



Título del  
documento:

## **ISASMELT™ – 25 AÑOS DE EVOLUCIÓN CONTINUA**

Documento  
presentado en:

Simposio Internacional John Floyd sobre el desarrollo sustentable en el  
procesamiento de metales. 3 al 6 de julio de 2005, Melbourne.

Autores:

P. S. Arthur, S. P. Hunt, Xstrata Technology

Fecha de la publicación

Julio de 2005

Para obtener más información, comuníquese con nosotros en  
[isasmelt@xstrata.com.au](mailto:isasmelt@xstrata.com.au)

[www.isasmelt.com](http://www.isasmelt.com)

## **ISASMELT™ – 25 AÑOS DE EVOLUCIÓN CONTINUA**

P. S. Arthur, S. P. Hunt

*Xstrata Technology*

*Level 4, 307 Queen Street*

*Brisbane, Qld. 4000, Australia*

*ISASMELT@xstrata.com.au*

### **RESUMEN**

El proceso ISASMELT™ emergió en la industria mundial de los metales durante la década de los 90 y actualmente está procesando alrededor de cuatro millones de toneladas de concentrados y materiales secundarios cada año. La tecnología de fusión por lanza sumergida produce tanto como plomo metálico, matas de cobre o cobre metálico en las plantas ubicadas en Australia, EE.UU., Bélgica, India, Alemania, Malasia y China. Plantas adicionales se encuentran en construcción en Perú y Zambia.

El proceso se basa en la lanza sumergida con entrada superior refrigerada por aire, Sirosmelt, desarrollado por el Dr. John Floyd en la División CSIRO de Ingeniería de Minerales y Proceso en los años 70. Mount Isa Mines reconoció el potencial que tenía el nuevo concepto de fundición de soplado superior y se embarcó en un programa de desarrollo que sigue continuando hoy, ya por más de 25 años. Las plantas piloto, las plantas de demostración y las plantas a escala comercial han procesado una amplia gama de materiales durante este tiempo. La operación del proceso a escala comercial en la fundición de cobre de Mount Isa ha permitido que ISASMELT™ se haya desarrollado hasta un nivel donde se le reconoce actualmente como el proceso de fundición de cobre más económicamente atractivo disponible. Xstrata licencia la tecnología para compañías en todo el mundo.

Este documento narra la historia del desarrollo del proceso ISASMELT™ y explora algunas de las razones por las que se convirtió en un nuevo proceso de fusión sostenible.

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la lanza Sirosmelt en CSIRO abrió nuevas oportunidades para la industria pirometalúrgica no ferrosa. Antes de su introducción la inyección de gases en la escoria o la mata líquida se lograba predominantemente por medio de toberas, con complicaciones de diseño inherentes y problemas refractarios. Mount Isa Mines Limited <sup>(1)</sup> se involucró en la tecnología de lanza sumergida durante los 70 y reconoció su potencial para mejorar la eficacia de las operaciones en sus fundiciones de plomo y cobre. La lanza permitió el uso de hornos estacionarios con un diseño simple, pero con índices de reacción muy altos. Luego de la colaboración conjunta inicial con CSIRO, el proceso ISASMELT<sup>TM</sup> <sup>(2)</sup> fue desarrollado hasta su éxito comercial en el complejo de fundición de Mount Isa.

## HISTORIA DEL PROCESO ISASMELT<sup>TM</sup>

### Los primeros pasos

El desarrollo del proceso ISASMELT<sup>TM</sup> comenzó en el año 1977 cuando se realizaron pruebas con la lanza Sirosmelt para la recuperación de cobre a partir de escorias de los hornos de ánodos y de conversión<sup>1</sup>. Se utilizó una planta piloto con un diámetro interno de 0,8 metros para el tratamiento de combustión sumergida de las escorias de cobre producidas en Mount Isa y Townsville. Se observó que la turbulencia en el baño permitía la reducción rápida por carbón grueso y una rápida digestión del fundente. También se observó que la capacidad de medir y controlar la temperatura era de vital importancia para maximizar la vida refractaria. Los autores concluyeron que la reducción de la escoria de conversión en el horno Sirosmelt tendría ventajas por sobre la práctica tradicional de regresar la escoria a los hornos de reverbero, ya que a menudo tenían problemas operativos causados por la formación de acumulaciones de magnetita. Los resultados de la prueba motivaron al equipo de investigación para realizar más trabajos de prueba utilizando el nuevo proceso.

### Desarrollo del plomo en ISASMELT<sup>TM</sup>

A fines de la década del 70 Mount Isa Mines estaba buscando una solución para mejorar y ampliar las operaciones de la fundición de plomo de Mount Isa. A pesar de que se estaban desarrollando una cierta cantidad de nuevos procesos de fundición de plomo en ese entonces, incluidos los procesos de Kivcet, QSL y Kaldo<sup>2</sup>, se pensaba que la lanza Sirosmelt podría utilizarse para fundir los concentrados de plomo de Mount Isa de manera económica. En 1978 se inició un proyecto conjunto con CSIRO para investigar la aplicación de la tecnología de combustión sumergida para la fusión de plomo. El trabajo original que incluía el modelamiento computacional de la termodinámica del proceso fue seguido por trabajos de prueba a escala de crisol en 1979<sup>3</sup>. Las pruebas a escala de crisol parecían confirmar las conclusiones del trabajo de modelamiento de que los humos del plomo del baño se limitarían y que la reducción de las escorias de plomo ocurría de manera bastante rápida. Este trabajo se consideró lo suficientemente

---

<sup>1</sup> Mount Isa Mines es propiedad de Xstrata

<sup>2</sup> ISASMELT<sup>TM</sup> es una marca registrada de Xstrata technology

prometedor como para justificar el trabajo de prueba a una pequeña escala de planta piloto. Se pensaba que a pesar de que un 40% del plomo en la alimentación se reportaba a la fase gaseosa, los índices de volatilización serían significativamente menores a una escala mayor.

Siguieron una serie de pasos de desarrollo de procesos incluida una planta piloto, una planta de demostración y la construcción de una planta a escala comercial. La tabla 1 muestra las plantas de plomo de ISASMELT<sup>TM</sup> que se construyeron en Mount Isa.

**Tabla 1 – Plantas de plomo ISASMELT<sup>TM</sup> en Mount Isa**

Fecha	Tipo de planta	Capacidad de la planta
1980	Planta piloto a pequeña escala	120-250 kg/h de concentrado
1983	Planta de demostración de fundición	5-10 tph de concentrado
1985	Planta de demostración reducción de escoria de plomo	5 tph de escoria de plomo
1991	Fundición de plomo primario	60.000 tpa de plomo en

Las pruebas en las plantas piloto se realizaron entre 1980 y 1982<sup>3</sup>. Se autorizó una planta de 120kg/h en septiembre de 1980. Los objetivos principales eran probar la factibilidad de un proceso de dos etapas para la fusión del concentrado de plomo y la reducción de la escoria para obtener estimaciones razonables para los índices de volatilización, el desgaste refractario y los índices de combustibles. La tabla 2 resume los principales hallazgos del trabajo en la planta piloto.

**Tabla 2 – Principales hallazgos en la planta piloto**

Humos de plomo	Se podría controlar con una amplia gama de composiciones y temperaturas de la escoria
Aumento del contenido de oxígeno en el aire de la lanza	Se disminuyeron los requerimientos de combustible, se disminuyó la producción de humos, no hubo un aumento significativo en el desgaste de la lanza
Desgaste refractario	Menor al esperado, mayor durante la reducción que durante la oxidación
Reducción de la escoria	Se demostró durante la operación en lotes, continuó rápidamente utilizando la adición de carbón grueso
Humos de zinc	Depende mucho de la temperatura

Posteriormente, Mount Isa Mines y CSIRO recibieron una patente para el “proceso de fundición de plomo de alta intensidad”<sup>4</sup>. Este proceso se denominó el proceso ISASMELT<sup>TM</sup>. El término “ISASMELT<sup>TM</sup>” se utilizó luego para describir la combinación del horno y el diseño de la lanza modificada que incorporó el desarrollo y los conocimientos de las operaciones de Mount Isa.

Los resultados de la planta piloto de 120kg/h motivaron a la administración de Mount Isa a construir una planta de demostración para poder evaluar el potencial de una operación comercial del proceso. Se seleccionó una producción total de aproximadamente 5t/h, puesto que correspondía a alrededor de un cuarto a un décimo del tamaño de una planta comercial que permitiría una futura ampliación

dentro de los niveles de riesgo aceptables. La intención era que la planta de demostración se utilizaría para proporcionar información adicional sobre el desgaste refractario y de la lanza, el consumo de combustible, volatilización y la higiene. Para mejorar el traspaso de la tecnología al personal de operaciones, la planta de demostración se instaló dentro de la fundición de plomo existente. El objetivo era hacer de la nueva tecnología parte de la operación de fundición de plomo y que el personal de operaciones tuviera el dominio de ésta.

Se decidió construir la planta en dos etapas. La primera etapa, que se puso en servicio en septiembre de 1983, fue un horno con una tasa de alimentación de 5 a 9 t/h. Este horno se utilizó exclusivamente para la fusión oxidante del concentrado. El horno tenía un armazón de acero de 2,7 metros de diámetro. La boca de gases del horno (parte superior) estaba hecha parcialmente de ladrillos y recubierta con material refractario moldeable. El horno fundía aproximadamente el 15% del concentrado tratado en la fundición de plomo de Mount Isa<sup>5</sup>, produciendo una escoria de alto contenido de plomo que se granulaba y posteriormente se agregaba a la alimentación de la planta de sinterizado. La capacidad de la planta de sinterizado estaba restringida por la capacidad limitada de combustión de azufre en ese entonces. Al agregar la escoria del horno ISASMELT<sup>TM</sup> a la alimentación del sinterizado fue posible aumentar la producción total de la planta de sinterizado hasta en un 10%. Las principales diferencias observadas en la planta de demostración fueron que el índice de volatilización fue menor a la mitad que el de la planta piloto y que el desgaste del recubrimiento refractario principal era menor a un décimo que el de la planta piloto.

Mediante el aumento de la producción general de la planta, la administración consideró más fácil justificar el costo de capital de la planta de demostración. Esta estrategia de buscar formas de aumentar la producción total de la planta existente y a la vez desarrollar el nuevo proceso fue una práctica común en la historia del desarrollo de ISASMELT<sup>TM</sup>.

La operación de la planta de demostración llevó a mejoras en el diseño de la planta. Una de las mejoras fue el rediseño de las lanzas para permitir la operación bajo menores presiones de aire. Las lanzas Sirosmelt originales habían sido diseñadas para la operación a aproximadamente 250kPag y el costo del aire comprimido representó una fracción importante del costo operativo de la planta. Se sometieron a prueba varios diseños de lanzas hasta que se diseñó una que podía operar a menos de 100kPag y a la vez exhibía bajos índices de desgaste. Se utilizaron varios combustibles en la planta y se demostró que el carbón grueso o el coque menudo, mezclado con concentrado, se podría utilizar para la mayor parte del combustible usando una pequeña cantidad de petróleo inyectado a través de la lanza para el control de la temperatura. Esta experiencia demostró que no era necesario utilizar los sistemas de inyección neumática para la inyección de combustible sólido, reduciendo el capital total y los costos operacionales de las plantas.

El personal operativo de la fundición estaba involucrado en la operación y el mantenimiento de la planta diariamente y proporcionaba valoraciones y opiniones de gran valor para los diseñadores. Se cree que su insistencia en mantener la operación del proceso y el diseño del equipo lo más sencillo posible es uno de los factores que contribuyó al éxito general del desarrollo del proceso.

Una vez que la primera etapa había demostrado la operación del proceso de fusión por un período superior al año, la segunda etapa de la planta se construyó y se puso en servicio en agosto de 1985. El segundo horno se construyó de manera adyacente al primero, para permitir la transferencia de escoria oxidada fundida

entre ellos.

Inicialmente se realizaron más de 150 pruebas de reducción por lotes. Se logró producir escoria de desecho con niveles del 4% de plomo. Las tasas de volatilización de plomo de 7 a 8% se demostraron tanto para la fusión oxidante como para la reducción. Posteriormente, durante 1987, ambos hornos de demostración se operaron de manera simultánea, con continua:

- Fusión del concentrado de plomo en el horno de fundición
- El sangrado y la transferencia de escoria de plomo fundido en el horno de reducción
- La reducción de la escoria con el carbón grueso entre 1.170 a 1.200 °C y
- El sangrado del plomo crudo y la escoria de desecho juntos a través de una sola placa de sangrado.

Durante estas pruebas de reducción continua el concentrado de plomo se trató a una tasa promedio de 5t/h bajo condiciones operacionales estables. Escorias de desecho con valores entre 2% a 5% de plomo se lograron a partir del procesamiento de concentrados de plomo con 50% Pb. La duración de las lanzas alcanzó valores entre 100 a 200 horas.<sup>5</sup>

La planta de demostración había tratado más de 125.000 toneladas de concentrado de plomo hasta abril de 1989. Al terminar estas pruebas, se tomó la decisión de proceder con la construcción de una planta de plomo ISASMELT™ a escala industrial y de dos etapas en Mount Isa.

### Otros desarrollos en Mount Isa

El desarrollo del proceso de fundición de plomo desde la escala a crisol a la de demostración había tardado alrededor de diez años. Durante esta década, Mount Isa Mines había aprendido mucho sobre la tecnología ISASMELT™ en general; ideas que se podrían utilizar al fundir otros materiales que no fueran concentrados de plomo. En paralelo a la operación de la planta de demostración de plomo, la planta piloto se había utilizado para realizar más trabajos de desarrollo, incluidas las investigaciones de la fusión de níquel, el tratamiento de pastas de baterías, el tratamiento de las impurezas del cobre de la fusión de plomo (drosses) y de la fundición de cobre. Los resultados del trabajo de fundición de cobre demostraron un potencial particular para resolver los problemas operacionales en Mount Isa.

Durante la década de los 80 el concentrado de cobre de las minas de Mount Isa se tostó en un tostador de lecho de fluido y siendo la calcina fundida posteriormente en dos hornos de reverbero. Existía la necesidad de reemplazar estas unidades con tecnologías y alternativas más eficaces. Procesos como la fundición flash, reactor Noranda y a la fundición y conversión continua de Mitsubishi fueron evaluados. Cada uno de estos procesos tenía desventajas o requerían de un excesivo gasto de capital y, por lo tanto, las investigaciones comenzaron a utilizar el proceso ISASMELT™ para la fundición de cobre. El trabajo de la planta piloto se realizó en la planta piloto de plomo y en CSIRO. El éxito del trabajo en la planta piloto llevó a la aprobación de la construcción de un horno de demostración de cobre. En abril de 1987, se puso en servicio el nuevo horno de cobre ISASMELT™, con un diámetro interno de 2,3 metros<sup>6</sup>.

La planta de demostración de cobre utilizó originalmente el aire comprimido de la planta disponible de manera inmediata (suministrado a 700 kPag) para la lanza, pero después de la introducción de un nuevo diseño de una lanza se utilizó un soplador

con presión de descarga menor a 150kPag. A pesar de que se diseñó inicialmente para operar sólo con aire a través de la lanza ISASMELT™, las ventajas de la operación con enriquecimiento con oxígeno pronto se volvieron aparentes con la instalación de una planta de oxígeno de 70 toneladas/día (tpd), lo que permitió que la planta funcionara con aire enriquecido con oxígeno de 25 vol% (en adelante denominado como "enriquecimiento con oxígeno de 25%"). A pesar de que originalmente se diseñó para el concentrado de 15t/h, la planta pudo alcanzar las 25 t/h con la adición del oxígeno al aire de la lanza. Una posterior prueba corta que utilizó oxígeno líquido permitió que la planta funcionara con un enriquecimiento de 26% y con tasas de alimentación de 50 t/h. Existían algunas inquietudes iniciales respecto de que la vida útil de la lanza se acortaría al operar a una presión más baja y con un aumento en el enriquecimiento con oxígeno, pero esos problemas se superaron con los diseños mejorados de las lanzas. Con el tiempo, el horno de demostración fundió 20% de la producción total de la fundición de cobre, suplementando la producción de dos hornos de reverbero. Produjo una mata de cobre y escoria que se sangraban en uno de los hornos de reverbero para la separación.

En sus primeros dos años de operación la planta de demostración trató más de 146.000 toneladas de concentrados de cobre y demostró que podía producir una variedad de leyes de mata que iban desde 36 a 65% en peso de cobre. Hacia mayo de 1992 había tratado 512.000 toneladas de concentrado. Se demostró que podía tratar una amplia gama de materiales de alimentación incluido el concentrado de escoria de conversión reciclado con un alto contenido de magnetita que no habían sido adecuados para tratar en los hornos de reverbero.

Las distribuciones de elementos menores se estudiaron durante la demostración de la operación de la planta<sup>7</sup>. La operación demostró que el horno de cobre ISASMELT™ removió de manera consistente más del 90% del arsénico de la alimentación de la mata. Además, se eliminó entre el 80% y el 90% del bismuto y entre el 60% y el 80% del antimonio de la mata.

Durante la operación de la planta de demostración, se puso un particular énfasis en la extensión de la vida refractaria del horno. Se insertaron bloques de cobre enfriados con agua entre el revestimiento refractario y el armazón de acero para reducir el índice de desgaste refractario. Inicialmente se lograron vidas de campaña de sólo unos pocos meses debido a que se realizaron pruebas en diversos tipos de materiales refractarios y técnicas de instalación. La duración de la campaña aumentó en tanto se acumuló experiencia, y dio como resultado la campaña de duración más larga de 90 días. Esta experiencia demostró la dificultad de lograr una vida útil refractaria larga y constante. Sólo a través de la operación extendida del proceso ha sido posible desarrollar un sistema refractario confiable durante los años intermedios. Mount Isa Mines comenzó a acumular esta experiencia durante la operación del horno ISASMELT™ de demostración de cobre y continuó el proceso de aprendizaje en la primera planta comercial.

## Implementación comercial

### Horno ISASMELT™ de plomo secundario

Siguiendo a la exitosa operación de la planta de demostración de plomo de 5t/h, se realizaron pruebas en la pasta de batería y en los humos de plomo en la planta piloto de 120 kg/h. Como resultado de este trabajo de prueba, se construyó un horno ISASMELT™ de plomo secundario en la planta Britannia Refined Metals de Inglaterra. Esta planta tenía un horno de 2,5 metros de diámetro y comenzó la puesta

en servicio en 1991<sup>8,9</sup>. Trató de manera exitosa los desechos de batería durante una vida útil de doce años. Se cerró a fines de 2003 cuando Xstrata Zinc, al asumir la administración de la refinería, decidió descontinuar las operaciones de fundición de plomo secundarias.

### Horno ISASMELT™ de plomo de dos etapas

Siguiendo el éxito de la fundición de plomo de demostración, la administración de Mount Isa Mines aprobó la construcción de una planta ISASMELT™ de plomo de dos etapas. Esta planta comenzó su operación en febrero de 1991. El horno de fundición tenía un diámetro interno de 2,5 metros y el horno de reducción tenía un diámetro interno de 3,5 metros. Algunas diferencias entre el diseño de la planta de demostración y la planta comercial eran el uso de una presa de plomo para permitir el sangrado continuo del producto de plomo en lingotes, la instalación de calderas de calor residual y la inyección de carbón a través de la lanza en el horno de reducción en vez de la adición de carbón grueso. El objetivo de inyectar el carbón era principalmente para aumentar los índices de reducción de escoria. En base a los resultados de la planta de demostración, se pensaba que la etapa de reducción del proceso requería una mayor optimización. Los estudios se habían realizado a fines de los 80 en CSIRO acerca de la reducción de las escorias de plomo en una escala de crisol, en un intento para comprender el índice de los mecanismos de control en el proceso de reducción de plomo<sup>10</sup>. Estos estudios demostraron que la cinética de reducción era relativamente rápida en las escorias de plomo disminuyendo hasta aproximadamente 6% en peso de plomo, pero el índice de reducción disminuyó significativamente en menores concentraciones de plomo. La concentración de plomo objetivo para el ISASMELT™ de plomo era entre un 3% y un 5%, por lo tanto, se creía necesario utilizar la inyección neumática como forma de lograr el objetivo.

La planta demostró rápidamente la capacidad de fundir el concentrado de Mount Isa a tasas de 20t/h, produciendo una alta escoria de plomo<sup>8</sup>. La operación de fundición era estable y se lograron largas vidas útiles de la lanza y refractarias. Las presencia de cristales de ferrita de zinc en el producto de escoria de plomo fundido dieron como resultado capas protectoras de ferrita de zinc que se formaban en la lanza y en las paredes refractarias, protegiéndolas así del ataque de la escoria. Las lanzas duraban típicamente más de un mes y había poco desgaste en las paredes del horno. Las condiciones de oxidación y el baño altamente agitado en el horno de fundición lograron suprimir los humos del sulfuro de plomo.

La etapa de reducción sin embargo, demostró ser más problemática, con vidas de la lanza cortas y obstrucciones y desgaste del sistema de inyección de carbón neumático llevando a contenidos erróneos de plomo en la escoria final. Estos problemas se superaron con el rediseño del equipo de inyección de carbón y con la modificación del diseño de la punta de la lanza. El mejor rendimiento ocurrió durante 1993 cuando hubo oxígeno adicional disponible y cuando se fundieron hasta 36 t/h de concentrados utilizando aire de lanza con 33% a 35% de enriquecimiento con oxígeno. Durante este período de fundición y reducción de tasa alta, se logró entre un 2% a 5% de plomo residual en las escorias finales del horno de reducción.

Al operar con los flujos de diseño de gases de proceso, las calderas de calor residual no podían reducir la temperatura de los gases al nivel requerido para el ingreso a los filtros de manga. Por lo tanto, fue necesario agregar un sistema de enfriamiento con aire para lograr las temperaturas requeridas. La restricción de la caldera fue el resultado de una capa cohesiva de polvo que se formó en las uniones de los paneles de los tubos de convección, reduciendo significativamente la tasa de transferencia del

calor.

El desgaste refractario fue aceptable en el horno de reducción siendo necesario el reemplazo de los ladrillos después de dos años.

Una disminución en el suministro de concentrado de plomo de la mina de Mount Isa a fines de 1994 hizo que la operación continuada del ISASMELT™ de plomo en paralelo a la planta de sinterizado y al alto horno no fuera económica. Por esta razón, se decidió cerrar la planta ISASMELT™ de plomo a principios de 1995. Había estado sin funcionar desde esa fecha, pero se ha reevaluado regularmente el volver a ponerla en funcionamiento, en función del estado del mercado del plomo y de la disponibilidad de concentrado adecuado.

### Fusión de cobre/níquel

El éxito del horno de demostración de cobre ISASMELT™ y el trabajo de prueba de la planta piloto realizada en la fundición de concentrado de cobre/níquel llevó a Agip Australia a tomar la decisión de instalar el nuevo horno ISASMELT™ para la producción de mata de níquel y cobre en su sitio Radio Hill en Australia occidental<sup>11</sup>. La planta comenzó la puesta en servicio en septiembre de 1991 y dentro de 3 meses estaba funcionando a una capacidad de diseño de 7,5t/h de concentrado. Produjo una mata de 45% de níquel/cobre de un concentrado que contenía aproximadamente 7% de níquel y 3,5% de cobre. Desafortunadamente el precio del níquel, que había estado sobre US\$6 por libra en 1989 cayó hasta aproximadamente US\$3 por libra hacia 1991.

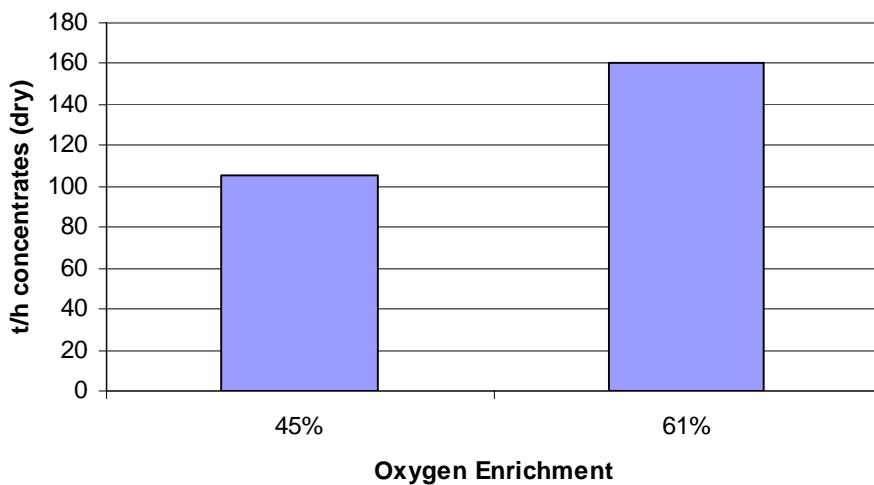
Por lo tanto, a pesar del éxito técnico del proyecto, Agip cerró la mina, el concentrador y la fundición después de menos de seis meses de operación. Los siguientes propietarios de la mina se han enfocado sólo en la explotación y en el procesamiento y desde entonces la planta de ISASMELT™ se ha desmantelado.

### Horno ISASMELT™ de cobre

Continuando con el éxito del horno de demostración de cobre ISASMELT™, Mount Isa Mines siguió con la construcción de una planta ISASMELT™ de cobre clasificada en 180.000 tpa de cobre en concentrado. El horno, con un diámetro interno de 3,75 metros, comenzó la puesta en servicio en agosto de 1992<sup>12</sup>. La nueva planta comenzó la operación con cerca de un 45% de enriquecimiento con oxígeno y producía una mata que contenía 50 a 60 % en peso de cobre. Se utilizó la adición de carbón grueso a la mezcla de alimentación como el combustible principal, inyectando diesel por la lanza para ajustar la temperatura del baño y para calentar el baño después de las detenciones.

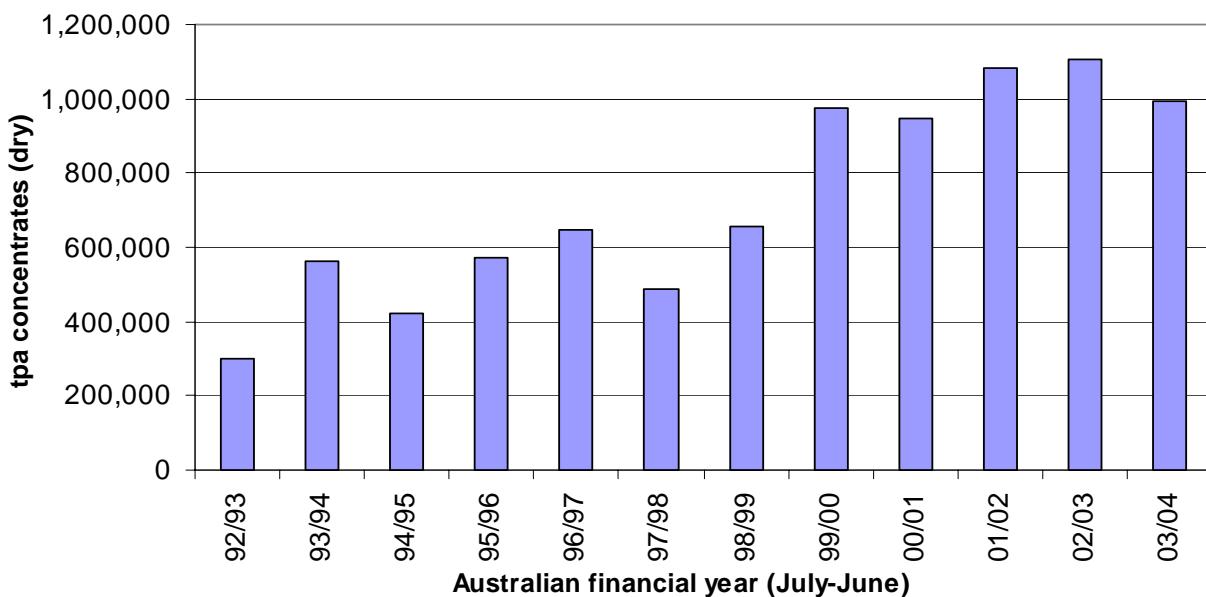
Durante los años la producción del horno aumentó continuamente y en 1998 se instaló una nueva planta de oxígeno, permitiendo que el nivel de enriquecimiento con oxígeno de aire a través de la lanza aumentara en más de un 60%. Como resultado se aumentó la tasa de alimentación de aproximadamente 105 t/h de concentrados a más de 160 t/h de concentrados (base seca) como se ilustra en la Figura 1.

**Figura 1 – Efecto del enriquecimiento con oxígeno**



Este aumento coincidió con el desarrollo de nuevas minas en Mount Isa y Ernest Henry y una mejora de la refinería de cobre en Townsville. Para reducir el riesgo técnico asociado con el aumento en el enriquecimiento con oxígeno se realizaron dos pruebas de alto índice en 1997. Estas pruebas demostraron que el horno de cobre ISASMELT™ podía tratar los concentrados a una tasa equivalente a 250.000 tpa de cobre contenido<sup>13</sup>. El horno de cobre ISASMELT™ está tratando actualmente un millón de toneladas de concentrado al año. La Figura 2 muestra las toneladas anuales de alimentación al horno ISASMELT™ de cobre desde que comenzó la puesta en servicio. La Tabla 3 muestra los ingresos típicos al horno de cobre ISASMELT™.

**Figura 2 – Alimentación de concentrado anual al horno ISASMELT™ de cobre**

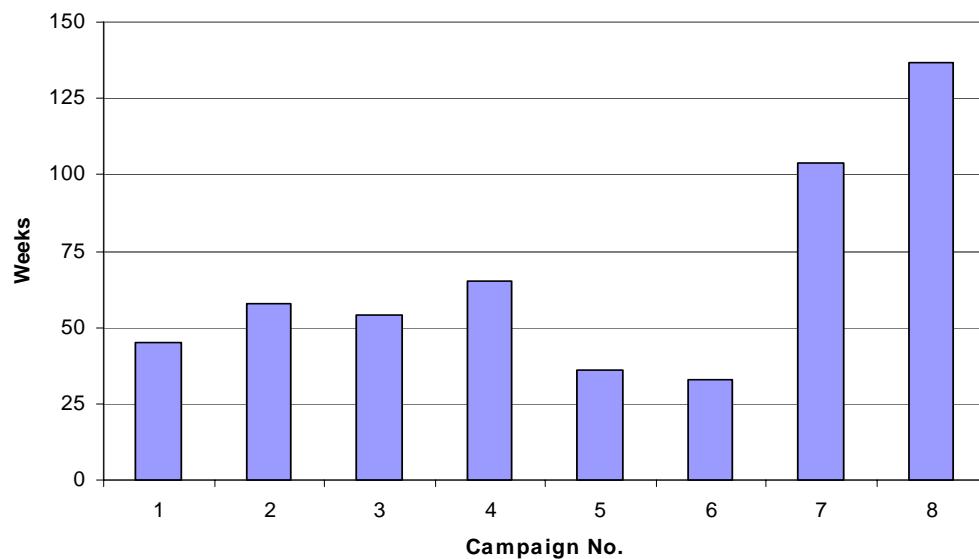


**Tabla 3 – Parámetros de operación típicos – ISASMELT<sup>TM</sup> de cobre**

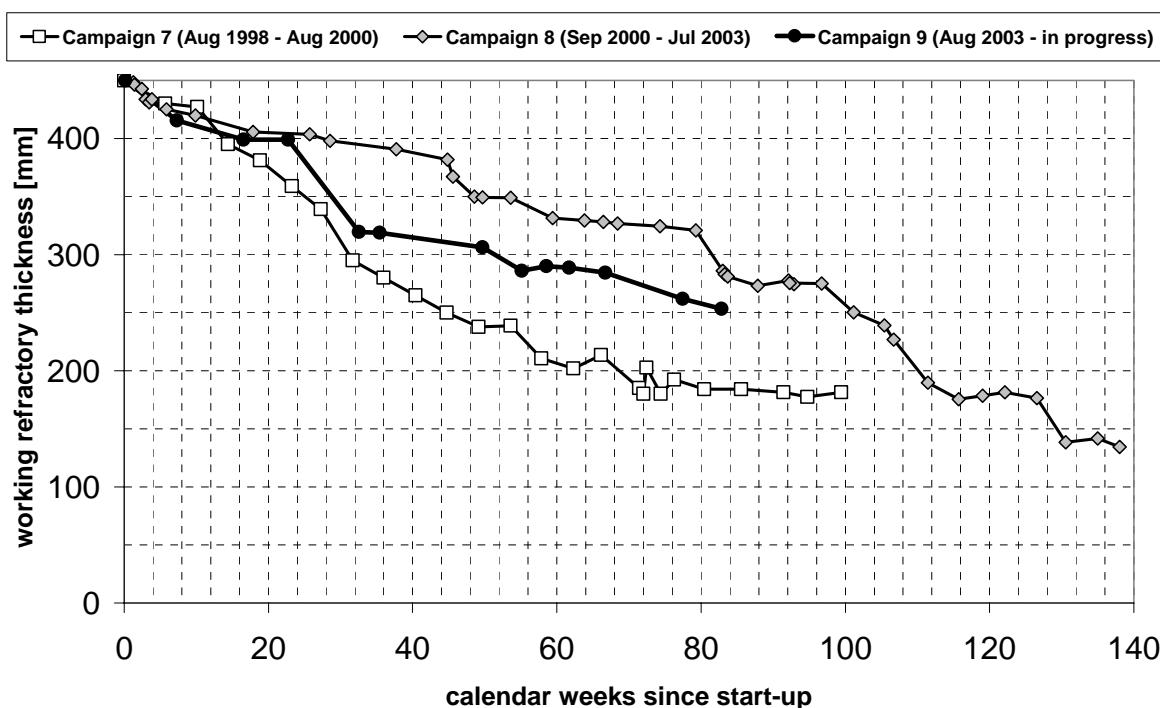
	Tasa	Unidades
Tasa fusión concentrado	160	tph
Contenido cobre (base seca)	23,8	%Cu
Flujo de sílice	3,4	tph
Material Circulante	1,6	tph
Coque menudo	0,7	tph
Gas natural	706	Nm3/h
Aire en la lanza	20.210	Nm3/h
Oxígeno de la lanza (95%)	23.580	Nm3/h
Enriquecimiento con oxígeno de la lanza	60,8	%
Temperatura del baño	1172	Grados C
Ley de la mata	57,0	%

Los índices de desgaste refractario del horno han disminuido gradualmente durante los 12 años de operación. Se decidió durante la fase de construcción que no se utilizaría la refrigeración por agua en el horno a pesar de la experiencia positiva de la planta de demostración. Esta decisión se basó en las inquietudes relacionadas con el uso de la refrigeración por agua en la zona de baño en un horno comercial. Además se creía que debería ser posible, con una selección refractaria cuidadosa, técnicas de instalación y metodología de control, lograr una vida refractaria de dos años sin la refrigeración por agua. Las campañas iniciales tuvieron una duración de entre 12 y 15 meses en cuanto se realizaban pruebas en diversos tipos refractarios y metodologías de instalación. Hacia 1998, no obstante, en base a la experiencia operativa adquirida junto con los avances en los sistemas de control de procesos, se logró un rendimiento refractario significativamente mejorado. El desgaste refractario ahora se monitorea en línea, lo que permite retroalimentación en tiempo real a los operadores de las condiciones dentro del horno. Como resultado, desde 1998 cada campaña ha tenido una duración de al menos 2 años.

La Figura 3 muestra las duraciones de las campañas refractarias del horno de cobre ISASMELT<sup>TM</sup> a la fecha, mientras que la Figura 4 muestra el índice de desgaste del refractario en el barril del horno para cada una de las campañas desde 1998.

**Figura 3 – Historia de la duración de la campaña del horno ISASMELT<sup>TM</sup> de cobre**

**Figura 4 – Desgaste refractario del horno ISASMELT™ de cobre**



### Fundiciones de cobre para clientes

Las ventajas operacionales de la planta ISASMELT™ de cobre sobre las alternativas suscitó el interés de las compañías en el proceso. Como resultado, Mount Isa Mines decidió licenciar la tecnología a clientes externos hacia fines de los 80 y sigue haciéndolo. La Tabla 4 resume a las fundiciones licenciatarias que están en operación o en construcción.

**Tabla 4 – Plantas ISASMELT™ licenciatarias**

Fecha de la puesta en marcha	Licenciatario	Ubicación de la planta	Capacidad de la planta
1992	Phelps Dodge Miami	Arizona, EE.UU.	650.000 tpa de concentrado de cobre
1996	Sterlite Industries (India) Ltd	Tuticorin, India	450.000 tpa de concentrado de cobre
1997	Umicore Precious Metals	Hoboken, Belgium	200.000 tpa alimentación mezclada
2000	Metal Reclamation Industries	Pulau Indah, Malasia	40.000 tpa de metal de plomo
2002	Hüttenwerke Kayser	Lünen, Alemania	150.000 tpa de desecho de cobre
2002	Yunnan Copper Corporation	Kunming, China	600.000 tpa de concentrado de cobre
2005 (en)	Sterlite Industries (India) Ltd	Tuticorin, India	1.200.000 tpa de concentrado de cobre

2005 (en)	Yunnan Metallurgical	Qujing, China	160.000 tpa de concentrado de plomo
2006 (en)	Southern Peru Copper	Ilo, Perú	1.200.000 tpa de concentrado de plomo
2006 (en)	Mopani Copper Mines	Mufulira, Zambia	650.000 tpa de concentrado de plomo

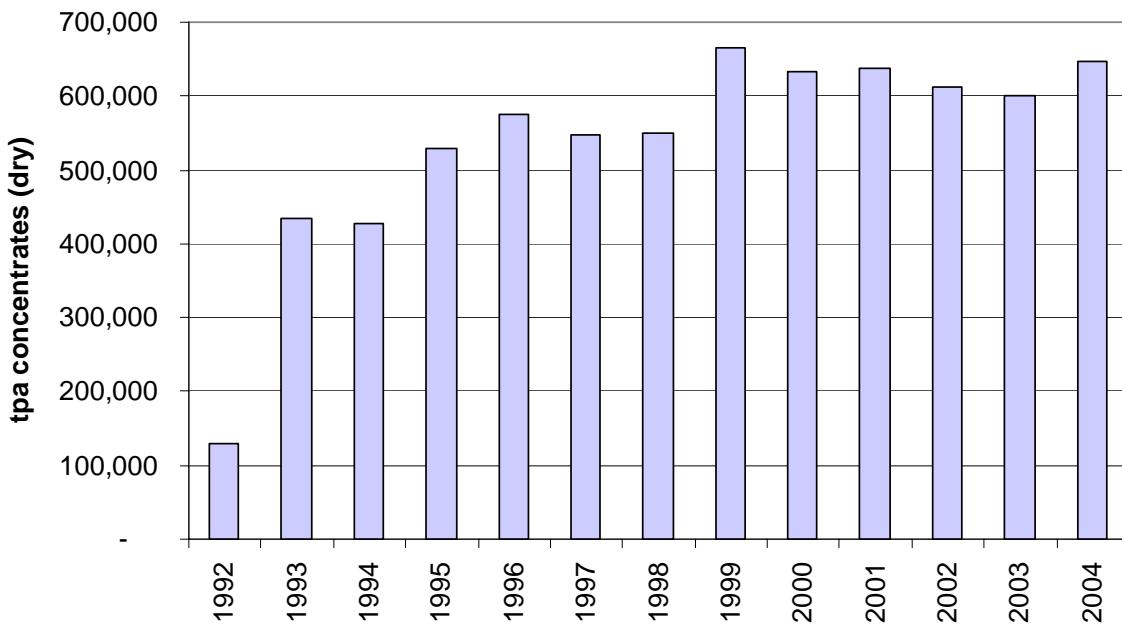
#### Fundición de cobre Phelps Dodge Miami

Cyprus Miami Mining Corporation (actualmente Phelps Dodge Miami) seleccionó a ISASMELT™ para su modernización en 1990. La decisión se basó en la observación de la operación de la planta de demostración ISASMELT™ de cobre en Mount Isa. La planta de Miami, ubicada en Claypool Arizona, se diseñó y construyó al mismo tiempo que la planta ISASMELT™ de cobre de 180.000 tpa en Mount Isa. Comenzó la puesta en servicio en junio de 1992, dos meses antes de la planta de Mount Isa. Cyprus seleccionó a ISASMELT™ después de compararla con las tecnologías de Contop, Inco, Mitsubishi, Noranda, Outokumpu y Teniente<sup>14</sup>. Se modificó un horno eléctrico, que anteriormente se utilizaba para fundir concentrados de cobre para actuar como un horno de retención para la mata de cobre y la escoria y para la reducción de la escoria de conversión Peirce Smith.

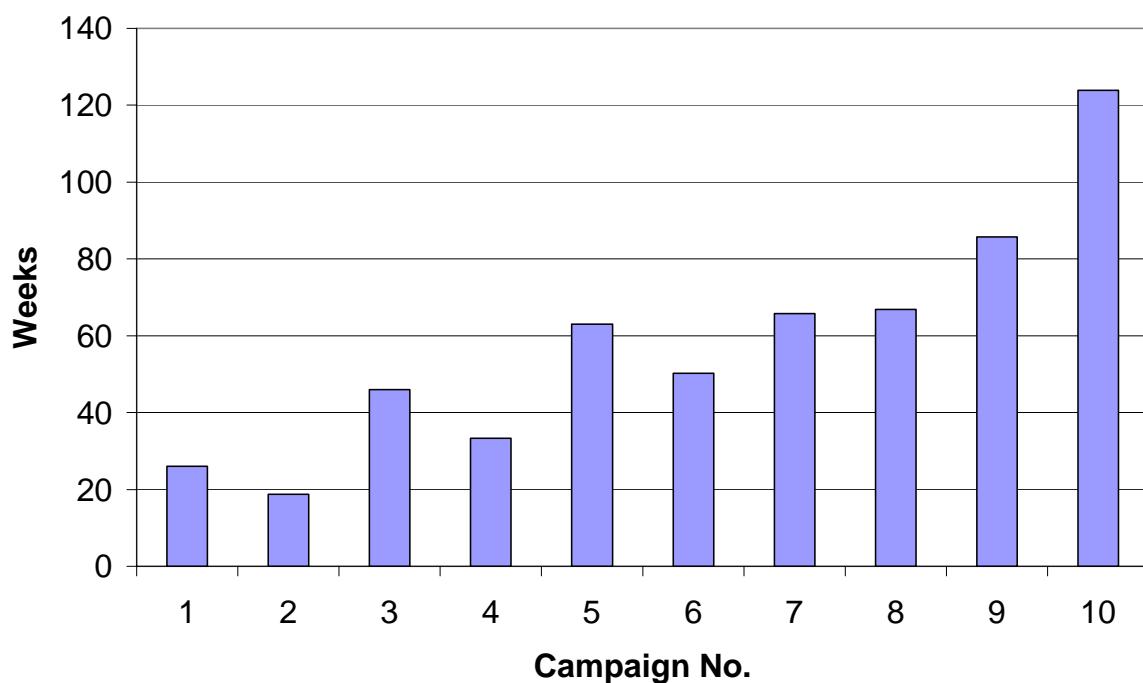
Cyprus reconoció el riesgo de utilizar la tecnología ISASMELT™ que no se había probado a una escala comercial completa en ese momento y, por lo tanto, instigaron un programa de mitigación de riesgos. El programa incluía un programa de capacitación detallado, enviando 35 empleados de Mount Isa para realizar la capacitación del horno de demostración de cobre ISASMELT™ y en la fundición de plomo. Sin embargo, aún habían muchas características de diseño que diferían de aquellas de la planta de Mount Isa. La primera era el uso del horno eléctrico como un horno de retención, la segunda era el uso de una cubierta inclinada del punto de toma de gas refrigerada con agua seguida por una caldera de calor residual de radiación/convección y la tercera fue el uso de gas natural inyectado a través de la lanza como el combustible principal para el horno. El enriquecimiento con oxígeno era de hasta un 50% de aire de lanza. De estas diferencias, la principal causa del tiempo de inactividad durante los primeros años fue la salida de gases del horno a la caldera, que sufrió serios problemas de corrosión y formación de accresciones. Con el tiempo la campana de gases se reemplazó con un canal de radiación vertical conectado al sistema de la caldera. Los problemas con las pérdidas de cobre mayores a las aceptables en la escoria del horno eléctrico fueron una inquietud hasta fines de la década de los 90 cuando el trabajo realizado en las lanzas de gas natural dieron como resultado un considerable aumento en el rendimiento de limpieza de la escoria<sup>15</sup>.

La tasa de alimentación en Miami aumentó a través de los 12 años de operación. La Figura 5 muestra las tasas de alimentación durante ese período. Las campañas refractarias también han mejorado con el tiempo, según se demuestra en la Figura 6.

**Figura 5 – Tasa de alimentación de ISASMELT™ en Phelps Dodge Miami**



**Figura 6 – Historial de duración de la campaña ISASMELT™ en Phelps Dodge Miami**



#### Fundición de cobre Sterlite Industries

La planta ISASMELT™ de cobre de Sterlite Industries está ubicada en Tuticorin al sur de la India. La fundición comenzó la puesta en servicio en 1996 y se construyó en un sitio despejado “green field” para fundir concentrados importados. El horno ISASMELT™ originalmente tenía una capacidad de diseño de 60.000 tpa de cobre en mata, pero ha sido ampliada a 180.000 tpa de cobre. El aumento en la capacidad se logró instalando oxígeno de tonelaje adicional y ampliando la planta asociada y el

equipo. Sterlite, que no había operado una fundición de cobre antes la construcción de la planta de Tuticorin, actualmente es un importante productor de cobre.

Sterlite está finalizando la construcción de un nuevo horno ISASMELT™. Este nuevo horno comenzó la puesta en servicio durante 2005 y tratará a los concentrados que contienen 300.000 tpa de cobre.

#### Fundición de Umicore Precious Metals

La fundición de Umicore Precious Metals ubicada en Hoboken, Bélgica, utiliza el proceso ISASMELT™ para tratar una variedad de materiales de alimentación primarios y secundarios. El sitio de Hoboken pasó por una modernización drástica a fines de 1990 para poder seguir siendo competitivos mientras operaban bajo regulaciones medioambientales estrictas. Una característica clave de la modernización fue la instalación del horno ISASMELT™. El horno reemplazó a una gran cantidad de procesos de unidad, permitiéndole a la compañía reducir significativamente los costos operativos mientras reducía las emisiones al medioambiente. La nueva fundición ha estado en funcionamiento desde fines de 1997 y desempeña un papel importante en el negocio de reciclaje de Umicore.

#### Fundición de Huettenwerke Kayser Copper

Huettenwerke Kayser, una subsidiaria de Norddeutsche Affinerie, opera una planta de ISASMELT™ para la fundición de cobre secundaria dentro de su operación de fundición y refinado cerca de Dortmund en Alemania. El horno ISASMELT™ reemplazó a los dos altos hornos y a los tres convertidores Peirce Smith utilizados para fundir cobre de desecho. La instalación del horno ISASMELT™ ha permitido que la compañía reduzca significativamente los costos operativos y que mejore el rendimiento medioambiental del horno.

#### Fundición de cobre de Yunnan Copper Corporation

Yunnan Copper Corporation (YCC) comenzó la puesta en servicio de su planta ISASMELT™ de cobre en mayo de 2002 como parte del proyecto de modernización de la fundición de cobre<sup>16,17</sup>. El horno ISASMELT™ trata más de 600.000 tpa de concentrado de cobre. El horno reemplazó a una planta de sinterizado y a dos hornos eléctricos y produce una mata de cobre con un contenido de cobre de 55%. El aire del proceso se enriquece a un contenido de 50% de oxígeno. La instalación del horno ISASMELT™ ha mejorado significativamente el rendimiento medioambiental del horno y redujo los costos operativos, con el aumento de la captura de azufre de 79% a 96% y la disminución en el consumo de energía en un 32%.

**Tabla 5 – Cambio en el consumo de energía del horno de YCC**

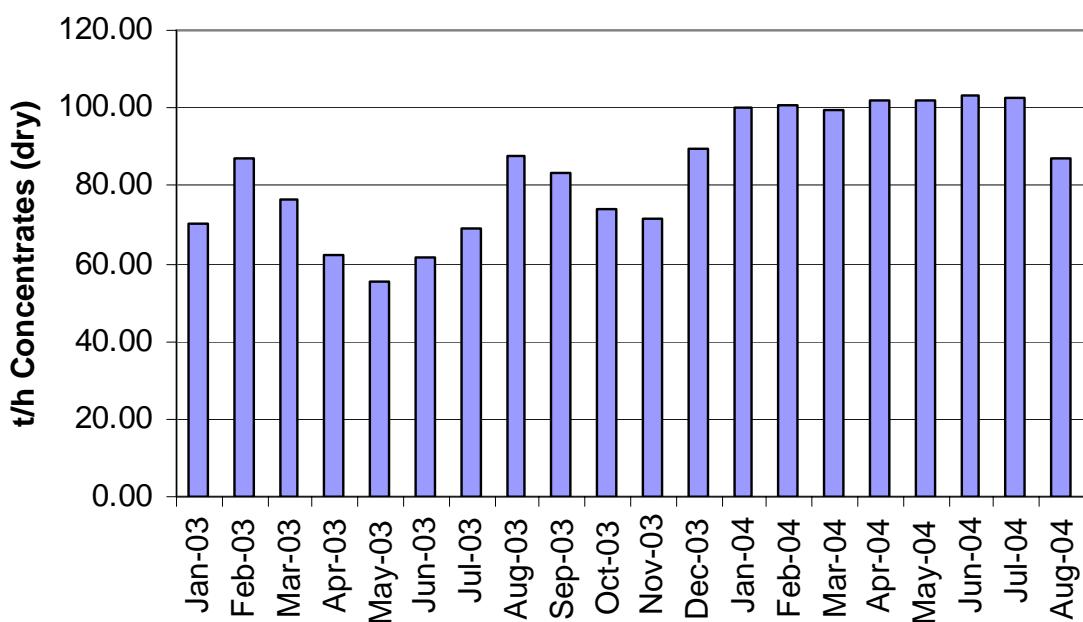
Año	Consumo de energía (concentrado a blister) Toneladas de carbón estándar / tonelada de carbón
2001	0,729
2003	0,523
2004	0,493

La planta de YCC incorporó las mejoras más recientes en el diseño desarrolladas en Mount Isa. Se capacitó al personal de YCC en Mount Isa en un período de 7 meses. El resultado fue que la planta alcanzó la capacidad de diseño (promediada en un período de 7 días) dentro de dos meses a partir del momento en que se alimentó el primer concentrado en el horno.

Siguiendo la exitosa puesta en servicio, el mayor impedimento para alcanzar la capacidad de diseño de manera consistente fue el suministro de concentrado.

La Figura 7 muestra el índice de alimentación mensual promedio desde enero de 2003 hasta fines de la primera campaña operativa. Durante la mayor parte de 2002 y hacia el 2003 YCC no pudo obtener la alimentación suficiente debido al ajustado mercado de concentrados de ese entonces. Una vez que tuvieron disponible una cantidad suficiente de concentrado la planta de YCC pudo exceder la capacidad de diseño de manera constante. La primera campaña duró dos años y cuatro meses desde mayo de 2002 hasta septiembre de 2004, demostrando un rendimiento refractario similar al logrado en Mount Isa.

**Figura 7 – Índice de alimentación de ISASMELT™ en YCC**



#### Fundición de cobre de Southern Peru Copper Corporation

Southern Peru Copper Corporation (SPCC) ha comenzado la construcción de un nuevo horno ISASMELT™ en su fundición de cobre ubicada en Ilo, Perú. SPCC investigó una amplia gama de tecnologías alternativas incluida la fundición flash, el convertidor Teniente, Noranda y Mitsubishi, antes de decidir sobre la construcción del horno ISASMELT™. El horno ISASMELT™ tratará 1.200.000 tpa de concentrado y reemplazará dos hornos de reverbero y un convertidor Teniente. Se utilizarán dos hornos rotatorios de retención para separar los productos de mata y escoria del horno ISASMELT™.

Se utilizará una caldera de calor residual y un precipitador electroestático para refrigerar y limpiar el gas antes de pasarlo a una nueva planta de ácido sulfúrico. Se

utilizarán convertidores Peirce Smith para convertir la mata en cobre blister. La planta comenzará a operar en 2006.

### Fundición de cobre de Mopani Copper Mines

Mopani Copper Mines Plc (MCM) ha comenzado la construcción de una nueva planta ISASMELT™ en la fundición de cobre Mufulira en Zambia. MCM decidió instalar un horno ISASMELT™ después de compararlo con tecnologías alternativas incluida la fundición flash, el proceso Mitsubishi y los convertidores Teniente. Concluyeron que la ventaja del proceso ISASMELT™<sup>18</sup> incluye:

- Su tamaño compacto y pequeña huella, que se podría acomodar fácilmente en la fundición Mufulira.
- El costo de capital relativamente bajo.
- Los bajos costos operativos.
- Los gases de ebullición de alta resistencia que se ajustan bien a la producción de ácido sulfúrico.
- La relativa facilidad de operación.
- La flexibilidad de la tasa de alimentación, adecuada para una operación inicial en 2006 de 650.000 tpa de concentrado con posibilidades para capacidades superiores a 850.000 tpa en el futuro.

El horno ISASMELT™ reemplazará a un horno eléctrico existente. La planta incluirá un nuevo sistema de preparación de alimentación, una caldera de calor residual, horno de retención eléctrico, planta de oxígeno y planta de ácido, así como mejoras al ala del convertidor y las plantas de ánodo. Comenzará a operar en 2006.

### Fundiciones de plomo para clientes

#### Fundición de plomo de Metal Reclamation Industries

Metal Reclamation Industries comenzó la puesta en operación de una fundición de plomo secundario en Pulau Indah, Malasia en el año 2000. La planta produce hasta 40.000 tpa de plomo refinado principalmente de las baterías de ácido de plomo recicladas. La planta se basó en el diseño de la planta de Britannia Refined Metals en Inglaterra y opera un proceso de lotes.

#### Fundición de plomo YMG

Xstrata Technology diseñó un horno ISASMELT™ para la nueva fundición de plomo de Yunnan Metallurgical Group (YMG) en Quijing, China. El horno ISASMELT™ fundirá 160.000 tpa de concentrado de plomo para producir lingotes de plomo y escoria con alto contenido de plomo. La escoria con alto contenido de plomo se solidificará y se alimentará a un alto horno diseñado por YMG para la reducción. Este proceso, un desarrollo conjunto de Xstrata y YMG, combinará los beneficios del horno ISASMELT™ para fundir con los beneficios del alto horno para la reducción. El horno ISASMELT™ reemplazará de manera eficaz a la planta de sinterizado de un horno de plomo tradicional. El horno ISASMELT™ tiene una ventaja sobre una

planta de sinterizado que consiste en que puede convertir una fracción del plomo en alimentación directamente a plomo metálico, disminuyendo así la tarea de la reducción de escoria del alto horno. En la planta de YMG más del 40% del plomo en la alimentación pasará a convertirse directamente en metal de plomo en el horno de fusión. El horno ISASMELT™ tiene la ventaja de que es mucho más pequeño y sencillo que una planta de sinterizado y que se puede conectar rápidamente para eliminar las emisiones. Los gases de ebullición del horno ISASMELT™ tienen un contenido de dióxido azufre relativamente alto, adecuado para la conversión a ácido en una planta de ácido sulfúrico convencional. El producto de la escoria es bajo en azufre en comparación con el sinterizado y así, los gases de ebullición del alto horno contienen una concentración mucho menor de dióxido de azufre que en el caso en que se alimentara un alto horno con sinterizado.

## VEINTICINCO AÑOS HACIA UNA TECNOLOGÍA SUSTENTABLE

La puesta en marcha de la planta YCC ISASMELT™ coincidió con el vigésimo quinto aniversario del primer trabajo de prueba de Sirosmelt realizado por Mount Isa Mines y CSIRO. Veinticinco años de trabajo intenso y tenacidad por parte de una amplia gama de personas llevó a la comercialización exitosa de una nueva tecnología de procesamiento de metales realmente sustentable. La planta de YCC incorporó características de diseño que habían sido desarrolladas y optimizadas en las plantas ISASMELT™ anteriores. Después de 25 años del desarrollo de ISASMELT™, la planta de YCC demostró cómo se puede incorporar el proceso ISASMELT™ de cobre de manera exitosa en las fundiciones de cobre en cualquier lugar del mundo. Basándose en la experiencia obtenida en Mount Isa y en otros lugares, Xstrata actualmente diseña plantas que pueden crecer a la capacidad de diseño rápidamente. Con una combinación de diseño comprobada, programas de capacitación integrales en las operaciones de la fundición de Mount Isa y con la asistencia en la puesta en servicio por parte de los operadores de planta con vasta experiencia en la planta, los clientes tienen una exposición mínima al riesgo al incorporar la tecnología en sus plantas. El proceso ISASMELT™ está ayudando a mejorar el desempeño medioambiental de las fundiciones en todo el mundo. La introducción del horno ISASMELT™ de cobre en Mount Isa ayudó a disminuir el consumo de combustible en la fundición de cobre en más de un 90% entre 1991 y 2002<sup>19</sup>.

Se optimizó una gran cantidad de características de diseño durante los últimos 25 años de desarrollo y las mejoras continuarán. Algunas de las funciones cruciales aparecen en la siguiente lista.

### Refractarios

Una larga vida refractaria es fundamental para el éxito de cualquier proceso pirometalúrgico. El desarrollo de sistemas refractarios durables toma muchos años, debido al tiempo involucrado en las pruebas, ya sea en ciertos tipos de materiales refractarios, métodos de instalación, sistemas de refrigeración y dispositivos de monitoreo pueden dar como resultado un menor desgaste. Mount Isa Mines se enfocó en los sistemas refractarios mejorados desde el inicio del programa de desarrollo. En conjunto con CSIRO, universidades, AMIRA, proveedores de sistemas refractarios y otros socios de la industria, una serie de programas de investigación estudiaron como optimizar el rendimiento refractario. Se estudiaron los aspectos básicos del desgaste refractario y se pusieron en práctica las implicaciones prácticas de los hallazgos en las plantas operativas.

Como se mencionó anteriormente, ha habido varios intentos de refrigerar las

paredes del horno para reducir el desgaste refractario, en particular alrededor de la línea de flotación de la escoria y en los hornos de cobre. Algunas de las plantas tienen bloques de cobre instalados entre el revestimiento refractario y el armazón de acero, mientras que otras tienen una ducha de refrigeración externa instalada. En Mount Isa, el horno de cobre ISASMELT™ no tiene un sistema refrigeración con agua aplicado a las paredes del horno y aun así se logran campañas de más de dos años y medio. Este rendimiento es posible a través del uso de refractarios de alta calidad, procedimientos de instalación cuidadosos, monitoreo de condición en línea y un control muy estricto de la temperatura del baño utilizando sistemas de control que se han desarrollado durante más de una década en la planta operativa. Recientemente, se ha planteado el objetivo de lograr una campaña de cinco años y actualmente se están realizando estudios para determinar la mejor forma de lograrlo.

#### Sistemas de control

El control del proceso ISASMELT™ para el operador es relativamente directo en la actualidad gracias a la automatización de los parámetros clave del proceso. El desarrollo de esta automatización ha tomado muchos años en la escala industrial. Dado que el horno se alimentaba continuamente, pero que se sangraba por lotes, se hizo necesario desarrollar un método para controlar automáticamente el movimiento de la lanza ISASMELT™ en el horno. El movimiento es necesario para que la punta de la lanza siempre esté correctamente posicionada en el baño, logrando así las tasas de mezcla y reacción necesarias y a la vez minimizar el desgaste de la punta de la lanza. Los sistemas desarrollados en las plantas piloto y de demostración se mejoraron en el horno a escala completa y ahora permiten que se controle automáticamente la inmersión de la punta de la lanza dentro de una tolerancia extremadamente estricta. Durante la operación normal, la posición de la lanza se controla completamente a través del sistema de control de la planta y no es necesaria la intervención humana.

El horno ISASMELT™ es básicamente un reactor CSTR clásico. De tal forma, la composición del baño y la temperatura es muy uniforme a través de la cámara. Esto permite que se pueda controlar la temperatura de manera muy precisa cuando se utiliza una medición de la temperatura y un sistema de retroalimentación confiable. Aquellos sistemas se desarrollaron en los años 90 y actualmente permiten que se pueda controlar la temperatura del baño dentro de un intervalo de aproximadamente ±10 grados Celsius.

#### Sistemas de tratamiento gases de proceso

El sistema de tratamiento de gases de proceso se debe ver como una parte integral del horno. Los problemas asociados con el enfriamiento de polvos metalúrgicos pegajosos hace que el diseño de los sistemas de tratamiento de los gases de proceso generados en el horno sea especialmente difícil. Como resultado de esto, ha tomado muchos años y experiencia con una variedad de situaciones de planta hasta que se encontró una solución completamente satisfactoria. Las plantas piloto y las de demostración generalmente utilizaban enfriadores por evaporación y ductos con revestimiento refractario. Para las plantas a escala piloto, sin embargo, se consideraba preferible instalar calderas de calor residual para mejorar la eficacia térmica del proceso. Se han probado diversas configuraciones de calderas durante los años con distintos grados de éxito. El horno de la fundición de cobre ISASMELT™ de Mount Isa tiene una caldera de lecho fluidizado circulante que tiene la ventaja de extinguir los gases rápidamente, pero que tiene la desventaja de una caída de presión relativamente alta. La planta de Phelps Dodge tenía originalmente un punto de toma enfriado con agua que sufría de graves problemas con la

formación de acumulaciones y corrosión por la condensación de ácido<sup>20</sup>. El horno ISASMELT™ de plomo de Mount Isa tenía una caldera de radiación y convección convencional tanto en el horno de oxidación como en el de reducción, pero tenía una capacidad inadecuada debido a la baja transferencia de calor provocada por la naturaleza de los humos del plomo y del polvo.

En el transcurso de los años y gracias a la cooperación con los principales proveedores, se han encontrado soluciones a estos problemas. Como resultado de ello, Xstrata puede garantizar que los sistemas de gases de proceso del horno ISASMELT™ se pueden diseñar de manera correcta, como lo demostró el rendimiento sin problemas de la caldera YCC desde su puesta en marcha.

### Diseño del horno

La patente original de Sirosmelt cubrió principalmente el concepto de la lanza refrigerada con agua. El diseño original del horno parecía ser adecuado en ese entonces para un proceso de lanza sumergida superior. La experiencia que se adquirió durante los años ha demostrado que el diseño original presentaba falencias cuando se utilizaba en una operación comercial. En tanto ha aumentado el tamaño del horno, también ha aumentado el reconocimiento de que existen fuerzas extremadamente altas producidas por la inclinación del baño fundido. Los gases injectados producen un movimiento ondulante complejo, que imparte fuerzas cíclicas horizontales y verticales en las paredes y en la base del horno<sup>21</sup>. Como resultado de esas fuerzas altas se deben diseñar los cimientos y el sistema de soporte de manera cuidadosa. El método para conectar el horno al sistema de soporte también se tenía que mejorar para garantizar la estabilidad del horno y a la vez permitir la expansión del refractario y de la cubierta de acero.

El techo inclinado del horno original se diseñó originalmente para mejorar la dinámica del flujo de gas, pero en la práctica se descubrió que un techo horizontal era más fácil de construir y mantener, mientras que no sufría de desventajas significativas en comparación con el original. El primer diseño utilizó secciones revestidas de material refractario o de acero refrigerado con agua. Posteriormente se utilizaron los bloques de cobre enfriados con agua, ya que eran más fáciles de mantener. Sin embargo, de manera más reciente, se ha descubierto que para la fundición de cobre una mejor solución es tener un techo plano construido de tubos de caldera y una operación muy por sobre el punto de rocío de los gases de ebullición. Aún existen algunas desventajas con un sistema presurizado, no obstante, todavía se están desarrollando soluciones alternativas.

## FACTORES QUE CONTRIBUYEN A UNA INNOVACIÓN EXITOSA

La historia de la innovación tecnológica ha proporcionado muchos ejemplos de ideas y conceptos extraordinarios que no sobrevivieron a la transición de la conceptualización a la implementación a escala industrial. Por ello es importante revisar las principales razones que han contribuido a la implementación exitosa y a la internacionalización de la tecnología ISASMELT™.

Muchos factores han contribuido al éxito. El desarrollo de la lanza CSIRO fue la innovación inicial. Un elemento clave en el éxito, sin embargo, fue el hecho de que el proceso se desarrolló para la factibilidad comercial en los entornos de hornos operativos combinando los talentos de destacados ingenieros, metalúrgicos y técnicos. Otros factores fueron el impulso emprendedor del personal de Mount Isa que incluía una cantidad de “líderes” de tecnología y el apoyo del gobierno australiano durante los primeros años, a través del Australian Industrial Research

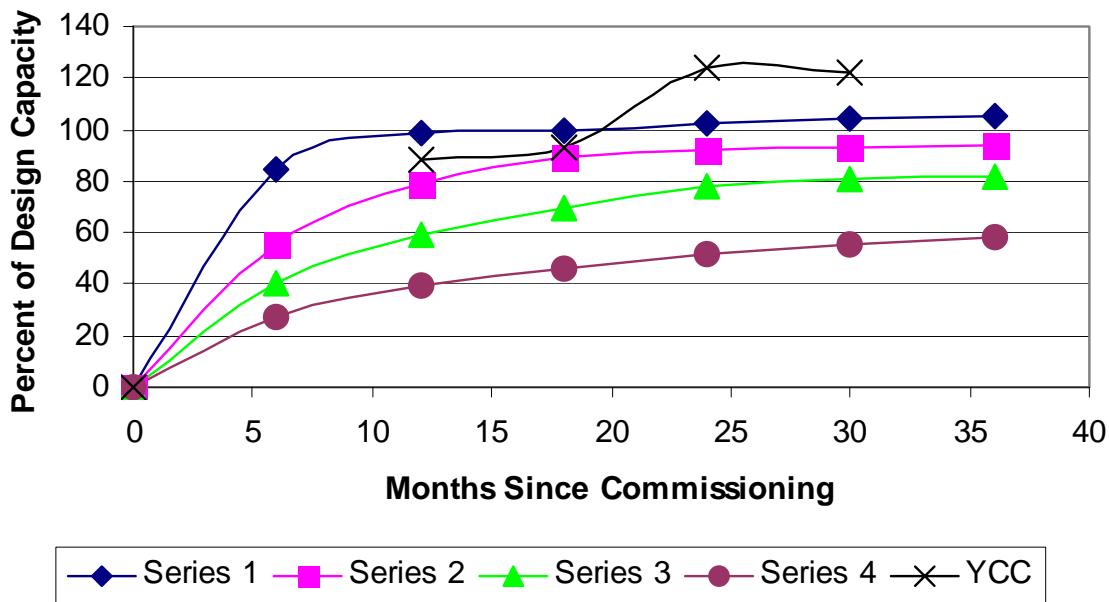
Development Incentives Board (AIRDIB). También fue fundamental que el proceso se probara a través de una serie disciplinada de pasos de desarrollo, incluido el trabajo de laboratorio, las pruebas en la planta piloto, la operación de las plantas de demostración durante períodos prolongados y plantas comerciales a escala completa que posteriormente se expandieron después de realizarse campañas de prueba especializadas.

Finalmente, se cree que la conexión cercana entre el personal de operaciones con el nuevo proceso desempeñó un papel fundamental en su éxito. Es mucho más probable que un proceso sea exitoso si está dirigido por el personal de operaciones que reconoce un beneficio en su utilización y lo ve como una forma de mejorar su calidad de vida en el futuro. En Mount Isa se llevó a los operadores "a bordo" a comienzos del programa de desarrollo y se les incentivó a contribuir al programa. Reaccionaron de manera entusiasta y probaron ofrecer consejos sabios y ser fuentes de consejos pragmáticos extremadamente útiles en las fases críticas del desarrollo. A través de un énfasis constante en la simplificación de las funciones del proceso, el personal de operaciones ayudó a asegurar que resultara un proceso sólido y confiable a nivel industrial.

Como resultado, la puesta en marcha de la planta ISASMELT<sup>TM</sup> en YCC fue impresionante cuando se comparó con las primeras plantas comerciales ISASMELT<sup>TM</sup> y con los precedentes históricos. Se ha realizado cierta cantidad de estudios durante las últimas décadas viendo el rendimiento de la puesta en marcha de las plantas de proceso y éstas tienen factores destacados que desempeñan un papel importante en la determinación de qué tan rápido una nueva planta llega a su capacidad completa. En un estudio realizado por Charles River and Associates (CRA)<sup>22</sup>, se observó que alrededor del 50% de las fundiciones demostró una producción anual promedio menor a un 70% de la capacidad de diseño desde el primer hasta el tercer año de producción. Concluyeron que una de las principales causas de los problemas en la puesta en marcha era el escalamiento inadecuado de la planta comercial del laboratorio y las etapas de la planta piloto. El alcance del trabajo del laboratorio y de la planta piloto realizado en Mount Isa contribuyó al hecho de que el escalamiento no era un gran problema para el proceso ISASMELT<sup>TM</sup>. El estudio de CRA concluyó que las principales causas de los retrasos en las operaciones pirometalúrgicas eran las fallas refractarias y las dificultades para manipular los gases calientes. Estos problemas se encontraron ciertamente durante el desarrollo de ISASMELT<sup>TM</sup>. El sistema de gases de ebullición le generó graves problemas a Phelps Dodge Miami por alrededor de cinco años, dando como resultado un importante rediseño y modificaciones. También fue una causa principal del tiempo de inactividad en Mount Isa durante los primeros 5 a 6 años de operación de la planta comercial. También fueron necesarios alrededor de 5 a 6 años de desarrollo en la escala comercial en Mount Isa hasta que se logró un rendimiento refractario satisfactorio. Ahora que se han superado esos problemas, sin embargo, es posible diseñar el sistema completo del horno y gases ebullición de tal forma que la ampliación de las plantas ISASMELT<sup>TM</sup> ocurra muy rápidamente.

Un documento de Terry McNulty<sup>23</sup> analizó las historias de casos para 41 plantas de procesos diversas, incluidas seis fundiciones de cobre y níquel. Dividió los proyectos en cuatro series en base al porcentaje de la capacidad de diseño que habían logrado después de 6, 12 y 36 meses después de la puesta en marcha, según se muestra en la Figura 8.

**Figura 8 – Índice de acierto del diseño anualizado (después de McNulty)**



Las plantas más exitosas, aquellas de la serie 1, lograron un 100% de capacidad de diseño después de 12 meses de la puesta en marcha. Las plantas de la serie 6 lograron en promedio menor al 40% de capacidad de diseño después de 36 meses. De acuerdo con el sistema de McNulty, las fundiciones de cobre de Mount Isa y Phelps Dodge se podrían clasificar como plantas de la serie 2. Las plantas de la serie 2 tienen al menos uno y muchas veces dos o tres de las siguientes características:

- Si el proceso corresponde a tecnología con licencia, fue una de las primeras licencias (este era el caso)
- El equipo especificado para la operación de una unidad era el prototipo en términos de tamaño o aplicación (ambos hornos eran los primeros de su tamaño)
- Los trabajos de prueba a escala piloto estaban incompletos (este no era el caso).
- Las condiciones del proceso en la operación de la unidad clave eran graves, por ejemplo, temperatura alta (este era el caso)
- Las secciones innovadoras de la planta pueden haber funcionado bien, pero es posible que otras operaciones no hayan tenido la ingeniería adecuada (los sistemas de gases de ebullición eran el problema principal, pero se podría decir que estos también eran innovadores)

En la escala de McNulty, y dado el hecho de que la tasa de alimentación de la planta de YCC estaba limitada principalmente por un suministro insuficiente de concentrado, el horno ISASMELT™ de YCC se podría clasificar como una planta de serie 1. Estas plantas se caracterizan generalmente por:

- Apoyarse en una tecnología madura (este era el caso)
- Tener equipos de tamaño y función similares a los utilizados en los proyectos exitosos que se habían realizado anteriormente (este era el caso)
- Si la tecnología tenía licencia existían muchos licenciatarios anteriores (este era el caso)

## **CONCLUSIONES**

Las innovaciones son revolucionarias o evolutivas. La invención de la lanza Sirosmelt por el Dr. John Floyd hace casi 30 años fue definitivamente revolucionaria. El desarrollo de esa idea llevada a un proceso de fundición sustentable ha sido la combinación de muchas innovaciones evolutivas. La combinación de las innovaciones revolucionarias y evolutivas ha dado origen al proceso de fusión de cobre ISASMELT™ que se utiliza actualmente para la producción de cobre en todo el mundo. El proceso ISASMELT™ de plomo está creciendo en popularidad. Los hornos ISASMELT™ secundarios y de desechos se utilizan en las fundiciones de Europa y Asia. Otras aplicaciones para el proceso están aun por ser desarrolladas.

Muchos factores han contribuido al éxito, incluidas las contribuciones de muchas personas, no sólo de CSIRO y Mount Isa, pero también en las compañías licenciatarias de todo el mundo. Se considera que la conexión cercana entre el personal de operaciones con el nuevo proceso desempeñó un papel fundamental en su éxito.

Durante los últimos diez años, ISASMELT™ había tenido la mayor tasa de adopción de cualquier proceso de fusión de metales básicos, con seis plantas ISASMELT™ de cobre y dos plantas ISASMELT™ de plomo diseñadas y construidas. El éxito técnico y económico de estas plantas debería garantizar la adopción continua del proceso por parte de las fundiciones en todo el mundo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores quisieran agradecer las contribuciones de las personas que reconocieron el potencial del concepto ISASMELT™ desde sus inicios y a todos los que trabajaron en su desarrollo en los años intermedios. Agradecemos también a la administración de Mount Isa Mines, Phelps Dodge Miami y Yunnan Copper Corporation por otorgar el permiso para publicar datos operativos de las respectivas operaciones. También quisiera mencionar que Patricia Muza nos asistió con la preparación de los datos de operaciones de Mount Isa.

## **REFERENCIAS**

1. J.M. Floyd, G.J. Leahy, R.L. Player, D.J. Wright, "Submerged Combustion Technology Applied to Copper Slag Treatment", (Tecnología de combustión sumergida aplicada al tratamiento de escoria de cobre) Conferencia AusIMM, North Queensland, 1978.
2. K.R. Barrett, "Lead Smelting into the 90's" (Fundición de plomo hacia los 90), Conferencia del vigésimo quinto aniversario de ILZIC Silver, Nueva Delhi, 1988.
3. W.J. Errington, J.H. Fewings, V.P. Keran, W.T. Denholm, "The ISASMELT™ lead smelting process" (El proceso de fundición de plomo de ISASMELT™), Trans. Instn. Min. Metall., Sección C, vol 96, 1987
4. W. T.Denholm, J.M.Floyd, W.J.Errington y A.N.Parry, asignados a Mount Isa Mines Ltd, "High Intensity Lead Smelting Process" (Proceso de fundición de alta intensidad) Patente EE.UU. 4514222, noviembre 1983.
5. S.P. Matthew, G.R. McKean, R.L. Player y K.E. Ramus, "The continuous ISASMELT™ lead process", (El proceso de continuo de plomo de ISASMELT™) Lead-Zinc '90, T.S. Mackey y R.D. Prengaman, Eds., TMS,

Warrendale, 1990.

6. R.L. Player, C.R. Fountain y J.M.I. Tuppurainen, "ISASMELT™ developments", (Desarrollos de ISASMELT™) Sимпозиум Mervyn Willis, University of Melbourne, Melbourne, 1992.
7. C.R. Fountain, M.D. Coulter y J.S. Edwards, "Minor element distribution in the copper ISASMELT™ process" (Distribución menor de elemento en el proceso ISASMELT™ de cobre), Copper '91, Volumen IV, C. Landolt, A. Luraschi y C.J. Newman, Eds., Pergamon Press, Nueva York, 1991.
8. W.J. Errington, J.S. Edwards y P. Hawkins, "ISASMELT™ technology – current status and future development" (Tecnología ISASMELT™: estado actual y desarrollo futuro), South African Institute of Mining and Metallurgy Colloquium, 1997.
9. R.B.M. Brew, C.R. Fountain y J. Pritchard, "ISASMELT™ for secondary lead smelting" (ISASMELT™ para la fundición de plomo secundaria), Lead 90: 10° conferencia internacional del plomo, Nice, The Lead Development Association, 1991.
10. S. Jahanshahi y R.L. Player, "Process chemistry studies of the ISASMELT™ lead reduction process" (Estudios de química del proceso del proceso de reducción de plomo ISASMELT™), Simposio de fundición no ferrosa, Port Pirie, 1989.
11. P. Bartsch, B. Anselmi y C.R. Fountain, "The Radio Hill Project" (El proyecto de Radio Hill), Pryosem WA, E.J. Grimsey and N.D. Stockton, Eds., Murdoch University Press, Perth, 1990.
12. C.R. Fountain, J.M.I. Tuppurainen, N.R. Whitworth ay J.K. Wright, "New developments for the copper ISASMELT™ process" (Nuevos desarrollos para el proceso ISASMELT™ de cobre), Extractive Metallurgy of Copper, Nickel and Cobalt (Metalurgia extractiva de cobre, níquel y cobalto), Volumen II, C.A. Landolt, Ed., TMS, Warrendale, 1993.
13. J.S. Edwards, "ISASMELT™ – a 250,000 tpa copper smelting furnace" (ISASMELT™: un horno de fundición de cobre de 250.000 tpa), AusIMM '98 – The Mining Cycle, AusIMM, Melbourne, 1998.
14. R.R. Bhappu, K.H. Larson, R.D. Tunis, "Cyprus Miami Mining Corporation smelter modernization Project Summary and Status" (Resumen y estado del proyecto de modernización de la fundición de Cyprus Miami Mining Corporation), Congreso EPD 1994, G. Warren, Ed., TMS, Warrendale, 1993.
15. J.E. Salle y V. Ushakov, "Electric settling furnace operations at the Cyprus Miami Mining Corporation copper smelter" (Operaciones de hornos de retención eléctricos en la fundición de cobre de Cyprus Miami Mining Corporation), Conferencia internacional Copper 99-Cobre 99, Volumen V – Smelting Operations and Advances (Operaciones y avances de la fundición), D.B. George, W.J. Chen, P.J. Mackey y A.J. Weddick, Eds., TMS Warrendale, 1999.
16. Y. Li, P. Arthur, "Yunnan Copper Corporation's new smelter – China's first ISASMELT™" (Nueva fundición de Yunnan Copper Corporation, el primer ISASMELT™ de China), Sимпозиумъ по обработката на металургични и материали, Volumen II – High Temperature Metal Production (Producción de metal a altas temperaturas), F. Kongoli, K. Itagaki, C. Yamauchi, H.Y. Sohn, Eds., TMS, Warrendale, 2003.
17. P. Arthur, P. Partington, W. Fan, Y. Li, "ISASMELT™ – Not just a flash in the pan",

Copper 2003-Cobre 2003, Volumen IV – Pyrometallurgy of Copper (Pirometalúrgia del cobre) (Libro 1), C. Diaz, J. Kapusta, C. Newman, Eds., CIMM, 2003.

18. J. Ross y D. de Vries, “Mufulira smelter upgrade project - ‘Industry’ Smelting on the Zambian Copperbelt” (Proyecto de mejora de la fundición Mufulira - “Industria” fundición en Copperbelt de Zambia), Pirometalúrgica 05, Capetown, Minerals Engineering International, 2005.
19. P.Arthur, B.Butler, J.Edwards, C.Fountain, S.Hunt y J.Tuppurainen, “The ISASMELT™ process – an example of successful industrial R&D” (El proceso ISASMELT™, un ejemplo de investigación y desarrollo industrial exitosa), Sимпозиумъ на Международен конгрес по преработка на метал и материали, Volumen II – High Temperature Metal Production (Producción de metal a altas temperaturas), F. Kongoli, K. Itagaki, C. Yamauchi, H.Y. Sohn, Eds., TMS, Warrendale, 2003
20. A. H. Binegar, “Cyprus ISASMELT™ startup and operating experience” (Puesta en marcha y experiencia operativa de ISASMELT™ de Cyprus), Copper 95 – Cobre 95, Volumen IV – Pyrometallurgy of Copper (Pirometalúrgica del cobre), W.J. Chen, C. Díaz, A. Luraschi y P.J. Mackey, Eds., TMS, Warrendale, 1995.
21. R. Player, “Copper ISASMELT™ – process investigations” (ISASMELT™ de cobre, investigaciones de proceso), Simposio internacional Howard Worner sobre la inyección en la pirometalurgia, M. Nilmani y T. Lehner, Eds., TMS, Warrendale, 1996.
22. J. Agarwal y F.Katrak, “Economic impact of startup experiences of smelters” (Impacto económico de las experiencias de la puesta en marcha de las fundiciones), Charles River and Associates, documento basado en “Startup of New Mine, Mill/Concentrator, and Processing Plants for Copper, Lead, Zinc and Nickel: Survey and Analysis” (Puesta en marcha de una nueva mina, molino/concentrador y plantas de procesamiento para el cobre, plomo, zinc y níquel: encuesta y análisis), Banco Mundial, 1979
23. T.McNulty “Developing innovative technology” (Desarrollo de tecnología innovadora”, Mining Engineering Magazine, Octubre 1998.