

# **ISASMELT™ EN MUFULIRA – AUMENTO EN LA FLEXIBILIDAD DEL CINTURÓN DE COBRE EN ZAMBIA**

Alistair Burrows<sup>1</sup>, Phil Partington<sup>1</sup>, John Sakala<sup>2</sup>, Paul Hermit Mascrenhas<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Xstrata Technology, Lv 4, 307 Queen St., Brisbane, QLD, 4000, Australia;

<sup>2</sup>Mopani Copper Mines plc, Mufulira Smelter, PO Box 22000, Kitwe, Zambia;

Palabras clave: ISASMELT™, Eficiencia, Cinturón de cobre

## **RESUMEN**

Desde que se construyó la primera planta en Mount Isa, veinte plantas ISASMELT™ hab sido construidas o están en construcción. Recientemente se ha incorporado a la familia de plantas ISASMELT™ la fundición de Mufulira en el cinturón de cobre de Zambia, donde la planta ISASMELT™ reemplazó a un secador rotatorio y a un horno de fusión eléctrico. El cambio ha sido beneficioso para la fundición de Mufulira.

La tecnología de fusión de cobre primaria ISASMELT™ de lanza sumergida (TSL) sigue atrayendo el interés de posibles usuarios que buscan fundir de manera productiva. Además de los beneficios conocidos en cuanto a productividad y flexibilidad, los operadores ISASMELT™ también han logrado mejoras en la eficiencia energética. Las estadísticas de producción de la fundición Mufulira muestran que el consumo de energía por unidad de producción se ha reducido en forma importante con la introducción de la tecnología ISASMELT™.

## **INTRODUCCIÓN**

El proceso ISASMELT™, basado en la lanza Siros melt inventado por CSIRO y comercializado por Mount Isa Mines (MIM) en las últimas tres décadas, estaba destinado a utilizarse para la fundición de concentrados de plomo. MIM pronto descubrió que esta también era una tecnología adecuada para la fundición de cobre [1,2]. Como en el caso de MIM, otras fundiciones de cobre en busca de mejoras en sus procesos han dado cuenta de las ventajas de sus bajos costos operativos y de su capacidad para producir gases residuales con un alto contenido de SO<sub>2</sub>, de modo que el gas proveniente de la fundición pueda tratarse más económicamente en una planta de ácido.

Mopani Copper Mines Plc (MCM) decidió, a finales de 2003, reemplazar su horno de fundición eléctrica y modernizar su planta de fundición en Mufulira con la instalación de un horno ISASMELT™ y un horno eléctrico de sedimentación de mata (MSEF). La nueva instalación fue diseñada para el tratamiento de concentrados externos, además de los producidos en las minas MCM [3]. El horno ISASMELT™ fue diseñado, construido y puesto en marcha en 30 meses, y desde entonces la producción ha aumentado constantemente en los años posteriores, con opciones de continuar aumentándola en el futuro.

Las características del horno ISASMELT™ permiten que se adapte fácilmente a fundir concentrados de cobre de un amplio rango de composición. Esta capacidad de adaptación ha permitido a la fundición Mufulira aceptar una mezcla de alimentación que habría hecho ineficiente e improductivo el esquema de fundición anterior.

## **ESQUEMA DE LA FUNDICIÓN MUFULIRA ANTES DE 2006**

La fundición de Mufulira comenzó su actividad en 1937 [4]. De 1991 a 2006, la capacidad de fundición fue de alrededor de 400.000 toneladas de concentrados de cobre por año, en su mayoría procedente de las minas de MCM (es decir, las minas Mufulira y Nkana) a través de un esquema que incluía un secador rotatorio que utilizaba aceite combustible pesado (HFO por sus siglas en inglés) de diseño FFE y un horno eléctrico de arco sumergido de 36MVA de diseño Elkem, con seis electrodos en línea. No había instalaciones para captura de dióxido de azufre [3].

El horno eléctrico propiamente tal producía poco  $\text{SO}_2$  directamente, por su rol de "fundir" una mezcla de concentrado rico en cobre y relativamente bajo en hierro, produciendo mata con una ley natural superior al 50% en peso de Cu. Las composiciones típicas de concentrados de las minas de MCM se muestran en la Tabla 1.

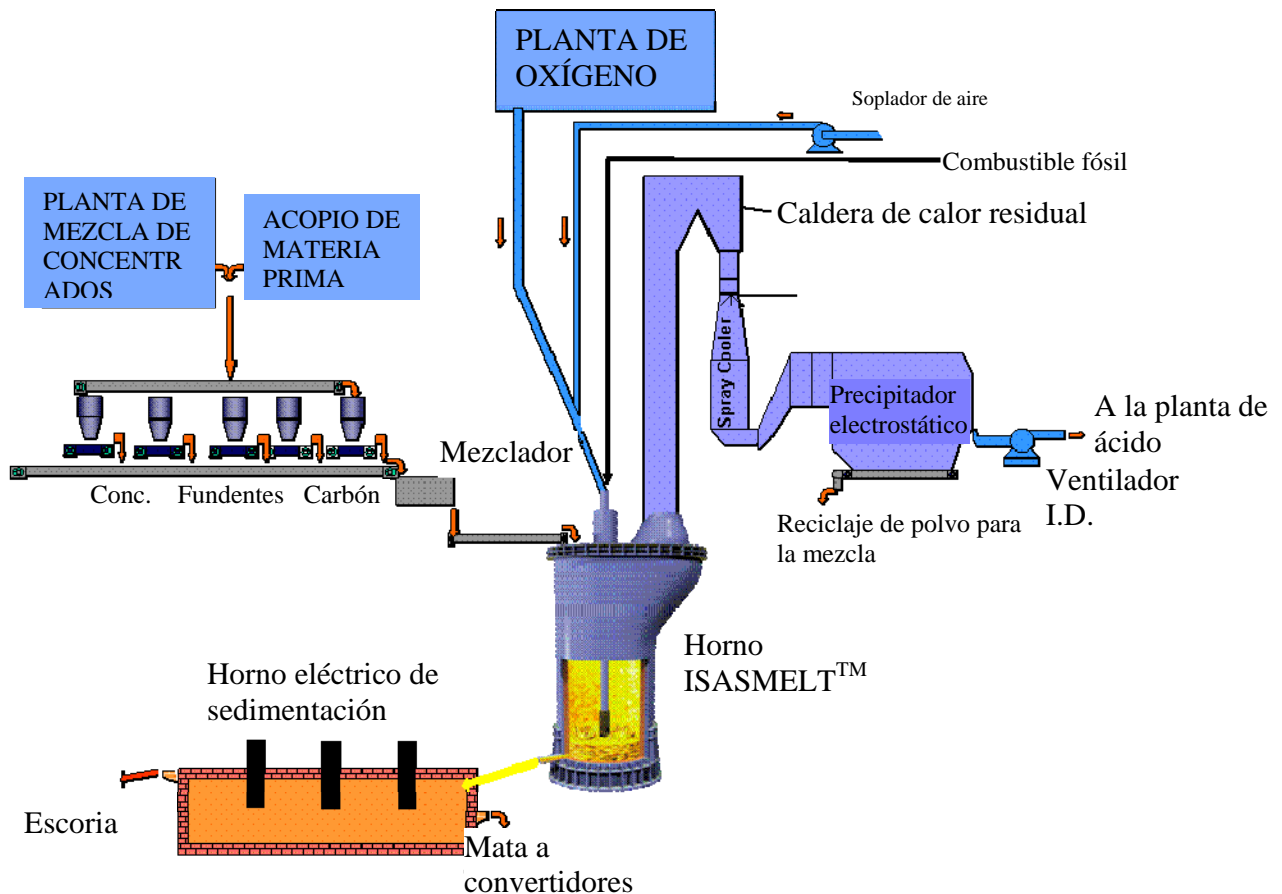
**Tabla 1 – Composición normal de concentrados MCM**

	%Cu	%Fe	%S	%SiO <sub>2</sub>	%CaO	%MgO	%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Mufulira	38-41	15	23	16	0.8	2,1	2,5
Nkana	30-32	23	30	12	1.5	1,1	1,9

El horno eléctrico tenía una capacidad nominal de tratamiento de concentrados de 420.000 toneladas por año (tpa). Para el año 2003, se reconoció que el horno eléctrico requeriría la reconstrucción o sustitución por tecnología alternativa. MCM eligió la segunda opción, en parte debido a que con una nueva tecnología de fundición se podría producir ácido sulfúrico a bajo costo. También fue ventajoso construir la nueva planta adyacente a la antigua, conectada a la nave de Convertidores Peirce Smith (PS), con el objetivo de lograr una transición perfecta desde la configuración antigua a la nueva al final de la operación del horno eléctrico.

### **ESQUEMA DE LA FUDICIÓN MUFULIRA DESPUES DEL AÑO 2006**

En la Figura 1 se muestra el nuevo esquema de fundición primaria de la fundición Mufulira. El horno ISASMELT™ es la característica central de la planta.



**Figura 1- Esquema Planta ISASMELT™ en Mufulira**

En la planta se incluye lo siguiente:

- Un área mejorada de manipulación y de almacenamiento de concentrado.
- Una planta de oxígeno criogénico de 650 tpd.
- Un horno eléctrico para sedimentación de mata (MSEF por sus siglas en inglés), capaz de procesar los productos generados en el horno ISASMELT™ y la escoria de los convertidores Peirce-Smith; generando una escoria para ser acopiada en el vertedero de escorias.
- Una planta de ácido sulfúrico de contacto simple para procesar los gases de generados en el horno ISASMELT™.

En conjunto, estos elementos son responsables de la producción actual de cobre de la fundición de Mufulira y sus perspectivas de futuros acuerdos económicos para la elaboración de concentrado desde dentro del cinturón de cobre de Zambia y la República Democrática del Congo (RDC).

### **Rol de Xstrata Technology en el desarrollo de la fundición de Mufulira**

Xstrata Technology (XT), licenciante del proceso ISASMELT™, participó en el desarrollo e implementación del nuevo esquema de fundición en Mufulira, lo que incluyó actividades claves en el diseño, suministros, capacitación de los operadores y puesta en marcha.

El alcance de trabajo de XT se dividió en las siguientes etapas:

### Ingeniería de diseño:

En marzo de 2004, MCM firmó un Acuerdo de Servicios Profesionales con XT y un Acuerdo de Ingeniería con un contratista de ingeniería, adquisición y gestión de construcción (EPCM). La ingeniería de diseño para el horno ISASMELT™ se llevó a cabo en la oficina XT en Australia con la participación activa del equipo del propietario y de la oficina EPCM en Sudáfrica. El uso regular de herramientas avanzadas de gestión de proyectos permitió a las tres partes compartir y revisar documentos en ambos lados del Océano Índico. XT revisó la ingeniería mecánica y estructural que entregó el contratista EPCM durante esta etapa. Se hicieron estudios HAZ-Op tanto en el equipo diseñado por XT como en todo el equipo de interfaz.

### Suministro del equipo XT:

Como parte del acuerdo de servicios con MCM, el suministro del equipo básico para la planta ISASMELT™ se adjudicó a XT. El paquete básico incluye equipos de elevación automática de lanza, lanzas, quemadores especializados, sistemas de control de combustible, caldera de calor residual (WHB) con enfriador de gas evaporativo, ventiladores de escape para combustión e higiene, sopladores de aire para proceso de combustión y lanza e instrumentación especializada.

### Diseño y suministro del sistema de control de procesos:

Una parte importante del éxito de la tecnología ISASMELT™ es su sistema de control de procesos. XT en asociación con MIPAC entregó un paquete completo de control de procesos para la nueva planta de fundición. Esto incluye el hardware distribuido de control del sistema y el software y la configuración de un amplio sistema de control de planta, que abarca el control para la preparación planta de alimentación, operación ISASMELT™, WHB, sistema de gases de escape del proceso de fundición, planta de ácido y planta de oxígeno.

### Programa de capacitación:

Se necesita una capacitación exhaustiva para transmitir la tecnología de manera exitosa. El proceso de capacitación de MCM se llevó a cabo en dos fases:

- Capacitación a operaciones mantenimiento por tres meses a escala completa en la fundición MIM en Australia.
- Capacitación in situ durante la puesta en marcha de la planta donde se explicó partida de los hornos en frío y en caliente, partidas de prueba en frío, puesta en marcha, paradas, y casos de mantenimiento y solución de problemas.

### Asistencia técnica:

Parte importante del proyecto fue la asistencia técnica por parte de XT a MCM durante la ingeniería, antes y después de la puesta en marcha del proyecto. Los servicios técnicos incluyen la adscripción de personal de XT a MCM y a la fundición Mufulira para llevar a cabo las siguientes funciones:

- Ayudar con la instalación de los elementos claves de equipo.
- Ayudar a supervisar la instalación de todo el sistema de control de la planta.
- Ayudar a supervisar la puesta en marcha y el inicio de la planta.

La planta fue puesta en servicio en septiembre de 2006, 30 meses después de la firma del Acuerdo de Servicios profesionales, y se muestra en la Figura 2.



**Figura 2 – Planta ISASMELT™ en la Fundición de Mufulira**

## **CAMBIOS IMPORTANTES EN EL SUMINISTRO DE CONCENTRADO**

En el momento de iniciar el proyecto de actualización de la fundición Mufulira, en MCM se anticipaba una producción relativamente constante de aproximadamente 400.000 tpa de concentrado desde las minas y concentradoras de MCM (Nkana y Mufulira) [3], los que iban a entregar gran parte de la alimentación al horno ISASMELT™. Normalmente, Nkana producía el 55-60% de la producción extraída de Mopani y Mufulira producía el resto [4]. Durante los últimos años, los concentrados acordados comercialmente, sobre todo de la mina First Quantum Minerals "Kansanshi", se han vuelto cada vez más frecuentes debido al aumento del rendimiento de la fundición. En la Tabla 2, se muestra una composición normal del nuevo material con contenido de cobre que actualmente recibe la fundición Mufulira

**Tabla 2 - Composición normal del nuevo material de alimentación a la fundición Mufulira**

	%	%Cu	%Fe	%S	%SiO <sub>2</sub>	%CaO	%MgO	%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Mufulira	15	38-41	15	23	16	0,8	2,1	2,5
Nkana	35	30-32	23	30	12	1,5	1,1	1,9
Kansanshi <sup>#</sup>	50	26	27	33	8	0,3	0,7	1,4

# Otro concentrados de la mina también están dentro de los acuerdos comerciales, pero este es el componente más destacable.

Como se indica en la Tabla 2, también se ha producido un efecto secundario al recibir más concentrado de una tercera parte: una disminución en la ley promedio de cobre que alimenta la fundición. Considerando que el concentrado de Mufulira contiene una cantidad importante de bornita y calcosina, los concentrados de tratados comercialmente en su mayoría sólo contienen calcopirita. Aunque esto hubiera sido perjudicial para la producción de la fundición utilizando el

esquema original de fundición primaria, lo que incluía un secador rotatorio y un horno eléctrico, MCM ha podido fundir en forma productiva mediante el esquema actual que incluye un horno ISASMELT™ y un MSEF. De hecho, ha sido un ajuste excelente. La fundición Mufulira produce ahora, por unidad de producción de cobre, mucho más ácido sulfúrico de lo que hubiera sido el caso. El ácido se puede utilizar para operaciones de lixiviación o se puede vender a otras operaciones en la región.

### COMPARACIÓN DEL ESQUEMA ANTERIOR VERSUS EL ACTUAL

Se ha tratado de hacer una comparación estadística de los méritos relativos a los esquemas actuales y anteriores. No existe un método estándar para hacer esto. La diferencia en la escala de producción y las peculiaridades de las materias primas pueden complicar la tarea de hacer comparaciones importantes entre las operaciones industriales. En un análisis detallado de este tema, Goonan [5] utiliza un esquema genérico sobre fundición de cobre y flujos normalizados de materiales y energía, para efectos de comparar diferentes fundiciones de cobre. Se adoptó el enfoque de Goonan, con la modificación necesaria de que los límites considerados en este trabajo sólo se extienden alrededor de la etapa de fundición primaria y de limpieza de escoria y no hacia las secciones de conversión y refinación a fuego.

En la Figura 3 se muestra un esquema genérico de fundición primaria. El área de fundición primaria está encerrada dentro de la línea roja segmentada. El material y las corrientes de energía sujetos a comparación están etiquetados individualmente. Todas las mediciones de flujo de masa están en unidades de toneladas por tonelada de cobre producido. Las mediciones de electricidad están en MWh por tonelada de cobre producido. No todas las corrientes son aplicables a todas las fundiciones. Por ejemplo, la corriente J se define como cero para un horno eléctrico de limpieza de escoria, pero este sería un valor distinto de cero si la limpieza de escoria se realizara utilizando un proceso de flotación.

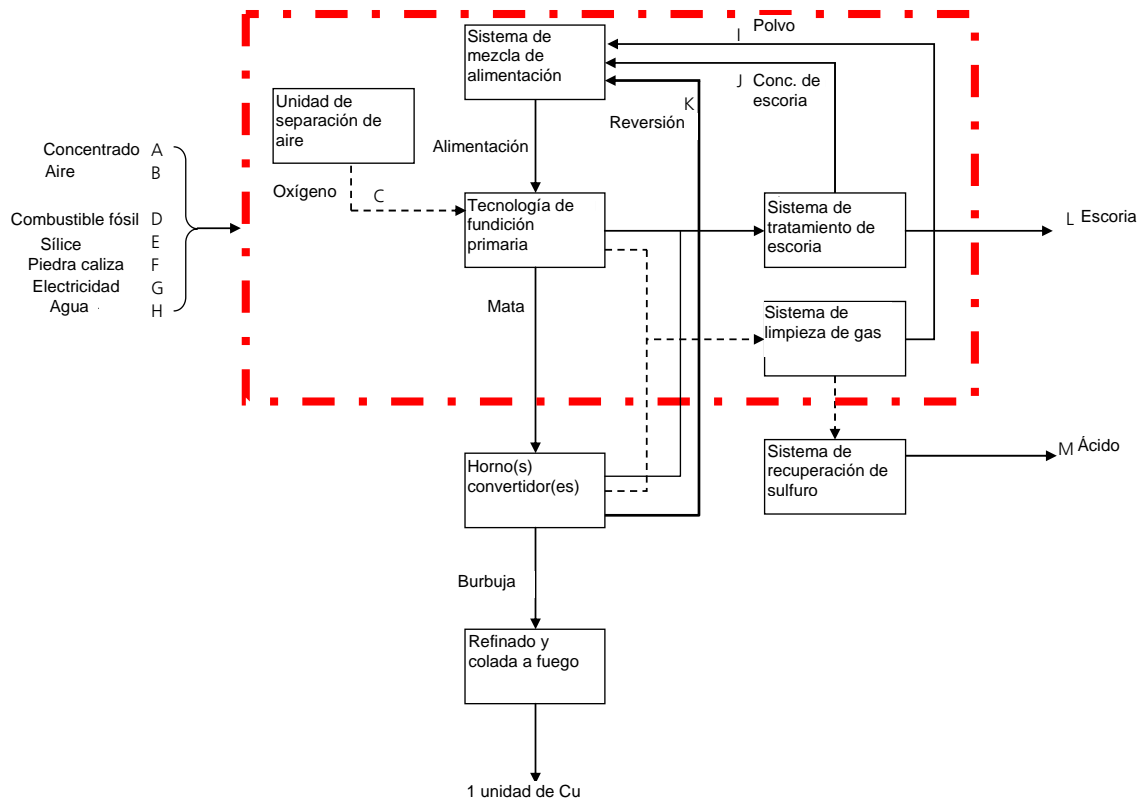


Figura 3 – Diagrama simplificado de una fundición de cobre.

Para efectos de consistencia, las cifras de electricidad citadas en este trabajo:

- Incluyen la generación de oxígeno industrial;
- Incluyen la compresión de aire por el ventilador del proceso de fundición primaria;
- Incluye la electricidad para el MSEF;
- Incluye el gas de escape del o de los ventiladores de fundición primaria;
- Incluye a los consumidores menores de toda el área de fundición primaria; pero,
- Excluye cualquier beneficio de compensación a partir de la electricidad generada utilizando vapor de agua desde el sistema de recuperación de calor residual (esto, en caso de la fundición de Mufulira es igual a cero).

Los principales resultados de la comparación del antes y el después en la fundición de Mufulira son que se notó un ahorro sustancial en el consumo de electricidad, y un aumento (desde cero) en la generación de ácido sulfúrico cuando se expresa por unidad de producción de cobre. El resultado del cambio del horno eléctrico de fundición por uno ISASMELT™ y MSEF, fue que el consumo específico de energía eléctrica se redujo considerablemente (en un 39%), incluso teniendo en cuenta la introducción de una planta de oxígeno de 650 tpd. La caída del consumo específico de energía eléctrica fue acompañada por un pequeño aumento en el consumo específico de combustible fósil. Estos datos se muestran en la Tabla 3.

**Tabla 3 – Comparación de antes y después en la fundición de Mufulira**

		Mopani Copper Mines Mufulira Zambia	
Tecnologías de Fundición Primaria		EF	ISASMELT + MSEF
Período		CY 2004	CY 2009
Concentrado	A	1,87	2,80
Aire	B	0	0,27
Oxígeno	C	0	0,67
Combustible fósil	D	0,02	0,15
Sílice	E	0	0,06
Caliza	F	0,24	0
Electricidad	G	1,57	0,96
Agua	H	0	0,26
Polvo	I	0,07	±
Concentrado de escoria	J	0	0
Reversiones	K	0,35	0,52
Escoria	L	1,36	1,61
Ácido sulfúrico	M	0	1,14

Notas: Las corrientes se definen en la Figura 3. Las unidades de corriente son en MWh / t Cu. Las unidades de masa son en t / t Cu.

Abreviaturas: EF = Horno eléctrico, CY – Año calendario, ± – no disponible

### COMPARACIÓN CON USUARIOS SIMILARES DE ISASMELT™

La fundición Mufulira es la tercera fundición de cobre que reemplaza un horno eléctrico de fundición por un horno ISASMELT™, y lo combina con un MSEF. Las dos fundiciones anteriores que lo hicieron son Freeport Miami [6], en Arizona y Yunnan Copper en Kunming, en China [7], respectivamente. Es instructivo ver cómo Mufulira se compara con estas dos operaciones de fundición.

Las historias de las operaciones ISASMELT™ en Miami y Kunming son similares en algunos aspectos. Ambas tenían hornos eléctricos de fundición de seis en línea que fueron modificados para actuar solamente como hornos de sedimentación. La fundición Mufulira se diferencia de estas dos operaciones en que tiene un MSEF especialmente diseñado para acompañar al horno ISASMELT™. Las tres fundiciones producen mata con un contenido de cobre similar (52-59%), aunque Miami y Kunming comienzan con concentrados de cobre de menor ley.

Los datos comparativos de los tres hornos de fundición se muestran en la Tabla 4. Los datos indican que la fundición de Mufulira utiliza menos aire y menos oxígeno en el horno ISASMELT™ y produce menos escoria desde el MSEF que las de Miami y Kunming, cuando se expresa por tonelada de cobre producido. Esto se espera de una planta de tratamiento de concentrado de ley superior.

La fundición de Mufulira consume más agua en la planta ISASMELT™ que la de Miami. Esto se puede atribuir a la utilización parcial de enfriamiento por evaporación para el gas de escape en Mufulira, mientras que Miami y Kunming enfrían los gases de escape de ISASMELT™ a una temperatura similar utilizando la sección de convección de sus respectivas calderas de calor residual.

En otros aspectos, cada planta tiene capacidad similar y ha logrado estadísticas similares.



**Tabla 4 - Parámetros de evaluación comparativa para las fundiciones de cobre que utilizan la tecnología ISASMELT™ + MSEF**

		Freeport Miami EE.UU.	Yunnan Copper Kunming China	Mopani Copper Mines Mufulira Zambia	
Tecnologías de Fundición Primaria		ISASMELT + MSEF	ISASMELT + MSEF	EF	ISASMELT + MSEF
Período		CY 2007	CY 2006	CY 2004	CY 2009
Concentrado	A	3,45	4.25	1,87	2,80
Aire	B	1,29	0.88	0	0,27
Oxígeno	C	1,02	0.82	0	0,67
Combustible fósil	D	0,18	0,14	0,02	0,15
Sílice	E	0,16	0,06	0	0,06
Caliza	F	0,05	0,00	0,24	0
Electricidad	G	0,94	0,86	1,57	0,96
Agua	H	0,014	0,50	0	0,26
Polvo	I	0,02	0,007	0,07	‡
Concentrado de escoria	J	0	0	0	0
Reversiones	K	0,33	0	0,35	0.52
Escoria	L	2,41	2,62	1,36	1,61
Ácido sulfúrico	M	3,35	3,33	0	1,14

Notas: Las corrientes se definen en la Figura 3. Las unidades de corriente son en MWh / t Cu. Las unidades de masa son en t / t Cu.

Abreviaturas: EF = Horno eléctrico, CY = Año calendario, ‡ = no disponible

El hecho de que la fundición de Mufulira sea la única que tiene un MSEF construido especialmente, mientras que Miami y Kunming modificaron sus hornos eléctricos de fundición anteriores, no parece haber influido en el consumo específico de energía del esquema general de fundición primaria. El MSEF de Mufulira [3] es un horno eléctrico de tres en línea, con capacidad de 12 MVA que usa electrodos Söderberg. Las dimensiones del horno son 18,1 m x 7,4 m x 5,7 m (Largo x Ancho x Alto) y su capacidad de retención de mata es de aproximadamente 400 tons. Una pequeña cantidad de coque alimenta al MSEF, principalmente para reducir la escoria más oxidada del convertidor PS. El MSEF ha demostrado ser una eficaz unidad de limpieza de sedimentación y escoria para la fundición de Mufulira. Produce una escoria de descarte con un contenido de cobre de menos de 0,7% en peso de Cu, y también juega un rol importante en retener suficiente mata para permitir una capacidad de reacción entre el horno ISASMELT™ continuo y los Convertidores PS por lotes. El MSEF complementa muy bien el horno ISASMELT™.

### **PERSPECTIVA FUTURA PARA LA FUNDICIÓN DE MUFULIRA**

Los parámetros claves del proceso para la planta ISASMELT™ de la fundición Mufulira para mayo de 2010 se presentan en la Tabla 5. Al momento en que se escribió este artículo, la planta estaba funcionando en alta disponibilidad con una velocidad de alimentación de hasta 105 t / h (de concentrado de cobre, con exclusión de corrientes de recirculación internos, en base seca).

La producción de fundición en Mufulira todavía está en expansión a medida que se van produciendo mejoras continuas a la operación. Se prevé una modernización y expansión en la operación del Convertidor PS, lo que también dará lugar a la instalación de otra planta de ácido sulfúrico para capturar los gases de azufre restantes que se emiten actualmente a la atmósfera.

**Tabla 5 – Parámetros normales de proceso para la Planta ISASMELT™ en Mufulira a mayo de 2010**

Parámetro	Valor	Unidad
Tasa normal de alimentación de concentrado	90-100	seco t/h
Contenido promedio de cobre en el concentrado	29	%
Humedad promedio del material	9	%
Tasa promedio de alimentación de flujo de sílice	1,5	seco t/h
Tasa promedio de alimentación de carbón	1,5	seco t/h
Tasa promedio de alimentación de reversiones	15	seco t/h
Ley promedio de cobre de la mata	54-55	%
SiO <sub>2</sub> /Fe promedio en escoria	0,95	--
Tasa promedio de flujo de aire de lanza ISASMELT™	6.0	Nm <sup>3</sup> /s
Contenido promedio de oxígeno en el aire de lanza ISASMELT™	76-78	%
Rango de temperatura del baño	1175 - 1185	°C

Se han estado abriendo nuevas minas en el cinturón de cobre de Zambia, y se prevén más para los próximos años. Mufulira puede aprovechar el aumento del suministro de concentrado en esta región y su futuro se ve seguro. También es ventajosa la producción de ácido adicional, ya que se cuenta con consumidores locales que ya poseen operaciones hidrometalúrgicas y que pretenden abrir otras.

## CONCLUSIONES

La fundición de Mufulira ha modernizado su esquema de fundición incluyendo un horno ISASMELT™ y un MSEF. El funcionamiento de la planta actual partió cuando la tecnología de fundición anterior, un secador rotatorio y un horno eléctrico de fundición, llegaron al final de su vida útil. La producción de la fundición ha aumentado de manera constante utilizando la nueva tecnología para tratar comercialmente una creciente cantidad de concentrado de cobre a fin de complementar la producción de las minas Nkana y Mufulira de MCM.

El consumo específico de energía eléctrica (es decir, el consumo por unidad de cobre producido) se redujo en un 39% después de introducir el nuevo esquema de fundición en Mufulira. La fundición Mufulira está operando según estadísticas similares a otras fundiciones bien establecidas (Miami y Kunming), que también están usando un esquema ISASMELT™ y MSEF

## RECONOCIMIENTOS

Los autores desean reconocer a Mopani Copper Mines, Yunnan Copper Corporation y Freeport McMoran Miami por facilitar los datos para su publicación.

Los autores igualmente desean agradecer a Xstrata Technology y Mopani Copper Mines por su autorización para publicar este artículo.

## REFERENCIAS

- [1] P.S. Arthur and S.P. Hunt, "ISASMELT™ - 25 Years of Continuous Evolution", *Floyd International Symposium on Sustainable Development in Metals Processing*, M. Nilmani and W.J. Rankin, Eds., NCS Associates (Australia), 2005, pp 73-94.
- [2] B.Burford, "The ISASMELT™ Technology Package: Over 30 Years of Innovation" *The AusIMM Bulletin, Journal of the Australasian Institute of Mining and Metallurgy*, No 1, February 2009, pp.26-30.
- [3] Ross, J. & de Vries, D., "Mufulira Smelter Upgrade Project – 'Industry' Smelting on the Zambian Copperbelt", *Pyrometallurgy 2005*, Capetown, Minerals Engineering International, 2005.
- [4] "Mopani to Invest US\$0.25Billion on Copperbelt in 2006", *Mining Review Africa*, Issue 1, pp20-23, 2006
- [5] Goonan, T.G., "Flows of Selected Materials Associated with World Copper Smelting", *U.S. G.S. Open-File Report 2004-1395*, 2005
- [6] Bhappu, R.R, Larson, K.H. & Tunis, R.D., "Cyprus Miami Mining Corporation, Smelter Modernisation Project Summary and Status", *EPD Congress 1994*, pp555-570, TMS, 1993
- [7] Yi Feng Shi, "Yunnan Copper's ISASMELT – Successful Smelter Modernization in China", *Proc. of the Sohn Symposium*, TMS, 2006