

Desarrollo Tecnológico en la Producción de Cobre y sus Impactos en la Oferta Futura

COCHILCO - Seminario Internacional Minería del Cobre: Apostando al Futuro
Diciembre 2009

Gustavo Bastidas
Ingeniero de Procesos
Xstrata Copper Norte de Chile

Marcelo Jo
Gerente General Desarrollo Tecnológico
Xstrata Copper Norte de Chile



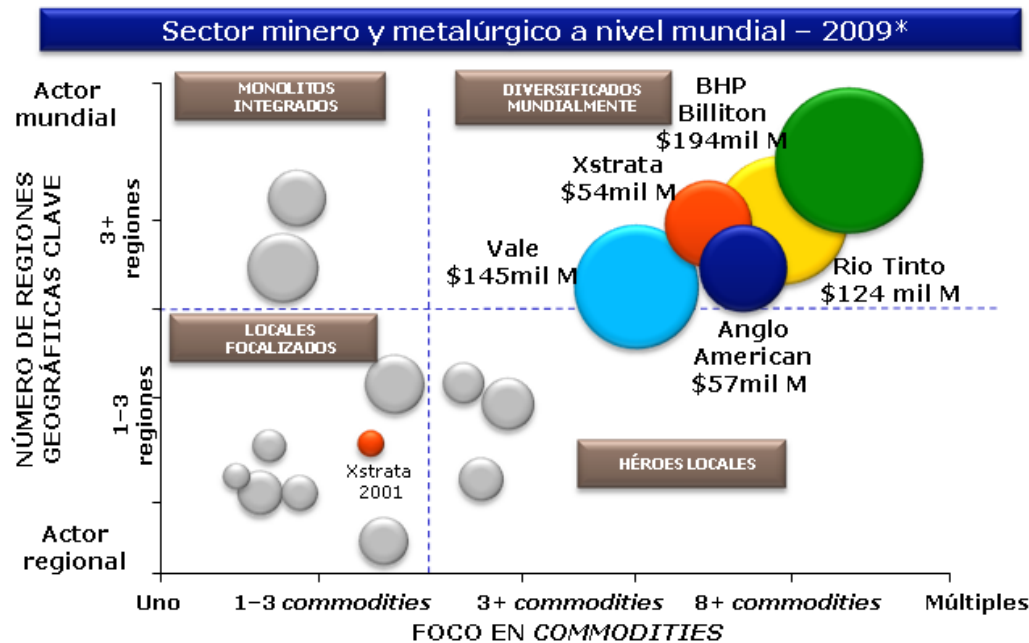
Temario

- Introducción: Acerca de Xstrata
- Historia de las Innovaciones en la Industria del Cobre
- Áreas de potenciales innovaciones
- Tendencias en la Industria del Cobre
- Resumen

Acerca de Xstrata...



Xstrata hoy: Dinámico actor minero diversificado de envergadura mundial



- Empresa minera diversificada internacional cuya capitalización bursátil asciende a \$54 mil millones*
- Casa matriz en Suiza, emplea a aprox. 65.000 personas en 19 países
- Productor mundial "top 5" de carbón térmico y metalúrgico de exportación, cobre, ferrocromo, níquel, zinc y creciente negocio del platino
- Distinguida por Índice de Sostenibilidad Dow Jones (DJSI) como Líder del Sector Minero por tercer año consecutivo

Sólida cartera de activos y proyectos de diversidad geográfica



Xstrata Copper

División Norte de Chile



División Norte de Chile



• **Fundición Altonorte (100%)**

- 685 empleados
- Situada en las inmediaciones de Antofagasta
- Proyecto de fundición de cobre
- Capacidad para procesar 1,000,000 tpa de concentrado de cobre
- Producción del año 2008: 231,902t de cobre anódico, 6,925t de molibdeno y 679,746t de ácido sulfúrico

• **Lomas Bayas (100%)**

- 729 empleados
- Situada a 110 km de Antofagasta en el Desierto de Atacama
- Yacimiento de cobre a cielo abierto.
- Lixiviación de Óxidos de baja ley
- Planta de extracción de solvente y recuperación electrolítica (SX-EW)
- Producción año 2008: 59,134 ton de cátodos de cobre.

• **Cia Minera Doña Inés Collahuasi (JV 44%)**

- 1,892 trabajadores propios y 4,250 contratistas
- Situada a 4,400 m.s.n.m. en la zona altiplánica de la I Región.
- Yacimiento de cobre a cielo abierto.
- Planta concentradora de Cu y Mo
- Planta de SX-EW
- Producción 2008: 464,356t Cu y 2,471t de concentrado de molibdeno.

Definición de Propósito

Maximizaremos la inversión de los accionistas a través del crecimiento y la administración exitosa de una de las principales carteras de proyectos de cobre que generen una rentabilidad de primer nivel.

Lo lograremos mediante alianzas genuinas con nuestra gente, la comunidad, el gobierno y otras partes involucradas, que contemplan la seguridad como así también nuestra responsabilidad social y ambiental.



Historia de las Innovaciones en la Industria del Cobre



Minería: los Driver del Negocio

- La disminución de las leyes
- La dificultad de acceso al recurso mineral
- La economía de escala. Movimientos masivos
- La escasez del recurso
- La seguridad

Generación de Riqueza

La incorporación de nuevas tecnologías permitió aumentar el procesamiento, disminuir o controlar los costos de extracción, incrementar la rentabilidad y generar mayor riqueza.

- Equipos mina de gran tamaño
- Equipos especializados
- Métodos de explotación minería subterránea
- Tronadura controlada
- Equipos autónomos

Futuro

- Equipos autónomos
- Minería en profundidad: submarina e inundada
- El reciclaje: relaves y botaderos



Búsqueda y Liberación del Cobre



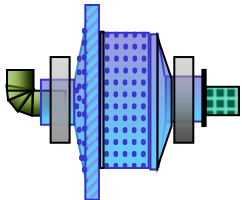
Exploración

El uso de imágenes satelitales para focalizar zonas a explorar, hace posible actualmente analizar extensas áreas sin mayor contacto con el terreno. Nuevas técnicas de detección de anomalías permite identificar blancos de exploración



Chancado

En el siglo XIX se crearon grandes tecnologías, entre las que se destacan: perforadora rotatoria manual (1885), chancador de rodillos (1832), chancador de mandíbulas (1886) y chancador giratorio (1883).



Molienda

En el área de molienda, lo más importante ha sido el desarrollo de la molienda SAG de gran capacidad.

Mientras que en remolienda, el reemplazo del molino convencional por el molino vertical.



Clasificación

En clasificación, la introducción de los hidrociclones en la década del 60.

Claves

- El valor del recurso mineral
- Costos por energía
- Capacidad de tratamiento

Concentrando el Producto de Valor

Área de Flotación

- Los fundamentos teóricos y tecnológicos fueron desarrollados en el siglo XX.
- El primer proceso en ser patentado fue el Bulk oil en 1860, este agregaba entre un 10% a 20% en peso de aceite, separando los sulfuros de la ganga.
- El primer uso industrial en 1901 empleaba 1 ton aceite por cada ton de mineral.
- Luego, se inventó la flotación espumosa, que requería menor consumo de aceite al utilizar burbujas a partir de la reacción de carbonatos y ácidos.
- En 1905 se patenta un nuevo proceso que permite producir espuma a través de un sistema de agitación-succión empleando una pequeña cantidad de aceite (inferior al 1%). **La incorporación de esta tecnología desplazo a la concentración gravitacional logrando un aumento en la recuperación desde 60% a 90%.**



El Teniente fue la primera empresa chilena en usar el proceso de flotación (1911), posteriormente Potrerillos (1927) y Chuquicamata (1952).

Claves

- Celdas de gran capacidad son la tendencia del sistema: 300 m³ y más
- Recuperación metal principal y subproductos
- Manejo de impurezas

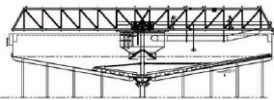
Manejo del Recurso Hídrico

Tratamiento de relaves y depósito final

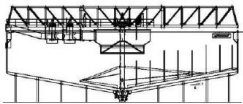
En el siglo XIX se inventan los espesadores convencionales, posteriormente se incorporan los espesadores HRT, 50% a 65% de sólidos y actualmente se encuentran disponibles los HCT y en Pasta que permiten lograr hasta un 80% de sólidos en la descarga.

Permitiendo operar plantas con un consumo de agua optimizado en el rango de 0.45 a 0.50 m³/t.

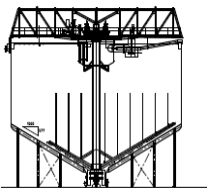
*High Rate
Thickener*



*High Compression
Thickener*



Pasta



Claves

- El agua constituye en muchos casos etapa controlante
- Costo creciente del agua: 1-3 US\$/m³
- Paradoja del recurso controlante

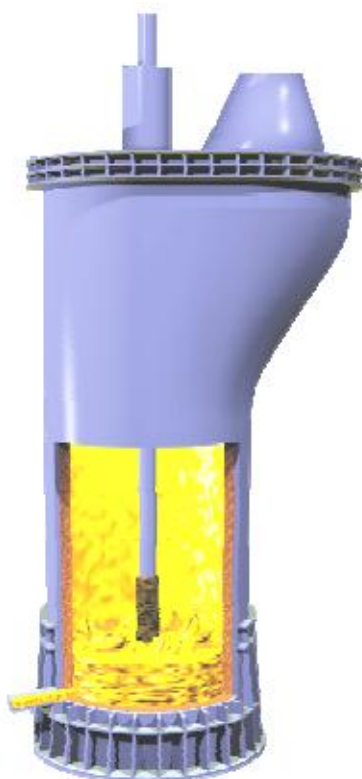


Fundición y Refino

Fundición de cobre

En el pasado los minerales sulfurados de cobre no tenían valor económico pues el cobre mezclado con azufre es quebradizo y no posee buenas propiedades mecánicas.

Cuando se ideó la forma de remover el azufre se creó la primera fundición.



© Xstrata Technology

Fusión

Conversión

Refino y Moldeo

Limpieza Escoria

Electro-refinación

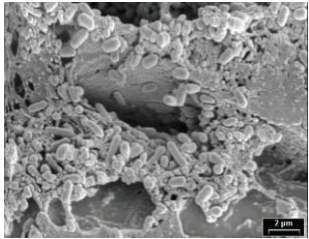
Procesos continuos en reemplazo de etapas por lotes
 Uso intensivo de oxígeno
 Manejo de escorias
 Manejo de gases y plantas de fijación de SO₂
 Reciclaje
 Incremento capacidad de tratamiento
 Recuperación metalúrgica

Claves

- Manejo medio ambiental. Alto nivel de Inversiones. Control de costos
- Recuperación metalúrgica, captura de fletes, multas por contaminantes, premios por mp, subproductos
- Margen operacional reducido
- Eficiencia energética, Aprovechamiento del calor residual
- Reciclaje RAEE y chatarra de cobre

Disolviendo el Cobre

Lixiviación



Inicialmente los minerales oxidados fueron lixiviados por agitación y en bateas. En 1977 Paul Johnson patentó en USA la lixiviación Thin Layer. Que consideraba curado ácido, reposo y pilas de 0.5 a 1.0 m. En 1976 Sociedad Minera Pudahuel realiza pruebas de este proceso en Lo Aguirre introduciendo una serie de mejoras y modificaciones, obteniendo una patente industrial en 1981. Algunas claves fueron el uso de un tambor aglomerador, el ácido en el curado y el riego en condiciones no saturadas conservando la estabilidad del aglomerado.

Biolixiviación



A comienzo de los años 50, Colmer y Hinkle, demostraron que el ácido y el hierro contenido en el drenaje de las aguas minas de carbón eran resultado de la acción bacteriana de los sulfuros de hierro. Nombrando a la bacteria ***Thiobacillus Ferrooxidans***.

Sociedad Minera Pudahuel adaptó su tecnología de Lixiviación T.L. para la lixiviación de sulfuros secundarios, constituyéndose en la primera empresa que reemplaza la flotación de los sulfuros secundarios por un proceso de lixiviación. Esta tecnología fue vendida y/o transferida a distintos proyectos: Cerro Colorado, Quebrada Blanca, Zaldivar, entre otros.

Claves

- Los menores costos de operación están siendo desafiados por el costo de la energía y el ácido sulfúrico.
- El consumo de agua presenta una gran ventaja respecto a la flotación.
- Área de grandes oportunidades

Purificando y Recuperando el Cobre

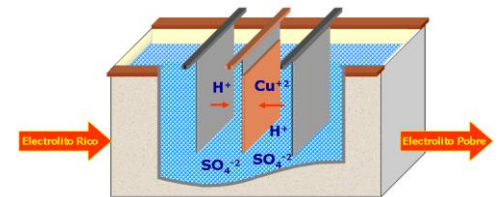
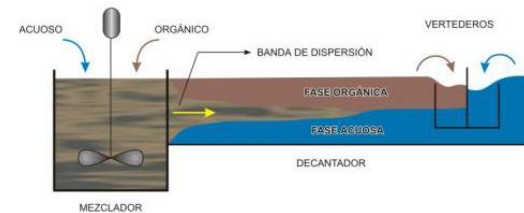
La recuperación de cobre desde soluciones acuosas ha sido practicado desde los orígenes. El primer registro escrito es de la dinastía Han en China, 117 después de cristo. Inicialmente se empleo la precipitación con chatarra de fierro y actualmente se emplea la electro-precipitación.

La electro-obtención EW fue experimentalmente demostrado entre 1700 y 1800. La apariencia de las celdas comerciales no difieren mucho de las empleadas por Michael Faraday.

La tecnología de Electro-obtención es dominada principalmente hoy por Xstrata Technology, a través de las tecnologías de cátodo permanente ISA y Kidd Process.

La tecnología de SX fue desarrollada en USA, durante la Segunda Guerra Mundial, para la obtención de uranio. En 1963 se fabrico la primera resina capaz de extraer cobre comercialmente.

En Chile la primera aplicación industrial de esta tecnología, SX-EW, se hizo en Sociedad Minera Pudahuel, 1980. Amplios estudios experimentales fueron realizados por otras empresas previamente.



Claves

- El consumo de energía es el principal driver del costo de la EW.
- Disciplina operativa para mantener estándares de calidad producto final.
- Todavía puede ser optimizada y transformada.

En la Búsqueda de los Yacimientos de Cobre

Métodos de exploración

Para lograr una oferta acorde a la futura demanda se requiere hallar nuevos depósitos. Los cuales son cada vez más difíciles de encontrar, zonas extremas y/o a mayor profundidad.

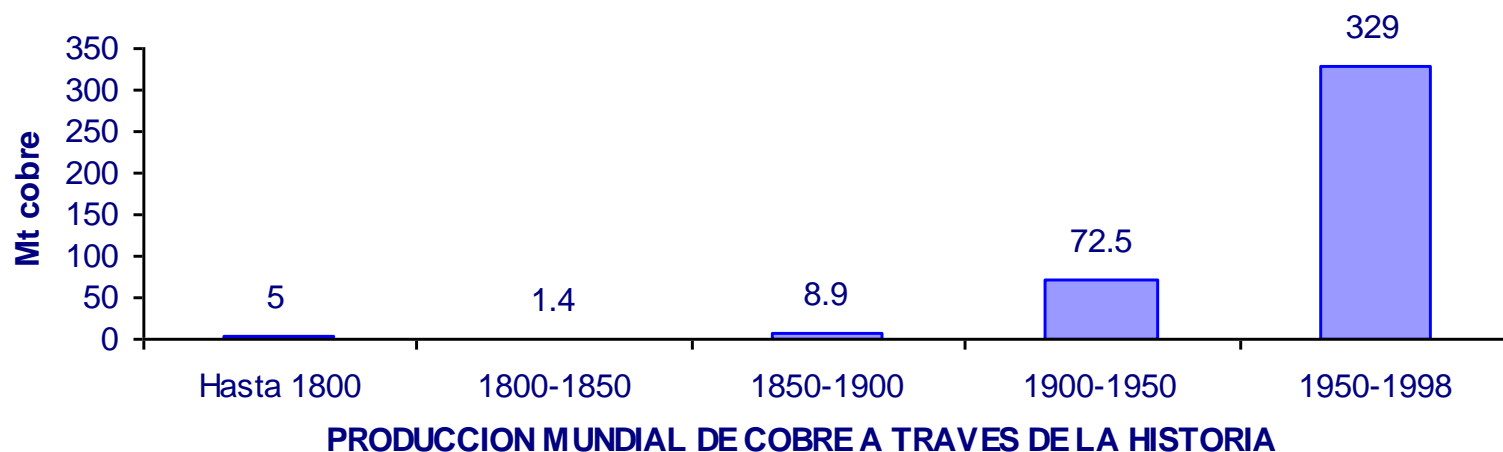
La exploración minera debe incrementar el uso de tecnologías no invasivas, sensores remotos, uso de electromagnetismo, modelos geológicos. Para optimizar la etapa de perforación.

Claves

- Reducción de costos y mejor caracterización de las zonas a explorar.

Otras Áreas de Innovación en la Industria del Cobre

- Automatización y robotización
- La logística de abastecimiento
- La disciplina del control de costos
- La continuidad de la operación a través de una correcta estrategia de mantención en equipos mina y en plantas de procesos
- El manejo de los recursos básicos: agua, energía, aire y minerales
- El mejoramiento continuo
- La consideración de desarrollo sustentable: salud, seguridad, medio ambiente y comunidades.
- Las técnicas de administración



Áreas de Potenciales Innovaciones



Desarrollos Tecnológicos que pueden impactar en Oferta Futura

Lixiviación de minerales de cobre refractarios

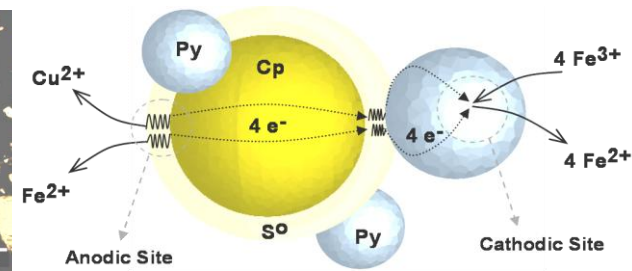
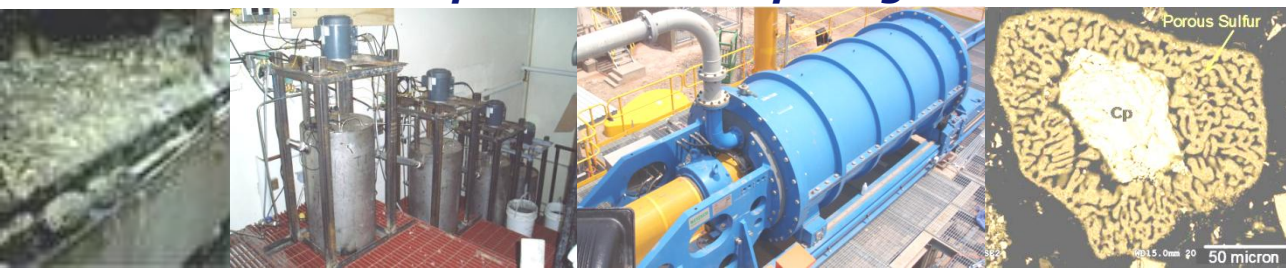
Se estima que el 70% de las reservas mundiales de cobre son de calcopirita (CuFeS_2). Una alternativa tecnológica sería tratar estos minerales a través de un proceso hidrometalúrgico. Con ventajas económicas y de menor inversión que la flotación y fusión. Esto permitiría procesar minerales de alta y baja ley, activar la lixiviación de recursos marginales, entre otros.

Tratamiento de minerales de cobre complejos

Existen reservas de cobre con altos niveles de impurezas que imposibilitan su procesamiento. Algunas tecnologías de tratamiento son:

- **Flotación selectiva de minerales arsenicales:** Permitiría separar especies minerales As-Cu del resto.
- **Lixiviación de concentrados:** Las impurezas como el arsénico pasan a la solución, logrando su inertización mediante la precipitación con ión férrico.

Una excelente oportunidad se presenta al considerar la actual y futura capacidad ociosa de las plantas SX-EW por agotamiento de recursos lixiviables



Desarrollos Tecnológicos que pueden impactar en Oferta Futura

Eficiencia Hídrica

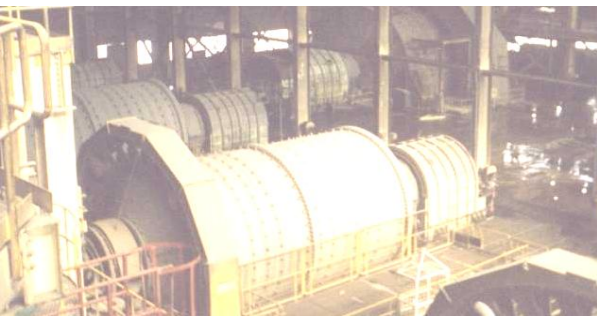
La mayoría de los actuales y futuros proyectos mineros se encuentran en climas extremos (desiertos), donde el recurso hídrico es escaso y con una fuerte demanda por parte de las comunidades.

Algunas tecnologías en aplicación y desarrollo son:

- Flotación de cobre con agua de mar
- Mejora en la tecnologías de espesamiento
- Instalación de plantas desaladoras y bombeo del agua desalada a planta

Eficiencia energética

- Optimización de las técnicas de perforación y explosión, material a procesar de menor tamaño.
- Tecnologías de reducción de tamaño y separación de materiales con mejor eficiencia energética
- Proceso EW



Propiedad Industrial

Clave en el impulso de la Innovación

Legislación

El sistema es regulado por el Estado:

Ley N° 19.039 (26/01/2007)

D.S. N° 177

Objetos de protección de la Propiedad Industrial en Chile:

Inventiones

Marcas Comerciales

Modelos de Utilidad

Diseños Industriales

Privilegios Industriales

Rol del Estado como administrador del sistema de concesión de privilegios industriales.

Beneficios económicos para el titular. Impactos positivos para los intereses públicos y privados.

Claves

- Monopolio del invento

Tecnologías de Xstrata

Un aporte a la Innovación



Tecnología Tankhouse – Combinación de lo mejor de ISAPROCESS y Kidd Process. Referente en refinación y electroobtención de cobre.



Tecnología ISASMELT. Fundición de alta intensidad - Nuevo estándar para fundición de cobre, 8M ton de Cu alimentado en 2010.



Celda Jameson – Flotación neumática de alta intensidad

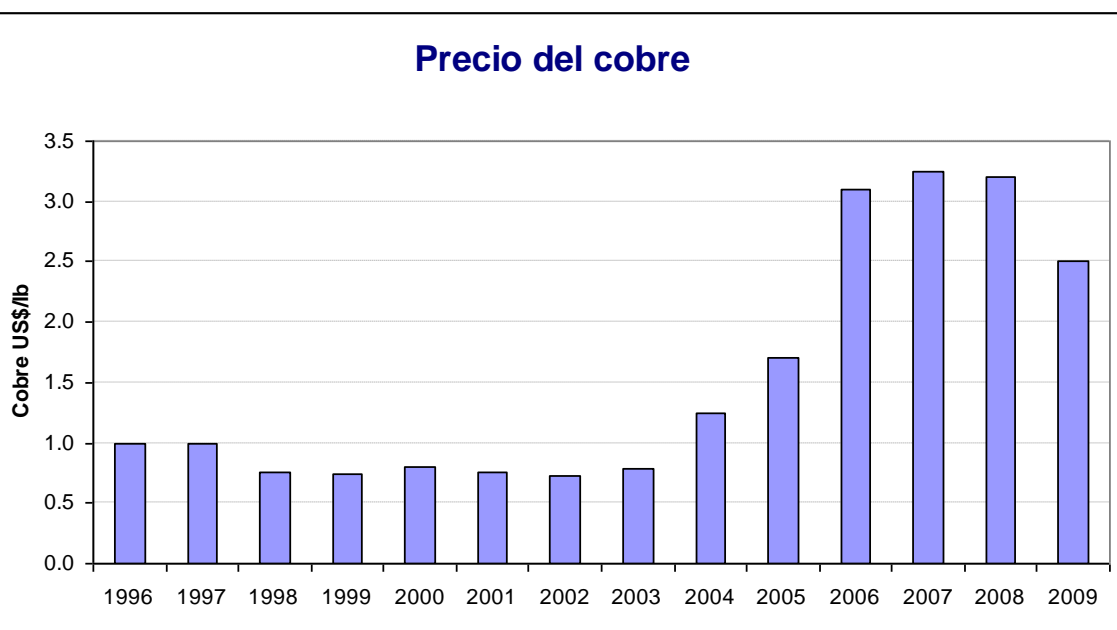


IsaMill – Molienda Ultrafina. Una Transformación en la tecnología de molienda – Alta eficiencia energética, medio de molienda inerte.



Proceso Albion - Lixiviación atmosférica para concentrados regulares y complejos. Con oxígeno y 80-90°C

Ciclo de Precios del Cobre ¿Cambio Estructural?



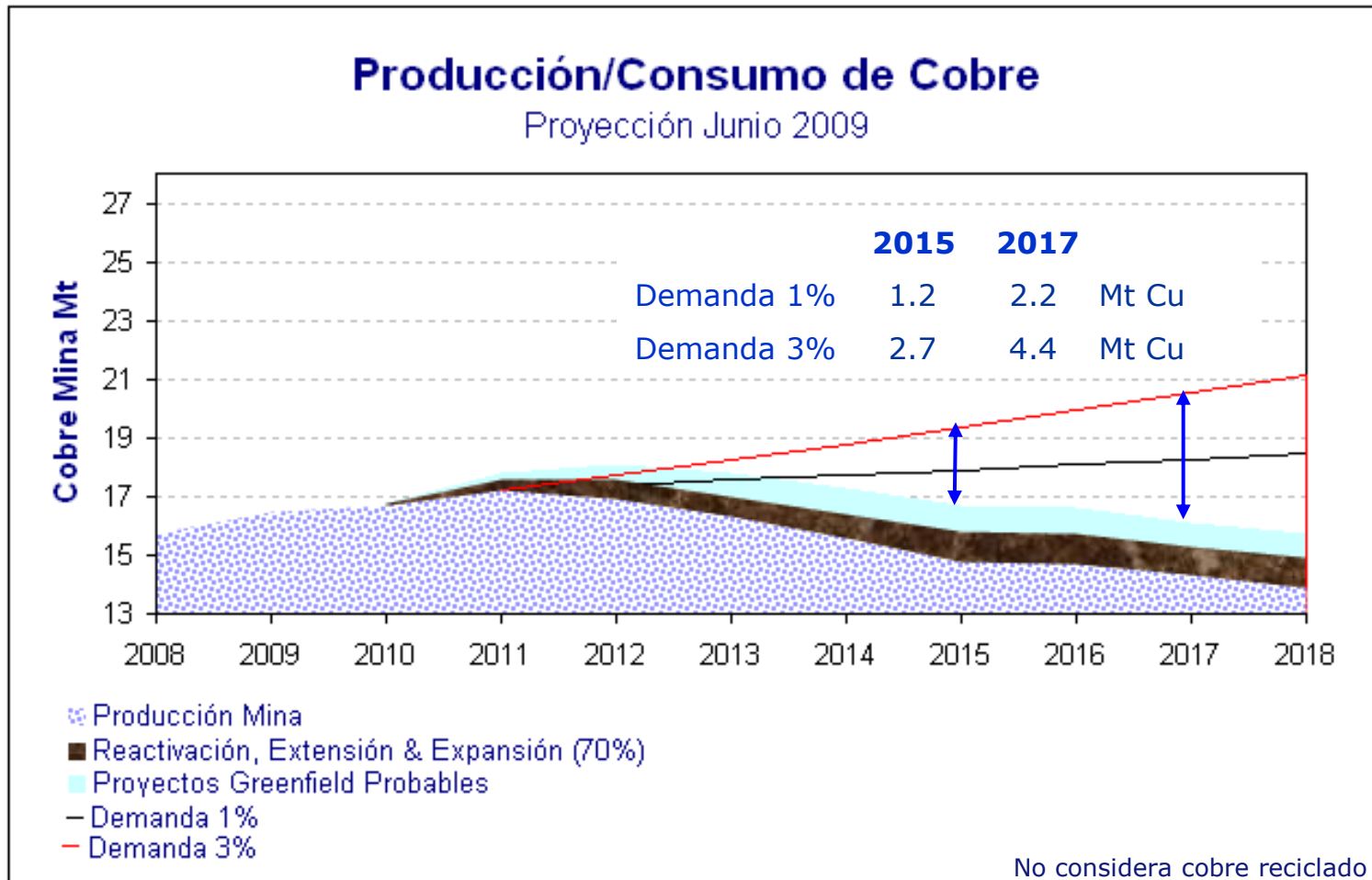
Los últimos cuatro años el precio del cobre presenta un valor promedio superior a los 2.5 US\$/lb. Valor principalmente influenciado por el desarrollo de países emergentes como China e India.

En general en los últimos años las compañías han considerado un valor a largo plazo entre 1.5 a 2.0 US\$/lb.

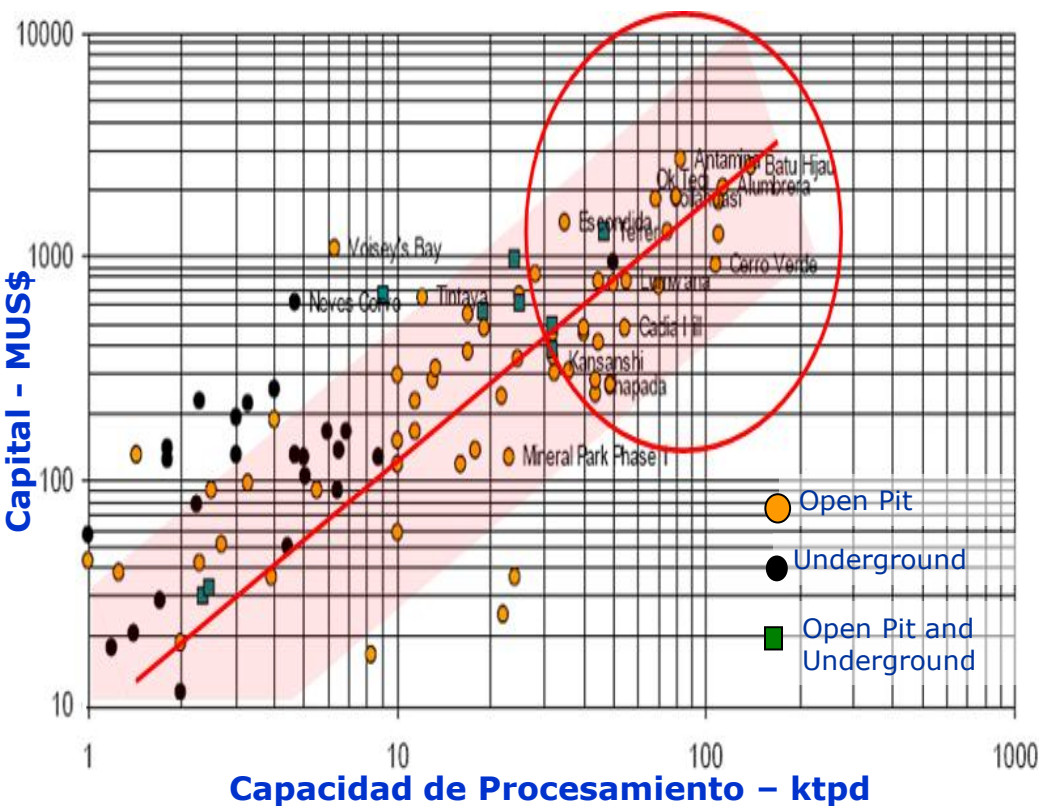
Claves

- El precio del cobre de largo plazo es el factor más relevante en la viabilidad de la mayoría de los proyectos greenfield

Ley de la Oferta y Demanda ¿Aplicable al Cobre?



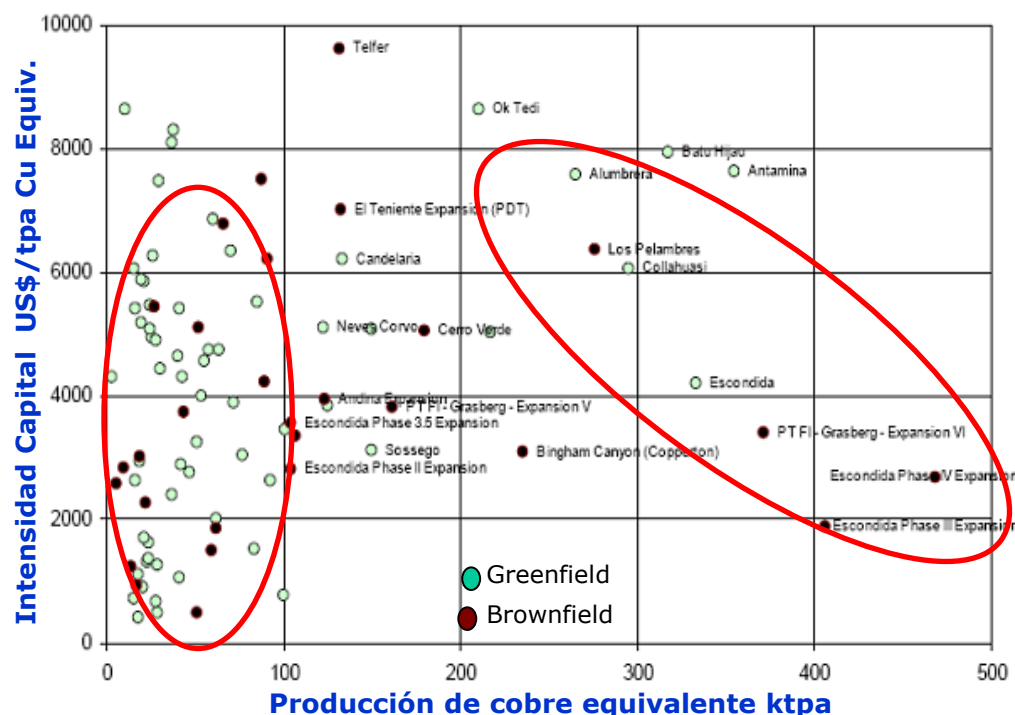
Requerimiento de Capital v/s Capacidad de Tratamiento de Mineral



Para una capacidad de procesamiento del orden de 120 ktpd las inversiones fueron entre 1,000 y 3,000 MUS\$. Estas diferencias se deben principalmente a Ubicación geográfica e infraestructura.

Si consideramos un proyecto que procesa 120 ktpd con una ley media de 0.5% y una inversión de 1,500 y 3,000 MUS\$, se requiere un precio mínimo del cobre de 1.9 y 2.6 US\$/lb, respectivamente.

Intensidad de Capital US\$/ton Cu/año Plantas Concentradoras



Los mega proyectos presentan una gran dispersión en su intensidad de capital que depende principalmente de la ubicación y calidad del yacimiento

Un proyecto con una capacidad moderada de producción, puede alcanzar una rentabilidad mínima a un precio de cobre de 1.9 US\$/lb y con una intensidad de capital de 7,500 US\$/tpa Cu.

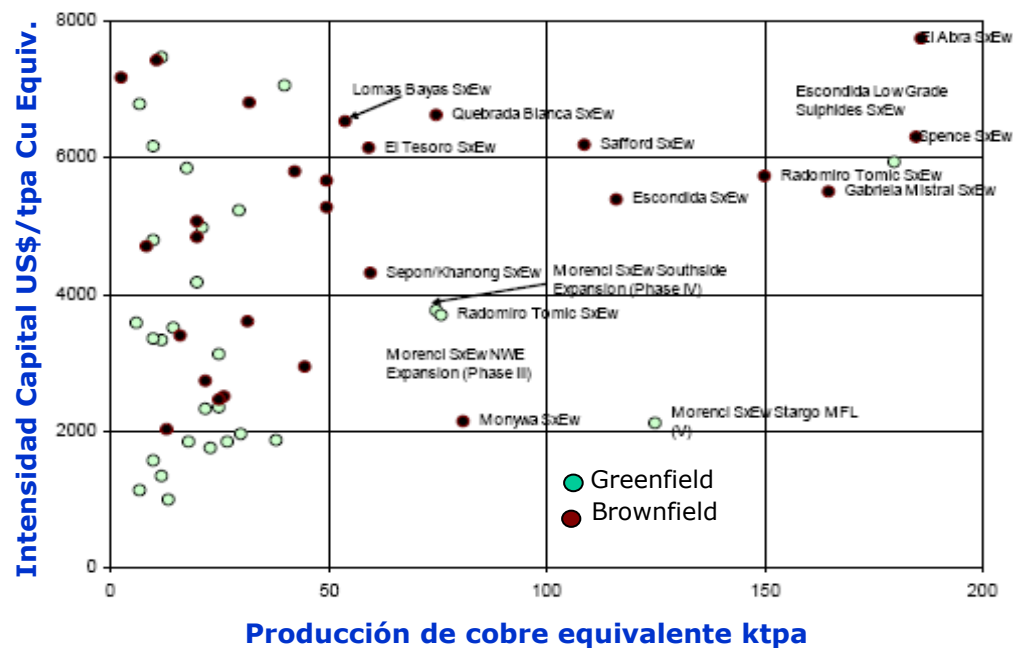
Considerando un proyecto VAN 0 y 12% Tasa descuento:

- Tratamiento : 30 ktpd
- Ley Cu : 0.5%
- Producción : 50 ktpa de Cu
- Capital : 7,500 US\$/tpa Cu

Claves

- Utilizar Infraestructura existente
- Focalizarse en recursos de mejor ley
- Controlar costo de operación por escala

Intensidad de Capital US\$/ton Cu/año Plantas SX-EW



Las plantas SX-EW presentan algunas diferencias respecto de las plantas concentradoras:

- Menor consumo específico de agua
- Producto final no requiere refinación
- No recuperan sub-productos

Claves

- El potencial aprovechamiento de infraestructura existente al término de los recursos minerales lixiviables, contribuirá al desarrollo de la lixiviación de sulfuros primarios

Resumen

- La innovación de las tecnologías de exploración y caracterización/cuantificación de reservas, son estratégicas para la búsqueda de recursos de mejor calidad.
- Tal como en el pasado lo fue la incorporación de la flotación por espuma (1905) y Thin Layer (1980). Nuevos quiebres tecnológicos podrían generar grandes impactos en las reservas económicamente explotables y en las tasas de procesamiento.
- Como siempre la nueva oferta de producción de cobre esta sujeta a la combinación:
 - Recursos minerales y nivel de producción de cobre
 - Inversión
 - Costo de operación
 - Riesgos técnicos y geopolíticos
 - Precio del cobre

Factores impactados por el desarrollo tecnológico

Resumen

- En general el desarrollo de los nuevos proyectos enfrenta todos los desafíos posibles:
 - Bajas leyes y/o complejidad metalúrgica
 - Mayores costos de operación por efectos en: ley, costos crecientes en agua y energía, restricciones medio ambientales, impacto en las comunidades
 - Ubicaciones aisladas y/o riesgosas
 - Intensivos en capital
- Considerando las operaciones existentes y los proyectos actuales económicamente factibles, para un crecimiento moderado de la demanda de cobre, requiere desarrollar proyectos que produzcan entre 2 y 5 Mt Cu por año, en los próximos ocho años
- Es esperable un ciclo de buenos precios del cobre en el mediano plazo, lo que beneficiará las operaciones existentes y permitirá impulsar el desarrollo de la nueva oferta de cobre demandada por la sociedad

FIN