



El Proceso de Cobre Intec

Producción de Cobre Superior y Sostenible

Mayo 2001

Las consultas deben dirigirse a:

Email: aldous@intec.com.au

Website: www.intec.com.au

El proceso de Cobre Intec es un Proceso Hidrometalúrgico Comprobado para el Tratamiento de Concentrados de Sulfuros de Cobre

El Proceso de Cobre Intec es un proceso hidrometalúrgico comprobado y patentado para la extracción de cobre puro y metales preciosos a partir de concentrados de sulfuros.

El proceso está basado en la deposición electrolítica del cobre en el cátodo, de grado A LME (London Metal Exchange) de pureza, a partir del electrolito purificado de cloruro de sodio-bromuro de sodio. Durante la electro-deposición (electrowinning), la mezcla de haluros BrCl_2^- ("HallexTM") es regenerada en solución en el ánodo y muestra características lixiviantes poderosas cuando es re- enviada para tratar el material entrante de concentrados.

El Proceso de Cobre Intec ha sido desarrollado y probado en los últimos diez años a un costo de US\$15 millones. El desarrollo comenzó a pequeña escala (laboratorio), se pasó a una planta piloto de 50kg de cobre por día y fue subsecuentemente probada en una planta de demostración de 350tpa de cobre. Como consecuencia, las metodologías de diseño, materiales de construcción y el control del proceso han sido todos refrendados. Luego de una revisión completa, H.G. Engineering en Toronto, Canadá, han concluido que el Proceso de Cobre Intec es adecuado para su aplicación comercial.

El Proceso de Cobre Intec es Superior al de Fundición y a Otros Procesos Hidrometalúrgicos.

El Proceso de Cobre Intec tiene una clara ventaja sobre la fundición¹ y otros procesos hidrometalúrgicos por la combinación de los siguientes factores:

- Costos de operación y de capital significativamente más bajos;
- Viabilidad económica a niveles de capacidad tan baja como 15,000tpa-Cu;
- Producción de residuos aceptables para el medio ambiente;
- Recuperación de metales preciosos en el circuito de lixiviación del cobre;
- Tolerancia de concentrados de bajo grado y "sucios" (con contaminantes);
- Habilidad de tratar todos los minerales de sulfuro de cobre, incluyendo chalcopirita y enargita;
- Bajo consumo de energía;
- Sin emisiones líquidas;
- Sin producción de gases nocivos; y
- Suaves condiciones de operación de baja temperatura y a presión atmosférica.

La fundición ha sido crecientemente mejorada con el paso del tiempo hasta una magnitud suficiente para permanecer como el proceso preferido para el tratamiento de

concentrados de sulfuros de cobre. Sin embargo, la fundición tiene varias y mayores desventajas:

- Alto costo de capital
- No rentable a pequeña escala
- La generación de bióxido de azufre, que requiere conversión a ácido sulfúrico a un costo adicional;
- Altas penalizaciones por el tratamiento de concentrados de leyes bajas y "sucios"; y
- una percepción general como un proceso sucio, no ambientalmente amigable.

Un número de procesos hidrometalúrgicos han sido desarrollados como alternativa a la fundición, pero a excepción del Proceso de Cobre Intec, ninguno ha demostrado una ventaja competitiva sostenible sobre la fundición.

Los otros procesos hidrometalúrgicos pueden categorizarse ya sea como procesos de lixiviación biológico o procesos de lixiviación a presión. Sin reparar en el proceso de lixiviación, todos estos procesos incluyen un circuito de extracción por solventes electro-desposición ("SW-EW"). Por consiguiente, las economías de estos procesos hidrometalúrgicos nunca pueden sobrepasar aquellas del paso principal SX-EW. Además, todos estos procesos no pueden recuperar metales preciosos sin tener que lixiviar el residuo con cianuro, y por consiguiente limitando su potencial económico.

Entre los procesos hidrometalúrgicos, como el único en su género, el Proceso de Cobre Intec reúne los siguientes factores:

- La recuperación directa de metales preciosos²;
- La producción de cobre puro sin usar extracción con solvente;
- La separación del azufre en forma elemental;
- Condiciones de operación a presión atmosférica y a baja temperatura; y
- No requerimiento de oxígeno puro.

Por consiguiente, el Proceso de Cobre Intec tiene costos de capital y de operación significativamente más bajos que la fundición y otros procesos hidrometalúrgicos. Esta ventaja económica se mantiene con capacidades tan bajas como hasta 15,000tpa-Cu, por lo tanto aumenta la recuperación y producción de otros metales de la mina.

En resumen, las ventajas de amplio rango y demostrables del Proceso de Cobre Intec lo ponen como el "proceso de elección" por la industria.

El Proceso de Cobre Intec es Económicamente Superior a Todos los Otros Procesos.

La ventaja más convincente del Proceso de Cobre Intec es su superioridad económica sobre la fundición y otros

¹ El término de fundición como es usado en este documento incluye el paso subsecuente de refinado.

² 80% de los concentrados de cobre contiene niveles comerciales de metales preciosos.

procesos hidrometalúrgicos, como se muestra en las Figuras 1 & 2 a continuación. La comparación económica contenida en estas figuras está basada en un análisis independiente llevado a cabo por el Profesor David Dreisinger de la Universidad de British Columbia, Canadá (“análisis Dreisinger”³).

El análisis Dreisinger fue basado en el desarrollo de balances conceptuales de masas para cada uno de los procesos revisados, de los cuales se estimaron costos de operación y de capital. Este método aseguró una base consistente para comparación e incluyó los siguientes supuestos principales:

- Una capacidad de planta de 100,000 tpa-Cu;
- El tratamiento de un suministro de concentrado de Cu de 25% sin contenido de metales preciosos; y
- Costos de energía de US6.25¢/kWh.

Intec Copper Pty Ltd (“Cobre Intec”) ha incluido por separado en el análisis Dreisinger los costos de operación y capital de un circuito de recuperación de metales preciosos para los otros procesos hidrometalúrgicos revisados. Esta adición ha sido considerada a fin de brindar una comparación más significativa con el Proceso de Cobre Intec⁴. La base de la comparación son los costos de producción en el lugar y por lo tanto excluye los costos de mercadeo y de flete y créditos de ácido, mientras que el costo de neutralización del ácido está incluido.

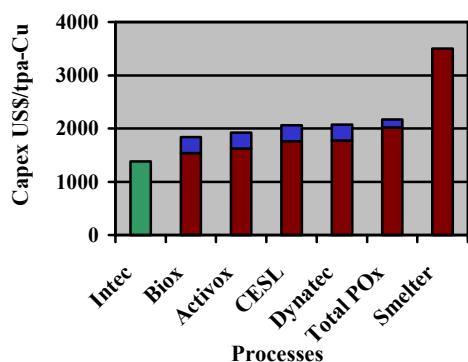
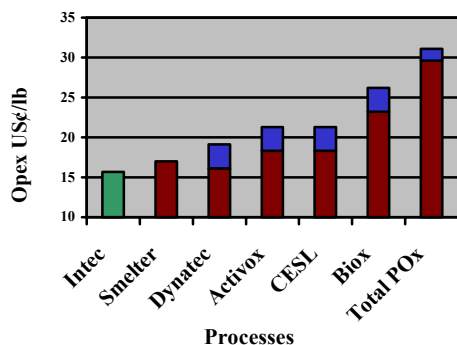


Figura 1: Comparación de los costos de capital a una capacidad de planta de 100,000 tpa-Cu para los procesos en competencia (en azul esta el costo agregado de un circuito de recuperación del metal precioso).



³ David Driesinger, “EL Proceso del Cobre Intec: Una Revisión de la Posibilidad Técnica y Financiera”, 1998.

⁴ Los metales preciosos son rutinariamente recuperados en el Proceso de Cobre Intec, mientras que otros procesos hidrometalúrgicos requieren

Figura 2: La comparación de los costos operativos a una capacidad de planta de 100,000 tpa-Cu para los procesos en competencia (costo agregado de un circuito de recuperación del metal precioso está en azul).

En 1999, H.G. Engineering adoptó un costo de capital detallado y un costo estimado de operación para una planta con Proceso de Cobre Intec de 50,000 tpa-Cu ubicada en el sudoeste de los Estados Unidos. Al determinar los estimados de costos de capital, H.G. Engineering primero especificó una lista detallada del equipo y luego obtuvo cotizaciones de los proveedores de equipos.

El estimado del costo de capital de H.G. Engineering fue de US\$70.5 millones ó US\$1,410 por tonelada anual de producción de cobre. Usando este estudio como base, los costos de capital y de operación han sido estimados para un rango de tamaños de plantas de Proceso de Cobre Intec como se muestra en las Figuras 3 y 4.

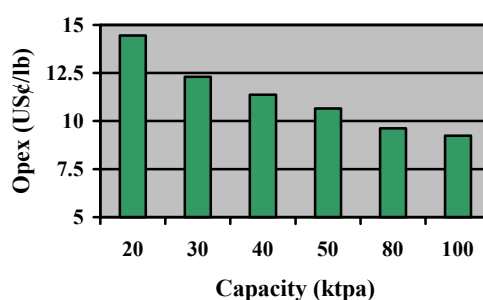


Figura 3: Efecto del tamaño de la planta sobre el costo operativo del Proceso de Cobre Intec (basado en el estimado del costo de H.G. Engineering).

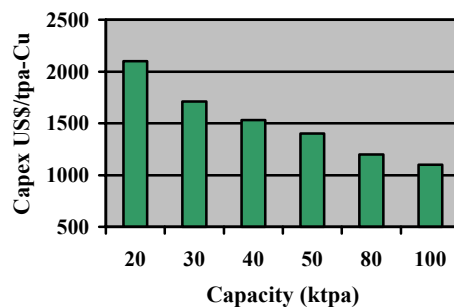


Figura 4: Efecto del tamaño de la planta sobre el costo de capital del Proceso de Cobre Intec (basado en el estimado del costo de H.G. Engineering).

La competitividad económica del Proceso de Cobre Intec brinda a las minas pequeñas y remotas una opción de producción de metales en el lugar. Esta opción de desarrollo resulta en la eliminación de costos onerosos del transporte y tratamiento del concentrado. En la Tabla 1 a continuación, se compara la economía de una planta dedicada al Proceso de Cobre Intec en el mismo lugar con 50,000 tpa-Cu, con la economía del tratamiento de concentrado de Cu 28%⁵ por medio de una fundición normal en un puerto.

como mínimo cal para la recuperación de plata y un circuito de cianuro para recuperar el oro.

⁵ Esto representa el promedio mundial de concentrados de chalcopirita.

Item	Fundición (US\$/lb)	Cobre Intec (US\$/lb)
Transporte de Concentrado (US\$60/dmt)*	9.5	0
Cobro por tratamiento (US\$90/dmt)**	14.5	0
Cobro por Refinamiento (US\$9/dmt)**	9	0
Costo de Operación del Cobre Intec ***	0	12
Pago diferencial del Metal †	N/D	(1.5)
Cobro por Servicio de Capital de Cobre Intec ††	0	7.5
Flete y Mercadeo del Producto ‡	0	1.5
Total	33	19.5 ‡‡

* Cobro promedio por transporte desde ubicación remota en Australia. Fuente: Brook Hunt, "Costos, Minas y Proyectos de Cobre", 2001-07-08

** Proyección de tasa de contrato sustentable a largo plazo. Fuente: Brook Hunt, ídem

*** Asume el costo de energía de US\$5¢/kWh para una ubicación remota

† Fundidores comunes pagan 96.5% por contenido de Cu en el concentrado, mientras que el Proceso de Cobre Intec recupera 98% de Cu en el concentrado.

†† Cobro por el servicio de capital por 15 años a una tasa de interés real de 7.5%.

‡ Se incluye una prima de comerciante de US\$2.5/lb. Fuente: Salomón Smith Barney, "Commodity Outlook", Octubre 2000.

‡‡ Excluye regalías por el uso de la patente de Cobre Intec.

Tabla 1: *La comparación de costos entre una planta dedicada al Proceso de Cobre Intec en el mismo lugar y el tratamiento de concentrado de cobre desde una fuente remota a través de una fundición común en un puerto.*

Como se muestra en la tabla anterior, con 50,000 tpa/Cu el Proceso de Cobre Intec reduce el costo del metal en aproximadamente 13.5US\$/lb. Además, este análisis excluye el beneficio obtenido de la recuperación mejorada de los metales preciosos usando el Proceso de Cobre Intec comparando con el fundidor común. Por añadidura, a diferencia de los fundidores, el Proceso de Cobre Intec no eleva los cobros por elementos penalizados presentes en los concentrados. Estos asuntos son específicos del concentrado y por lo tanto los beneficios adicionales del uso del Proceso de Cobre Intec, más allá de aquellos identificados anteriormente, variarán entre los concentrados individuales.

El Proceso de Cobre Intec también tienen la posibilidad de reducir los costos unitarios de mina y molienda a través de su habilidad de tratar los concentrados de hasta de 18% de cobre a un costo adicional mínimo. Por lo tanto, la economía del proyecto puede tener una mejora adicional por:

- Más altas recuperaciones en los molinos como resultado de producir concentrados de bajo grado y/o contaminados; y
- Aplicación del inventario de reservas al reducir el grado de corte (cut-off).

El Proceso de Cobre Intec está Listo para su Aplicación Comercial

El desarrollo del Proceso de Cobre Intec se ha enfocado en lograr una experiencia operacional máxima con su química, equipo y materiales de construcción. EL costo total de este programa de desarrollo ha sumado más o menos US\$15 millones en un período de diez años, y ha incluido:

- Prueba a pequeña escala (laboratorio);
- Operación de una planta piloto de 50kg-Cu/día; y
- Operación de una planta de demostración de 350 tpa-Cu.

La validación del Proceso de Cobre Intec a través del amplio programa de desarrollo ha progresado a la etapa donde ahora está disponible para su aplicación comercial. Las completas revisiones del Proceso de Cobre Intec por autoridades respetables ha confirmado consistentemente tanto su posibilidad técnica como su viabilidad económica⁶.

Se ha Obtenido La Experiencia Operativa Significativa con el Proceso de Cobre Intec.

Luego del trabajo a pequeña escala (laboratorio) y en la mini planta piloto, se ganó experiencia operacional práctica con el Proceso de Cobre Intec en dos etapas distintas.

La primera etapa fue la planta piloto de 50kg-Cu/día (ver Figura 5), la cual operó un total de 290 días durante el período de Agosto de 1994 a Noviembre de 1995. Como resultado, para Noviembre de 1995, el Proceso de Cobre Intec había demostrado funcionar satisfactoriamente.

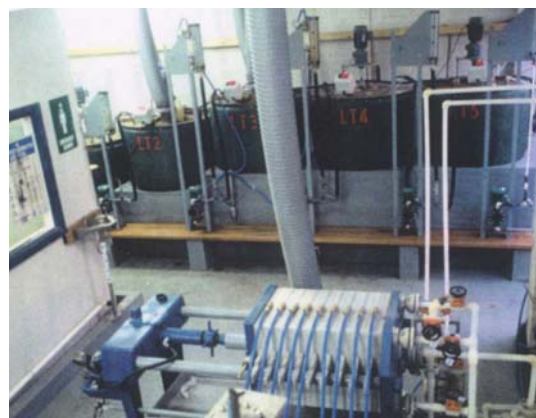


Figura 5: *Planta piloto de Cobre Intec.*

La planta piloto logró extracciones de cobre de hasta 99.5%, extracciones de oro hasta de 95% y extracciones de plata hasta 99% de cinco cargas de concentrado diferentes (Cobar, Mt. Lyell, Neves Corvo, Northparkes y Ok Tedi). Se lograron eficiencias de corriente en el circuito de electro-deposición (electrowinning) de hasta 98%; y el residuo de lixiviación probó ser estable, y por lo tanto,

⁶ Estos han incluido H.G. Engineering, Kvaerner Davy, Behre Dolbear, The Winters Company y Profesor David Dreisinger. Estos grupos han confirmado individualmente ya sea la posibilidad técnica, la viabilidad económica, o ambas.



Figura 7: Celda de electro-deposición (adelante) y el rectificador (fondo) en producción completa en la planta de demostración del Proceso de Cobre Intec.

El Lixivante

El lixivante cargado Halex™, generado en el ánodo, es el más significativo de los varios y únicos aspectos del Proceso de Cobre Intec. Representa un simple método para almacenar un poderoso agente oxidante en forma soluble, mientras que previamente, tecnologías en base de cloruros operando con similar potencial oxidante, han producido gas de cloro. Este lixivante está a un potencial de oxidación (Eh) de 1,000 mV (todos los valores Eh son relativos a Ag/AgCl), el cual fácilmente lixivia el oro. Es este líquido el que se usa para lixiviar concentrados de sulfuros de cobre.

Extracción

El circuito de lixiviación opera a 85°C con oxígeno suministrado por el aire a presión atmosférica.

El concentrado de cobre molido a P₈₀ 40 micrones es cargado a la etapa 1 de la lixiviación (ver Figura 8) y luego avanza a través del circuito hacia la etapa 3. La extracción de cobre es comúnmente 98.5% y se logra con un tiempo de residencia de la lixiviación de 12 a 14 horas. El fresco lixivante Halex™ del ánodo es cargado hacia la etapa 3, aumentando su contenido a medida que avanza en el circuito de lixiviación, eventualmente saliendo del paso 1 como cobre 75 gpl como radical cuproso.



Figura 8: Etapa de lixiviación 1 (derecha, adelante) en la planta de demostración de Cobre Intec.

El oro es disuelto en el paso 3 con un Eh de 550 a 650 mV y absorbido hacia el filtro de carbón, desde el cual es luego recuperado.

El residuo lixiviado es separado y lavado en una prensa de filtro antes de descargarlo a un relleno sanitario o a una represa de desechos. Cualquier parte de arsénico que esté presente en el concentrado está contenido en los residuos sólidos en forma benigna de ferroarseniato.

El líquido fértil sale del circuito de lixiviación conteniendo un número de impurezas, como cobalto, níquel, indio, mercurio, plata, cinc, y plomo, lo que fácilmente se lixivia de la alimentación del concentrado.

Purificación

El electrolito fértil es purificado en un sistema de tres etapas antes de la electro-deposición (electrowinning) (ver Figura 9). EL primero paso incluye la conversión de cualquier ion de cúprico residual en cuproso (pasando el electrolito fértil por dendritas de cobre) para condicionarlo para los dos pasos restantes de la purificación.

EL segundo paso implica la adición de mercurio y aluminio solubles al líquido fértil. El aluminio forma una “esponja de cobre” la cual brinda una gran área de superficie que permite a la plata ser removida galvánicamente del líquido como una amalgama. La amalgama es posteriormente tratada para producir mercurio soluble que es reciclado hacia el inicio del circuito y un derivado de barras de plata.

En el tercer paso, las impurezas como el hierro residual, indio y bismuto, son precipitadas a pH 4.0-4.5 con la adición de cal molida.

La solución resultante de cobre purificado es luego enviada a electrólisis como se describiera anteriormente, a fin de producir cobre de alta pureza y regenerar el lixivante para reciclarlo a la sección de lixiviación.



Figura 9: El circuito de purificación en la planta de demostración de Cobre Intec, con reducción cúprica al frente, y purificación pH4 en el fondo.

Una corriente de descarga separada lleva un pequeño flujo de electrolito (con un tenor mínimo de cobre) desde las celdas de electro-deposición (electrowinning), y se la

trata para retirar el cinc, plomo, cobalto, cadmio, manganeso, magnesio y níquel como precipitados sólidos y el líquido regresa al proceso. Estos metales no tienen efecto sobre la pureza del producto y por consiguiente pueden ser retirados después de la electro-deposición (electrowinning).

El Proceso de Cobre Intec Produce Metal de Cobre en la forma de Dendritas de Cobre.

El producto de cobre primario está en la forma de dendritas (ver Figura 10) que son lavadas y secadas bajo una atmósfera inerte.

Las dendritas son una forma versátil del producto de cobre que no tienen los materiales que manejan limitaciones del producto convencional de cátodo. A diferencia del cátodo, las dendritas pueden ser transportadas neumáticamente, bombeadas como una mezcla ligera, o briqueteadas.

Sin embargo, comúnmente el producto de cobre dendrítico es fundido en un horno de inducción eléctrica, del cual se crean subsecuentemente formas que satisfacen los requerimientos de los clientes. Esto es generalmente como lingote o barras, pero productos de un valor agregado significativamente más alto como varillas pueden ser beneficiosamente producidos considerando que el cobre está en estado derretido. La especificación del producto del Cobre Intec se detalla en la Tabla 2.

Clasificación	Elemento	Concentración Max. LME (ppm)	Producto de Cobre Intec (ppm)
Grupo 1	Se	2	<0.1
	Te	2	<0.1
	Bi	2	<0.1
Total del Grupo 1		3	<0.3
Grupo 2	Cr		<0.1
	Mn		<0.1
	Sb		<0.1
	Cd		<0.1
	As		<0.1
	P		<0.1
Total del Grupo 2		15	<0.6
Grupo 3	Pb	5	2
Grupo 4	S	15	7
Grupo 5	Sn	10	<0.1
	Ni		<0.1
	Fe		2
	Si		<0.1
	Zn		1
	Co		<0.1
Total del Grupo 5		20	<3.3
Grupo 6	Ag	25	15-20

Tabla 2: Especificación del producto de Cobre Intec.



Figura 10: Dendritas de cobre creciendo en el cátodo.

El Proceso de Cobre Intec es Ambientalmente Aceptable

Ningún efluente líquido y Emisiones Gaseosas Benignas

El Proceso de Cobre Intec es inherentemente aceptable para el medio ambiente porque está basado en un lixivante salino no tóxico. No hay efluente líquido, sólo gases benignos en la forma de aire y vapor de agua.

Residuos Sólidos Estables

EL residuo generado por el proceso de lixiviación (ver Figura 11) está formado por la ganga de los minerales más azufre elemental y goethita generados químicamente. La composición del electrolito inhibe la formación de jarosita.

Si se desea comercialmente, el azufre puede ser separado del residuo, mientras la goethita, un óxido estable de hierro, se sabe que estabiliza a metales pesados.

El arsénico del concentrado es estabilizado en los residuos como ferroarseniato.



Figura 11: Residuo lixiviado ambientalmente aceptable, listo para el relleno sanitario.

El residuo producido es apropiado para el relleno sanitario. Las operaciones en la planta de demostración de Cobre Intec vieron que todo el residuo pasó la prueba TCLP de EPA para los desperdicios sólidos, la mayoría de ellos pasaron la clasificación de desechos inertes.

Análisis de Ciclo de Vida Favorable.

Para expandir la comprensión de los aspectos medio-ambientales del Proceso de Cobre Intec, se llevó a cabo un análisis del ciclo de vida en la Universidad de Sydney con contribuciones de la firma líder en consultoría ambiental, ERM, y ANSTO (Organización Australiana de Ciencia Nuclear y Tecnología). Los estudios combinados brindaron fuerte respaldo a la expectativa de estabilidad a largo plazo del residuo. Estudios posteriores y trabajo de prueba efectuado por Cobre Intec han confirmado esta conclusión.

Bajo Consumo de Energía

La habilidad de despositar cobre eléctricamente a partir de su estado cuproso es la ventaja clave de los sistemas de cloruros cuando se comparan con los sistemas de sulfato. Aunque la densidad actual de 1000A/m² se aplica al Proceso de Cobre Intec, el consumo de energía es relativamente bajo con 1650kWh/t-Cu (1435kWh/t-Cu excluyendo el reciclado). Esto se compara con los 1900-2100 kWh/t-Cu de los sistemas de sulfato.

Otra ventaja clave del Proceso de Cobre Intec es la habilidad de lixiviar cobre en condiciones relativamente suaves. Esto permite que se use aire en vez de oxígeno. Además, la formación de azufre elemental durante la lixiviación reduce significativamente el requerimiento de oxígeno cuando se le compara a los otros procesos donde la formación de sulfato es substancialmente más alta. Finalmente, las altas extracciones de metal se logran sin la necesidad de un molido ultra fino.

Como consecuencia, el Proceso de Cobre Intec consume substancialmente menos energía que el proceso de fundición y otros procesos hidrometalúrgicos (Figura 12).

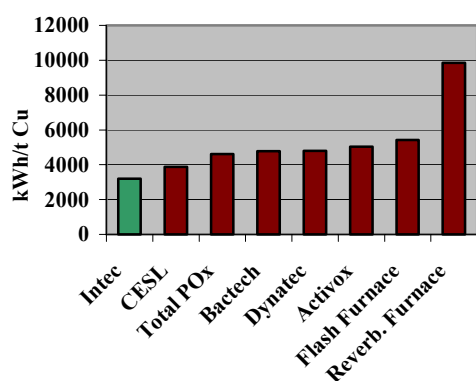


Figura 12: La comparación del consumo de energía de las tecnologías de procesamiento de cobre.

Una crítica común de los procesos hidrometalúrgicos es la alta proporción de energía eléctrica usada en comparación con la fundición. Sin embargo, cuando se tiene en cuenta el consumo de combustible en generación de electricidad, el Proceso de Cobre Intec consume 20% menos energía que las plantas de fundición más eficientes (Figura 13).

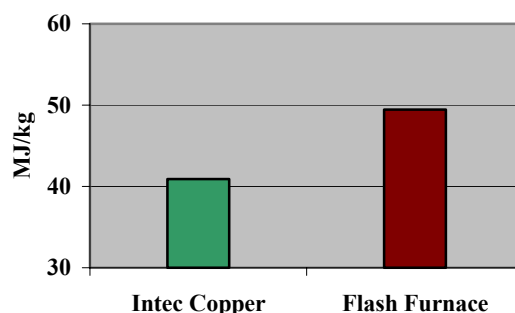


Figura 13: Ciclo completo de consumo de energía para el Proceso de Cobre Intec y un flash furnace.

El Proceso de Cobre Intec será el “Proceso Elegido” en la Industria en el futuro

Hay un interés creciente de los participantes de la industria del cobre en el uso de los procesos hidrometalúrgicos para la producción del metal de cobre a partir de concentrados de sulfuro. Esto es una consecuencia de entender que la hidrometalurgia representa una viable y ventajosa alternativa a la fundición.

El Proceso de Cobre Intec tiene los más bajos costos operativos y de capital de todos los procesos hidrometalúrgicos propuestos para la producción de metal de cobre a partir de concentrados de sulfuros. Además, el Proceso de Cobre Intec es ambientalmente seguro y ofrece el potencial de generar ahorros en minería y actividades de molienda.

Debido a que el Proceso de Cobre Intec tiene una ventaja clara sobre la fundición y otros procesos hidrometalúrgicos, de hecho se convertirá a futuro en el “Proceso Elegido” de la industria.