

## **ESCALAMIENTO GRADUAL DE ISASMELT™ - LA CLAVE PARA EL ÉXITO**

P. S. Arthur and G. R. F. Alvear F.

*Xstrata Technology  
Level 4, 307 Queen Street  
Brisbane, Qld. 4000, Australia  
ismelt@xstratatech.com*

Palabras clave: fundición de cobre, fundición de plomo, reciclaje TSL, desarrollo del proceso, plata piloto

### **RESUMEN**

El desarrollo de un nuevo proceso de fundición es arriesgado. Muchos procesos nuevos en la industria de metales no cumplieron las expectativas iniciales de sus inventores. Grandes sumas de capital se han invertido en tecnologías que, o bien no proporcionaron un rendimiento satisfactorio de la inversión, o no funcionaron en absoluto y se tuvieron que ser reemplazadas. Una de las claves del éxito en el desarrollo de procesos es el incremento gradual en su desarrollo, permitiendo identificar y rectificar problemas lo antes posible. De esta manera, se puede minimizar el costo de cualquier rectificación que se requiera. El proceso de ISASMELT™ ha sido desarrollado totalmente por Mount Isa Mines entre los años 1980 y 1990, a través de un proceso de incremento gradual. La comercialización sólo se produjo una vez que el proceso fue probado en escalas de laboratorio, piloto y de demostración durante varios años. Como resultado, ahora la tecnología ISASMELT™ opera con éxito en numerosas plantas de todo el mundo. El enfoque metódico para el desarrollo de la tecnología ha permitido a los usuarios modernizar sus operaciones o crear nuevas empresas con reducción significativa del riesgo técnico.

## INTRODUCCIÓN

En el mundo de la pirometalurgia, los cambios tecnológicos ocurren lentamente. La adopción de nuevas tecnologías ocurre con poca frecuencia, ya que los requisitos de inversión de capital para nuevas fundiciones son generalmente muy altos y la implementación de nuevas tecnologías resulta en desafíos técnicos importantes. En consecuencia, a pesar de que los avances innovadores pueden crear oportunidades para que las empresas exploren nuevas fronteras, tales revoluciones son poco frecuentes. En la mayoría de los casos las empresas prefieren seleccionar tecnologías probadas para minimizar el riesgo y garantizar la rápida mejora de sus instalaciones. En algunos casos, sin embargo, las tecnologías probadas no son capaces de entregar los beneficios económicos y ambientales necesarios. En tales situaciones se requieren avances y la innovación técnica juega un papel esencial. Para que los procesos innovadores se implementen con éxito, se deben superar muchos obstáculos. Es aquí donde se requiere un enfoque sistemático en el proceso de innovación para mitigar el riesgo. Se requiere de equipos multidisciplinarios que trabajen en colaboración sobre una base científica sólida, para llegar a la etapa en que un prototipo se pueda probar. Una vez que se haya desarrollado y probado dicho prototipo, todavía existe la pregunta de si el nuevo proceso funcionará y será económicamente viable a escala comercial. Un proceso de crecimiento incremental minimizará los riesgos técnicos y financieros, lo que aumenta la probabilidad de un resultado exitoso.

Este artículo pretende registrar la secuencia de los pasos dados en el desarrollo de la tecnología TLS ISASMELT™, con énfasis en las etapas piloto y de demostración como pasos fundamentales para la comercialización exitosa.

## DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA LÍDER DE ISASMELT™

### Origen

La combinación planta de sinterización / alto horno fue la tecnología dominante en la fundición de plomo durante todo el siglo 20. A principios de los años 1970, las empresas que empleaban esta tecnología se vieron sometidas a una sostenida presión política y económica según se fueron introduciendo regulaciones ambientales más estrictas (en gran parte debido a un reconocimiento de la naturaleza tóxica de plomo), y los costos de energía se incrementaron, lo que llevó a mayores costos operativos y de capital [1]. La industria buscó soluciones en la innovación tecnológica, tratando de:

- Investigar las innovaciones y mejoras del proceso
- Desarrollar tecnologías más limpias y eficientes
- Reducir los costos a través de un mayor rendimiento y una mayor eficiencia

Se hicieron esfuerzos en todo el mundo para desarrollar procesos directos de fundición de plomo. Se introdujeron procesos como Kivcet, QSL y Kaldor para reemplazar la tecnología convencional. Los desarrolladores tuvieron que hacer frente a muchos desafíos tecnológicos tales como minimizar la generación de humos, optimizar la química de la escoria, mejorar el rendimiento refractario y la eficacia en la reducción de la escoria.

Fue en este ambiente que Mount Isa Mines buscó un proceso que mejoraría el rendimiento de las operaciones en su fundición de plomo en Mount Isa, Australia. Después de investigar los distintos procesos en fase de desarrollo, los investigadores centraron su atención en la lanza Sirosmelt. Recientemente, esta última se había desarrollado a escala de laboratorio en la Organización de Investigación Científica e Industrial (CSIRO por sus siglas en inglés) en Melbourne. A raíz de las investigaciones iniciales, la administración de Mount Isa Mines reconoció el potencial del nuevo concepto para la fundición de concentrados de plomo y se embarcó en un extenso programa de desarrollo.

En 1978 se inició un proyecto conjunto entre Mount Isa Mines y CSIRO para investigar la aplicación de la tecnología de combustión sumergida Sirosmelt a la fundición de concentrados de plomo de Mount Isa. En el momento de esta decisión, la tecnología Sirosmelt ya se había utilizado para demostrar la reducción de escoria del convertidor de cobre en Mount Isa [2,] en una escala de planta piloto.

La administración de Mount Isa Mines decidió que la clave para la implementación exitosa de esta tecnología era optar por un enfoque metodológico. Al contar con etapas claramente definidas, sería posible resolver los desafíos técnicos desde los fundamentos básicos del proceso de fundición de plomo hasta la viabilidad comercial.

### **Modelado termodinámico**

El punto de partida fue el modelado termodinámico. El paquete Chemix de CSIRO permitió determinar las condiciones más adecuadas para la operación del proceso. Por ejemplo, se concluyó que la estrategia óptima de fundición dependía de la ley de concentrado, como sigue [3]:

- Para los concentrados de plomo de alta ley (65 a 75%) era factible la producción directa de algunos lingotes. Esto pudo lograrse operando bajo condiciones sub-estequiométricas. Se requirió una segunda etapa de reducción de escoria para producir los lingotes de plomo restantes.
- Para concentrado de plomo de menor ley (45-50%) la generación de humos pudo reducirse mediante la realización del proceso de fundición bajo condiciones altamente oxidantes a la temperatura más baja posible. Este proceso generaba una escoria rica en óxido de plomo que posteriormente se pudo reducir para producir lingotes de plomo.

### **Pruebas a escala crisol**

Se inició un programa de prueba de laboratorio a escala crisol para obtener datos fundamentales en la química del proceso de fundición de plomo. El programa se llevó a cabo en el laboratorio de CSIRO con la participación directa del personal de Mount Isa Mines. Un ingeniero metalúrgico de Mount Isa Mines fue adscrito a CSIRO para trabajar en las pruebas a escala crisol. Esta participación directa fue reconocida en su momento como un paso crucial para establecer la confianza necesaria en la nueva tecnología, y desarrollar a un profesional que más tarde estaría involucrado en trabajo de pruebas a escala piloto. Algunos de los aspectos investigados fueron:

- Generación de volátiles de plomo versus contenido de plomo en la alimentación
- Efecto del potencial de oxígeno en la generación de volátiles de plomo
- Cinética de la reducción de la escoria

Los resultados obtenidos en el trabajo de pruebas a escala crisol se consideraron prometedores como para invertir en la siguiente etapa del proceso de desarrollo mediante la ampliación de una unidad de planta piloto. Con la conclusión del trabajo de pruebas a escala crisol en CSIRO y la decisión de avanzar a escala piloto, la responsabilidad del desarrollo del proceso pasó al Departamento de Investigación y Desarrollo en Mount Isa.

### **Primera etapa en el proceso de ampliación: Plan piloto**

La primera planta piloto de ISASMELT™ fue comisionada en Mount Isa, en septiembre de 1980. Esta planta fue diseñada para una velocidad de alimentación nominal de 120 kg / h de concentrado. Se llevó a cabo un diseño experimental para confirmar la viabilidad de un proceso de dos etapas para la fundición de concentrados de plomo y reducción de la escoria, y para obtener estimaciones razonables de las tasas de

volatilización de plomo, desgaste del refractario y las tasas de combustible. La planta piloto funcionó durante un período prolongado, entregando una cantidad importante de datos operacionales que se pudieron utilizar como la base para la siguiente etapa del desarrollo en la escala de demostración. La Tabla 1 resume las principales conclusiones del trabajo de la planta piloto [4].

Mount Isa Mines y CSIRO posteriormente obtuvieron una patente para el "proceso de fundición de plomo de alta intensidad" [5]. Este proceso se denomina Proceso ISASMELT™. El término "ISASMELT" se utilizó posteriormente para describir la combinación del diseño del horno y la lanza modificada que incorpora los desarrollos y el know-how de las operaciones de Mount Isa Mines.

Tabla 1 – Hallazgos principales en la planta piloto de plomo ISASMELT™

Tópico	Principales hallazgos
Volatilización del Plomo	Controlado a lo largo de una amplia gama de composiciones y temperaturas de escoria
Aumento del contenido de oxígeno del aire de lanza	Disminución de las necesidades de combustible Disminución de la producción de compuestos volátiles de plomo No hay un aumento significativo en el desgaste de la lanza
Desgaste del refractario	Menos de lo esperado Mayor durante la reducción que durante la oxidación
Reducción de escoria	Demostrado en la operación por lotes Procesado rápidamente añadiendo carbón global
Humo del Zinc	Muy dependiente de la temperatura

### Segunda etapa en el proceso de ampliación: Planta de Demostración

Los resultados en la planta piloto de 120 kg / h motivó a la administración de Mount Isa Mines a construir una planta de demostración con el fin de evaluar el potencial de la operación comercial del proceso. Se decidió por un caudal de aproximadamente 5 t / h, porque era aproximadamente de un cuarto a un décimo del tamaño de una planta comercial, lo que permitiría una futura ampliación dentro de niveles de riesgo aceptables. La intención era que la planta de demostración se utilizara para obtener información adicional sobre el desgaste refractario y de lanza, el consumo de combustible, la generación de compuestos volátiles de plomo y la higiene. Para mejorar la transferencia de la tecnología al personal de operaciones, la planta de demostración se instaló dentro de la fundición de plomo existente. El objetivo era hacer que la nueva tecnología fuera parte de la operación de fundición de plomo y que el personal de operaciones la considerara como propia. Se decidió construir la planta en dos etapas. La primera, encargada en septiembre de 1983, fue un solo horno programado para 5.9 t / h de material de alimentación. Se utilizó exclusivamente para la fundición de oxidación del concentrado. La gran cantidad de escoria producida se agregó a la planta de sinterización como reemplazo parcial para la sinterización de retorno. La incorporación de escoria de plomo en la mezcla de alimentación de sinterización, incrementó la capacidad efectiva de la planta de sinterización, y por tanto, la de la fundición de plomo en general en aproximadamente un 10%.

Una vez que la primera etapa demostró el funcionamiento de la etapa de fundición durante un período de más de un año, se construyó la segunda etapa de la planta y fue comisionada en agosto de 1985. El segundo horno fue construido adyacente al primero para la transferencia de escoria fundida oxidada entre ellos. Inicialmente se llevaron a cabo más de 150 ensayos de reducción de lotes. Posteriormente, en 1987, los dos hornos de demostración fueron operados de forma simultánea, con procesos continuos de:

- Fundición del concentrado de plomo en el horno de fundición
- Colada y transferencia de escoria fundida alta en plomo al horno de reducción
- Reducción de la escoria con carbón en trozos a 1170-1200 °C
- Colada de plomo crudo y desecho de la escoria juntos a través de una única piquera

La operación a escala de demostración permitió que el equipo de desarrollo de procesos reconociera y adaptara varios aspectos del diseño para mejorar la operación de la planta a escala comercial. La Tabla 2 resume algunas de las principales conclusiones de la planta de demostración [6-7].

Tabla 2 – Principales hallazgos en la planta de carbón ISASMELT™ de demostración

Tópico	Principales hallazgos	Efecto
Diseño de lanza	Rediseño de lanzas para permitir el funcionamiento a baja presión de aire	Reducción en el costo operativo y de capital
Adición de combustible	No se requiere un sistema de inyección neumática para combustible sólido. Se añadió combustible sólido en el horno de oxidación (principal contribuyente para el balance de calor) con el concentrado. Correcto ajuste de temperatura logrado con inyección de aceite a través de la lanza.	Reducción de costos de operación y de capital
Tasa de Volatilización	Menos de la mitad de la planta piloto	Menor costo operativo debido a la reducción en la recirculación de polvo
Desgaste del refractario	Menos de una décima parte de la planta piloto	Menor costo operativo

Un factor clave para el éxito económico y para la continuación del proceso de mejora del diseño fue que la planta de demostración era parte de la cadena de producción global de la fundición. Hacia abril de 1989, la planta había tratado más de 125.000 toneladas de concentrado de plomo, agregando valor a la operación de Mount Isa Mines. Este hecho indica claramente que el proceso no sólo tuvo mérito técnico, sino que también podría ser un éxito financiero, y la administración se motivó a invertir más en su desarrollo.

#### **Etapas final en el proceso de ampliación: Implementación comercial**

Tras el éxito de la fundición de plomo como demostración, la administración de Mount Isa Mines aprobó la construcción de una planta de plomo ISASMELT™ de dos etapas. La primera etapa se diseñó para oxidar completamente el concentrado de plomo y así producir una escoria alta en plomo, mientras que la segunda se diseñó para reducir esta escoria alta en plomo a fin de producir lingotes de plomo y escoria de descartes. Esta planta comenzó su actividad en febrero de 1991. Algunas diferencias entre el diseño de la planta de demostración y la planta comercial fueron el uso de un vertedero de plomo para permitir una colada continua del producto de lingotes de plomo, la instalación de calderas de recuperación, y la inyección de carbón a través de la lanza en el horno de reducción.

La etapa de oxidación demostró rápidamente la capacidad para fundir el concentrado de Mount Isa a tasas de 20 t / h, produciendo una escoria alta en plomo [8]. La operación de fundición era estable y se lograron largas vidas útiles de la lanza del refractario. Las condiciones de oxidación y un muy agitado baño en el horno de fundición lograron suprimir la formación de humos de sulfuro de plomo.

Sin embargo, la etapa de reducción inicialmente resultó ser más problemática, con vidas cortas de lanza y bloqueo y desgaste del sistema neumático de inyección de carbón, lo que derivó en contenidos de plomo erráticos en la escoria final. Estos problemas fueron superados por el rediseño de los equipos de inyección de carbón y la modificación del diseño de la punta de la lanza. Un mejor rendimiento se produjo durante 1993,

cuando se dispuso de oxígeno adicional y se fundieron hasta 36 t / h de concentrados de plomo con aire de lanza con enriquecimiento de oxígeno de 33 a 35%.

La Figura 1 muestra una secuencia de fotos de las diferentes etapas de la ampliación del proceso de plomo de ISASMELT™ en Mount Isa.

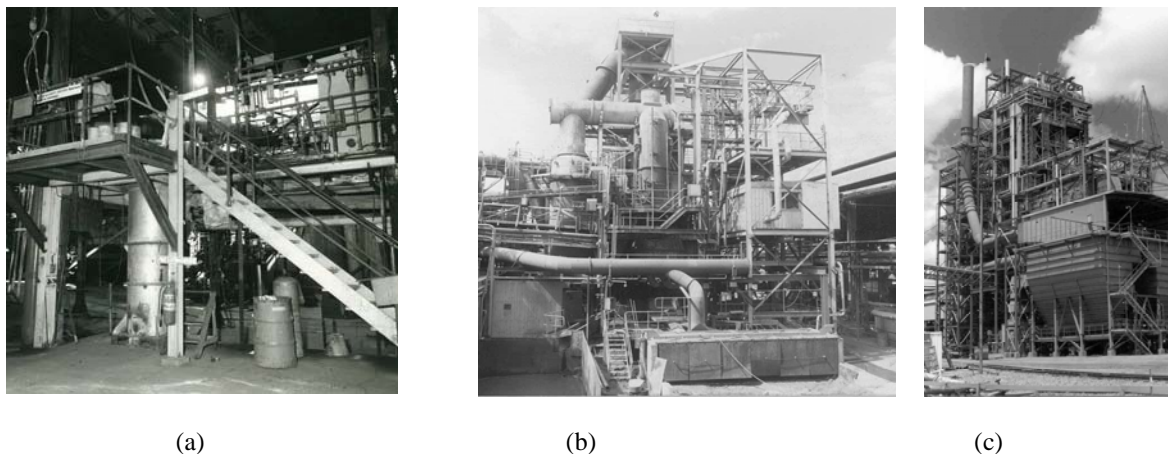


Figura 1 – Plantas de plomo Lead ISASMELT™: (a) escala de planta piloto, (b) escala de demostración, (c) escala comercial

### DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA DE COBRE ISASMELT™

El desarrollo del proceso de cobre ISASMELT™ se produjo en paralelo al del proceso de plomo y siguió el mismo enfoque sistemático para su ampliación. La fundición de cobre de Mount Isa Mines operaba dos hornos de reverbero en ese momento y la administración reconoció que había una necesidad de sustituir el proceso con una nueva tecnología que permitiría un consumo energético significativamente menor y una captura económica de dióxido de azufre en el gas de escape para su conversión a ácido sulfúrico. Después de evaluar las distintas opciones del proceso en cuanto a la oferta de los proveedores de tecnologías y siguiendo el exitoso trabajo en la planta piloto con el proceso de fundición de plomo, decidieron adaptar dicho proceso para la fundición de concentrados de cobre. La investigación fundamental además de extensas pruebas de la planta piloto llevó a la instalación de una planta de demostración a escala dentro de la fundición de cobre en Mount Isa en 1987. La Tabla 3 muestra algunas de las mejoras en los procesos, logradas durante la operación de la planta de demostración ISASMELT™ para cobre.

El funcionamiento de la planta a escala de demostración permitió resolver temas claves del proceso, independientemente de la corriente principal del proceso. Mientras tanto, esta planta recuperó su inversión inicial durante los primeros 14 meses de operación. Durante este tiempo, se fundió concentrado de escoria de convertidor acumulada por 10 años [9]. Se realizó una serie de ensayos a gran escala para demostrar el proceso a altas tasas de alimentación, lo que reduce la ampliación desde la planta de demostración a gran escala a un factor de 2. El enfoque sistemático para la ampliación durante el desarrollo de la tecnología nuevamente permitió una cuidadosa evaluación de los aspectos claves de diseño en la escala apropiada, minimizando el impacto financiero en las operaciones de la compañía. Como resultado, se obtuvo un diseño de proceso mucho más robusto para su aplicación comercial. El buen funcionamiento de la planta llevó a la decisión de construir la primera planta comercial de cobre ISASMELT™. Esta planta comenzó su actividad en 1992. Varias

publicaciones han informado acerca de las principales conclusiones del proceso de desarrollo ISASMELT™ en la fundición de cobre de Mount Isa Mines desde que la planta comercial comenzó su actividad [10-14]. La capacidad de detectar y resolver problemas y aspectos críticos del proceso previo a la construcción de la primera planta comercial, sin duda contribuyó a su éxito.

Tras cinco años de funcionamiento de la planta comercial, se llevó a cabo en 1997 una prueba a gran escala para demostrar que la tasa de alimentación de concentrado podría elevarse a 150 t / h a partir de la tasa de diseño de 100 t / h. Esta demostración exitosa permitió que la administración de Mt Isa Mines aprobara más gastos de capital para ampliar la capacidad de producción de la planta de 180.000 a 240.000 tpa de cobre contenido. Este fue el último paso en la ampliación del proceso de cobre para las operaciones de Mount Isa.

Otro resultado de la exitosa operación de la planta de demostración fue la decisión de comercializar la tecnología ISASMELT™ para empresas externas. Cyprus Miami en Arizona (ahora Freeport McMoRan Miami) fue autorizada para diseñar y construir su planta ISASMELT™ con base en la planta de demostración. La planta de Miami se construyó al mismo tiempo que la primera planta comercial en Mount Isa. Desde principios de los años 1990, Xstrata ha proporcionado licencias de sus diseños ISASMELT™ a empresas de todo el mundo. La tabla 4 muestra una lista de las plantas de cobre ISASMELT™ diseñadas desde que se construyó la planta de demostración.

Tabla 3 – Principales resultados de la planta de demostración de ISASMELT™ para cobre

Tema	Etapas inicial del proceso de desarrollo	Etapas final del proceso de desarrollo
Vida útil de la lanza	Muy baja: pocos minutos a horas	Alta: Se lograron más de 20 días de operación después de la modificación del diseño y el desarrollo de técnicas para posicionar con precisión la lanza en el baño
Tasa de alimentación	15 t/h de concentrado con la operación basada en aire	Se lograron 48 t/h durante las pruebas utilizando aire enriquecido con oxígeno
Enriquecimiento del oxígeno	Aire – sin adición de oxígeno	El enriquecimiento del oxígeno del aire permitió un aumento de la capacidad del fundidor de cobre en un 20%
Disponibilidad de la planta	Primer año bajo 70% (Diseño 75%)	Se logró la disponibilidad de diseño luego del primer año. El logro máximo superó el 95%
Vida útil del refractario	El primer revestimiento duró 14 semanas	El quinto revestimiento duró 90 semanas

### DESARROLLO DE ISASMELT™ PARA RECICLAJE

El proceso ISASMELT™ también ha sido desarrollado para el reciclaje de materiales de desecho como cobre chatarra, residuos electrónicos y metales preciosos. Umicore Precious Metals y Aurubis obtuvieron licencia para operar la tecnología ISASMELT™ que se basa en los diseños originales desarrollados en Mount Isa Mines.



Umicore necesitaba una tecnología de fundición flexible que formaría el núcleo de su nuevo complejo de reciclaje en Hoboken, Bélgica. Ellos colaboraron con Mount Isa Mines para desarrollar la nueva aplicación de la tecnología ISASMELT™. Siguiendo el ejemplo del proceso de ampliación utilizado con éxito en Mount Isa, Umicore inicialmente contrató a Xstrata para llevar a cabo un programa detallado de planta piloto a fin de poner a prueba los límites de su nuevo proceso. Tras el éxito de las pruebas de la planta piloto, se construyó una planta de demostración y fue operada en la fundición de Hoboken. Se identificó una serie de parámetros claves del proceso durante la operación de la planta de demostración, de manera que el riesgo técnico se redujo considerablemente cuando se diseñó el horno comercial ISASMELT™ a gran escala. La fundición comercial se puso en marcha a finales de 1997 y ahora está procesando hasta 360.000 toneladas al año de materias primas secundarias.

Tabla 4 – Plantas de Cobre ISASMELT™

N°	Fecha de puesta en marcha	Dueño de la Planta	Ubicación de la planta	Tipo	Capacidad de diseño
1	1987	Mount Isa Mines Limited	Mount Isa, Australia	Demostración	120.000 t/año concentrado
2	1991	AGIP Australia Pty Ltd.	Radio Hill, Australia	Níquel/Cobre Comercial	60.000 t/año concentrado
3	1992	Freeport McMoRan Miami	Arizona, EE.UU.	Comercial	700.000 t/año concentrado
4	1992	Mount Isa Mines Limited	Mount Isa, Australia	Comercial	1.000.000 t/año concentrado
5	1996	Vedanta	Tuticorin, India	Comercial	200.000 t/año concentrado <sup>1</sup>
6	1997	Umicore	Hoboken, Bélgica	Cobre Secundario Comercial	200.000 t/año material mezclado
7	2002	Aurubis	Lünen, Alemania	Cobre Secundario Comercial	150.000 t/año material mezclado
8	2002	Yunnan Copper	Kunming, China	Comercial	800.000 t/año concentrado
9	2005	Vedanta	Tuticorin, India	Comercial	1.200.000 t/año concentrado
10	2006	Mopani Copper Mines	Mufulira, Zambia	Comercial	650.000 t/año concentrado
11	2007	Southern Peru Copper Corporation	Ilo, Perú	Comercial	1.200.000 t/año concentrado
12	2009	Yunnan Copper	Chuxiong, China	Commercial	500.000 t/año concentrado
13	2009	Yunnan Copper	Chambishi, Zambia	Comercial	350.000 t/año concentrado
14	2010	Yunnan Copper	Liangshan, China	Comercial	500.000 t/año concentrado
15	2011	Kazzinc Ltd	Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan	Comercial	290.000 t/año concentrado
16	2012	Doe Run Peru	La Oroya, Perú	Comercial	280.000 t/año concentrado
17	2012	Vedanta	Tuticorin, India	Comercial	1.360.000 t/año concentrado

Nota 1: Capacidad inicial de diseño 60.000 tpa de cobre en mata, pero ampliada a 150.000 tpa de cobre en mata con un mayor enriquecimiento de oxígeno.

Aurubis también necesitaba adaptar la tecnología ISASMELT™ para su planta de reciclaje de cobre en Lünen, Alemania. Una vez más se llevó a cabo una serie de ensayos detallados en la planta piloto Xstrata para identificar los parámetros clave del proceso antes del diseño y construcción de la planta comercial. Esta última se puso en marcha en 2002. Los ensayos adicionales de la planta piloto se utilizaron para probar una variedad más amplia de material de alimentación. Como resultado, la planta ahora procesa más de 220.000 tpa de materiales de cobre secundarios.

### FACTOR DE ESCALAMIENTO UTILIZADO EN EL DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA ISASMELT™

El desarrollo de una nueva tecnología de fundición lleva tiempo. Requiere de una disciplina rigurosa para evitar la tentación de saltarse etapas a fin de acelerar el desarrollo. Se necesitaron aproximadamente diez años para el desarrollo de la tecnología ISASMELT™ para plomo y cobre desde el crisol hasta la escala de demostración. Durante esta década, el conocimiento que se fue acumulando permitió que el equipo de desarrollo alcanzara un punto en el que estaban mucho mejor equipados para diseñar y construir una planta comercial a gran escala, etapa final del proceso de ampliación. Los aspectos claves en este proceso fueron la selección de los factores de la ampliación y del diseño sistemático, el desarrollo y la reingeniería de varios componentes de la tecnología. La figura 2 muestra una comparación de las etapas de escalamiento de los procesos ISASMELT™ para plomo y cobre. La escala piloto se define como la unidad de comparación.

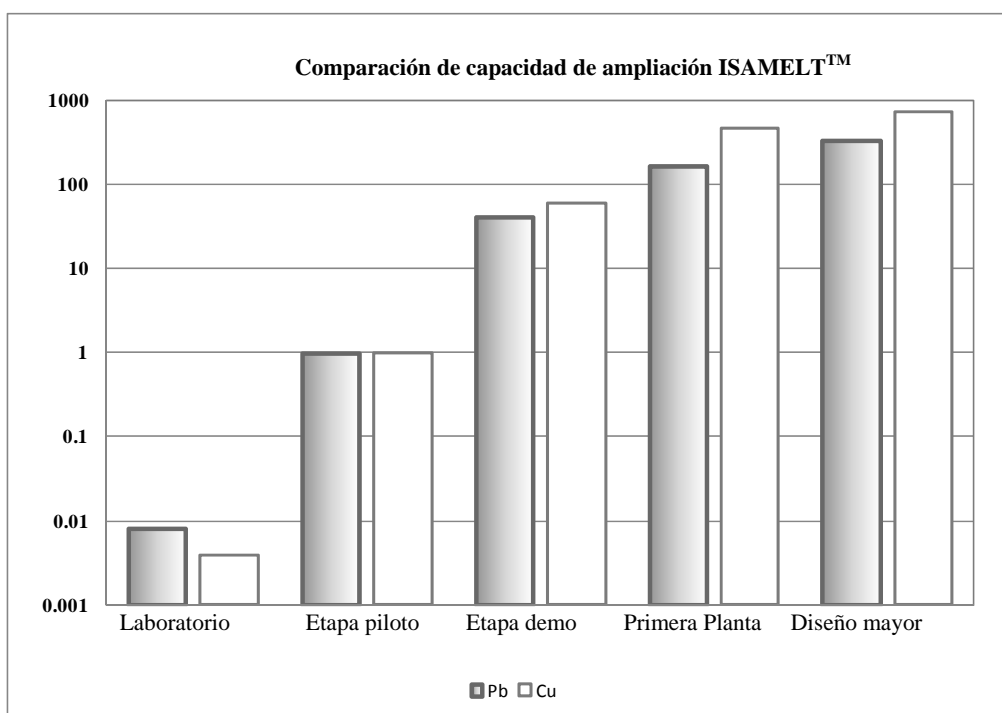


Figura 2 Comparación de ampliación de ISASMELT™ para plomo y cobre

Durante el proceso de ampliación se desarrollaron varios aspectos con un alto nivel, lo que permitió que la tecnología ISASMELT™ se convirtiera en un éxito comercial. La Tabla 5 compara algunos de los

componentes e indicadores claves de las tecnologías ISASMELT™ para plomo y cobre, en las diferentes etapas de sus procesos de desarrollo.

Un parámetro importante en la evolución de la tecnología ISASMELT™ ha sido la vida útil del refractario. La Figura 3 muestra la historia de las campañas de refractarios en la planta comercial ISASMELT™ para cobre en Mount Isa desde la puesta en marcha. Hubo un momento en que la administración de Mount Isa Mines consideró inadecuada la instalación de refrigeración por agua en los refractarios del horno debido a la posibilidad de incidentes fatales y el aumento en los costos de operación. Como resultado, se construyeron hornos a escala comercial con enfriamiento mínimo de agua. Si bien en un principio esto acortó la vida de la campaña, se inició un programa de desarrollo que se centró en optimizar la selección de materiales refractarios y la metodología de instalación. Al combinar esto con estrategias de control de procesos y con monitoreo continuo en línea de la temperatura del baño utilizando sistemas desarrollados por más de 10 años de operación, Mount Isa Mines pudo lograr alargar la vida de la campaña por más de 3 años sin usar ninguna refrigeración por agua de los refractarios del horno.

Tabla 5 – Indicadores claves de las plantas ISASMELT™ desde la escala piloto hasta la comercial

Tema	Unidad	Escala Piloto		Escala Demo		Primera Escala Completa		Diseño Actual <sup>1</sup>	
		Pb	Cu	Pb	Cu	Pb <sup>3</sup>	Cu	Pb	Cu
Id del horno	m	0,4	0,4	1,8	2,3	2,5	3,75	3,6	4,4
Diámetro de lanza	mm	38	38	150	250	250	350	250	500
Control de lanza	-	Manual		Semi Automático		Semi Automático		Automático	
Enriquecimiento de oxígeno	%	21	21	21	28	35	45	70	90
Tasa nominal de alimentación	tph	0,12	0,25	5	15	20	101	40	183
Tratamiento de emanación	-	Gases de escape/ Mangas		Enfriador de Gas / Manga		WHB		WHB <sup>2</sup>	

Notas:

ID: Diámetro interior; WHB: Caldera de calor residual

<sup>1</sup> Se refiere al rendimiento máximo

<sup>2</sup> Algunas plantas utilizan una combinación de sección de radiación y enfriador evaporativo para el tratamiento de gases de escape

<sup>3</sup> Se refiere al horno de fundición del proceso ISASMELT™ de dos etapas para plomo

## CONCLUSIONES

Un proceso de escalamiento gradual puede llevar al éxito en el desarrollo de procesos de fundición innovadores. Se ha seguido esta metodología desde que en Mount Isa Mines se reconoció el potencial de la lanza Siros melt en la década de 1970. Esto ha sido un aspecto clave en el éxito del desarrollo de la tecnología ISASMELT™. Siguiendo paso a paso las diferentes etapas del proceso desde la escala de laboratorio pasando por la experimentación y demostración hasta la aplicación comercial, se pudo tratar e identificar problemas críticos. De esta manera, el riesgo técnico se redujo en cada etapa y también disminuyó al mínimo el costo total de la inversión. La participación del personal de operaciones en todas las etapas del desarrollo permitió crear un sentido de propiedad y entusiasmo por el proceso, lo que hizo que los problemas se abordaran y se resolvieran mientras todavía se podía. Con las dificultades propias en la escala de demostración, los procesos

de cobre plomo demostraron en gran medida su viabilidad económica antes de que se requirieran grandes inversiones de capital para su implementación comercial.

Como las innovaciones evolucionan desde su conceptualización inicial, se van adaptando. Quienes la van adoptando, llevan la innovación a nuevas fronteras. Este ha sido el caso con la tecnología ISASMELT™. Desde su exitosa comercialización a principios de los 1990, ISASMELT™ se ha incorporado en las plantas de todo el mundo y ahora se utiliza para una variedad de aplicaciones. Se espera que crezca el uso de ISASMELT™ para fundición secundaria. Precious Metals con su aplicación secundaria de cobre-plomo-pgm en Hoboken, Bélgica y Aurubis con su planta de cobre secundario en Lünen, Alemania, constituyen ejemplos exitosos de la tecnología ISASMELT™ aplicada a nuevas fronteras. Ambas plantas alcanzan altos estándares ambientales con el uso de la tecnología ISASMELT™ además de operar con una viabilidad económica muy superior en comparación con la tecnología convencional. Ellos, junto con los procesos de plomo y cobre primarios comercializados en Mount Isa, representan el resultado final de un programa bien planificado y con éxito consumado de la ampliación gradual.

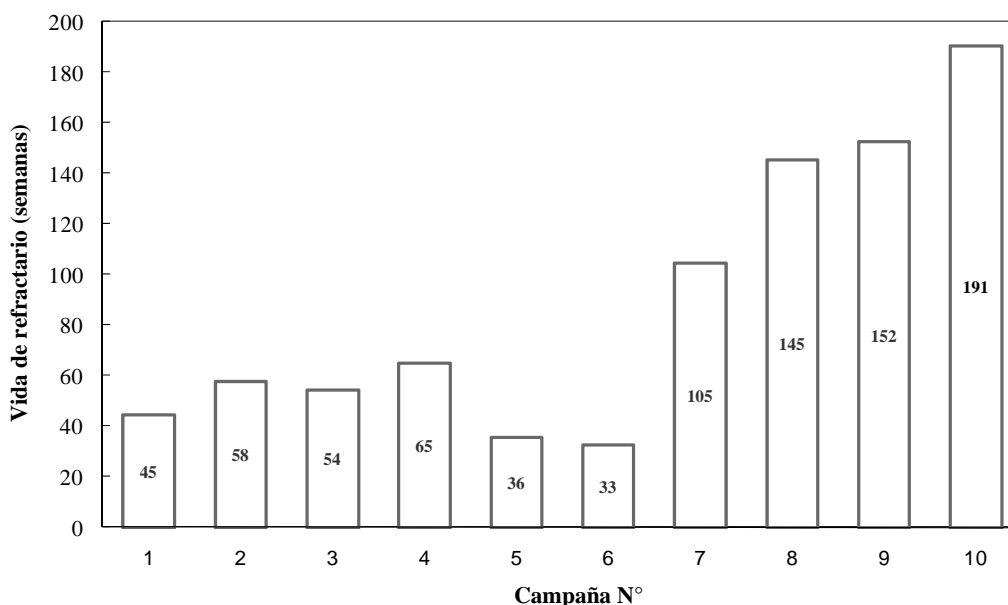


Figura 3 – Campañas de Planta de Cobre ISASMELT™ en Mount Isa (2010)

Un resultado de este largo y deliberado programa de desarrollo y su posterior comercialización, es que Xstrata ha probado diseños flexibles y eficientes para este proceso de fundición que ha estado en operación comercial desde hace más de 20 años. Durante ese tiempo, Xstrata Technology ha transferido la tecnología ISASMELT™ con éxito a numerosas fundiciones de todo el mundo. Los propietarios pueden utilizar la tecnología para modernizar las operaciones existentes o crear nuevas empresas con un mínimo riesgo técnico.

#### REFERENCIAS

1. J.H. Fewings, “Management of Innovation – The ISASMELT Process”, Innovation in Metal Production Technical Meeting, AMIRA, Mount Isa, 3-4 October 1988.

2. W.J. Errington, J.H. Fewings, V.P. Keran and W.T. Denholm, "The ISASMELT Lead Smelting Process", Transaction. Institution of Mining and Metallurgy, Section C, 96, March 1987, C1-C6.
3. Ibid 2.
4. P.S. Arthur and S.P. Hunt, "Isasmelt – 25 Years of Continuous Evolution", Sustainable Developments in Metal Processing, Floyd Symposium, M. Nilmani and W. J. Rankin, Eds., Melbourne, Australia, 2005, 73-94.
5. W.T. Denholm, J.M. Floyd, W.J. Errington and A.N. Parry, "High Intensity Lead Smelting Process", U.S. Patent 4514222, 18 November 1982.
6. Ibid 2.
7. Ibid 4.
8. W.J. Errington, J.S. Edwards and P. Hawkins, "ISASMELT Technology – Current Status and Future Development" Colloquium: Trends in Base Metals Smelting and Refining, South African Institute of Mining and Metallurgy Eds., South Africa, 1997.
9. C.R. Fountain, J.M.I. Tuppurainen, N.R. Whitworth and J.K. Wright, " New Developments for the Copper ISASMELT Process", Extractive Metallurgy of Copper, Nickel and Cobalt, Volume II, C. A. Landolt, Eds., TMS, Warrendale, 1993, 1461-1473.
10. R. Player, "Copper ISASMELT – Process Investigations", The Howard Worner International Symposium on Injection in Pyrometallurgy, M. Nilmani and T. Lehner, Eds., TMS, Warrendale, 1996, 439-446.
11. J. S. Edwards, "ISASMELT – a 250,000 tpa Copper Smelting Furnace", AusIMM '98 – AusIMM '98 - The Mining Cycle, Mount Isa, Australia 1998, 395-400.
12. P. Arthur, B. Butler, J. Edwards, C. Fountain, S. Hunt and J. Tuppurainen, "The ISASMELT Process – An Example of Successful Industrial R&D" Yazawa International Symposium on Metallurgical and Materials Processing, Volume II – High Temperature Metal Production, F. Kongoli, K. Itgakai, C. Yamauchi, H. Y. Sohn, Eds., TMS, Warrendale, 2003, 281-291.
13. G.R.F. Alvear F., P. Arthur and P. Partington, "Feasibility to Profitability with Copper ISASMELT™", Copper 2010, Volume 2 Pyrometallurgy I, GDMB Eds., Dusseldorf, Germany, 615-630.
14. Ibid 9.