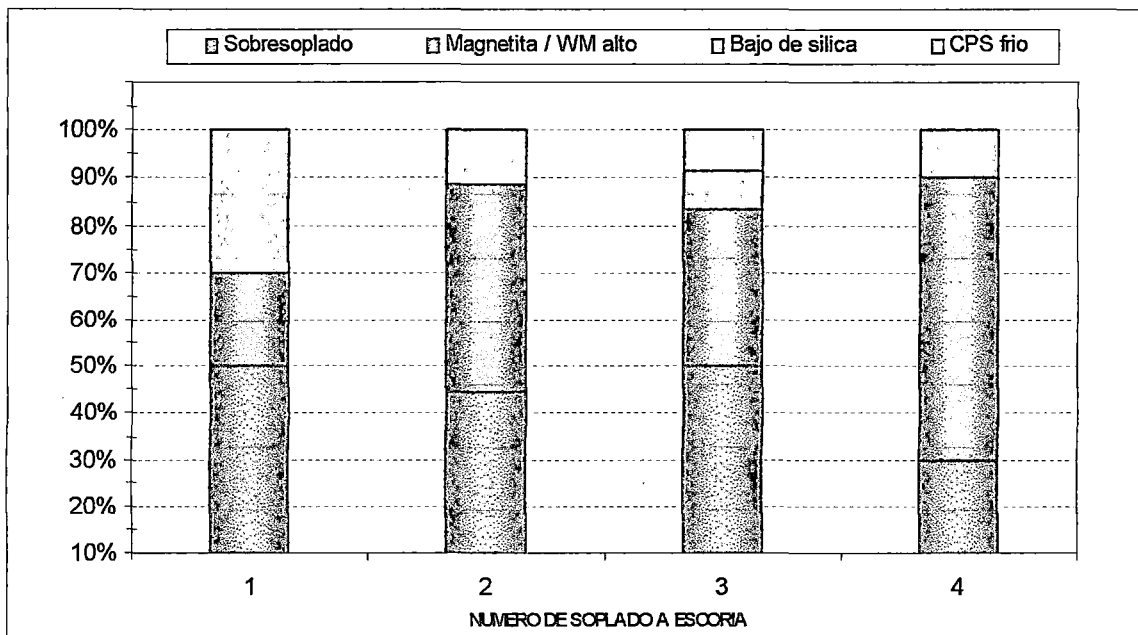
Fuente : Propia

Figura 24: Causas del no cumplimiento del objetivo del OPC – Junio



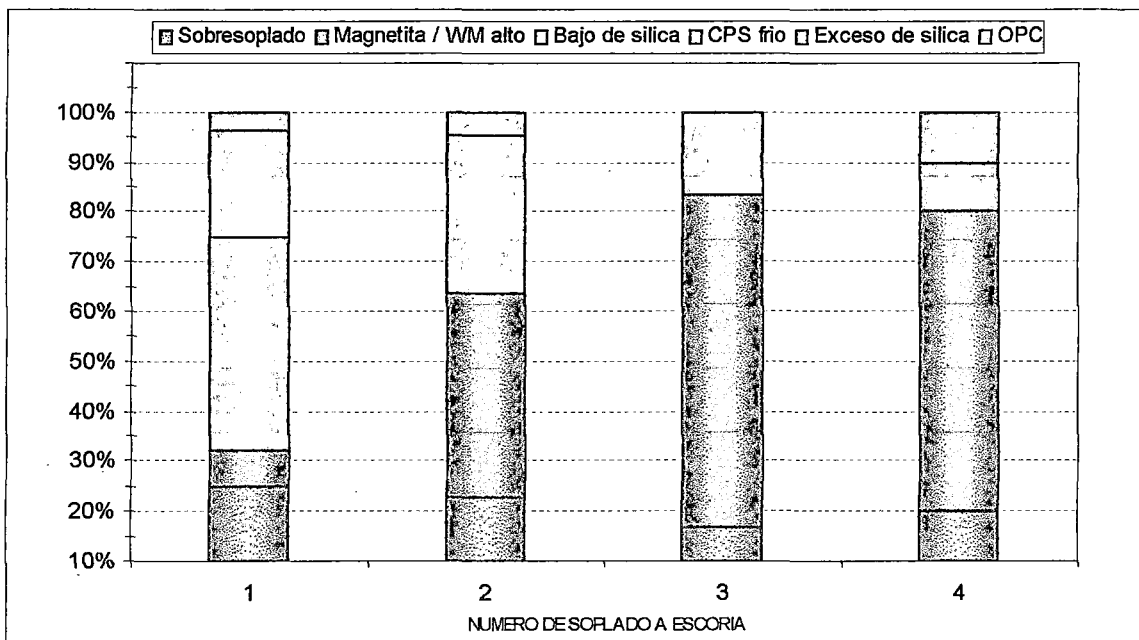
Fuente : Propia

Figura 25: Causas del no cumplimiento del objetivo del OPC – Julio



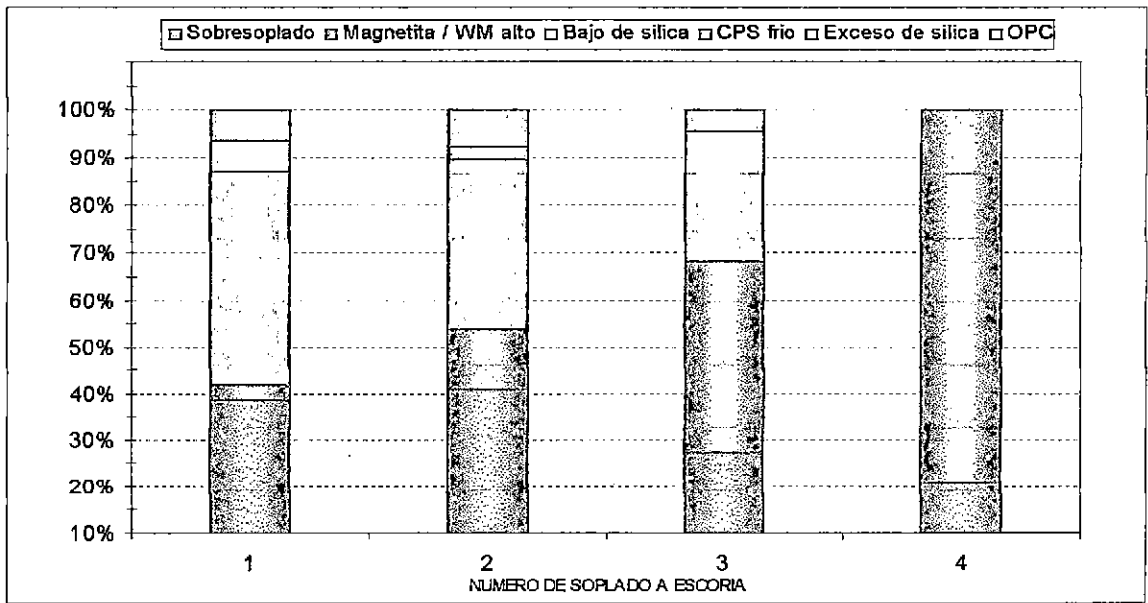
Fuente : Propia

Figura 26 : Causas del no cumplimiento del objetivo del OPC – Agosto



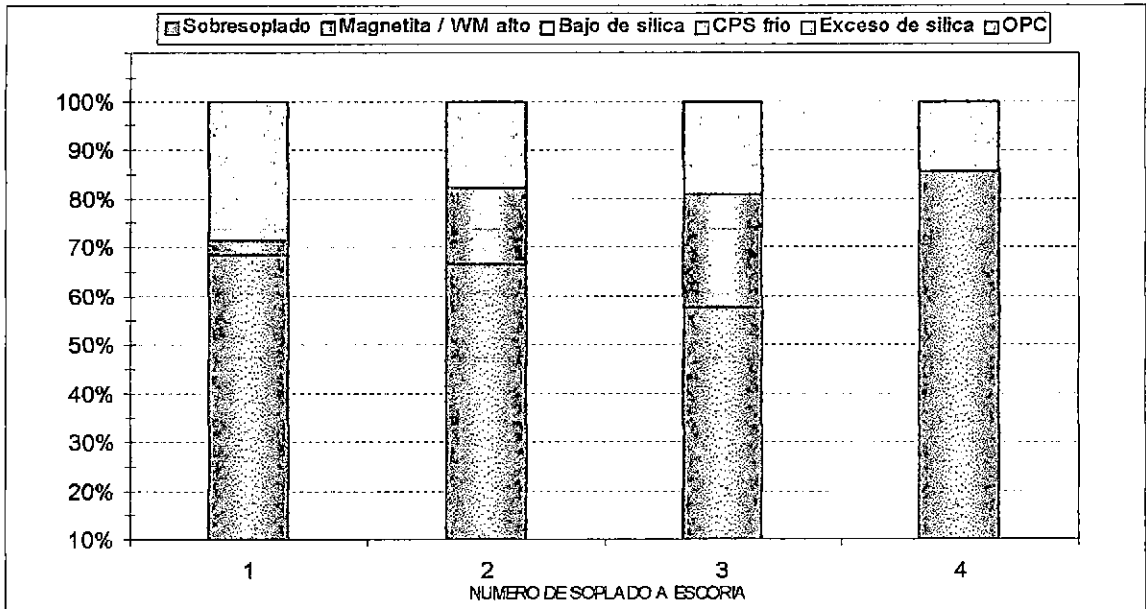
Fuente : Propia

Figura 27 : Causas del no cumplimiento del objetivo del OPC – Septiembre



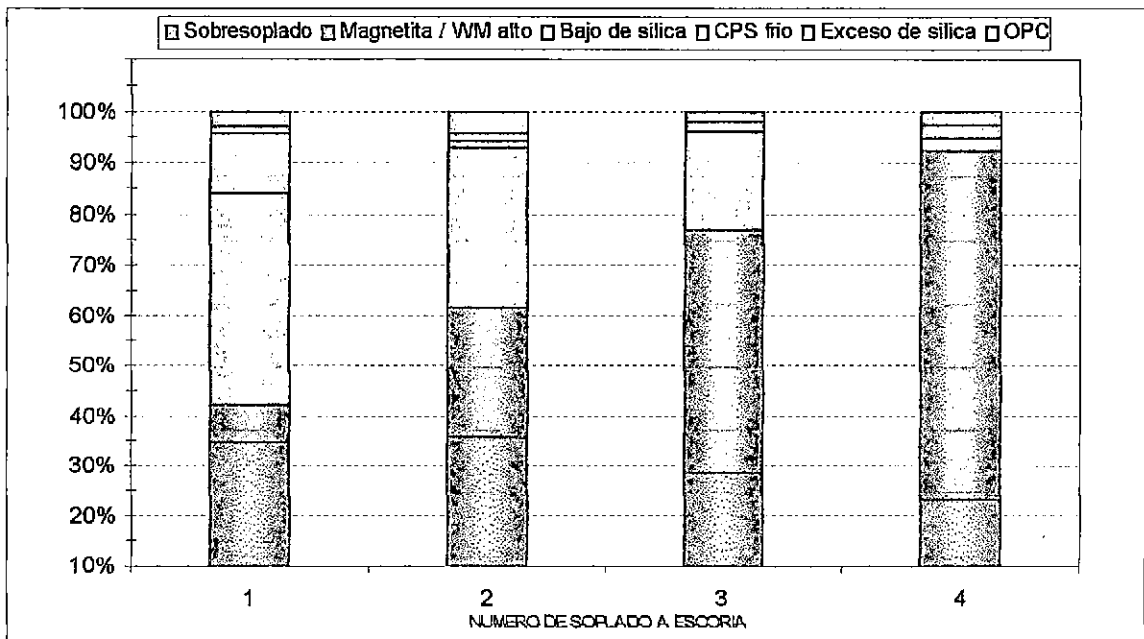
Fuente : Propia

Figura 28 : Causas del no cumplimiento del objetivo del OPC – Octubre



Fuente : Propia

Figura 29 : Causas del no cumplimiento del objetivo del OPC – Acumulado I Campaña

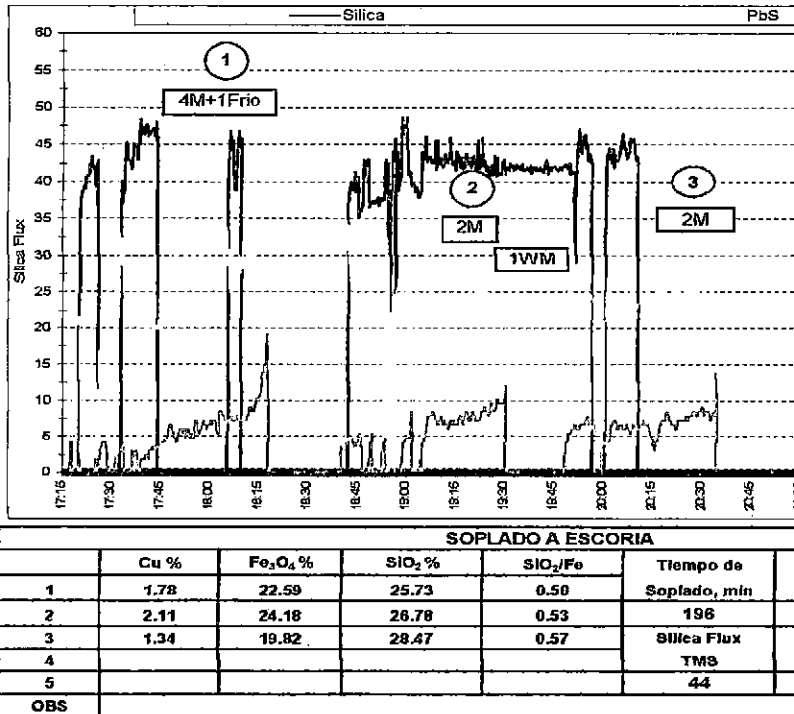


Fuente : Propia

Figura 30 : Causas del no cumplimiento del objetivo del OPC – Acumulado II Campaña

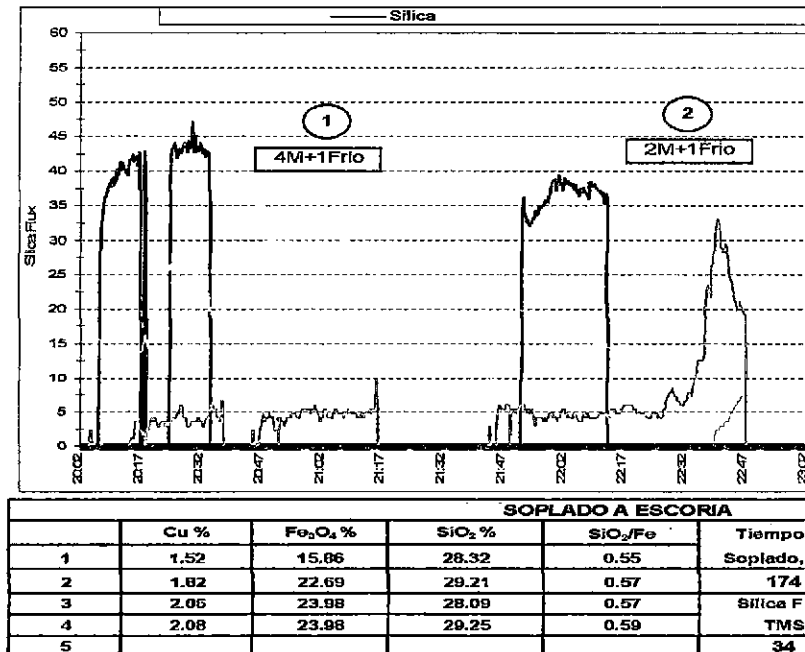
MES	CAUSA	NUMERO DE SOPLADO			
		1	2	3	4
JUNIO	Sobresoplado	80%	65%	46%	71%
	Magnetita / WM alto	7%	12%	31%	
	Bajo de silica	13%	24%	23%	14%
	CPS frio				
JULIO	Sobresoplado	61%	68%	64%	88%
	Magnetita / WM alto		18%	14%	
	Bajo de silica	39%	14%	21%	13%
	CPS frio				
AGOSTO	Sobresoplado	50%	44%	50%	30%
	Magnetita / WM alto	20%	44%	33%	60%
	Bajo de silica	30%	11%	8%	10%
	CPS frio			8%	
SETIEMBRE	Sobresoplado	25%	23%	17%	20%
	Magnetita / WM alto	7%	41%	67%	60%
	Bajo de silica	43%	32%	17%	
	CPS frio	21%	5%		
	Exceso de silica	4%			10%
	OPC				10%
OCTUBRE	Sobresoplado	39%	41%	27%	21%
	Magnetita / WM alto	3%	13%	41%	79%
	Bajo de silica	45%	36%	27%	
	CPS frio	6%			
	Exceso de silica		3%		
	OPC	6%	8%	5%	

Cuadro 9 : Causas del No Cumplimiento del Objetivo del OPC – 1^{era} y 2^{da} Campaña.



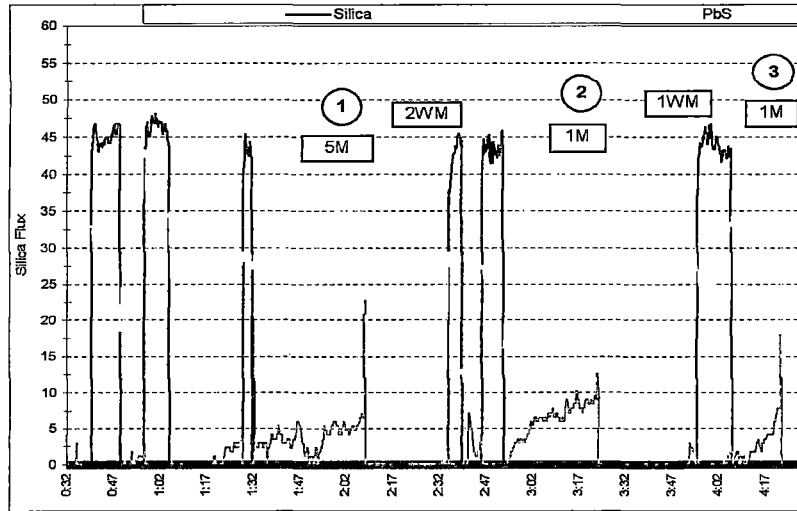
Fuente : Propia

Figura 31 : Magnetita / Metal Alto



Fuente : Propia

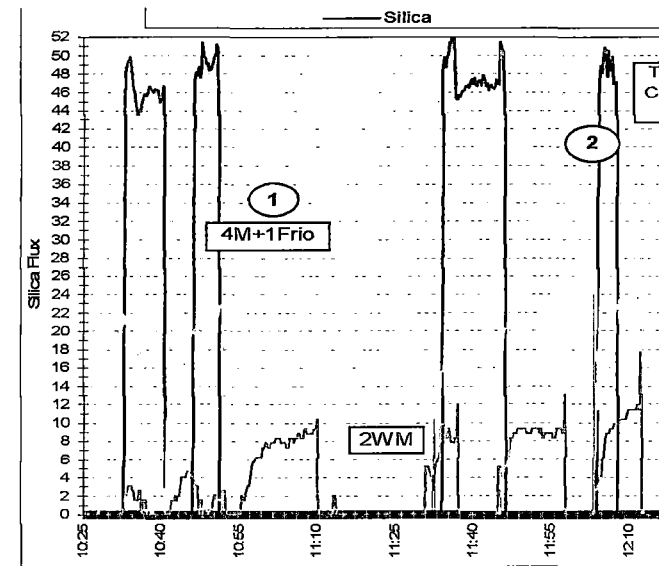
Figura 32 : Sobresoplado



SOPLADO A ESCORIA						
	Cu %	Fe ₃ O ₄ %	SiO ₂ %	SiO ₂ /Fe	Tiempo de Soplado, min	Mata Ollas
1	3.26	26.26	26.38	0.55	212	8
2	3.25	25.77	27.19	0.56		
3	7.09	25.07	23.89	0.51	Silica Flux	Tas
4	6.95	24.78	24.56	0.51	TMS	Fund/oli
5					37	4.6

Fuente : Propia

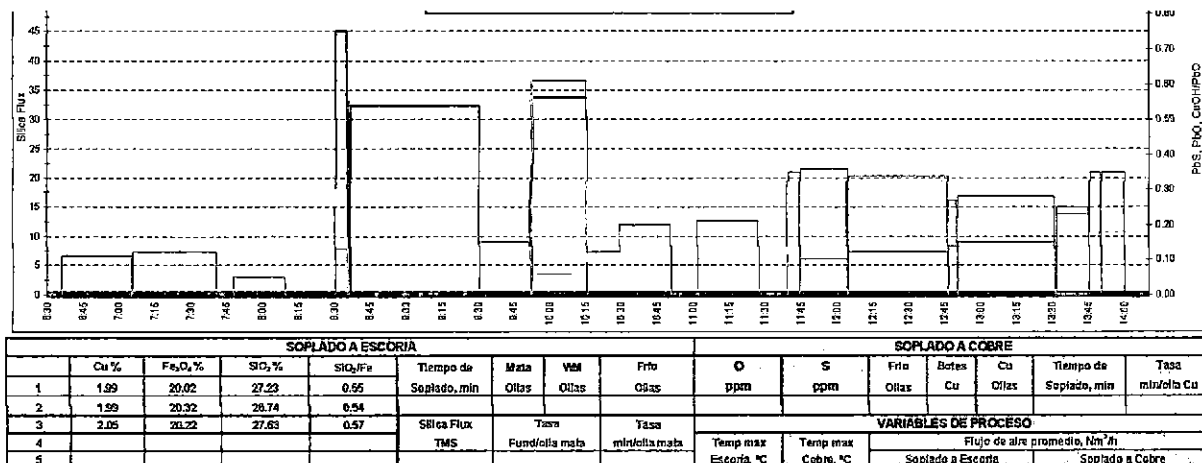
Figura 33 : Bajo de silica



SOPLADO A ESCORIA				
	Cu %	Fe ₃ O ₄ %	SiO ₂ %	SiO ₂ /Fe
1	2.21	21.80	33.40	0.73
2				

Fuente : Propia

Figura 34 : Exceso de Silica



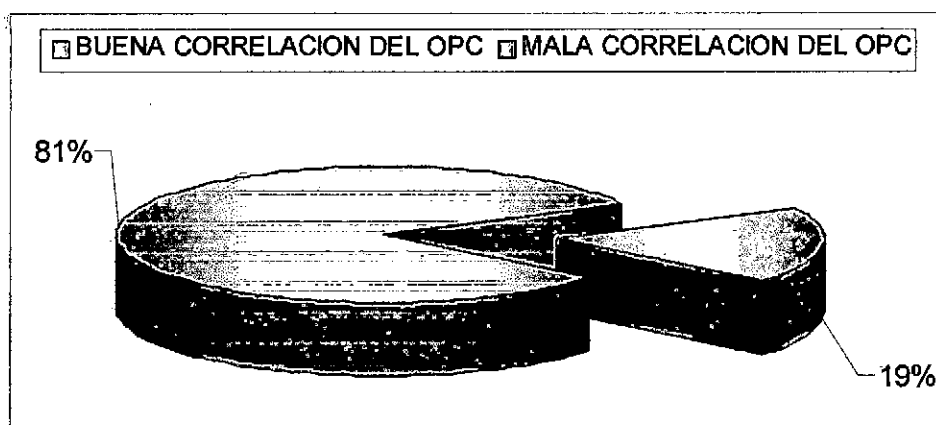
Fuente : Propia

Figura 35 : Falla del OPC

4.3.2 PERFORMANCE DE LAS TENDENCIAS DE PbO y PbS GENERADAS POR EL OPC EN EL SOPLADO A ESCORIA.

Siendo el OPC un instrumento de medición que como resultado presenta tendencias en línea de los parámetros ópticos PbS, PbO y CuOH; se evaluó la capacidad del OPC para generar curvas que se puedan interpretar claramente bajo los lineamientos de operación del OPC anteriormente mencionados para la determinación de los puntos finales del soplado a escoria y cobre.

El SEMTECH OPC SYSTEM genero curvas de tendencia con buena correlación de los parámetros ópticos en un 81% del total de curvas generadas como se puede apreciar en la figura 36



Fuente : Propia

Figura 36: Desempeño del OPC – 1^{era} y 2^{da} Campaña

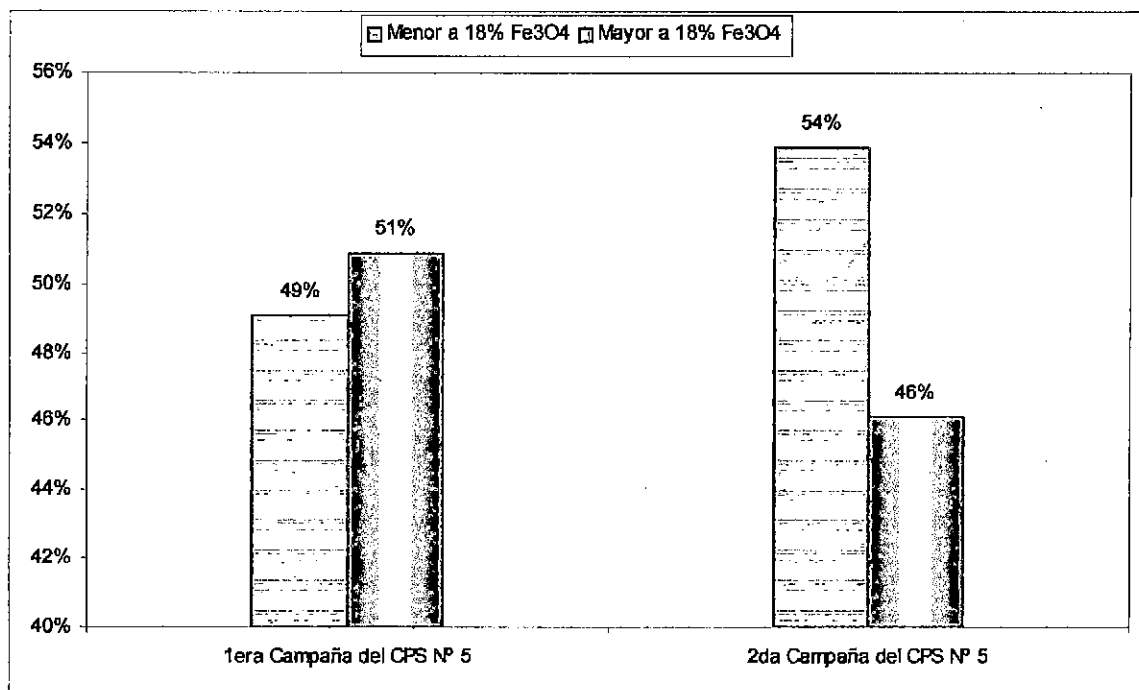
Del total de muestras solo el 81% mostraron buena correlación siendo posible el seguimiento del proceso de conversión, los contenidos de Fe_3O_4 obtenidos por el Operador del CPS bajo estas condiciones se muestran en el cuadro 10

	% Fe_3O_4	
	Average	Desv
1 ^{era} campaña	20.0	5.1
2 ^{da} campaña	19.0	5.6
Acumulado	19.4	5.4

Fuente : Propia

Cuadro 10 : Porcentaje Fe_3O_4 obtenido con buenas correlaciones del OPC

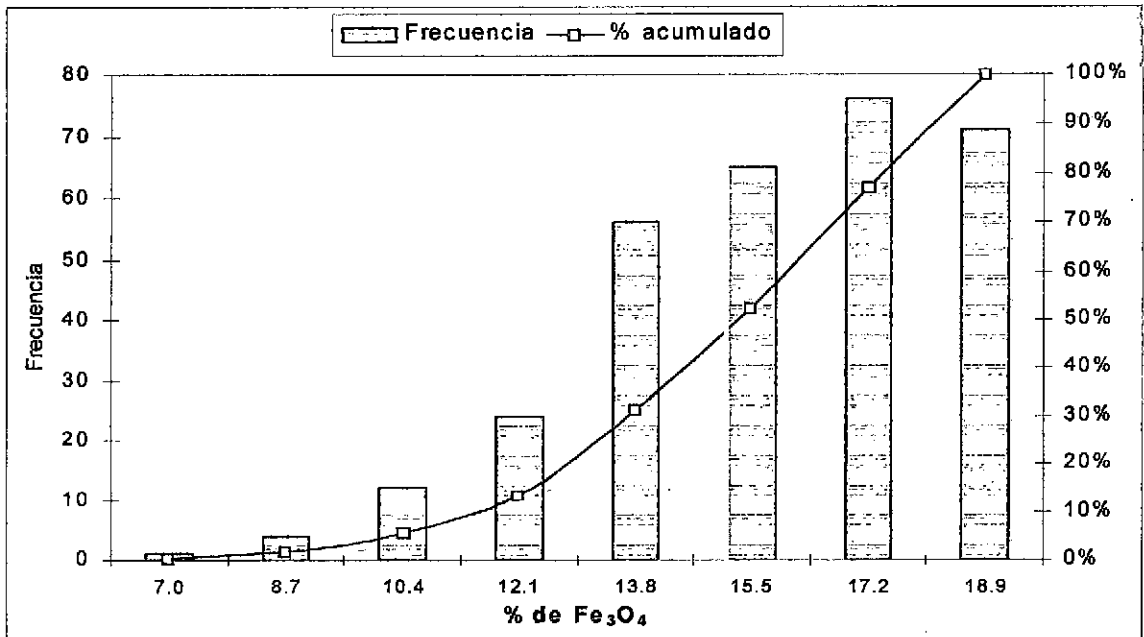
En términos de cumplimiento del objetivo de las curvas de tendencia con buena correlación de los parámetros ópticos, el Operador del CPS logro para la primera y segunda campaña una eficacia del 49% y 51% respectivamente como se puede apreciar en la figura 37. Se observa un crecimiento en la eficacia del Operador del CPS en un 9,7%.



Fuente : Propia

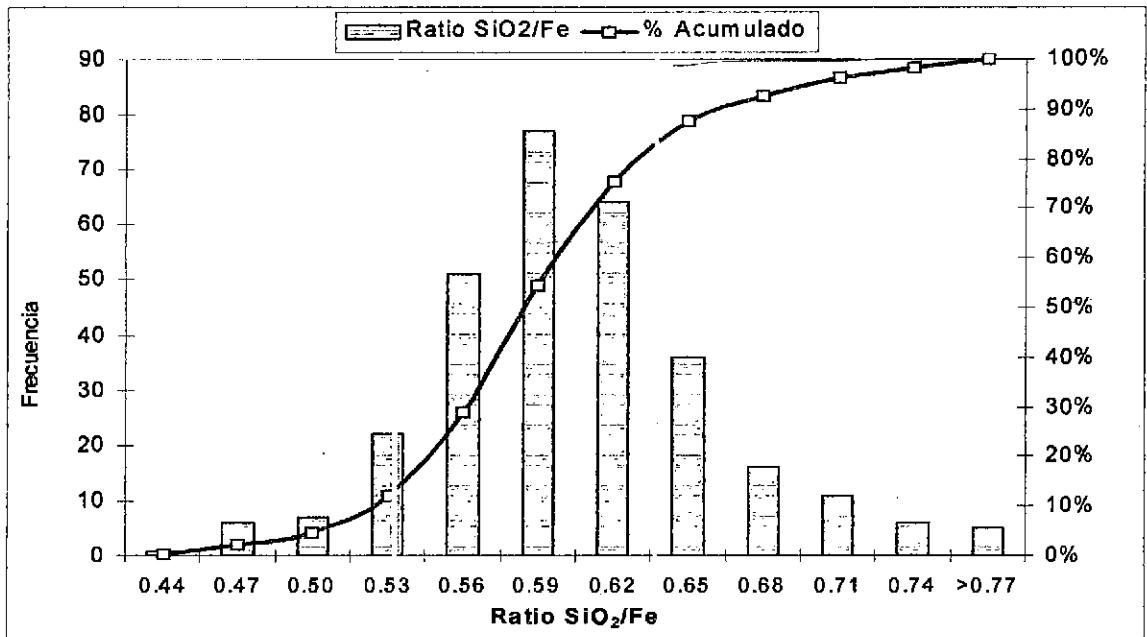
Figura 37 : Cumplimiento del objetivo - Obtenidos con Buenas correlaciones del OPC

El contenido de Fe_3O_4 para los sopladados a escoria que fueron obtenidos mediante una buena correlación del OPC y cumplieron con el objetivo fue de $15,6\% \pm 2,4$ para la primera campaña y de $14,8\% \pm 2,6$ para la segunda campaña. En el acumulado presento $15,1\% \pm 2,5$ de Fe_3O_4 , la distribución de estas muestras de escoria se muestran en la figura 38. La relación SiO_2/Fe para estas escorias fue de $0,59 \pm 0,06$ como se puede observar en la figura 39.



Fuente : Propia

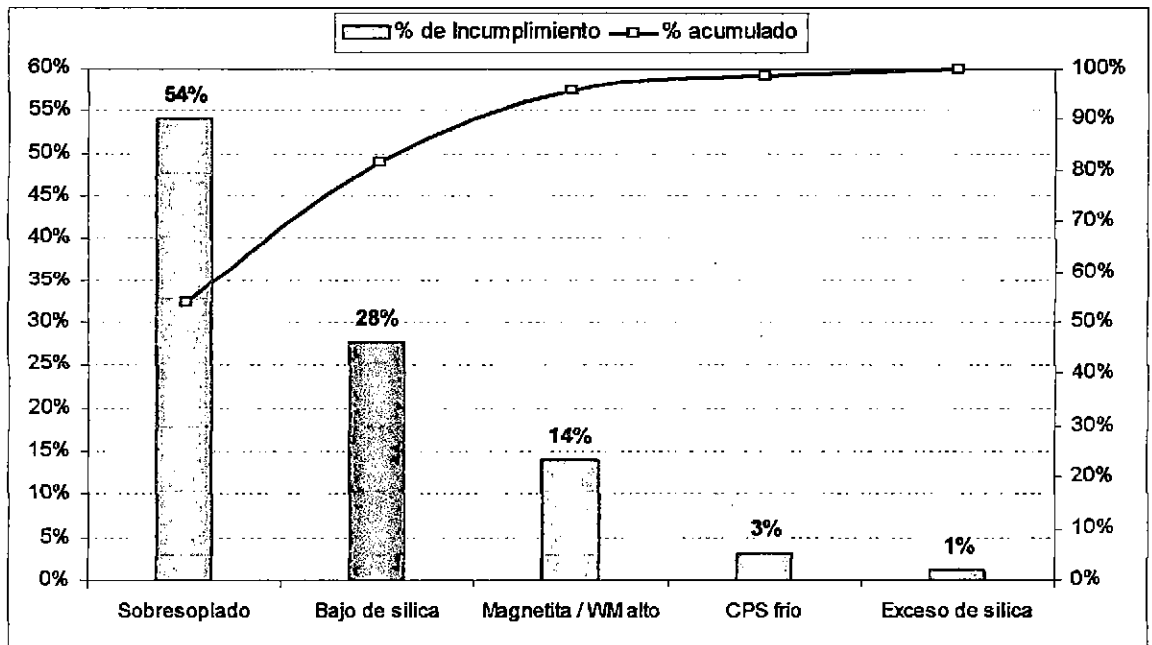
Figura.38: Escorias obtenidas con buena correlación del OPC y que cumplieron el objetivo.



Fuente : Propia

Figura 39: Relación SiO₂/Fe en escorias con buena correlación del OPC y que cumplieron con el objetivo

Por otro lado las causas que incidieron para que el Operador no tuviera eficacia con el OPC aun teniendo buenas curvas de tendencia, se muestran en la figura 40



Fuente : Propia

Figura 40 : Causas del incumplimiento del OPC en tendencias con buena correlación - 1^{era} y 2^{da} campaña

Como se aprecia en la figura 40 la principal causa es el sobresoplado, la cual puede ser remediada por el Operador del CPS realizando un seguimiento a las tendencias del OPC verificando que los parámetros PbS y PbO no lleguen a intersectarse. Si se logra superar el problema del sobresoplado el desempeño del OPC se elevaría hasta un 77,9% en el acumulado.

4.3.3 TIEMPO DE SOPLADO A ESCORIA Y COBRE

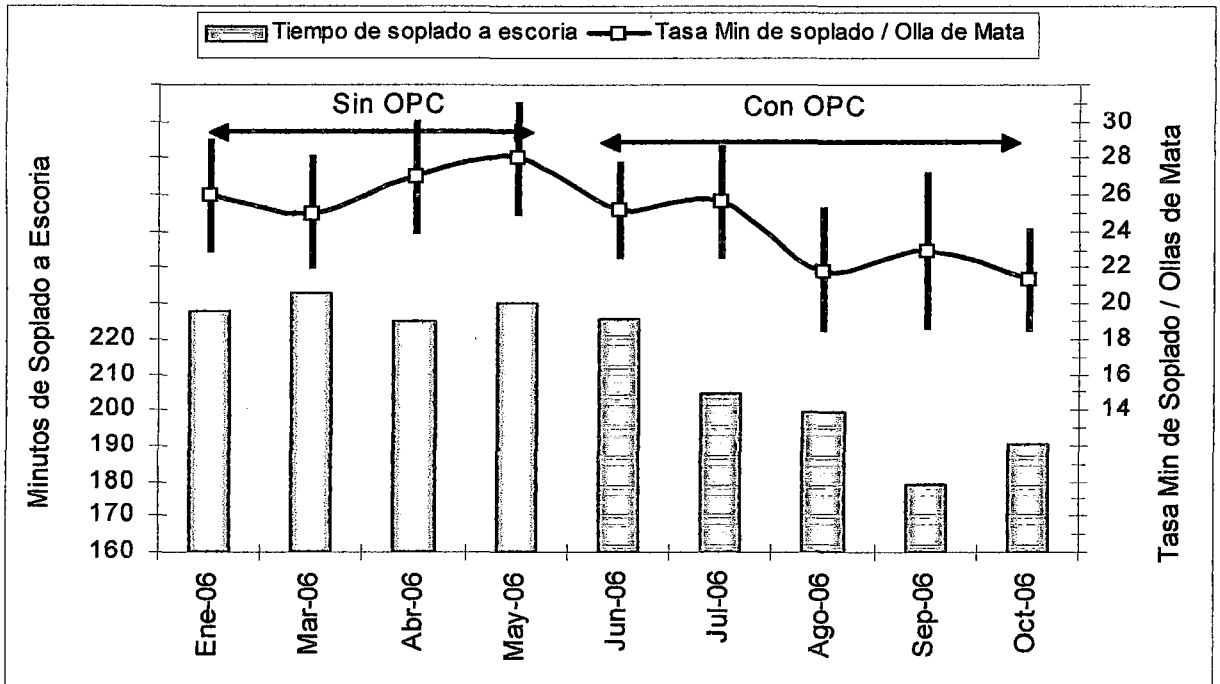
4.3.3.1 SOPLADO A ESCORIA

Los resultados muestran que los tiempos de soplado a escoria fueron disminuyendo mes a mes desde un máximo de 226 ± 35 minutos (mes de Junio), hasta un mínimo de 179 ± 54 minutos (mes de Septiembre), tienen con una tasa de soplado de 21 ± 3 Minutos de soplado /Olla de mata, la evolución del tiempo y tasa de soplado a escoria fueron evolucionando favorablemente como se muestra a continuación.

MES	Tiempo de soplado		Tasa de soplado	
	min	stdev	min/olla mata	stdev
Ene-06	228	30	26	3
Mar-06	233	35	25	3
Abr-06	225	29	27	3
May-06	230	41	28	3
Jun-06	226	35	25	3
Jul-06	205	48	26	3
Ago-06	199	43	22	3
Sep-06	179	54	23	4
Oct-06	191	42	21	3

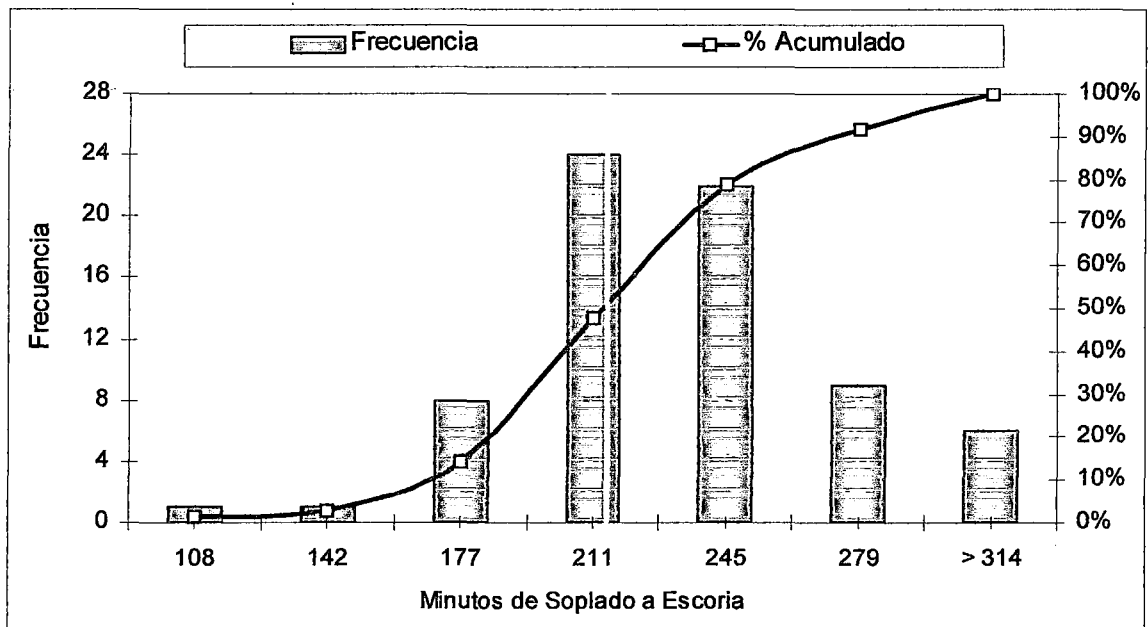
Fuente : Propia

Cuadro 11 : Tiempo y Tasa de Soplado a Escoria – 1^{era} y 2^{da} Campaña



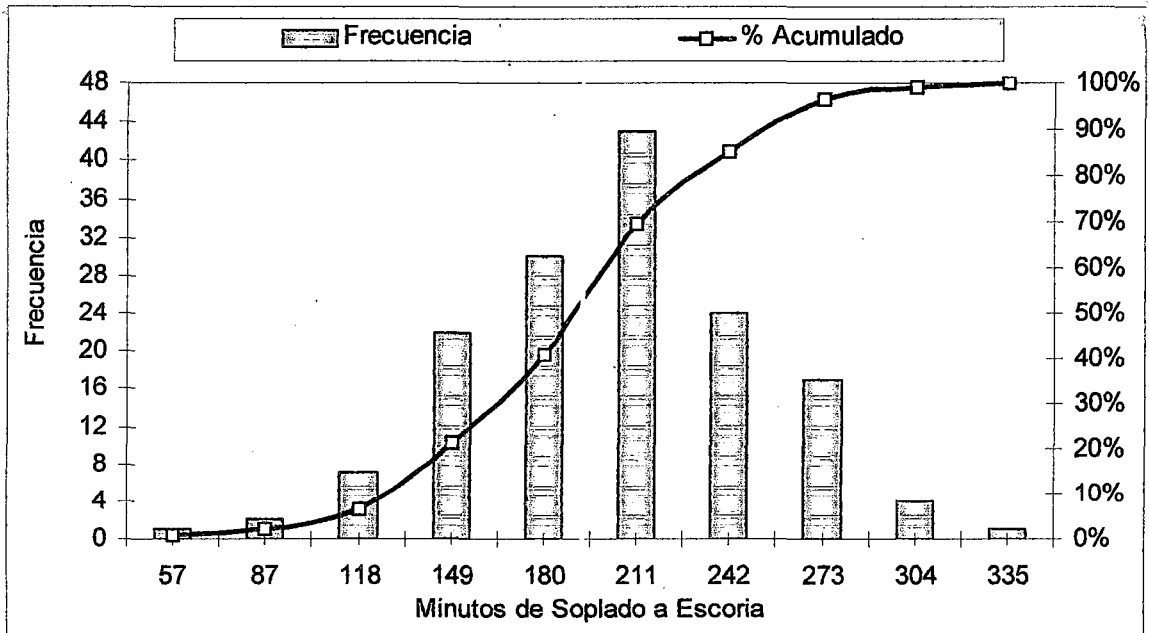
Fuente : Propia

Figura 41: Tiempo y Tasa de Soplado a Escoria – 1^{era} y 2^{da} Campaña



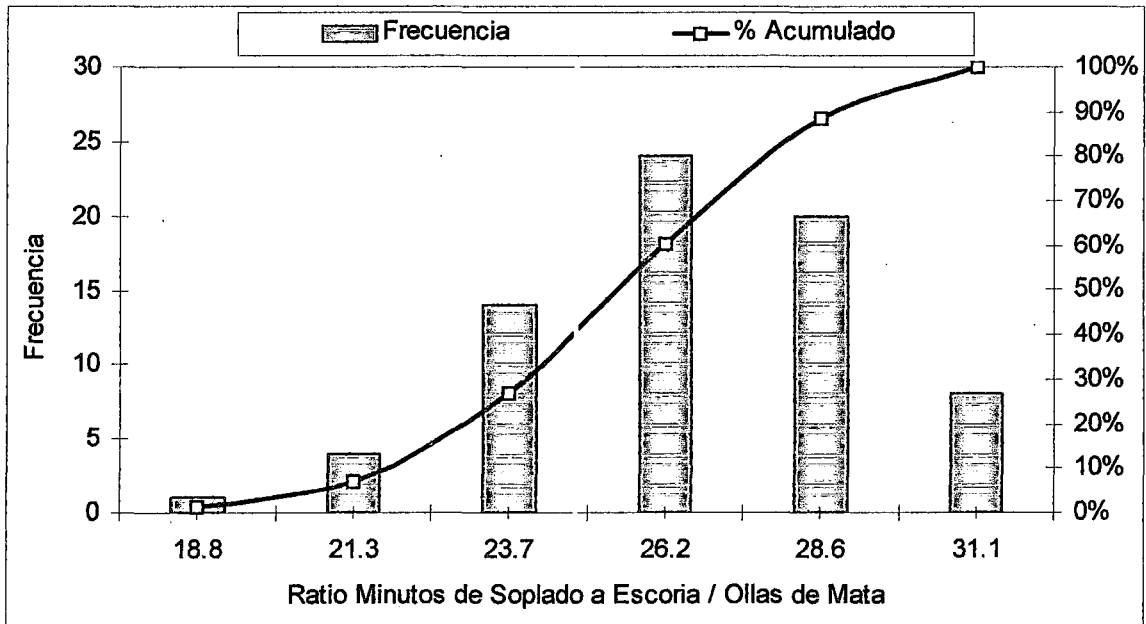
Fuente : Propia

Figura 42: Distribución del Tiempo de Soplado a Escoria – 1^{era} Campaña



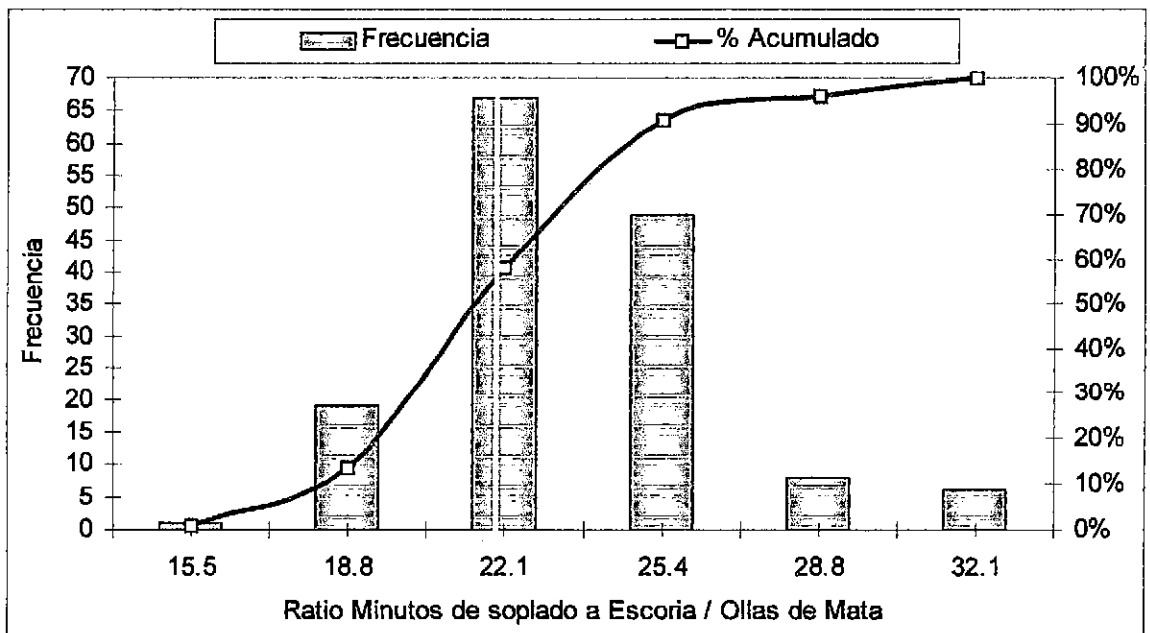
Fuente : Propia

Figura 43: Distribución del Tiempo de Soplado a Escoria – 2^{da} Campaña



Fuente : Propia

Figura 44: Distribución de la Tasa Minutos de Soplado a Escoria / Ollas de Mata 1^{era} Campaña



Fuente: Propia

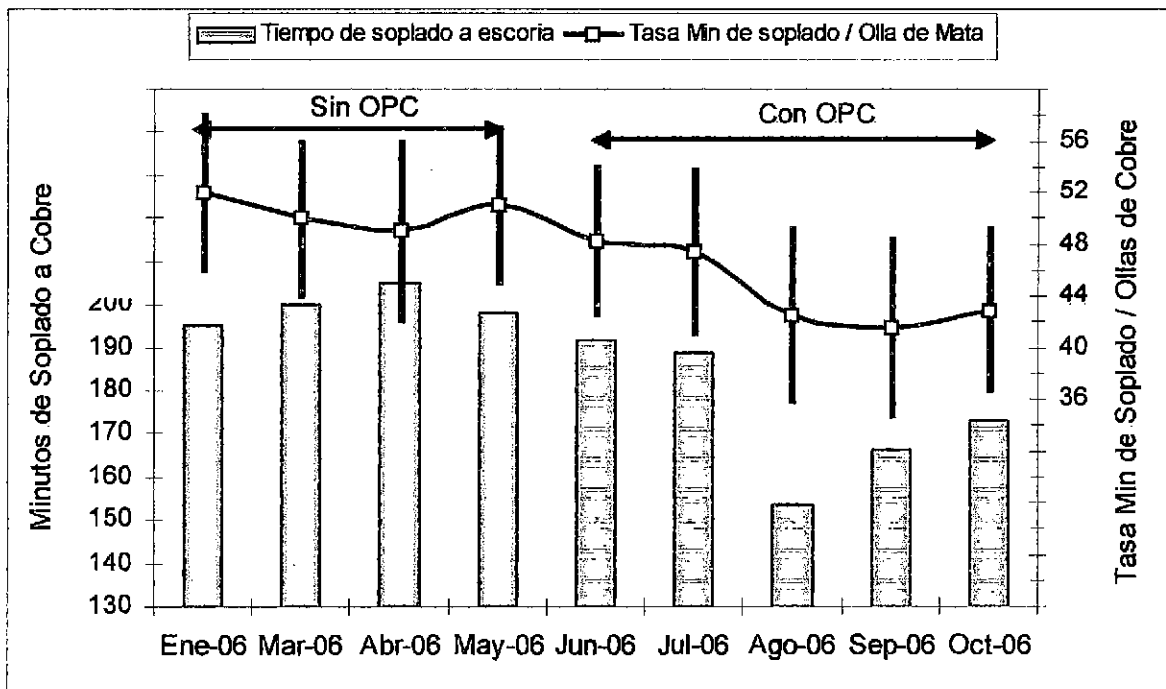
Figura 45: Distribución de la Tasa Minutos de Soplado a Escoria / Ollas de Mata
2^{da} Campaña

4.3.3.2 SOPLADO A COBRE

Los resultados muestran que los tiempos de soplado a cobre fueron disminuyendo mes a mes desde un máximo de 192 ± 19 minutos (mes de Junio), hasta un mínimo de 154 ± 19 minutos (mes de Agosto), obteniendo una tasa de soplado de 42 ± 7 minutos de soplado / Olla de Cobre, la evolución del tiempo y tasa de soplado a cobre fueron evolucionando favorablemente como se muestra a continuación.

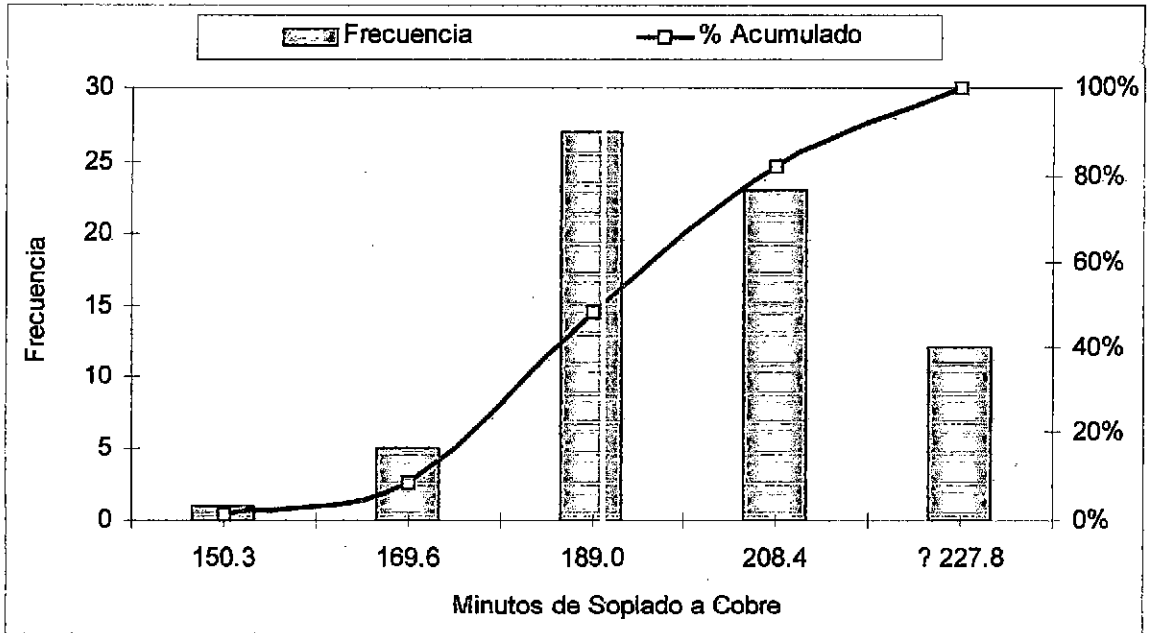
MES	Tiempo de soplado		Tasa de soplado	
	min	stdev	min/olla Cu	stdev
Ene-06	195	22	52	6
Mar-06	200	26	50	6
Abr-06	205	24	49	7
May-06	198	25	51	6
Jun-06	192	19	48	6
Jul-06	189	16	47	6
Ago-06	154	19	42	7
Sep-06	166	19	42	7
Oct-06	173	21	43	6

Cuadro 11: Tiempo y Tasa de Soplado a Cobre – 1^{era} y 2^{da} Campaña.



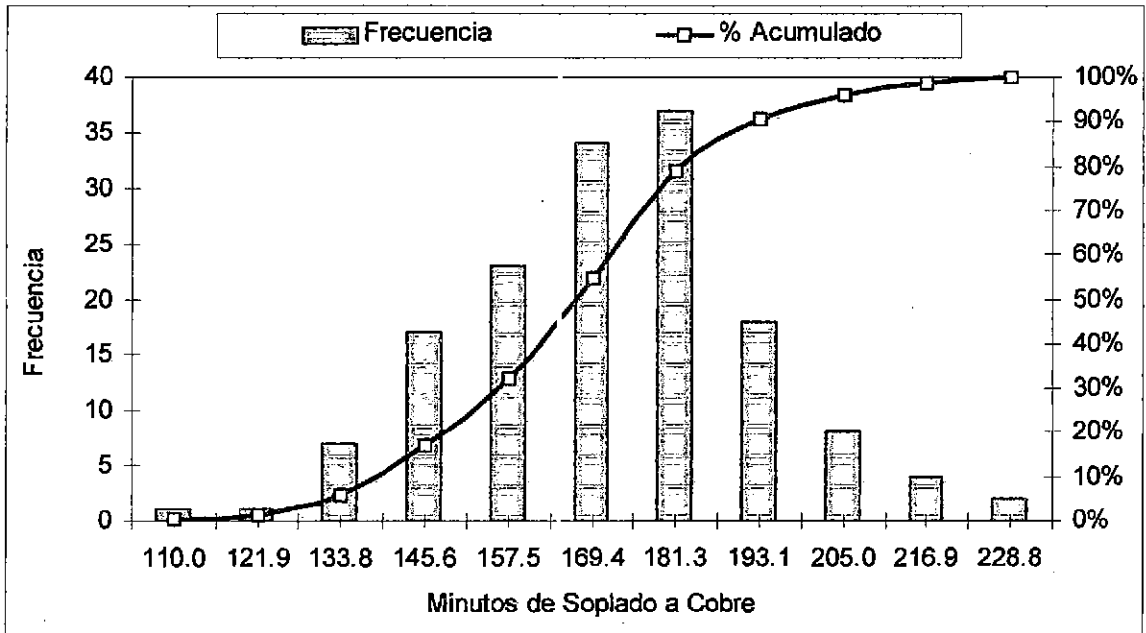
Fuente : Propia

Figura 46: Tiempo y Tasa de Soplado a Cobre – 1^{era} y 2^{da} Campaña



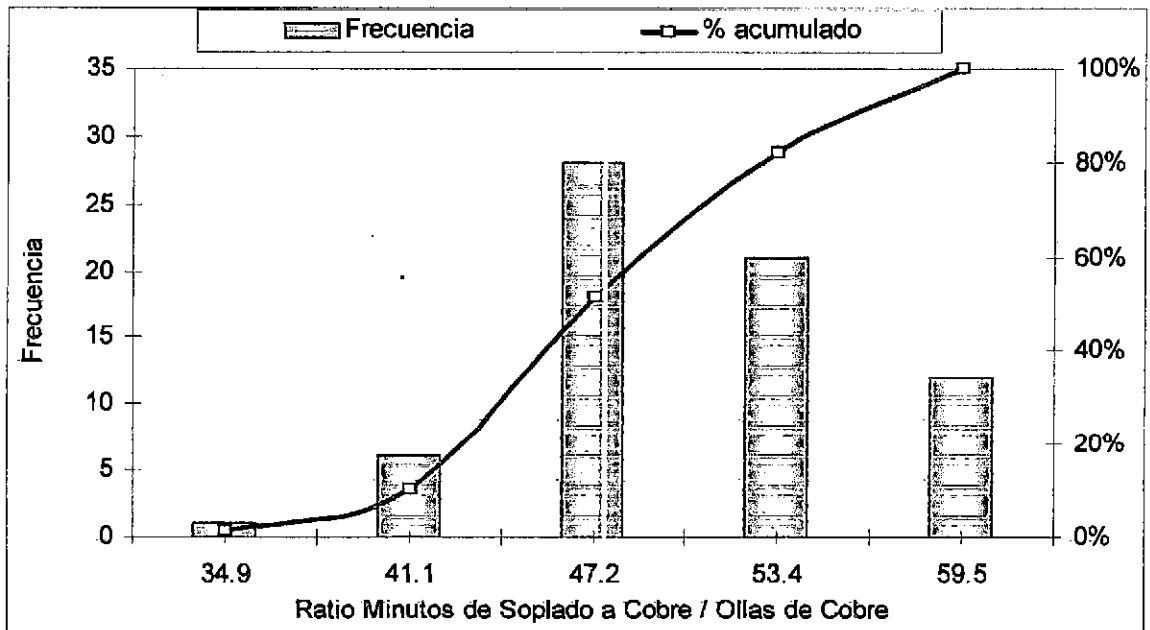
Fuente: Propia

Figura 47: Distribución del Tiempo de Soplado a Cobre – 1^{era} Campaña



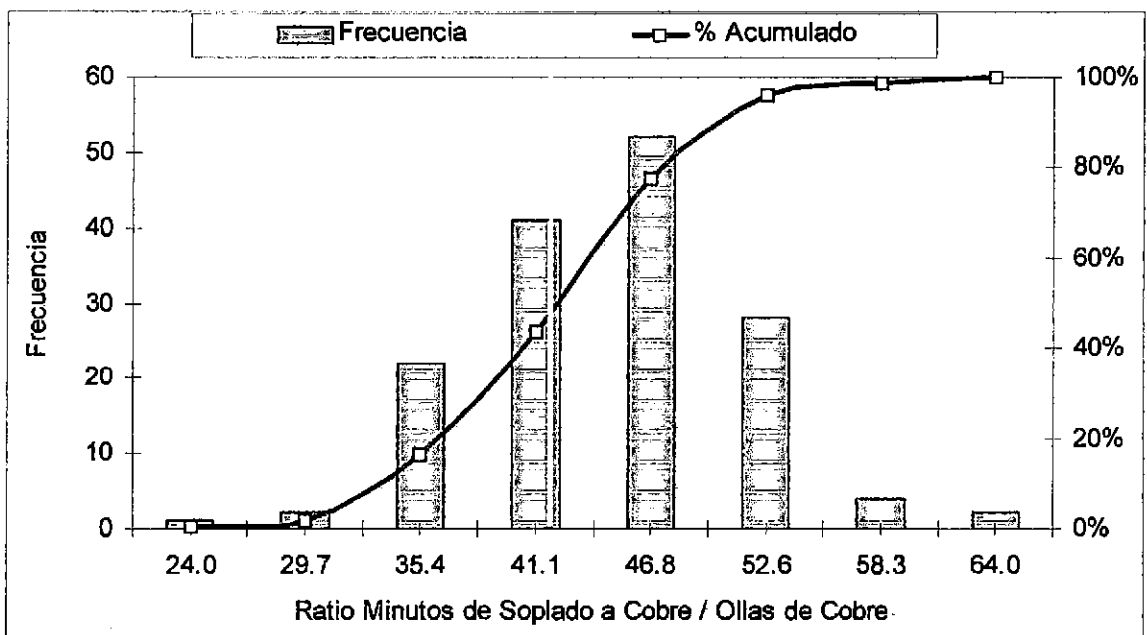
Fuente : Propia

Figura 48: Distribución del Tiempo de Soplado a Cobre – 2^{da} Campaña



Fuente : Propia

Figura 49: Distribución de la Tasa Minutos de Soplado a Cobre / Ollas de Cobre 1^{era} Campaña



Fuente : Propia

Figura 50: Distribución de la Tasa Minutos de Soplado a Cobre / Ollas de Cobre 2^{da} Campaña

4.3.4 PUNTO FINAL DEL SOPLADO A ESCORIA Y COBRE

4.3.4.1 PUNTO FINAL DE SOPLADO A ESCORIA

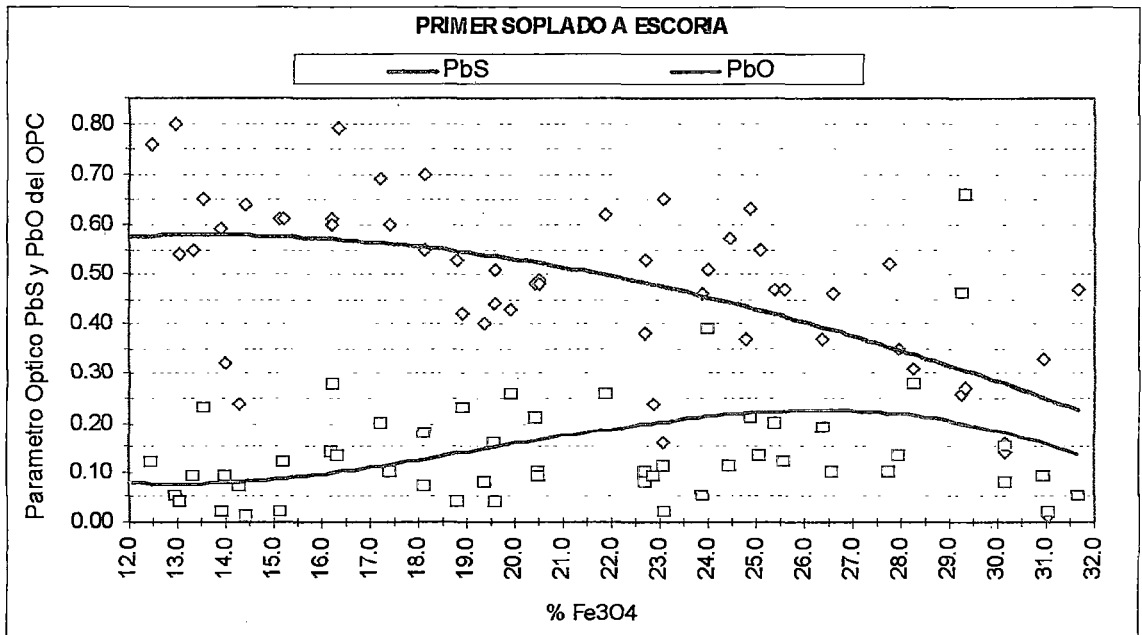
Se realizó un seguimiento a los puntos finales de cada soplado a escoria ubicando para cada uno de ellos los parámetros ópticos PbS y PbO los cuales se relacionaron con su contenido de Fe_3O_4 correspondiente. Dando como resultado una estimación de los valores de los parámetros ópticos para obtener 18% de Fe_3O_4 , como se puede apreciar a continuación

:

Soplado a Escoria	PbS	PbO
Primero	0.55	0.13
Segundo	0.48	0.18
Tercero	0.40	0.19
Cuarto	0.32	0.28

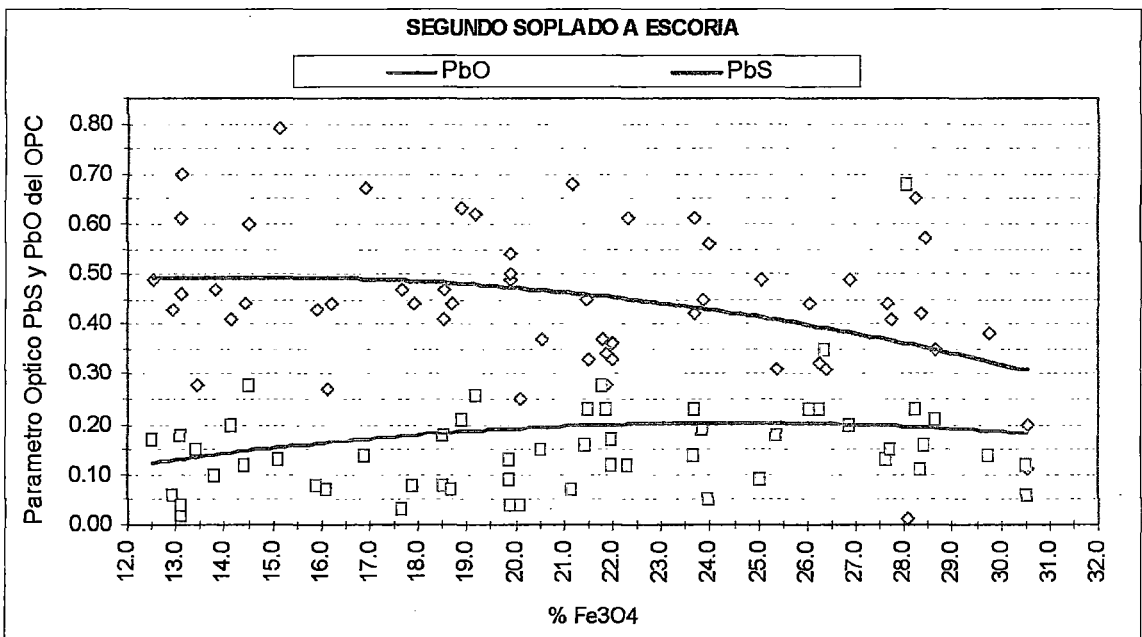
Fuente: Propia

Cuadro 12: Valores estimados de PbS y PbO para un contenido de 18% de Fe_3O_4



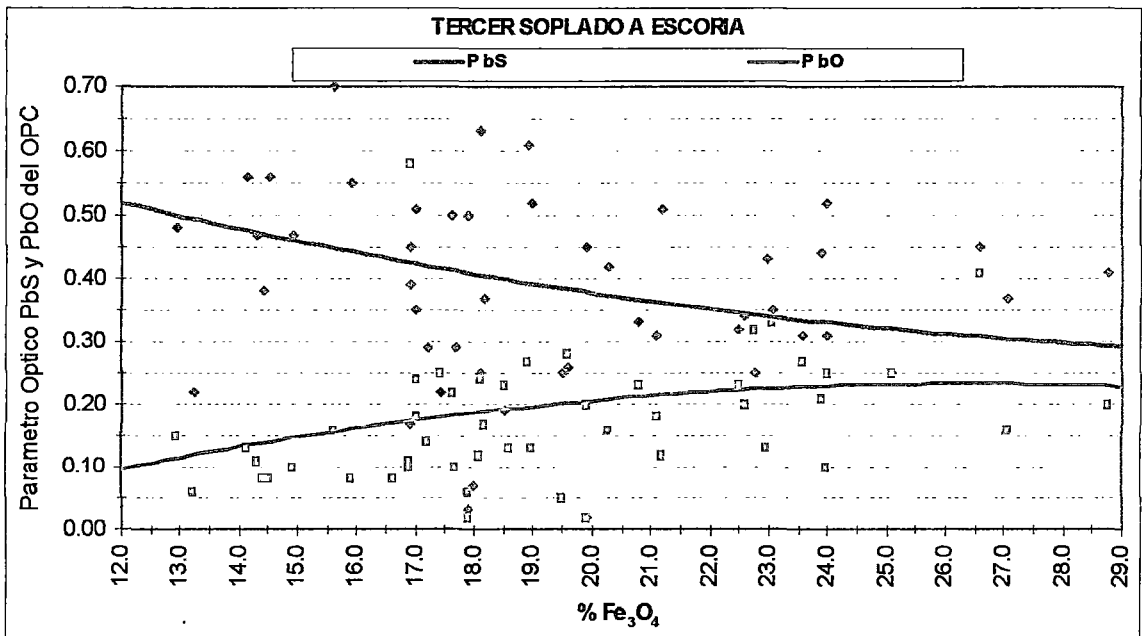
Fuente: Propia

Figura 51: Primer soplado a escoria



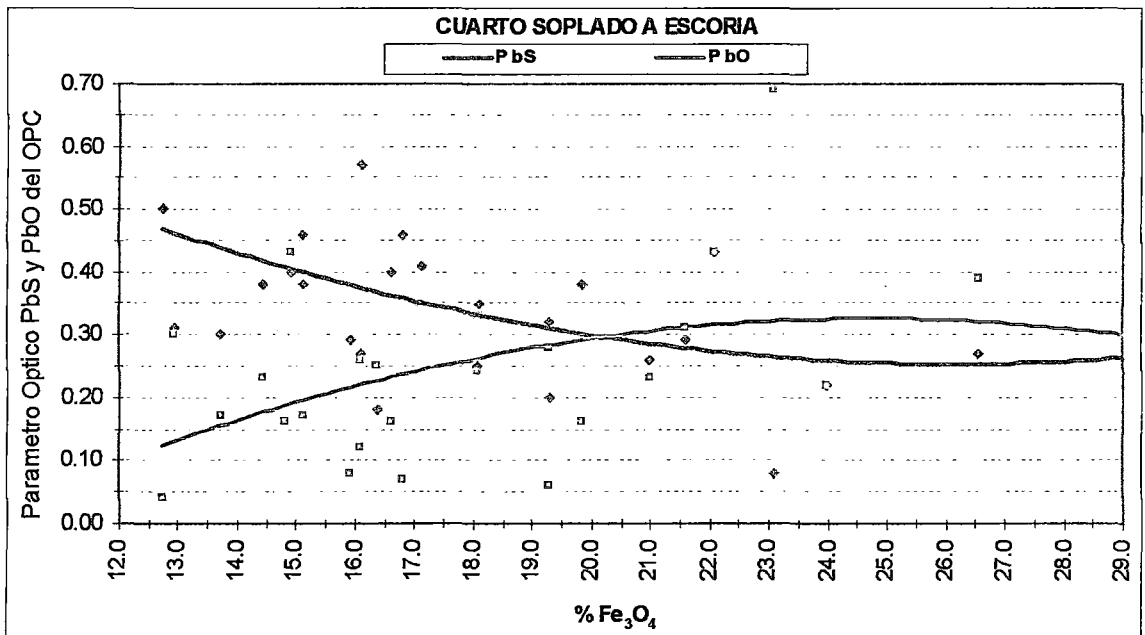
Fuente: Propia

Figura 52: Segundo soplado a escoria



Fuente: Propia

Figura 53: Tercer soplado a escoria punto final

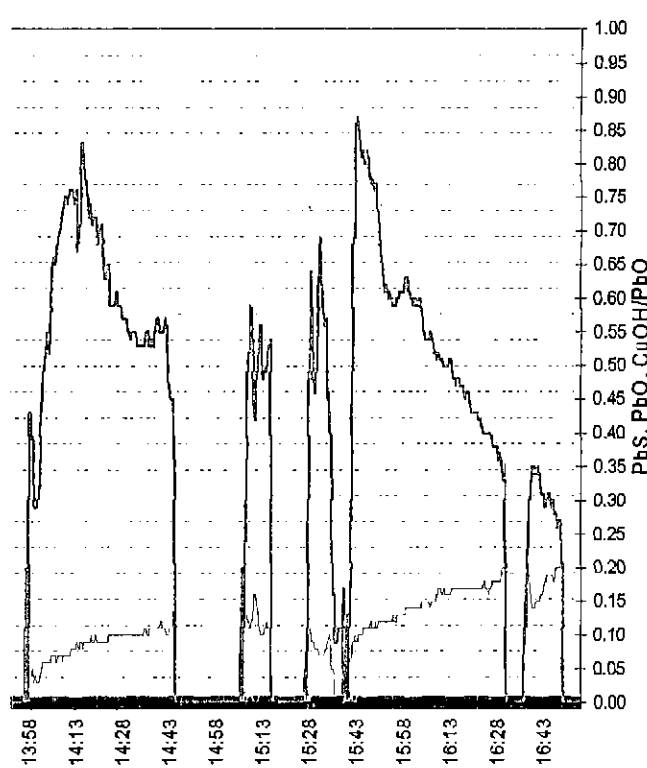


Fuente: Propia

Figura 54: Cuarto soplado a escoria

4.3.4.2 PUNTO FINAL DE SOPLADO A COBRE

A medida que las curvas de tendencia del ratio CuOH/PbO (línea roja) se acerca a la curva del PbO (línea verde) hasta casi cruzarse, indica una proximidad al punto final del soplado a cobre, dicha aproximación ocurre entre un rango de 0,22 – 0,25 del valor del parámetro óptico CuOH/PbO como se muestra en la figura 55, aplicando esta practica operativa se obtuvo contenido promedio de 285 ppm de S disuelto en el cobre blister como se observa en la figura 56



Fuente: Propia

Figura 55: Punto Final del Soplado a Cobre

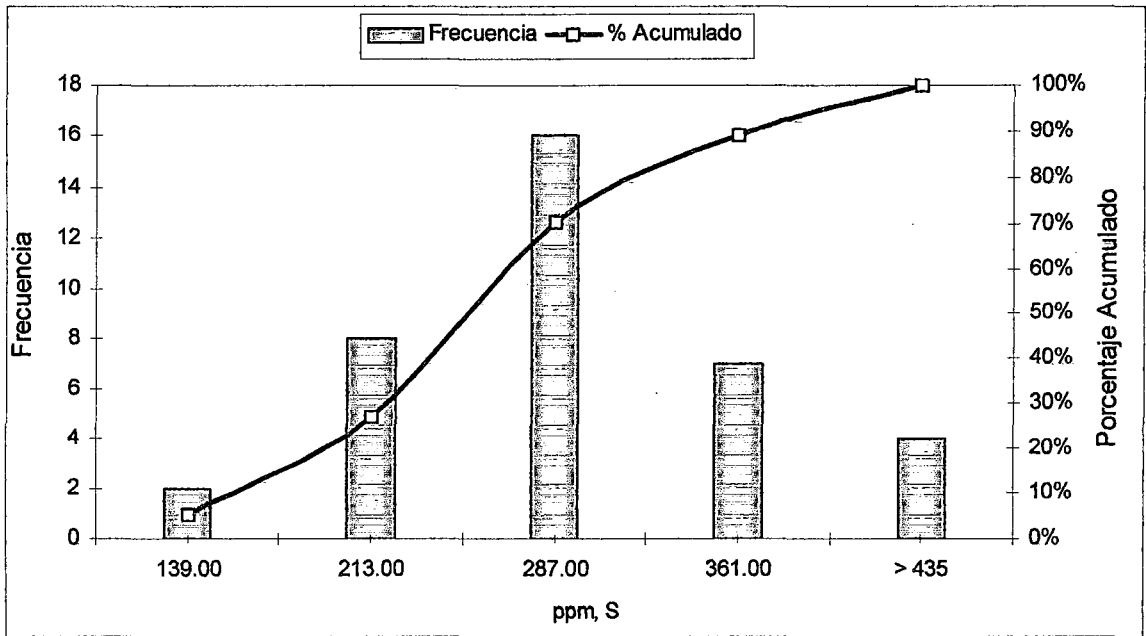


Figura 56: Distribución del contenido de Azufre en el Cobre Blister

V

CONCLUSIONES

- El cumplimiento del objetivo del OPC para la obtención de escorias menores o iguales a 18% de Fe_3O_4 fue del 52% en promedio desde su puesta en marcha logrando su valor máximo en el mes de Agosto donde obtuvo un 58% de cumplimiento.
- La capacidad del OPC para entregar curvas de tendencia que presenten buena correlación y sean correctamente identificables los parámetros ópticos fue del 81% del total de curvas generadas por el OPC. El desarrollo de las curvas del OPC se ven afectadas principalmente cuando en los primeros sopladados a escoria se lleva el metal blanco hasta 76% – 78% Cu, produciendo una excesiva formación de magnetita difícil de eliminar afectando así a los sopladados posteriores.
- El Operador del CPS teniendo un 81% de curvas con buena correlación obtuvo una eficacia en el uso de las tendencias entregada por el OPC de 49% y 54% para la 1^{era} y 2^{da} campaña respectivamente, logrando un aumento de su efectividad debido al uso y práctica del OPC de 9,7% en relación a la primera campaña.
- Las principales causas por las que el Operador del CPS no pudo lograr el objetivo del control de la formación de Fe_3O_4 a pesar de contar con buenas correlaciones fueron el sobresoplado y la baja adición de sílica los cuales representaron el 54% y 28% respectivamente.

El sobresoplado principalmente surge por el no seguimiento de las curvas entregadas por el OPC por parte del Operador

del CPS. El bajo contenido de sílica en la escoria principalmente ocurre cuando hay cambios en la composición de la sílica flux alimentada por faja, esto ocurre generalmente en los primeros sopladados a escoria lo cual va siendo corregido por el Operador en los sopladados posteriores.

- El tiempo promedio de soplado a escoria en el mes de Junio fue 226 minutos y en Octubre se obtuvo 191 minutos. En tiempo de soplado a cobre en el mes de Junio fue de 192 minutos y en Octubre se obtuvo 173 minutos, se observa una notoria disminución de los tiempos de soplado.
- El OPC no es una herramienta definitiva en la operación del CPS es mas bien una herramienta que permite identificar la evolución del proceso de conversión por ello en la etapa de soplado a escoria la regla fundamental de que cuando el parámetro PbS comienza a disminuir y el parámetro PbO comienza a aumentar es un indicativo para proceder a retirar la escoria.

Para el retiro de la escoria final los parámetros PbS y PbO tendrán que intersectarse lo cual indica que todo el FeS ha reaccionado logrando iniciar la etapa de soplado a cobre libre de hierro. Unos valores tentativos de los parámetros PbS y PbO que indican la finalización de los sopladados a escoria se presentan en el cuadro 31.

Para la etapa de soplado a cobre de acuerdo a la practica y continuo seguimiento se estableció que el punto final de soplado a cobre es cercano al momento en el cual la curva de PbO y CuOH/PbO están próximas a intersectarse esto se

da generalmente para valores en el rango de 0,22 – 0,25 de CuOH/PbO.

- Como desventaja principal que presentó el dispositivo OPC fueron las salpicaduras de metal fundido que llegaban a la salida del sensor óptico obstaculizando la medición, el cual fue solucionando instalando una línea de aire de instrumentación a la salida del lente óptico a fin de repeler todo material extraño que pudiera obstaculizar la medida. Además se concluye que los parámetros entregados por el OPC son solo de referencia para que operador del CPS tome acción sobre la operación, no se puede establecer valores específicos para pasar de una etapa a otra por la alta variabilidad de estos parámetros, pero si en el comportamiento de las curvas las cuales dan un indicativo del avance del proceso de conversión.

VI

RECOMENDACIONES

- El Operador debe de observar permanentemente las curvas de tendencias del OPC a fin de evitar que los parámetros PbS y PbO se lleguen a intersectar en los primeros sopladados lo que origina el sobresoplado a escoria y altos contenidos de magnetita en los sopladados posteriores, logrando así elevar el cumplimiento del control de la formación de Fe_3O_4 hasta un 77,9%
- Que se cargue mata antes de iniciar los sopladados a escoria para evitar sobre oxidar el metal blanco del proceso por encima de 78% e incrementar el potencial de oxígeno del sistema y posterior distorsión de las curvas del OPC.
- La oportuna información al Operador del CPS sobre el cambio de la composición de la silica alimentada por faja, a fin de evitar distorsiones en el proceso por bajo contenido de sílice.
- Verificar periódicamente el correcto estado del telescopio del OPC, cuyo campo visual tiene que estar libre partículas ajenas para una buena medición.

VII REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1.- **BISWAS - DAVENPORT.** "El Cobre: Metalurgia Extractiva". Editorial Limusa. Segunda Edición España 1980.
- 2.- **HOUGEN – WATSON - RAGATZ.** "*PRINCIPIOS DE LOS PROCESOS QUÍMICOS*". Editorial Limusa. Segunda Edición España 1993.
- 3.- **JOHN L. BRAY.** "Metalurgia Extractiva de los Metales no Ferrosos". Editorial Mc Graw Hill. Segunda Edición España 1985.
- 4.- **JOSÉ SANCHO; LUÍS FELIPE VERDEJA; ANTONIO BALLESTERES.** "Metalurgia Extractiva: Procesos de Obtención". Editorial Mc Graw Hill. Segunda Edición España 1985.
- 5.- **NELSON H. SANTANDER.** "Pirometalurgia del Cobre". Editorial Contribuciones Científicas y Tecnológicas. Segunda Edición Chile 1979.
- 6.- **W. G. DAVENPORT; M. KING; M. SCHLESINGER; A. K. BISWAS.** "Extractive Metallurgy of Copper". Editorial Pergamon. Cuarta Edición 2002.
- 7.- **ROBERT W. CAHN; PETER HAASEN.** "Physical Metallurgy". Editorial North - Holland. Cuarta Edición 1996.
- 8.- **R. V. KUMAR.** "Extraction and Recycling", Department of Materials Science and Metallurgy. University of Cambridge, 2006.
- 9.- **S. K. KAWATRA.** "Primary Metal 2002", Department of Chemical Engineering. Michigan Technological University, 2002.
- 10.- **SEMTECH,** "Manual OPC, Versión Español, SA SPCC 2006"

ANEXO

- ANEXO 1 : ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL OPC**
- ANEXO 2 : PRESENTACIÓN CORPORATIVA DEL SEMTECH OPC SYSTEM**
- ANEXO 3 : DIAGRAMA DE FLUJO DE LA FUNDICION DE SOUTHERN PERU COPPER CORPORATION ANTES DE LA MODERNIZACION.**
- ANEXO 4 : DIAGRAMA DE FLUJO DE LA FUNDICION DE SOUTHERN PERU COPPER CORPORATION DESPUES DE LA MODERNIZACION.**
- ANEXO 5 : DIAGRAMA DE FLUJO DEL HORNO REVERBERO Y EL HORNO ISASMELT.**

ANEXO 1

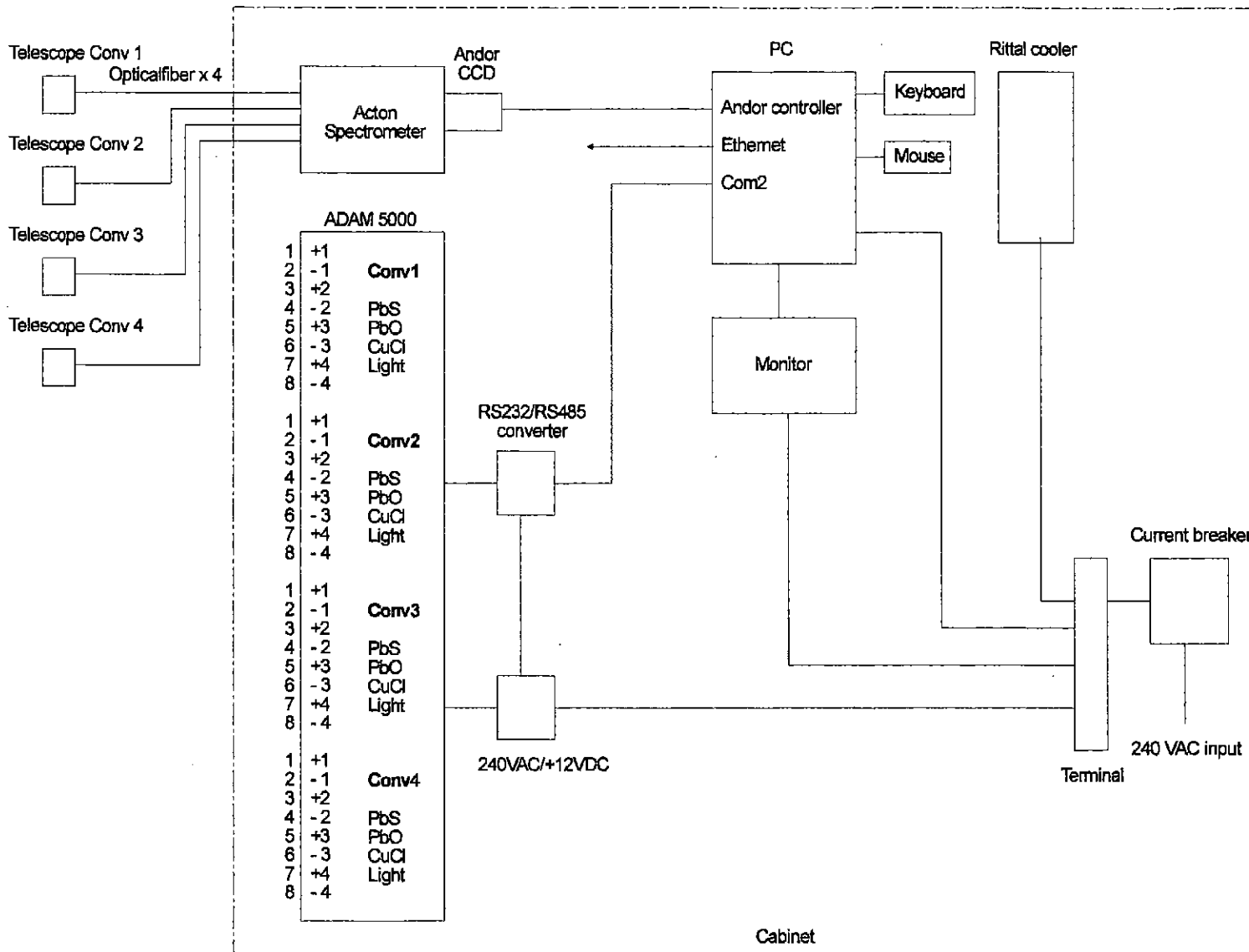
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL OPC

Datos técnicos

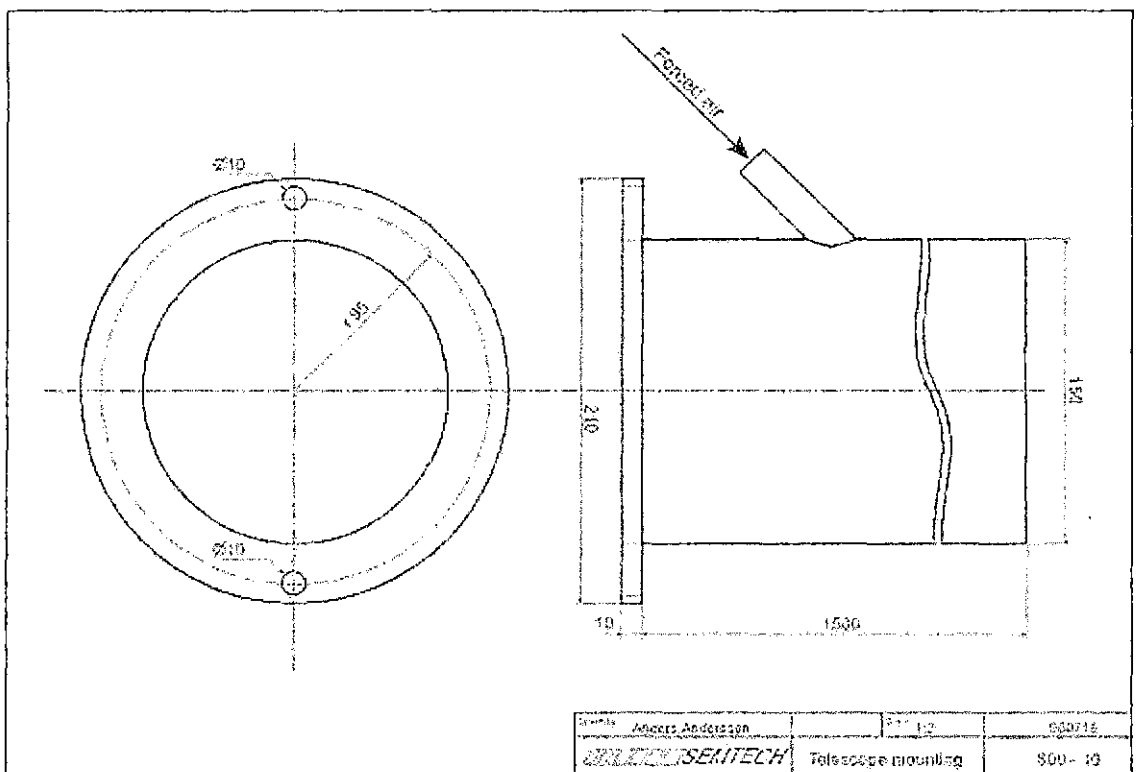
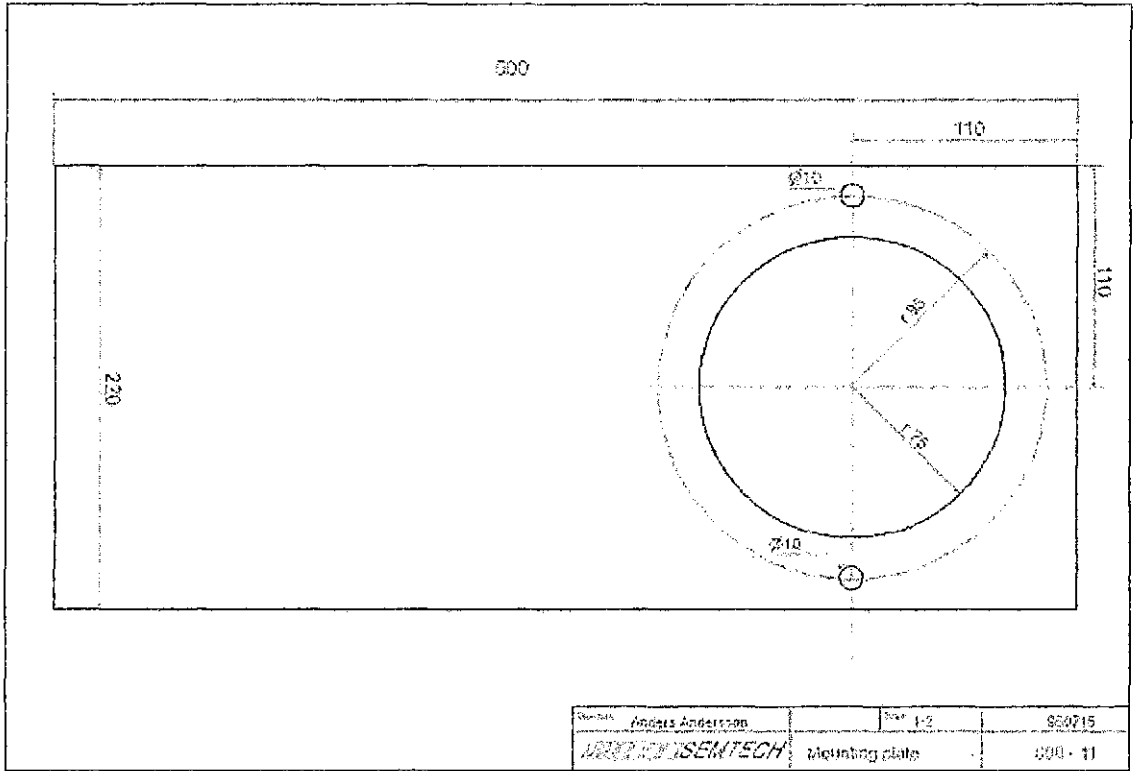
Servidor OPC :

Gabinete	Rittal TS 8
Aire acondicionado:	Rittal SK3382100, 500W
Computador:	HP dx2000MT
CPU:	Celeron 2.8
RAM:	256Mb
Disco Duro:	2*80Gb
Comunicación:	TCP/IP Norton PcAnywhere
Detector:	Peltier cooled Andor CCD
Espectrómetro:	Czerny-Turner Modificado, para 4 entradas de fibra óptica
Potencia:	220 VAC, máx. 1kW
Equipo óptico:	
Telescopio:	50 mm f/2 con salida de fibra óptica y ventana de observación
Soporte de telescopio:	Brida o flanje de puerta batiente
Fibra óptica:	800µm fibra de cuarzo con cubierta protectora Anaconda

DIAGRAMA DE CABLEADO



PLANO DE ELEMENTO DE MONTAJE DEL TELESCOPIO (PLACA O TUBO)



ANEXO 2

PRESENTACIÓN CORPORATIVA DEL SEMTECH OPC SYSTEM

The Semtech OPC System a short introduction

In order to meet stricter product-quality criteria, increasing productivity demands, tighter energy and environmental constraints, increasing fluctuations in raw-material composition etc., pyrometallurgical processes are getting more and more complex and thereby more difficult to operate and optimise. At the same time cost-benefit arguments cause the smelting plants and also the individual processes to become larger and the throughput rates to increase, meaning that also a modest efficiency increase in one single process step might have a significant effect on the plant profitability. Process optimisation and control are becoming increasingly important.

In most facilities the operation is guided by static models, based principally on process modelling, operator experience and the accumulated information on material input and output. The conversion of copper in a traditional Peirce-Smith (PS) converter might be used to illustrate the different but complementary nature of this steady-state optimisation and dynamic production control, which can assist in maintaining stable process operation in the face of "disturbances". Examples on "disturbances" that might enter the converting process are unforeseen changes in quality and tonnage of incoming matte and silica, availability and grade of cold charge, operator interventions, shift changes, timing of cranes etc.

In the conversion of copper in a PS converter some of the more important entities to optimise are blister-copper quantity, sulphur, oxygen and impurity contents of blister copper, slag composition and slag temperature. They can all be controlled by adjustment of the input to the process. Temperature, for instance, is controlled by adjustment of air-blow rate, oxygen enrichment and additions of cooling material. Blister copper quantity and quality are controlled by optimisation of the endpoints of the various blowing steps and the slag quality. The latter, in turn, is controlled via silica additions. Obviously there are many means for affecting and controlling the process and thereby the resulting output. On the other hand, there are very few objective means for finding out the most appropriate action at a given point in time once the process has started. Or, to be more specific, there are very few means by which to retrieve objective information on the instantaneous status of the process, for instance as regards slag quality or instantaneous oxygen stage. The implementation of sensors for on-line measurements, which is a necessity for true dynamic control, has been hampered by the highly aggressive environment in smelters. Consequently, true dynamic production control has developed at a slow pace.

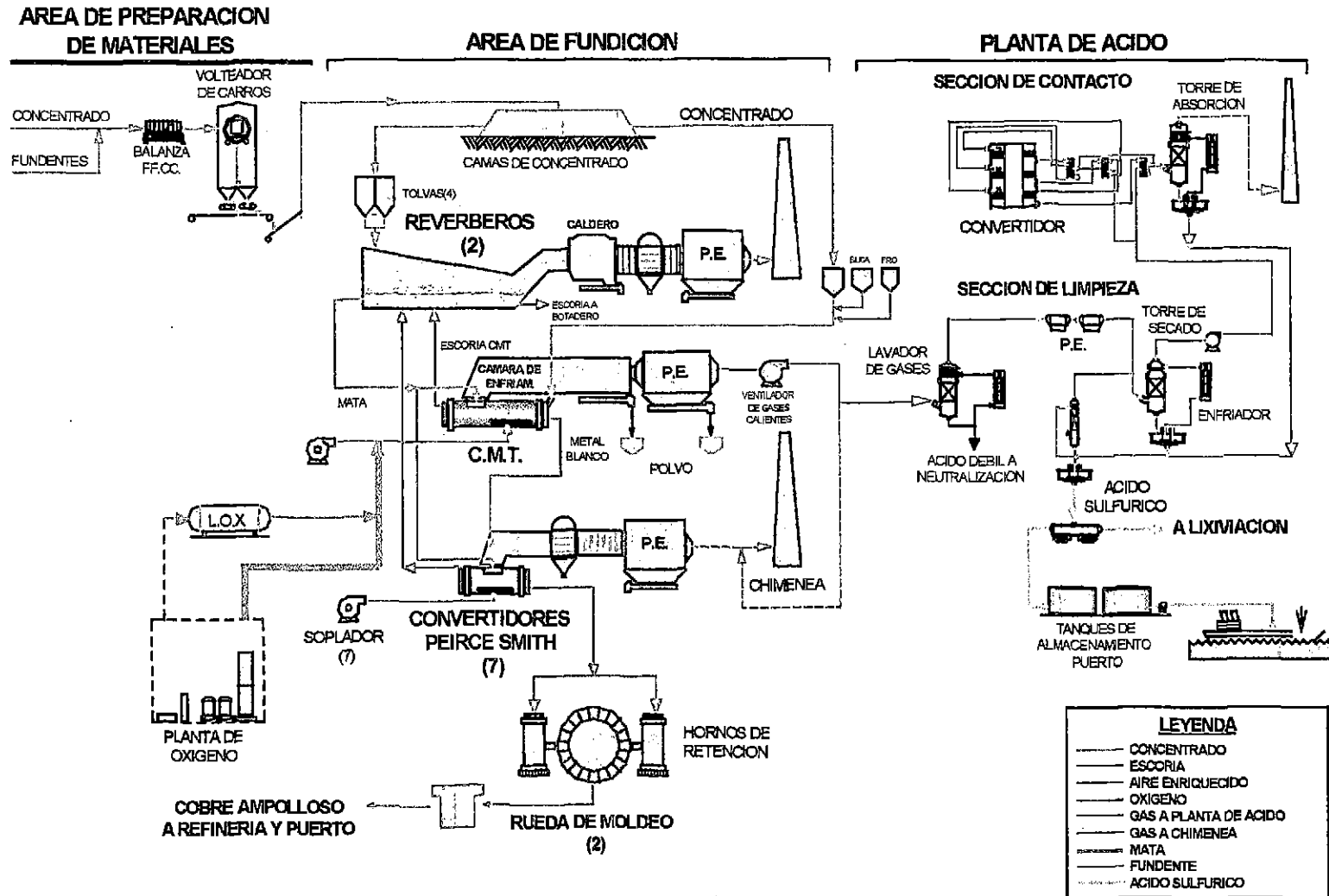
About 20 years ago we started the development of a remote-sensing technique, based on optics and spectroscopy, for monitoring and optimisation of the copper converting in PS converters. Disregarding various types of optical pyrometers this was, to the best of our knowledge, the first and still is the only commercially available technology to provide continuous on-line information on the status of the converting process in a PS converter and the refining process in an anode furnace. Originally developed for conversion of copper in a PS vessel the field of applications of the technology, now known as the Semtech OPC (Optical Production Control) System, is steadily growing. The technical versatility of the technology has been demonstrated at a large number of commercial installations and full-scale tests at production plants.

Semtech Metallurgy AB
Ideon
Ole Råmorsväg 12
S-223 70 Lund, Sweden

Tel: +46 46 286 25 50
Fax: +46 46 211 69 71
Web: www.semtech.se
E-mail: wilhelm.wendt@semtech.se

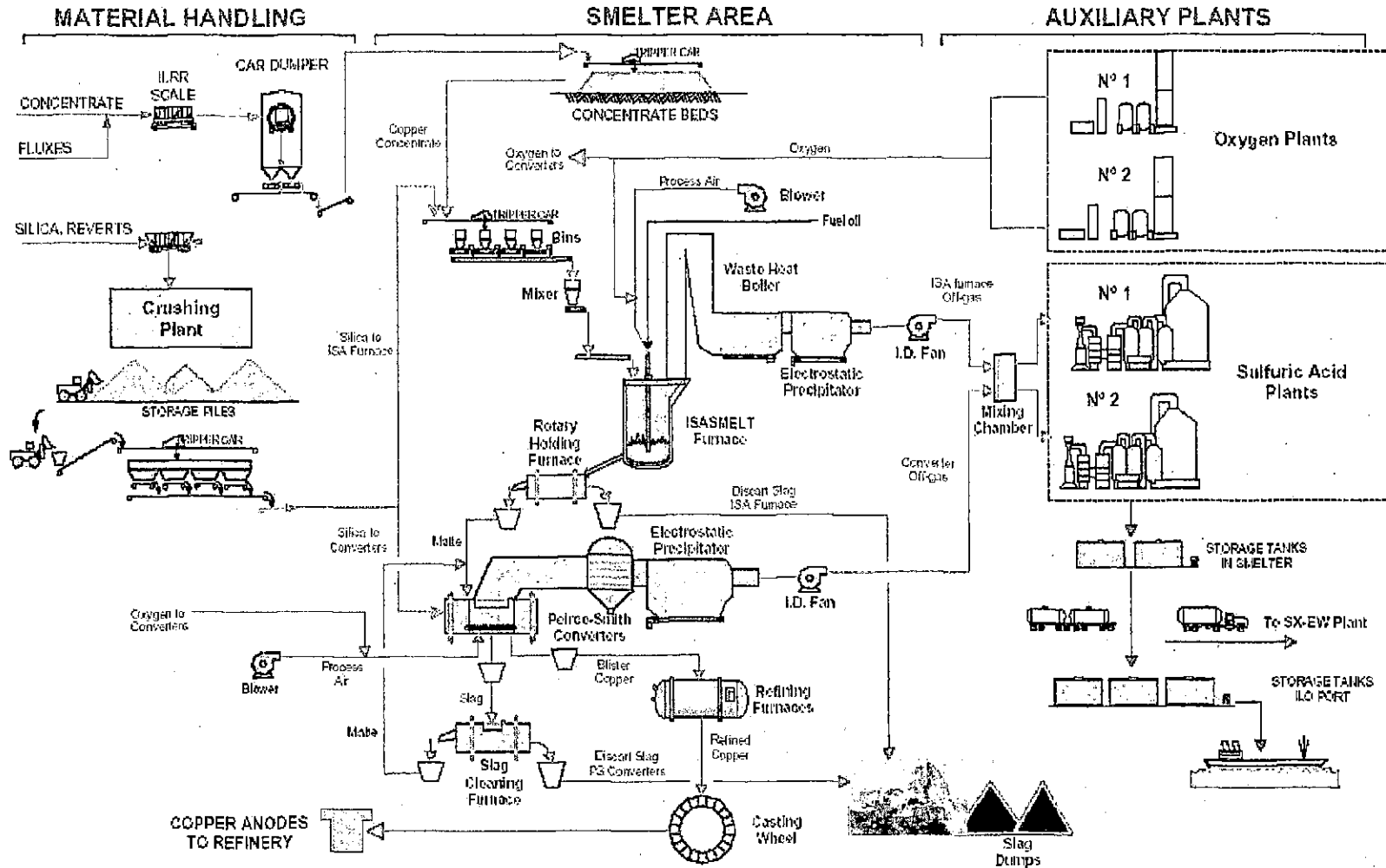
ANEXO 3

DIAGRAMA DE FLUJO DE LA FUNDICION DE SOUTHERN PERU COPPER CORPORATION ANTES DE LA MODERNIZACION



ANEXO 4

DIAGRAMA DE FLUJO DE LA FUNDICION DE SOUTHERN PERU COPPER CORPORATION ANTES DE LA MODERNIZACION



ANEXO 5

DIAGRAMA DE FLUJO DEL HORNO REVERBERO

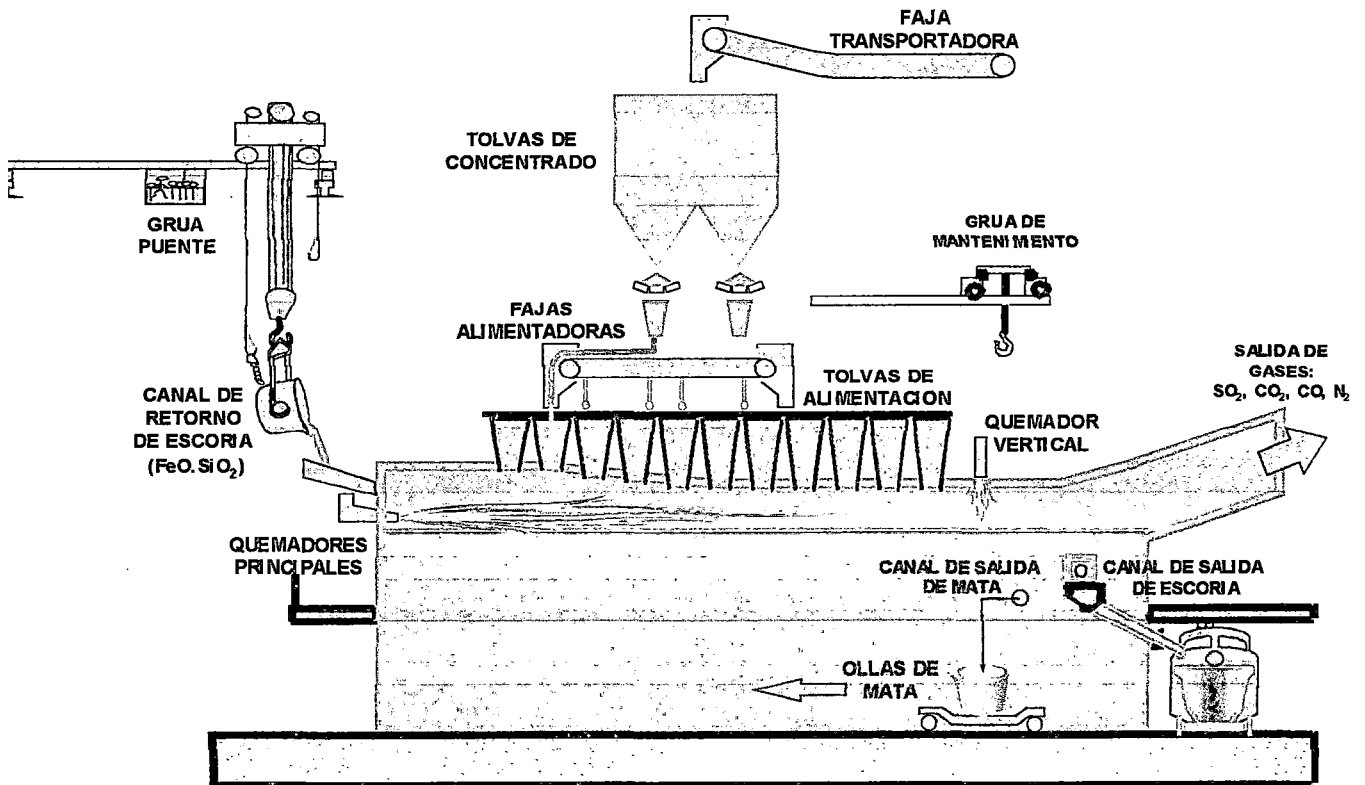


DIAGRAMA DE FLUJO DEL HORNO ISASMELT

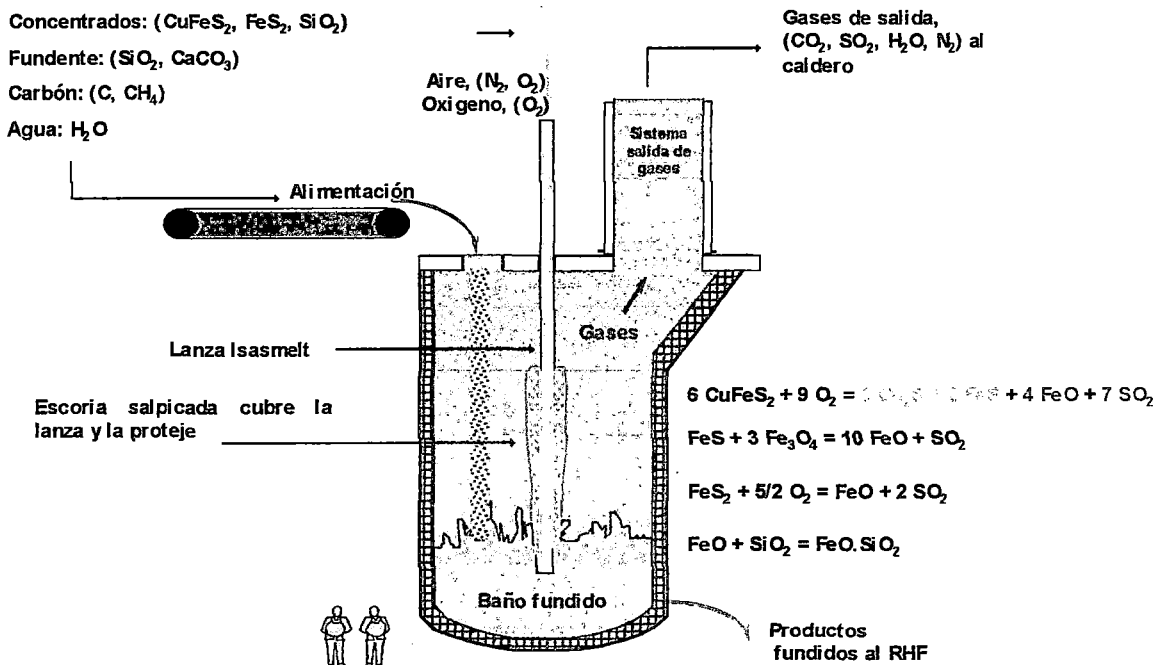


Diagrama de Flujo del horno Isasmelt de la fundición de SPCC.

APÉNDICE

- APÉNDICE 1 : ANÁLISIS QUÍMICOS DE ESCORIA – I CAMPAÑA CPS Nº 5**
- APÉNDICE 2 : ANÁLISIS QUÍMICOS DE ESCORIA – II CAMPAÑA CPS Nº 5**
- APÉNDICE 3 : HISTÓRICO DEL CONTENIDO DE Fe_3O_4 EN LAS ESCORIAS DEL CPS Nº 5**

APÉNDICE 1

ANÁLISIS QUÍMICO DE ESCORIA – I CAMPAÑA CPS N° 5

MES DE JUNIO

MES DE JULIO

CICLO	Análisis de soplado a escoria				Ratio SiO ₂ /Fe
	Cu %	Fe %	Fe ₃ O ₄ %	SiO ₂ %	
126	1.45	50.98	20.50	21.39	0.42
127	1.55	44.47	27.96	25.59	0.58
128	1.55	49.57	18.81	22.71	0.46
129	1.89	47.69	25.37	22.51	0.47
131	1.48	49.27	13.03	25.13	0.51
134	1.58	51.74	20.50	22.88	0.44
135	2.38	51.60	29.25	23.86	0.46
136	1.78	50.41	18.11	28.66	0.57
138	2.22	47.23	28.26	27.19	0.58
140	2.50	44.40	20.40	28.93	0.65
141-1	1.19	49.63	17.41	28.39	0.57
142	1.40	45.58	15.12	31.16	0.68
143	1.64	41.12	17.21	34.43	0.84
144	1.75	49.92	23.98	24.68	0.49
145	1.94	48.91	25.07	26.49	0.54
146	1.30	47.02	12.94	30.45	0.65
147	1.69	48.38	12.44	28.80	0.60
148	2.36	46.34	23.08	28.48	0.63
149	2.54	46.83	24.88	26.49	0.57
151	1.38	45.14	16.22	31.67	0.70
152	1.65	47.29	15.22	29.03	0.61
153	1.55	46.87	18.11	29.54	0.63
154	2.56	44.95	21.89	28.13	0.63
155	1.30	50.09	9.75	27.80	0.56
156	1.65	47.49	18.91	28.46	0.80
157	1.36	45.39	13.53	31.75	0.70
158	2.07	46.06	24.78	28.85	0.63
159	1.23	48.39	16.32	29.22	0.60
160	2.15	46.19	22.39	28.51	0.62
161-1	1.50	46.57	18.10	30.29	0.65
161-2	1.53	47.52	18.60	29.21	0.61
163	3.16	49.05	24.77	20.59	0.42
126	1.69	45.68	28.46	24.54	0.54
127	1.66	40.61	27.76	27.13	0.67
128	0.99	46.10	14.13	23.46	0.61
129	1.73	50.74	26.07	22.40	0.44
130	2.43	45.99	26.37	28.82	0.63
131	1.25	49.92	13.83	24.12	0.48
133	2.02	50.82	21.49	22.47	0.44
134	1.78	51.38	25.07	21.22	0.41
135	1.65	48.38	21.89	29.49	0.61
136	2.43	48.81	21.79	30.35	0.62
138	2.77	46.47	28.66	25.48	0.55
139	2.45	43.13	18.51	30.47	0.71
140	3.98	49.81	13.43	16.52	0.33
141-1	1.78	47.01	16.12	28.78	0.61
142	1.08	45.56	13.13	32.76	0.72
143	2.63	43.90	21.89	29.09	0.66
145	2.24	47.27	26.87	26.50	0.56
146	1.80	47.88	21.19	27.95	0.58
147	1.28	45.46	16.92	32.06	0.71
149	1.84	43.33	18.91	32.06	0.74
150	2.00	53.56	23.68	22.06	0.41
151	1.74	43.22	14.53	32.38	0.75
152	2.35	44.27	22.35	29.63	0.67
153	1.41	46.58	13.13	30.81	0.66
154	2.51	45.66	19.20	27.56	0.60
155	1.99	45.78	13.13	29.33	0.64
156	2.05	41.88	23.68	32.11	0.77
158	1.81	45.61	16.22	30.12	0.66
159	1.41	47.42	15.12	29.57	0.62
160	2.79	45.06	24.88	27.18	0.60
161-1	1.06	46.78	11.34	31.51	0.67
163	1.62	51.76	15.42	25.79	0.50
126	1.66	47.47	28.76	23.02	0.48

CICLO	Análisis de soplado a escoria				Ratio SiO ₂ /Fe
	Cu %	Fe %	Fe ₃ O ₄ %	SiO ₂ %	
164-1	1.77	45.74	21.39	28.34	0.64
164-2	1.81	45.70	18.40	30.49	0.67
165	1.31	46.32	17.41	30.99	0.67
167	1.35	50.07	16.32	27.45	0.55
168	1.67	49.91	24.08	26.31	0.53
169	1.18	48.50	14.33	29.50	0.61
171	1.42	54.45	23.88	23.76	0.44
173	1.57	48.42	21.08	26.16	0.58
174	1.44	41.29	16.42	24.88	0.60
175	2.22	48.00	22.79	26.54	0.55
176	2.21	45.94	20.99	28.25	0.61
177	1.19	43.98	11.44	33.86	0.77
178	1.86	46.21	21.99	29.79	0.64
179	2.48	41.97	18.31	31.42	0.75
180	2.42	45.83	26.07	27.83	0.61
181	1.30	47.75	14.73	30.08	0.63
182	2.02	51.47	19.03	25.61	0.50
183	1.16	49.56	12.09	27.48	0.66
184	2.02	50.96	25.67	25.76	0.51
185	2.17	47.37	20.02	28.20	0.60
186	2.67	49.17	25.67	25.71	0.52
187	1.43	53.10	14.07	23.33	0.44
188	1.61	52.18	26.06	25.30	0.48
189-1	1.46	49.77	16.05	27.70	0.56
189-2	1.91	49.20	22.50	27.91	0.57
190	1.06	50.30	9.91	28.11	0.56
191	1.35	48.84	16.85	27.92	0.57
192	1.39	51.08	20.12	26.69	0.52
193	1.42	49.44	18.23	26.09	0.67
194	2.36	50.78	23.09	25.99	0.51
195	2.14	50.29	25.57	27.03	0.54
196	4.09	47.25	25.27	25.76	0.55
197	1.14	52.19	11.50	25.65	0.49
164-1	3.06	47.08	24.68	23.83	0.51
164-2	1.81	52.51	29.75	23.63	0.46
165	1.40	46.67	16.92	30.27	0.65
166	1.89	45.00	22.69	29.71	0.66
167	1.21	47.02	13.43	30.79	0.65
168	2.38	47.00	25.77	26.23	0.56
169	1.81	49.04	23.68	26.81	0.55
171	2.72	48.99	30.85	22.90	0.47
172	2.76	50.13	36.02	21.52	0.43
173	3.51	45.22	29.35	24.59	0.54
174	2.58	42.55	26.27	29.41	0.69
176	2.24	46.49	21.59	27.61	0.59
177	1.97	27.97	17.11	45.45	1.62
178	1.63	48.12	17.41	28.34	0.69
179	1.65	48.16	21.89	28.38	0.59
180	2.39	47.52	26.17	26.02	0.55
181	2.81	45.84	19.10	26.10	0.57
182	2.22	49.98	29.04	26.98	0.54
183	2.15	48.03	22.79	28.42	0.59
184	1.70	50.00	18.33	28.49	0.57
185	1.88	46.95	19.85	28.53	0.61
186	2.14	51.40	26.76	24.06	0.47
187	1.25	50.71	13.38	27.94	0.55
188	1.48	51.17	19.92	26.63	0.52
189-2	1.53	50.16	18.83	27.57	0.55
190	1.07	51.27	10.31	26.52	0.52
191	2.30	49.50	12.68	28.97	0.59
192	1.03	50.50	14.67	28.45	0.58
193	2.51	51.63	26.36	26.37	0.51
194	2.48	51.02	25.77	25.93	0.51
195	2.19	49.64	26.76	27.13	0.55
196	3.90	47.16	24.38	26.39	0.56

127	1.35	51.95	22.59	22.44	0.43
128	1.77	49.54	19.90	26.28	0.53
129	1.57	50.16	17.21	23.38	0.47
131	5.18	47.19	18.11	15.29	0.32
133	2.46	48.57	20.80	23.77	0.49
135	2.41	49.20	19.60	30.05	0.61
136	2.22	49.50	18.51	29.74	0.80
137	1.51	51.02	14.33	28.80	0.58
138	2.97	43.82	23.58	28.27	0.65
139	1.64	48.88	17.41	29.37	0.83
140	1.89	48.52	19.50	27.80	0.58
141-1	1.70	45.91	14.13	30.27	0.66
142	1.88	44.53	14.53	31.33	0.70
143	1.85	47.91	21.19	27.93	0.58
144	2.28	45.86	15.92	28.75	0.63
145	2.34	48.77	26.57	24.88	0.51
146	2.90	45.80	18.01	25.68	0.56
148	1.67	47.70	16.62	28.63	0.60
149	2.36	43.93	23.98	30.29	0.69
150	1.82	49.14	18.91	27.62	0.56
151	2.48	40.45	18.92	32.72	0.81
152	2.27	41.67	19.90	32.08	0.77
153	1.79	44.58	18.61	31.18	0.70
154	2.17	45.70	17.61	28.97	0.63
155	1.36	44.58	17.01	32.50	0.73
157	2.08	36.69	18.11	35.50	0.97
158	5.81	45.88	15.62	23.83	0.82
159	1.33	45.11	10.45	32.24	0.71
160	1.79	46.81	17.21	29.89	0.65
161-1	1.15	48.04	11.54	29.90	0.82
161-2	4.70	45.87	20.10	17.94	0.39
163	2.19	47.39	20.68	26.45	0.58
134	1.47	47.27	12.94	24.92	0.53
137	2.61	49.34	19.30	29.11	0.59
138	2.95	41.65	20.99	30.45	0.73
140	2.70	44.11	21.59	29.06	0.66
141-1	2.45	43.75	16.62	30.27	0.89
143	1.15	47.25	12.74	31.28	0.86
146	2.23	44.29	22.09	29.81	0.67
149	2.90	40.83	26.57	31.28	0.77
150	1.88	45.97	18.82	29.86	0.85
153	1.54	46.19	14.93	31.67	0.70
154	2.62	46.02	14.43	27.17	0.59
155	1.93	44.97	16.12	30.47	0.68
157	1.81	44.97	17.11	30.62	0.68
158	1.87	45.41	15.12	30.43	0.87
159	1.88	44.69	14.83	31.30	0.70
160	2.39	44.02	18.81	29.29	0.67
161-1	1.04	47.18	19.30	31.50	0.67
161-2	4.08	42.95	26.88	25.09	0.58

164-2	1.99	48.57	23.58	28.23	0.61
165	2.58	46.43	26.87	26.55	0.57
166	2.54	43.63	22.09	29.25	0.87
167	1.85	45.60	12.94	29.60	0.64
169	1.81	47.29	19.80	28.32	0.60
172	2.31	51.21	31.84	22.71	0.44
173	3.10	45.08	17.91	25.79	0.57
174	1.44	41.29	21.79	26.88	0.65
176	2.40	44.70	26.07	29.20	0.65
177	2.07	38.35	13.13	36.40	0.95
178	1.75	46.51	22.98	29.63	0.64
179	2.01	45.90	18.91	29.15	0.64
180	2.52	47.30	27.16	25.85	0.55
183	2.34	46.84	18.33	29.30	0.63
184	2.85	46.51	26.56	28.83	0.62
186	2.06	46.96	25.47	29.06	0.62
187	1.85	49.51	20.91	27.65	0.56
188	1.43	48.84	11.40	29.74	0.61
189-2	2.42	47.96	17.74	27.92	0.58
190	1.31	48.09	10.90	29.65	0.62
192	1.50	49.68	15.96	27.47	0.55
193	1.67	47.90	17.54	28.06	0.61
194	2.55	51.82	26.55	26.22	0.51
195	2.07	49.03	25.87	25.73	0.52
196	5.36	44.07	28.26	25.81	0.59
166	1.95	47.55	22.59	27.68	0.58
169	1.63	47.13	18.11	29.04	0.62
173	2.37	42.67	18.11	30.77	0.72
176	2.30	43.47	15.92	30.86	0.71
179	2.61	43.98	20.00	29.54	0.67
180	1.87	48.27	23.02	27.33	0.57
181	2.03	48.92	24.09	27.69	0.57
182	2.02	50.96	26.67	25.76	0.51
187	1.83	50.24	15.35	27.13	0.54
188	1.58	48.72	12.78	29.04	0.60
189-2	1.70	47.25	15.56	29.10	0.82
190	1.89	47.91	17.34	28.19	0.58
191	1.67	50.33	15.66	27.58	0.56
192	2.31	60.58	24.28	27.01	0.53
193	1.47	50.07	22.00	27.68	0.55
194	2.58	51.80	25.27	26.64	0.51

APÉNDICE 2

ANÁLISIS QUÍMICOS DE ESCORIAS – II CAMPAÑA CPS N° 5

MES DE AGOSTO

MES DE SETIEMBRE

MES DE OCTUBRE

CICLO	Análisis de soplado a escoria				Ratio SiO2/Fe
	Cu %	Fe %	Fe3O4%	SiO2 %	
1	1.96	50.56	25.57	26.29	0.52
3	1.56	51.25	18.93	26.65	0.52
5	3.80	46.89	30.32	28.60	0.61
7	2.73	48.47	25.27	27.63	0.57
8	1.78	49.11	19.13	27.01	0.55
10	2.29	45.24	15.56	27.95	0.62
12	1.52	51.09	18.83	27.48	0.54
14-1	1.47	48.62	11.89	29.48	0.61
14-2	1.70	48.34	14.47	29.12	0.60
15	2.38	47.50	18.53	30.41	0.64
18	4.49	48.12	22.10	26.13	0.54
21	2.31	47.81	23.78	27.30	0.57
23	1.38	51.95	18.14	27.15	0.52
24	1.55	48.63	12.98	29.70	0.61
25	1.30	49.94	14.57	28.30	0.57
26	2.96	48.19	14.87	27.80	0.58
27	2.70	49.47	25.27	28.20	0.57
28	2.23	49.22	15.26	27.64	0.56
29	2.04	49.88	13.77	27.58	0.55
31	2.48	47.92	17.94	28.30	0.59
33	2.38	48.80	24.48	27.64	0.57
34	2.68	52.93	30.23	26.65	0.50
35	1.84	49.52	13.87	30.25	0.61
36	2.34	53.37	27.35	27.23	0.51
1	1.26	50.45	13.38	27.75	0.55
3	5.64	43.85	38.85	29.38	0.57
5	3.90	46.49	30.32	28.36	0.61
6	2.35	49.62	24.37	27.29	0.55
7	1.78	50.45	16.95	28.25	0.56
8	2.66	47.40	21.80	28.44	0.60
10	1.39	49.35	15.36	28.09	0.57
12	1.41	51.79	12.29	26.66	0.51
13	2.31	49.01	22.59	27.87	0.57
14-2	1.68	47.69	14.27	29.68	0.62
15	1.25	50.61	12.98	28.34	0.58
18	3.40	46.88	24.48	28.79	0.61
21	1.27	52.55	13.38	26.40	0.50
22	1.88	48.98	19.82	28.19	0.60
23	0.99	49.91	10.41	28.64	0.57
24	1.59	48.84	13.38	29.34	0.60
25	2.31	49.67	13.87	27.62	0.56
27	1.32	49.11	11.10	29.96	0.61
29	2.24	48.78	13.18	30.50	0.63
30	1.64	49.01	8.13	29.21	0.60
31	2.54	46.91	17.64	29.07	0.62
32	1.79	48.81	18.53	27.96	0.57
33	1.92	48.91	27.30	27.64	0.57
34	2.24	47.20	17.44	27.98	0.59
35	2.75	49.32	16.75	27.62	0.56
36	2.30	51.01	27.25	25.82	0.51
1	1.45	50.72	17.64	26.88	0.53
3	2.61	46.70	24.38	29.42	0.63
6	2.14	49.42	24.87	28.17	0.57
8	2.43	46.69	19.72	29.95	0.62
10	2.30	46.16	11.40	29.95	0.65
12	1.96	47.69	15.86	29.80	0.62
13	2.84	49.89	30.52	26.51	0.53
14-2	2.40	44.94	19.82	30.65	0.68
15	1.57	49.25	14.27	29.32	0.60
16	5.40	44.05	32.31	29.25	0.66
17	2.39	48.18	21.11	27.59	0.57
18	2.97	46.18	24.08	28.38	0.61
21	1.44	48.52	11.89	28.62	0.59
22	2.23	48.51	18.83	29.23	0.60
24	1.78	48.79	15.26	28.63	0.59
25	1.54	49.11	14.96	29.03	0.59
26	2.24	46.92	12.98	29.09	0.62

CICLO	Análisis de soplado a escoria				Ratio SiO2/Fe
	Cu %	Fe %	Fe3O4%	SiO2 %	
37	2.38	49.32	24.78	28.75	0.58
38	2.21	45.53	21.80	33.40	0.73
39	8.86	45.33	20.91	24.43	0.54
40	1.33	54.84	16.43	24.68	0.45
41	1.70	52.83	20.81	25.87	0.49
42	1.41	54.98	21.50	24.29	0.44
43	2.58	49.39	28.14	27.81	0.56
45	2.46	52.11	23.68	25.59	0.49
47	1.61	50.52	16.65	27.46	0.54
48	1.24	49.20	10.21	28.22	0.57
49	1.18	50.69	14.37	28.56	0.56
50	1.99	49.66	21.41	26.67	0.54
52	2.71	47.57	19.03	28.84	0.61
53	3.00	50.30	21.31	25.75	0.51
54	2.03	23.88	16.35	26.18	0.55
55	1.28	49.72	14.07	27.43	0.55
56	2.17	52.12	16.65	27.35	0.52
57	2.39	51.66	26.46	25.63	0.50
58	1.94	51.80	21.80	27.03	0.52
59	2.15	48.32	18.73	28.34	0.59
62	1.24	51.22	15.36	27.21	0.53
63	1.06	51.48	12.98	28.72	0.58
64	1.29	50.86	15.06	26.93	0.53
65	3.48	44.88	23.19	30.45	0.68
66	1.23	48.90	14.07	29.82	0.61
67	2.14	49.09	26.06	25.39	0.52
68	2.42	48.79	23.78	27.66	0.57
69	1.99	50.24	27.35	28.72	0.57
70	1.55	49.19	16.95	28.77	0.58
70-2	2.72	46.75	25.27	29.22	0.63
71	2.26	48.25	23.49	27.24	0.56
72	2.04	55.38	26.06	24.43	0.44
73	1.28	50.51	13.77	25.00	0.49
74	1.24	50.90	13.87	27.69	0.54
75	1.34	50.01	15.08	28.03	0.56
76	3.79	47.80	11.40	27.61	0.58
77	1.97	49.44	21.60	27.19	0.55
78	1.48	50.46	20.12	27.23	0.54
79	2.39	40.35	10.11	28.84	0.71
80	2.17	47.68	12.88	28.91	0.61
81	1.25	51.74	15.26	27.58	0.53
82	1.52	51.35	15.86	28.32	0.55
83	1.78	51.58	22.59	25.73	0.50
84	1.78	51.58	22.59	25.73	0.50
85	1.81	50.31	19.82	27.50	0.55
86	1.37	51.91	15.96	25.72	0.50
87	2.26	51.14	27.25	26.28	0.51
89	2.08	49.74	23.39	28.22	0.57
90	2.39	49.05	19.32	28.15	0.57
91	2.84	51.33	28.84	25.83	0.50
37	2.16	50.12	23.29	28.32	0.57
39	1.81	51.13	16.85	29.82	0.58
40	1.27	53.22	15.66	26.61	0.50
41	1.38	50.64	11.89	28.88	0.57
42	1.79	52.23	23.88	25.33	0.48
43	2.85	48.97	22.79	28.04	0.57
45	1.23	50.62	15.06	27.98	0.55
46	1.80	50.77	14.96	28.29	0.56
47	2.02	47.77	17.14	30.07	0.63
48	1.89	48.42	13.48	29.57	0.61
49	1.44	49.19	10.60	28.41	0.58
50	2.19	47.85	11.59	28.06	0.59
51	1.96	49.80	20.61	27.64	0.56
52	1.83	48.32	12.68	28.85	0.60
54	1.55	48.31	23.88	28.38	0.67
55	1.92	47.57	17.54	28.27	0.59
56	2.08	47.51	22.79	27.98	0.59

CICLO	Análisis de soplado a escoria				Ratio SiO2/Fe
	Cu %	Fe %	Fe3O4%	SiO2 %	
92	1.68	53.96	24.48	24.24	0.45
93	1.89	49.30	26.66	27.56	0.56
94	3.31	48.99	26.38	24.58	0.50
95	1.81	52.81	22.59	26.48	0.50
97	0.99	51.73	8.62	25.75	0.50
99	1.82	50.59	22.10	25.72	0.51
100	1.99	49.53	20.02	27.23	0.55
101	2.57	53.72	30.72	23.61	0.44
102	2.95	51.08	31.61	24.82	0.49
103	1.49	52.88	18.14	27.18	0.51
104	1.74	50.91	12.39	25.63	0.50
105	1.95	49.09	20.81	27.92	0.57
106	2.98	48.07	20.81	26.03	0.54
107	1.38	51.75	17.54	26.64	0.51
108	1.71	48.72	17.14	28.70	0.59
109	3.33	47.40	17.84	27.02	0.57
110	1.36	50.06	13.58	28.36	0.67
111	1.12	50.94	15.16	27.14	0.53
112	2.57	49.31	23.59	26.90	0.55
113	1.26	52.54	17.31	26.26	0.50
115	2.66	50.65	28.14	27.46	0.54
116	2.49	50.41	26.45	26.50	0.53
118	2.17	50.09	16.75	28.27	0.56
119	2.38	53.38	18.63	24.95	0.47
120	2.17	50.09	16.75	28.27	0.56
121	2.38	49.94	27.05	28.57	0.57
122	2.31	52.43	27.25	25.64	0.49
123	4.01	51.35	31.41	24.35	0.47
124	2.19	55.33	15.86	25.33	0.46
126	1.27	49.60	13.97	28.14	0.57
127	2.76	49.55	25.66	24.90	0.50
129	2.24	50.10	26.06	26.41	0.53
130	2.37	49.94	24.28	27.81	0.56
131	1.89	50.51	16.15	27.47	0.54
133	2.00	49.57	15.36	27.75	0.56
135	1.75	51.39	17.14	27.65	0.54
136	1.74	51.13	16.85	28.65	0.56
137	3.07	52.79	41.42	23.42	0.44
138	2.65	49.12	24.58	27.61	0.58
139	1.87	49.36	21.80	28.03	0.57
140	2.15	53.76	20.71	26.98	0.50
141	2.05	49.33	19.92	26.06	0.53
143	1.91	49.75	26.16	27.79	0.56
144	1.91	49.75	26.16	27.79	0.56
145	1.83	51.49	20.61	26.86	0.52
149	3.26	47.96	26.26	26.38	0.55
152	2.73	53.53	33.59	24.09	0.45
154	2.74	52.70	28.24	24.77	0.47
155	2.56	50.04	21.80	26.02	0.52
92	2.10	49.15	26.06	26.87	0.55
93	4.64	45.20	37.26	28.39	0.63
94	2.60	50.91	25.77	25.33	0.50
95	1.68	49.98	23.59	28.22	0.56
96	2.20	51.56	26.96	25.65	0.50
97	1.17	53.94	16.15	25.22	0.47
98	1.66	46.72	19.92	35.25	0.75
99	1.92	51.92	21.01	27.03	0.52
100	1.99	49.54	20.32	26.74	0.54
101	2.21	54.46	33.69	24.37	0.45
102	4.54	47.26	28.84	25.87	0.55
103	2				

30	1.18	52.00	14.57	28.23	0.54
31	2.40	47.84	16.85	26.43	0.59
32	1.91	48.44	13.38	29.63	0.64
33	2.05	47.66	23.78	26.82	0.56
34	1.43	51.16	16.15	27.33	0.53
35	2.06	48.17	21.50	30.11	0.63
36	1.96	50.99	22.39	25.55	0.52
1	2.19	48.64	25.77	28.21	0.58
2	5.92	43.75	39.64	30.19	0.69
6	1.98	49.16	22.09	28.02	0.57
10	1.18	50.24	12.88	27.61	0.55
12	1.48	44.80	14.57	33.41	0.75
13	2.34	46.08	23.78	28.71	0.62
15	1.42	48.04	11.99	29.70	0.61
16	5.66	44.39	35.48	30.26	0.68
18	4.32	49.41	22.89	28.53	0.58
19	3.71	46.84	22.68	28.31	0.60
22	2.70	47.62	19.72	28.83	0.61
23	1.70	48.15	13.28	29.64	0.62
24	1.73	37.87	10.41	23.39	0.62
25	1.20	47.37	10.41	31.92	0.67
29	2.53	49.48	18.25	27.29	0.55
30	2.03	47.24	11.00	29.62	0.63
31	2.79	47.43	18.63	28.29	0.60
32	1.94	48.13	14.17	28.22	0.59
34	1.33	50.33	15.76	27.65	0.55
35	1.98	49.27	24.78	29.30	0.59
36	2.40	48.83	23.59	26.88	0.54

62	1.67	48.84	15.26	28.15	0.58
63	16.74	37.29	9.41	23.10	0.62
64	0.95	49.89	7.93	27.88	0.56
65	4.28	45.96	22.50	28.99	0.63
66	1.30	45.34	12.78	29.97	0.66
67	1.41	48.74	14.87	29.40	0.60
68	1.92	47.84	20.61	29.78	0.62
69	1.89	50.85	21.80	27.36	0.54
70	1.80	50.22	19.32	29.01	0.58
70-2	3.37	45.58	23.39	29.93	0.66
71	1.89	50.63	19.42	27.46	0.54
72	1.87	50.29	21.01	29.02	0.58
73	1.78	50.47	16.65	27.83	0.55
74	1.39	48.87	13.48	28.94	0.59
75	1.50	49.02	14.27	28.74	0.61
76	2.31	49.26	14.67	28.87	0.59
77	1.86	48.33	18.23	27.55	0.57
78	2.08	49.01	22.79	27.69	0.56
79	1.48	50.14	15.66	28.03	0.56
80	1.50	50.63	13.68	28.53	0.56
81	3.41	49.22	13.48	26.64	0.55
82	1.62	51.50	22.69	29.21	0.57
83	2.11	50.79	24.18	26.78	0.53
84	2.11	50.79	24.18	26.78	0.53
85	2.15	50.07	25.47	27.45	0.55
86	1.88	50.16	18.45	28.77	0.57
87	2.44	51.36	30.52	25.44	0.50
90	3.30	49.63	26.16	26.94	0.54

37.00	3.56	46.75	24.08	30.48	0.65
39.00	4.67	48.95	18.33	27.38	0.56
40.00	1.48	51.31	15.88	28.22	0.55
41.00	1.83	52.22	18.53	27.60	0.53
42.00	2.97	46.46	29.43	29.81	0.64
48.00	1.58	45.42	11.79	26.21	0.56
47.00	1.09	48.14	11.10	29.67	0.60
48.00	1.27	49.84	7.63	29.70	0.60
49.00	1.41	48.97	9.91	29.26	0.60
50.00	2.05	46.75	12.19	29.49	0.63
51.00	2.45	49.71	23.78	28.44	0.57
52.00	1.82	48.72	13.87	28.10	0.58
53.00	1.73	49.58	16.85	27.92	0.58
56.00	2.20	47.06	18.83	28.62	0.63
57.00	2.42	46.75	19.62	27.66	0.59
58.00	2.12	50.66	23.09	27.39	0.54
59.00	1.88	49.26	18.23	26.70	0.56
62.00	4.98	42.97	33.10	29.53	0.69
63.00	2.30	48.73	14.37	30.28	0.65
65.00	3.01	37.63	23.09	39.13	1.04
66.00	1.14	46.94	13.87	29.11	0.62
87.00	2.35	45.23	19.52	29.56	0.65
68.00	2.71	49.55	28.94	28.64	0.58
69.00	1.14	49.15	12.09	32.09	0.85
70.00	1.19	49.49	13.68	28.40	0.57
71	1.97	48.14	20.81	28.88	0.60
72.00	1.75	48.93	16.25	29.92	0.61
75.00	1.29	48.77	15.48	25.78	0.55
77.00	1.84	48.41	20.02	27.11	0.58
78.00	1.61	49.06	12.39	28.02	0.59
80.00	1.32	50.48	13.58	28.13	0.56

114	1.82	50.67	20.11	26.79	0.53
115	2.70	50.89	31.61	26.91	0.53
116	1.90	48.80	12.38	27.86	0.57
118	2.11	50.98	22.10	26.38	0.52
119	2.07	52.72	25.47	26.10	0.50
120	2.11	50.98	22.10	26.38	0.52
121	2.04	50.84	26.68	25.75	0.51
122	2.47	51.96	27.25	25.01	0.48
123	2.25	47.87	18.14	27.99	0.58
124	1.95	52.11	18.43	26.67	0.51
126	1.23	50.11	12.80	28.20	0.56
127	3.07	49.70	27.45	26.62	0.54
129	1.78	52.10	22.19	27.13	0.52
130	2.21	50.91	24.28	29.22	0.57
131	2.20	49.62	21.70	28.64	0.58
132	1.92	48.91	18.04	28.38	0.58
133	2.22	46.58	13.67	29.41	0.63
135	3.01	53.27	38.14	23.05	0.43
136	2.01	50.26	21.01	27.95	0.56
137	1.81	50.00	18.63	27.82	0.56
138	2.19	48.83	25.77	28.26	0.56
139	1.76	50.32	17.05	28.07	0.56
140	1.95	52.23	21.90	26.32	0.50
141	2.06	52.48	24.38	25.85	0.49
143	1.85	50.15	19.23	26.56	0.53
144	1.85	50.15	19.23	26.56	0.53
145	3.60	47.78	13.48	27.10	0.57
148	2.57	52.58	26.76	23.97	0.46
149	3.25	48.55	25.77	27.19	0.56
151	3.01	51.59	30.03	25.65	0.50
162	2.55	53.08	29.33	25.48	0.48
164	1.81	54.56	21.01	24.55	0.45
155	2.59	52.11	25.87	24.49	0.47
92	1.72	47.64	15.76	28.94	0.61
93	2.44	47.85	15.66	29.29	0.61
95	1.89	49.08	16.05	28.29	0.58
96	2.56	50.52	26.06	26.02	0.52
97	1.46	51.59	19.62	26.39	0.51
100	2.05	48.45	20.22	27.83	0.57
101	2.39	52.12	31.91	25.69	0.49
102	1.92	47.13	18.53	27.79	0.59
104	1.84	49.28	12.39	28.47	0.58
105	1.83	50.56	15.86	28.01	0.55
106	2.61	47.99	23.98	28.10	0.59
107	1.12	50.13	11.30	28.95	0.58
108	1.73	50.53	14.37	26.80	0.53
109	1.62	50.00	15.86	28.00	0.56
110	1.39	48.15	10.11	29.25	0.60
111	3.06	47.98	28.74	28.75	0.60
112	2.32	47.79	21.31	28.15	0.59
113	2.04	48.47	17.74	25.74	0.53
115	2.77	50.14	28.96	28.89	0.54
116	1.94	48.28	14.27	27.57	0.57
118	2.16	50.89	21.80	26.08	0.51
119	2.00	52.19	23.59	26.32	0.50
120	2.16	50.99	21.80	28.08	0.51
121	1.50	49.72	23.28	28.57	0.57
124	1.52	50.01	27.27	29.11	0.58
127	3.15	49.67	25.87	26.85	0.54

81.00	1.83	50.27	12.09	27.90	0.56
82.00	2.06	49.50	23.98	28.09	0.57
83.00	1.34	50.08	19.82	28.47	0.57
84.00	1.34	50.08	19.82	28.47	0.57
85.00	1.90	50.99	21.11	29.12	0.57
86.00	2.24	49.79	25.47	28.57	0.57
87.00	1.94	51.43	23.19	25.97	0.50
89.00	2.38	49.39	28.24	27.97	0.57
90.00	2.12	47.80	17.24	29.02	0.61
37.00	1.59	49.76	19.13	28.61	0.57
40.00	1.68	51.87	14.96	27.49	0.53
46.00	2.02	48.65	15.86	28.45	0.58
47.00	3.18	45.25	20.12	30.00	0.66
48.00	3.04	43.19	21.80	32.23	0.75
51.00	2.44	48.86	24.18	28.02	0.57
52.00	2.23	45.82	13.48	28.45	0.62
53.00	1.85	49.68	14.47	28.89	0.58
56.00	2.24	47.53	16.25	29.08	0.61
57.00	2.68	46.69	18.14	28.39	0.61
62.00	1.60	49.14	13.08	28.42	0.58
64.00	2.06	46.96	16.85	29.42	0.63
68.00	1.91	50.22	22.40	27.55	0.55
69.00	1.60	49.89	17.05	29.81	0.60
70.00	1.17	48.30	12.78	30.65	0.63
72.00	1.66	49.40	15.86	28.88	0.58
73.00	2.65	47.59	22.10	28.74	0.60
75.00	1.65	50.67	16.95	27.77	0.55
77.00	1.87	49.20	19.42	29.03	0.59
78.00	2.07	47.46	15.06	29.79	0.63
80.00	1.85	48.45	15.06	30.51	0.63
81.00	1.30	52.58	13.87	27.15	0.52
82.00	2.08	49.67	23.98	29.25	0.59
85.00	1.68	49.51	14.37	28.12	0.57
86.00	1.84	50.32	20.32	27.51	0.55
89.00	3.13	47.40	25.57	28.35	0.60
129	2.27	51.06	27.54	26.16	0.51
130	1.50	52.96	18.04	27.83	0.53
131	1.76	48.17	13.87	29.82	0.62
132	1.75	48.39	15.86	29.56	0.61
133	2.23	48.24	20.51	28.25	0.59
135	3.00	54.34	41.42	23.44	0.43
136	1.18	51.98	12.39	27.21	0.52
137	3.43	51.17	37.51	24.59	0.48
138	1.93	49.20	15.96	28.32	0.58
139	3.61	51.50	39.05	25.19	0.49
140	1.86	49.70	16.95	28.34	0.57
141	3.28	52.10	28.05	24.51	0.47
144	1.86	49.64	17.84	28.47	0.57
145	1.77	49.67	13.38	28.35	0.57
148	2.54	51.67	22.30	25.66	0.50
149	7.09	46.84	25.07	23.89	0.51
93	2.50	47.77	15.26	28.45	0.60
95	1.73	51.39	24.78	26.90	0.52
97	1.71	53.36	15.36	26.39	0.49
98	2.85	47.33	21.80	28.16	0.59
101	2.28	50.16	33.99	27.32	0.54
102	2.41	47.64	18.53	28.18	0.59
106	1.88	48.74	19.92	28.62	0.59
107	1.65	50.52	13.77	28.92	0.57
110	1.45	49.60	9.81	29.38	0.59
111	2.84	48.45	26.56	29.15	0.60
114	2.42	48.99	23.78	28.81	0.59
115	2.54	50.16	24.97	28.53	0.57
118	2.15	50.26	19.32	26.70	0.53
120	2.15	50.26	19.32	26.70	0.53
122	2.98	51.64	28.44	25.34	0.49
124	2.31	49.44	18.33	29.19	0.59
129	2.00	50.49	22.79	27.24	0.54
130	1.86	50.07	17.05	28.81	0.58
133	2.11	48.99	22.99	27.28	0.56
135	1.81	50.85	24.87	27.53	0.54
136	1.65	50.74	17.14	27.89	0.55
137	3.06	49.33	32.11	27.04	0.55
138	2.64	48.38	24.48	28.34	0.59
139	2.39	47.59	20.81	28.14	0.59
140	1.91	49.98	15.86	28.15	0.56
141	2.49	47.95	22.30	28.85	0.60
144	2.02	47.83	17.84	28.44	0.59
148	7.38	46.86	23.88	22.79	0.49
149	6.95	48.16	24.78	24.56	0.51

APÉNDICE 3

HISTÓRICO DEL CONTENIDO DE Fe_3O_4 EN LAS ESCORIAS DEL CPS N° 5

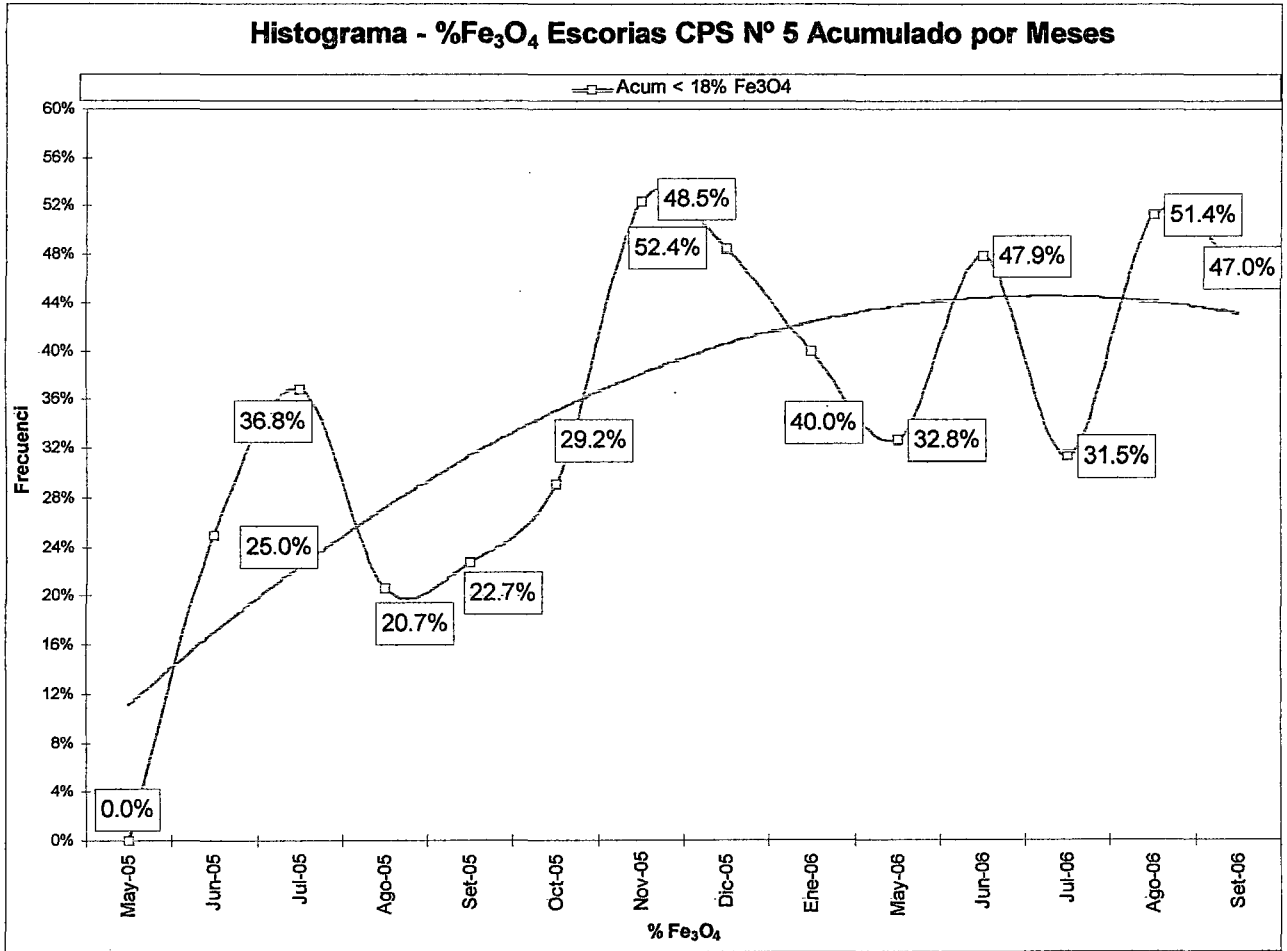


Figura 57: Cantidad de escorias con un contenido menor o igual a 18 % de Fe_3O_4 .

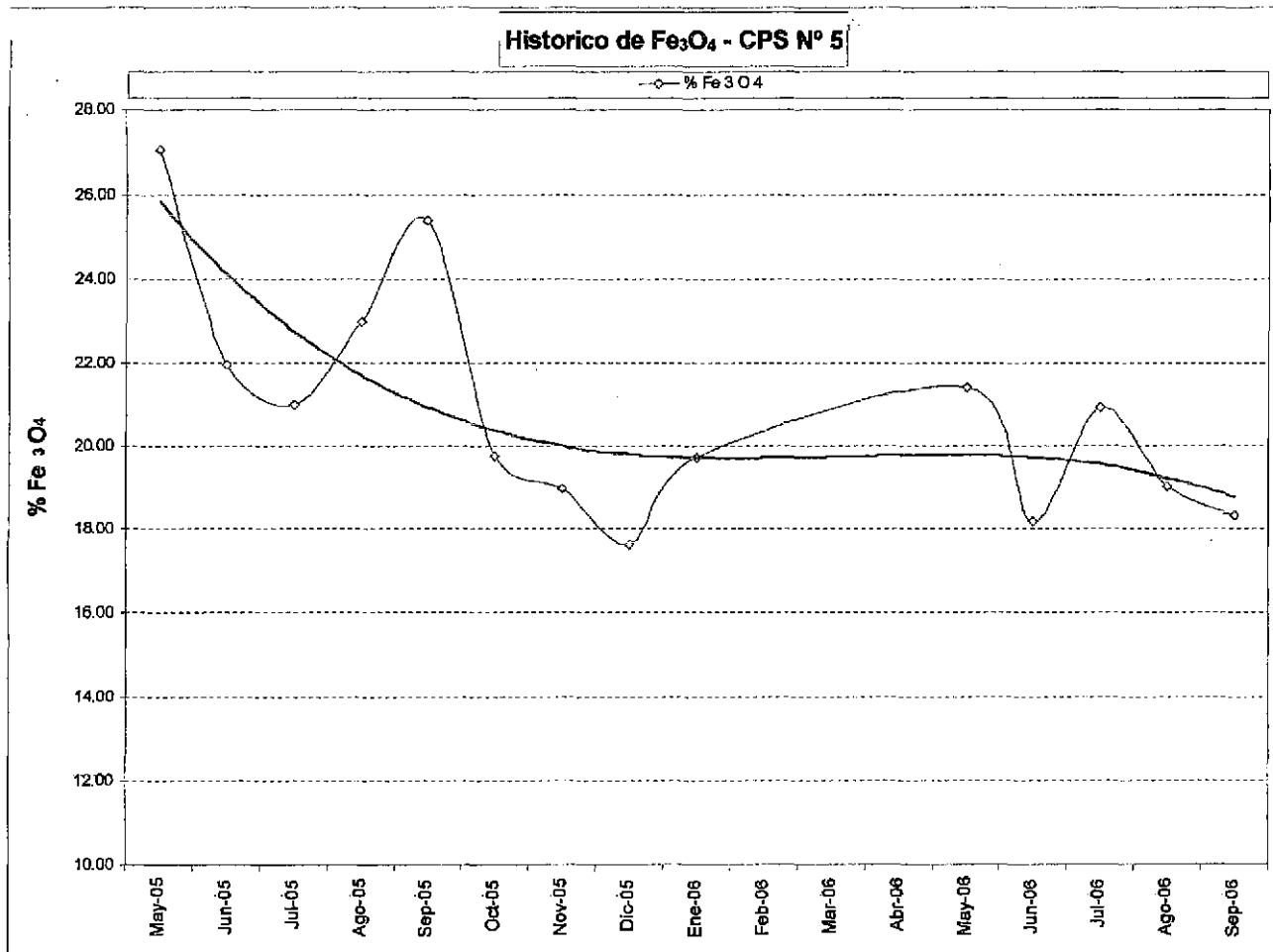


Figura 58: Histórico del contenido de Fe₃O₄ en las escorias del CPS N° 5.

APÉNDICE 4

GLOSARIO

Cobre Blister.- También llamado cobre ampoloso, producto de la conversión de las matas de cobre con una ley de 98-99% Cu.

CPS.- Convertidor Peirce Smith, consiste en un reactor semicontinuo de burbujeo en el que la transformación de matas a cobre blister se realiza en dos etapas, la primera de desulfuración del sulfuro ferroso con escorificación del hierro y la segunda de soplado hasta cobre blister.

Mata de cobre.- Mezcla de sulfuros, principalmente Cu_2S y FeS , con una ley de 38% – 40% Cu.

Metal blanco.- Cu al 75% – 78%, obtenido al finalizar el soplado a escoria.

Magnetita.- Compuesto formado principalmente en la etapa de soplado a escoria producto de la oxidación de FeS contenido en las matas de cobre.

OPC.- Optical Production Control, dispositivo óptico que monitorea el avance de la reacción en base a las radiaciones emitidas por los procesos pirometalúrgicos.

Sobresoplado.- Sobre formación de magnetita (Fe_3O_4), debido a no finalizar el soplado a escoria oportunamente.

Soplado a Escoria.- Primera etapa de conversión de las matas de cobre que consiste en la eliminación del hierro en forma de escoria.

Soplado a Cobre.- Segunda etapa de conversión de las matas de cobre que consiste en la eliminación del azufre, para la obtención de cobre blister.