

PROBLEMAS EN LA SEPARACIÓN DE FASES EN EXTRACCIÓN POR SOLVENTE DE COBRE.

Patricio Navarro D., Sebastián Jara M. & Jonathan Castillo S.

P. Navarro

Universidad de Santiago de Chile

Facultad de ingeniería / Departamento de Ingeniería Metalúrgica

Av. Libertador Bernardo O'Higgins 3363 Estación Central. Santiago, Chile.

patricio.navarro@usach.cl/ Fono: 27183005/ móvil: +5697887620.

Chile y el Cobre

El mercado internacional del cobre actualmente se encuentra viviendo una época de bonanza, presentando indicadores que apuntan a una alta demanda a nivel mundial y precios cada vez más estables. El impulso actual del mercado del cobre se debe en gran medida al aumento en el consumo en Asia, especialmente por China. El aumento progresivo de la demanda de cobre ha posicionado a Chile como el principal productor del metal.

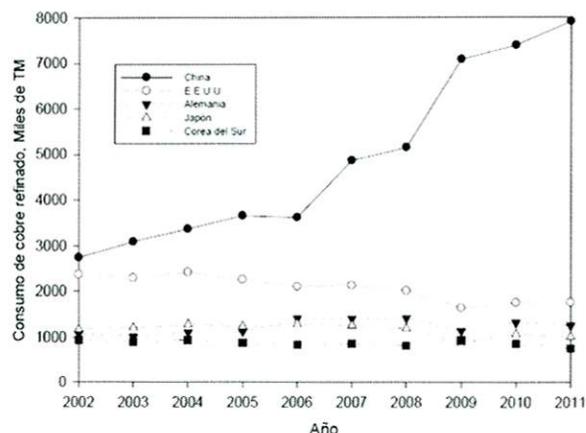


Figura 1: Principales países consumidores de cobre en el mundo (Fuente: COCHILCO).

Chile posee las mayores reservas de cobre con un 30% del total, lo sigue Perú con un 12% y México con un 7%.

Hoy en día, Chile, se ha convertido en un importante productor de cátodos vía procesos hidrometalúrgicos, el cual desplazó en el año 1997 a la producción de cátodos electrorefinados y refinados a fuego en el país. El auge del proceso de extracción

por solventes (SX) en conjunto con electroobtención (EW) comienza a partir del año 1994, ya que antes de 1993 la producción no superaba las 160.000 toneladas anuales por esta vía, situación que se incrementó exponencialmente, superando en menos de cinco años el millón de toneladas anuales.

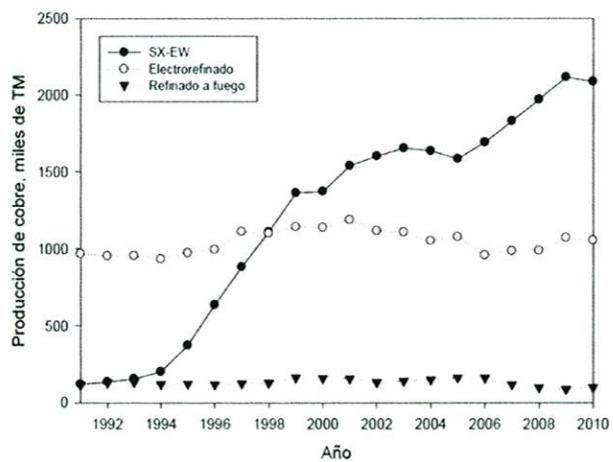


Figura 2: Producción de cobre refinado en Chile.

Proceso Hidrometalúrgico

A modo general, el proceso hidrometalúrgico, comienza con la comminución que solo involucra la reducción de tamaño, con el fin de obtener el área adecuada para que se lleve a cabo la reacción del ácido con el cobre. Posteriormente se deben aglomerar las partículas finas que se generaron en el chancado, permitiendo que la solución de lixiviación percole a través del mineral y no se produzca acumulación dentro de la pila, esto se logra adicionando agua y ácido sulfúrico al mineral dentro

de un tambor rotatorio, obteniéndose un aglomerado entre partículas finas y gruesas de gran consistencia y resistencia mecánica, además el ácido actúa químicamente sulfatando las especies minerales, haciendo más fácil la etapa de lixiviación. Con los glomeros se forman enormes estructuras que se conocen como "pila", las que se riegan con ácido por goteo o aspersión.

La solución que sale de la pila (PLS) es alimentada a la etapa de extracción por solventes, la cual es purificada y concentrada, mediante reactivos de naturaleza orgánica, estos se encargan de extraer el cobre selectivamente desde las soluciones acuosas. El extractante es sumamente viscoso, por lo que debe ser diluido (en diluyente) para mejorar la separación de las fases. Existen varias alternativas para una planta SX, están los circuitos tradicionales en que los flujos se mueven en contra corriente y otros que manejan las soluciones de manera diferentes como el caso de los circuitos en serie, serie-paralelo, serie-paralelo-óptimo, etc. En todos los circuitos existe una etapa de extracción de cobre y luego una etapa de descarga (stripping), con el fin de tener una solución más pura y concentrada. En la figura 3 se muestra el esquema de un circuito en paralelo con dos etapas de extracción y una etapa de reextracción.

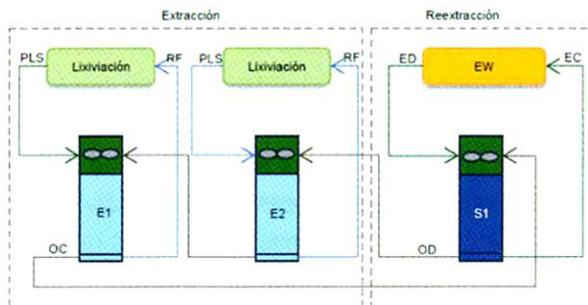


Figura 3: Circuito paralelo.

En el proceso de SX aplicado al cobre, cada etapa de contacto, entre la fase acuosa y la fase orgánica, sea en extracción, lavado o reextracción se realiza en un equipo conocido genéricamente como mezclador-decantador (mixer-settler).

La última etapa del proceso, es la electroobtención de cobre. La electroobtención es un proceso electroquímico forzado, que permite la

depositación de cobre en estado metálico a partir de los iones Cu⁺² en solución, mediante una corriente eléctrica impuesta entre un ánodo y un cátodo. El electrolito contiene sulfato de cobre, ácido sulfúrico (H₂SO₄) y hierro (en baja concentración) como componentes principales, pero se adicionan una serie de elementos como refinadores de grano o compuestos que mejoran la deposición del cobre. La figura 5 muestra un esquema general del proceso.

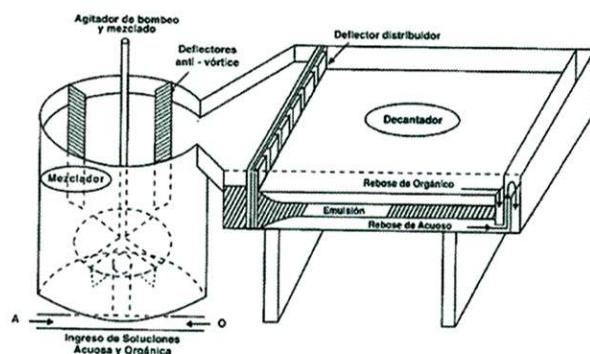


Figura 4: Mezclador-Sedimentador.

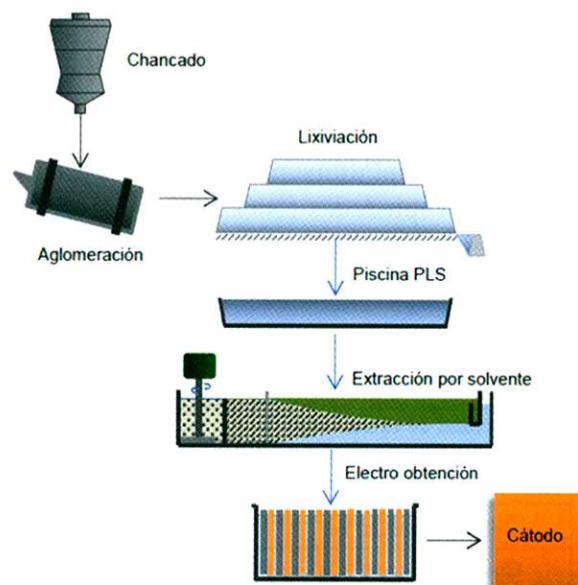


Figura 5: Proceso Hidrometalúrgico.

Separación de fases en SX

La hidrometalurgia del cobre ha tenido un crecimiento exponencial gracias a la invención de extractantes orgánicos del tipo hidroximas (aproximadamente año 1960), que con el paso de los años han ido evolucionando en selectividad y propiedades físicas para las distintas condiciones que presentan las plantas de procesamiento de minerales de cobre mediante las etapas de lixiviación, extracción por solvente y electroobtención.

El proceso de extracción de cobre, tiene como objetivos principales:

- Separar el cobre de las impurezas desde el PLS
- Producir una solución (electrolito rico) adecuada para la electroobtención de cobre
- Minimizar el traspaso de impureza desde el PLS al electrolito rico.

La fase orgánica está compuesta por dos líquidos miscibles, el extractante y el diluyente. El extractante es el que actúa químicamente, es decir, el que participa en la reacción, este debe cargarse y descargarse con facilidad para que los tiempo de mezclado y el diseño de los equipos estén en un rango económico aceptable. El diluyente es el que mejora las propiedades físicas del extractante, disminuyendo su viscosidad y densidad.

El papel del diluyente es producir una fase orgánica con propiedades físicas que favorezcan "el proceso de separación de fases", con el mínimo arrastre de una fase en otra.

Según su estructura químicas y propiedades, existen dos tipos de extractantes, las aldoximas y las cetoximas. Las propiedades que exhiben cada una por separada y como mezclas, se muestran en la tabla 1.

La forma más común de mezclar la fase acuosa y orgánica, es dispersar en forma de gotas una fase dentro de la otra por agitación mecánica, y para lograr que el proceso sea útil, es necesario que la dispersión sea de naturaleza temporal. Debe tenerse presente que el concepto de continuidad es determinante para lograr una eficiente y rápida separación de fases. Esta separación, que ocurre en el decantador, está en gran medida determinada por la viscosidad de la fase continua, en el seno de la cual sedimentan y coalescen las gotas de la fase dispersa. Esto a su vez, pasa a ser muy importante en su relación con la determinación de las pérdidas y/o contaminaciones por arrastre de la fase dispersa en la fase continua.



Figura 6: Representación de la dispersión.

Cuando se dispersan los líquidos, los factores que más influyen en la velocidad de separación de las fases son: el tamaño de las gotas, la viscosidad de la fase continua, la diferencia de densidad entre las fases y la presencia de una tercera fase (Crud).

Propiedades Comparadas	Cetoxima	Aldoxima	Mezcla Cetoxima/Aldoxima
Capacidad de extracción	Moderado	Fuerte	Ajustable a la medida
Facilidad de la descarga	Muy buena	Buena	Ajustable a la medida
Selectividad Cu/Fe	Excelente	Excelente	Excelente
Cinéticas para el Cu	Muy buena	Muy rápida	Rápida
Separación de fases	Muy buena	Muy buena	Muy buena
Estabilidad de la molécula	Muy buena	Buena	Muy buena
Generación de borras (Crud)	Baja	Variable	Baja

Tabla 1: Comparación de los extractantes y su mezcla.

El tamaño de gota influye en la transferencia de masa y en la velocidad con que se separan las fases. Una gota pequeña aumenta la transferencia de materia, producto de que hay más superficie disponible para la reacción entre las moléculas de orgánico y las moléculas de cobre (Cu^{+2}), sin embargo, un diámetro muy pequeño de gota incrementa el tiempo de separación de las fases, produciendo un importante efecto sobre el tamaño de los equipos, el rendimiento de la planta y la formación de una dispersión estable (emulsión).

El aumento o la disminución de la viscosidad de la fase continua influye en la libertad que tiene la gota para moverse hacia su interfaz, además, mientras mayor sea la diferencia de densidades, menor será el tiempo de separación de fases. Los efectos de la viscosidad y de la densidad se confunden cuando existe reacción química entre las fases, por ejemplo, al ocurrir la transferencia de masa de la fase acuosa a la fase orgánica provocaría que estas fases cambien sus propiedades físicas.

El espesor o altura que separa la fase orgánica y la fase acuosa, se conoce como banda de dispersión. La importancia de la banda está en que hace de filtro tanto para la fase acuosa, como para la fase orgánica. La formación de la banda está relacionada con el tiempo de sedimentación; según sea este, más largo o más corto, se formará una banda de dispersión de diferente espesor.

Se pueden tener tres casos de banda:

- Banda de dispersión pequeña: es poco filtrante y la fase orgánica puede arrastrar a la solución acuosa.
- Banda de dispersión normal: es el valor entre 8 a 14 [cm].
- Banda de dispersión muy elevada: indica un arrastre mecánico de las emulsiones; las fases se contaminan entre sí.

Arrastre de fases

En los proceso de Extracción por Solventes se producen atrapamientos de una fase en otra en la forma de microgotas que no logran ser separadas en los decantadores; junto a sólidos, crud y otros contaminantes.

Los principales problemas asociados a la presencia de orgánico en el electrolito de avance y solución de refino son:

- Impacto en la calidad catódica, obtención de cátodos quemados en casos críticos. Mala calidad del depósito en zonas impregnadas con orgánico al sembrar cátodos permanentes e incremento de impurezas.
- Contaminación ambiental y riesgos de incendio en nave por alta volatilidad a las temperaturas de operación.
- Impactos importantes en los costos de operación por: pérdidas de fase orgánica, mano de obra adicional en limpieza de circuito, deterioro de celdas que utilizan brea como recubrimientos, mayores requerimientos de Cobalto y otros aditivos por aumento de corrosión anódica.
- Obstrucción en sistemas de distribución en lixiviación.

Los arrastres de acuoso en orgánico (A/O) cargado constituyen una de las permanentes preocupaciones de los operadores, puesto que de su adecuado control depende la estabilidad técnico – económica de los procesos SX – EW, la calidad catódica y las condiciones ambientales.

Los principales problemas asociados al incremento de los arrastres de acuoso en orgánico se pueden resumir en:

- Contaminación del electrolito con Cloro, Manganeso, Nitrato, Aluminio, Sílice, Hierro, Yodo, sólidos y otros.
- Mayor corrosión anódica.
- Mayor contaminación catódica.
- Mayor contaminación ambiental en la nave.
- Mayores pérdidas de electrolito por arrastres en reextracción, mayor requerimiento de purgas.
- Pérdida de Cobre, H_2SO_4 , Cobalto y aditivos desde eletrólito.

Para controlar los arrastres de acoso en orgánico se pueden considerar aspectos operacionales o alternativos:

Operacionales

- Operar las etapas E-1 y S-2 en continuidad acuosa.
- Incorporación de coagulantes y/o floculantes compatibles con la fase orgánica al PLS en niveles controlados.
- Minimizar la formación de crud.
- Optimizar el grado de agitación sin alterar eficiencias.

Alternativos

- Empleo etapa de lavado del orgánico cargado.
- Empleo de coalescedores.
- Decantación adicional en estanque de orgánico.
- Combinación de las anteriores.

Formación de Borra o Crud

En ocasiones ocurren problemas de solubilidad del complejo extraído en la fase orgánica a medida que el metal o complejo metálico es capturado y extraído por el reactivo orgánico fresco, el cual, al irse cargando, introduce una molécula mucho más grande al sistema constituido por la fase orgánica. Esto se refleja en un aumento de la viscosidad de la fase orgánica.

Este complejo no es siempre fácilmente disuelto en la fase orgánica y, a veces, a causa de este problema de solubilidad ocurren saturaciones que provocan la formación de una tercera fase, entre la fase orgánica y la fase acuosa.

Esta sustancia ha recibido el nombre de “borra” corresponde a una emulsión estable de aspecto gelatinoso compuesta de acoso, de orgánico y de una pequeña cantidad de sólidos finos (sean externos, por ejemplo, arcillas traídas por la fase acuosa desde la lixiviación, o bien precipitados en el propio circuito de SX, por ejemplo, hidróxidos, jarositas u otros productos del cambio de pH en las soluciones).

Bibliografía

- Castillo J., Biela F., Navarro P. (2012). Estudio de separación de fases en sistemas líquido-líquido usando LIX 984N en fase orgánica. Revista de Metalurgia. 48, 107-117.
- Castillo J. (2012). Separación de fases en sistema líquido-líquido para extracción por solvente de cobre. Tesis para obtener el grado de Doctor. Universidad de Santiago de Chile.
- Kordosky G., Virnig M., Boley B. (2006). Solvent Extraction in Hydrometallurgy: Present and Future. Tsinghua Science & Technology.
- Navarro P. & Jara S. (2013). Analysis phase separation profiles in copper extraction. Hydropocess
- Ocaranza J. (2011). Anuario de estadísticas del cobre y otros minerales. COCHILCO. 12, 22-35.