

Posibilidades de recuperación de zinc electrolítico por procesos actuales

Jorge Lema Patiño

*Ingeniero Diplomado en Metalurgia
Mineral Processing - Bolivia
jlema@minpro.com.bo*

Luis Cervando Chambi Viraca

*M. Sc. Metalurgia Extractiva, Ingeniero Metalúrgico
Docente, Instituto de Metalurgia Universidad Mayor de San Andrés
vando_vch@yahoo.es*

Resumen

Los minerales de zinc bolivianos actualmente son exportados como concentrados sin el valor agregado que ofrecería una refinería instalada en Bolivia. La característica sulfurosa y el alto contenido de hierro dificultan la implementación de tecnologías hidrometalúrgicas para la recuperación de zinc metálico a 3,600 msnm como es el caso del altiplano boliviano.

Actualmente existen alternativas tecnológicas para recuperar zinc de alta pureza que conllevan ciertas limitaciones para su aplicación hacia los minerales de zinc bolivianos y su análisis es importante para seleccionar la más apropiada a las condiciones del país.

Estas alternativas metalúrgicas de recuperación de zinc electrolítico de alto grado son: LREW (Proceso convencional) con recuperación de subproductos; DYNATEC Sherritt Technologies; Proceso INTEC (IZP), Proceso SKORPIO (TÉCNICAS REUNIDAS) con limitaciones para minerales complejos. La mejor opción para procesar concentrados de zinc de la calidad producida en Bolivia es la tecnología Ausmelt/Zinc, adicionalmente la recuperación de Indio será factible.

En este trabajo se analizan los procesos de cada alternativa para considerar las ventajas/desventajas de aplicación a los concentrados de zinc de Bolivia.

Palabras clave: Hidrometalurgia, obtención de zinc, lixiviación, electrólisis de zinc.

Possibilities of electrolytic zinc recovery for current processes

Abstract

Zinc ores are currently exported as concentrates without the added value that a refinery installed in Bolivia could offer. Bolivian zinc ores are sulfurous and contain a lot of iron, which complicate the implementation of hydrometallurgical technologies for the recovery of metallic zinc, especially at levels of 3,600 m.

Currently there are alternatives to recover high purity zinc. These technologies have limitations for their application in Bolivian zinc minerals and their analysis is important to select the most appropriate for the national conditions.

These metallurgical alternatives to recover high grade electrolytic zinc are: LREW (conventional process) with by-products recovery; DYNATEC Sherritt Technologies; Process INTEC (IZP) and Process SKORPIO (combined techniques), with limitations for complex minerals. The best alternative to process zinc concentrates quality produced in Bolivia is the Ausmelt /Zinc technology, recovery addition Indio is feasible.

In this paper, the processes of each alternative to consider the advantages/disadvantages of their application in Bolivian zinc concentrates are analyzed.

Keywords: Hydrometallurgy, obtaining of zinc, lixiviation, zinc electrolysis.

Possibilidades de recuperação de zinco eletrolítico por processos atuais

Resumo

Os minerais de zinco são atualmente exportados como concentrados, sem o valor acrescentado que ofrecería una refinaria instalada na Bolívia. Os minerais de zinco bolivianos são sulfurosos e contêm bastante ferro, os que complicam a implantação de tecnologias hidrometalúrgicas para a recuperação de zinco metálico, especialmente nos níveis de 3600 m.

Atualmente existem alternativas para recuperar zinco de alta pureza. Essas tecnologias têm limitações para sua aplicação em minerais de zinco bolivianos, e sua análise é importante para seleccionar a mais adequada para as condições nacionais.

Estas alternativas metalúrgicas de recuperação de zinco eletrolítico de alto grau são: LREW (processo convencional) com a recuperação de subprodutos; DYNATEC Sherritt Technologies; Processo INTEC (IZP) e Processo SKORPIO (técnicas combinadas), com limitações para minerais complexos.

Neste estudo, se analisam os processos de cada alternativa para considerar as vantagens da sua aplicação nos minerais de zinco de Bolívia.

Palavras chave: hidrometalúrgia, obtenção de zinco, lixiviação, eletrólises de zinco.

Introducción

Desde principios de los años 70', existieron diversas empresas extranjeras que estudiaron en forma preliminar la implementación de una refinaria de zinc en Bolivia, entre estas podemos citar a RUDIS de Yugoslavia en el año 1968, SIGNMASTER and BREYER de EEUU en 1969, MACHINOEXPORT de la USSR y CENTROZAP de Polonia, ambas en 1973. En el año 1975, un estudio de pre-factibilidad realizado por JICA determinó que Bolivia tenía insuficientes reservas mineras de zinc (Lema, 2010).

En 1975, la Empresa Nacional de Fundiciones de Vinto, invitó a las empresas KLOCKNER INDUTRIEANLAGEN KHD de Alemania asociada con DAVY POWER GAS de Inglaterra, para realizar el estudio de factibilidad de la refinaria de zinc, considerando un incremento en la capacidad de tratamiento; y la KHD encargó a la sociedad MECHIN de Bruselas para la elaboración de un estudio sobre el procedimiento jarosita. Este estudio determinó la factibilidad de la construcción de la Refinaria de Zinc, de acuerdo a lo exigido por la Empresa Nacional de Fundiciones. Sin embargo, la instalación de la planta de Karachipampa, propuesta también por esos años, hizo postergar la implementación del proyecto de zinc en Bolivia (Estudio de Zinc ENAF Bolivia 9831450775).

En el presente trabajo, se analizar en forma teórica los aspectos técnicos de algunos procesos para la recuperación de zinc.

Procesos convencionales

En la metalurgia del zinc desde tiempos muy antiguos (~200 a. de C.), fueron implementadas varias tecnologías para producir zinc metálico. El proceso electrotérmico fue desarrollado en Suecia con hornos eléctricos de arco y tuvo el problema de condensación del vapor de zinc. Los procesos New Jersey y St. Joseph desarrollaron un

proceso alternativo con calentamiento directo de la carga tomando como referencia los estudios realizados en Suecia. El proceso Saint Joseph se desarrolló en base al efecto Joule y resolvió el problema de la condensación de vapores de zinc con la instalación de un condensador tipo anillo construido de ladrillo de carburo de silicio, la condensación alcanzada fue del 93% del zinc aproximadamente. La extensión del proceso St. Joseph fue limitado debido a los altos costos de inversión y al requerimiento de concentrados con bajos contenidos de hierro. Así mismo, la recuperación de zinc en horno de cuba se desarrolló en Inglaterra con la tecnología del horno Imperial Smelting (ISF) que comprende sinterización de la carga a alimentarse y condensación de zinc en plomo fundido.

Según Sancho, (2003), en el futuro las plantas que se construyan serán electrolíticas o ISF. y la elección será en base a factores como energía eléctrica y costo de producción que está condicionado por las variaciones de los precios del coque. Para el caso de producir sólo zinc parece barato el proceso electrolítico si se dispone de un concentrado de alta ley y energía eléctrica suficiente. Si se requiere producir plomo y zinc, el proceso ISF puede ofrecer ventajas; sin embargo, la etapa de sinterización en este proceso es altamente contaminante, aspecto que fue superado por los nuevos procesos que se desarrollan actualmente.

El proceso LREW fue desarrollado comercialmente en el año 1917 y el 85% de la producción mundial actual se la realiza con esta tecnología, el esquema general se muestra en la figura 1 y como se conoce, el sulfuro de zinc en la tostación se oxida a ZnO favorablemente según la termodinámica; sin embargo, la presencia de hierro oxidado o como piritas a una temperatura elevada, ocasionan que se formen compuestos denominados ferritas de zinc ($ZnO \cdot Fe_2O_3$).

La lixiviación comprende dos etapas; la primera es la lixiviación neutra para extraer zinc soluble y precipitar impurezas como sílice coloidal, hierro, alúmina, etc., y una segunda etapa de lixiviación ácida en caliente que se realiza con el residuo y

ferritas de la lixiviación neutra para obtener la máxima recuperación de zinc utilizando electrolito gastado para oxidar el Fe(II) a Fe(III). En la lixiviación, la separación del hierro como Fe(OH)₃ coloidales inviabiliza cualquier proceso de lixiviación ácida debido a que se debe elevar el pH de 1.7 – 1.9 hasta 3.5 - 5 y operar a temperaturas altas (> 90°C).

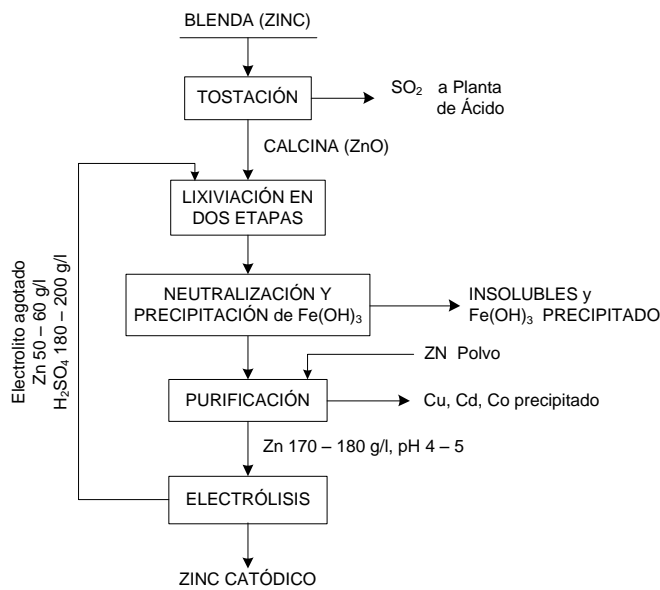
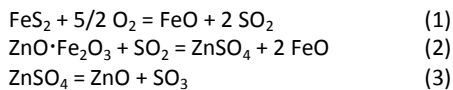


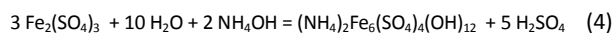
Figura 1. Diagrama de flujo básico del proceso electrolítico de zinc (Morgan, 1985).

Por el problema anterior, en Bolivia se desarrollaron pruebas metalúrgicas en el horno ciclón de la Fundición de Vinto con ferritas procedentes de CENTROMIN Perú, estos experimentos tuvieron el objetivo de volatilizar plomo y zinc en forma de óxidos y la obtención de mata con la adición de pirita, ésta adición ejerció una influencia en la descomposición de la ferrita de zinc de acuerdo a las siguientes reacciones (Weigel and Lema, 1981):



Los resultados de volatilización, realizado en horno ciclón con purga de gases en la parte inferior alcanzaron cerca del 90% de zinc y 95% de plomo en la mata, estos valores condujeron a conseguir una patente internacional (4292283 de Sep. 29, 1981).

Por otra parte, el problema de las ferritas de zinc en la lixiviación convencional, fue resuelto por precipitación de la solución como jarosita (patente española, ampliamente practicado en Outotec de Finlandia) formada por la adición de NH₄⁺ o Na⁺ a 1.5 de pH y 90°C, la reacción considerada es:



El flujo esquemático del proceso Jarosita para calcinas de zinc se muestra en el diagrama de la figura 2.

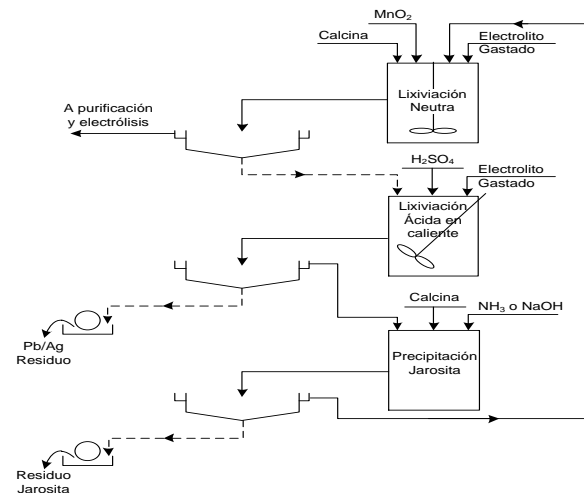
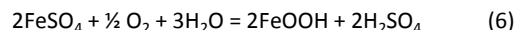
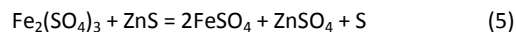


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso Jarosita para calcinas de Zinc (Morgan, 1985).

En el esquema anterior, es importante considerar que el residuo de la lixiviación ácida en caliente contiene cantidades de plomo y plata los que pueden ser destinado al horno Kivcet en el caso de Bolivia. También en la etapa de precipitación de la jarosita debe controlarse el pH agregando calcina de zinc para evitar mayor formación de ácido sulfúrico según la reacción (4) y regular la cantidad de hierro en la solución.

El proceso Gohetita desarrollado por la Compañía Vieille Montagne (Sancho, 2002, p.363) también resuelve el problema mediante las siguientes reacciones:

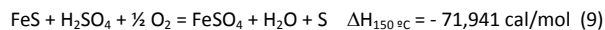
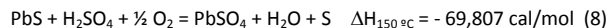
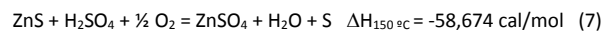


En éste proceso el Fe³⁺ procedente del ataque ácido de las ferritas se reduce a Fe²⁺ por la adición de concentrado ZnS según la reacción (5). La solución compuesta de FeSO₄ se reoxida a 95°C por oxígeno formando el compuesto sintético FeOOH.

Por los problemas técnicos anteriores que conlleva la tecnología clásica no se puede aplicar en Bolivia y no es económicamente conveniente trabajar a temperaturas a mayores a 90°C.

DYNATEC Sherritt Technologies

Esta tecnología conocida como "Proceso Sherritt Gordon" mostrada en la figura 3, consiste de lixiviación ácida a presión directa de los sulfuros de zinc, empleando autoclaves de diseño especial, elimina la etapa de tostación y las emisiones de dióxido de azufre, permite obtener zinc metálico de alta calidad en el cual se integran procesos de purificación, precipitación y electro-obtención, las reacciones consideradas son:



Los residuos de las autoclaves contiene azufre elemental y metales valiosos los que se deben integrar a procesos de flotación y/o filtración para la recuperación de metales valiosos por técnicas conocidas y convencionales como tostación, fusión

y copelación. Una alternativa muy conveniente de tratamiento de estos residuos sería destinar al proceso de recuperación de plomo (horno Kivcet). Sin embargo, la recuperación de la plata es de solo del 90% aproximadamente.

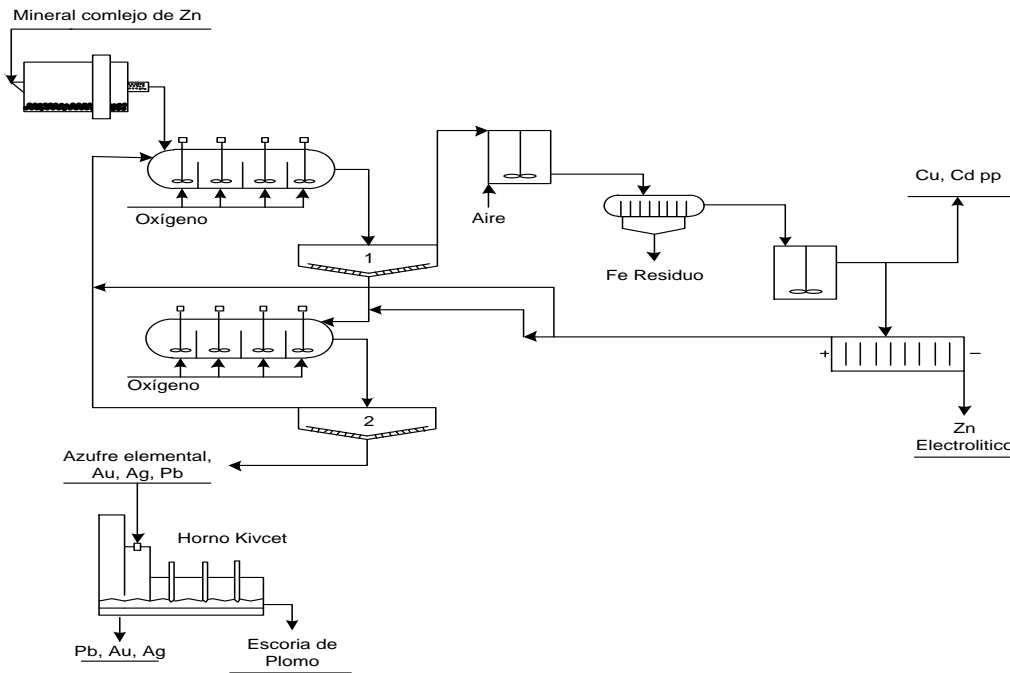
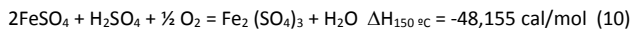
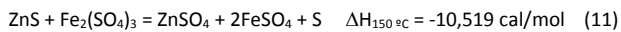


Figura 3. Diagrama de flujo de obtención de zinc, proceso DYNATEC con la inclusión del horno Kivcet/Mineral Processing.

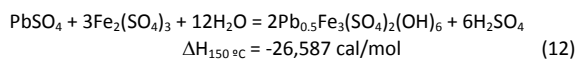
De acuerdo a la reacción (9) el FeSO_4 en presencia de exceso de H_2SO_4 forma $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, por medio de la siguiente reacción:



Consiguientemente, la lixiviación del sulfuro de zinc por el sulfato férrico ocurre según la reacción:

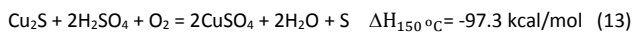


El PbS , también se disolverá en las condiciones de trabajo de la autoclave según la reacción (8), su entalpía de reacción es más negativa comparada con la disolución del ZnS , reacción (7); sin embargo, el plomo disuelto en presencia del $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ forma jarosita de plomo de acuerdo a la siguiente reacción:

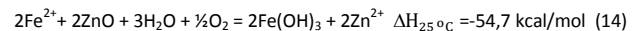


Al proceder la reacción (12), conjuntamente al obtener azufre elemental en la autoclave se tendrán los metales preciosos oro y plata principalmente, material que podría ser destinado al horno Kivcet de Karachipampa.

Si el mineral contuviera cobre en pequeñas cantidades, pasará a la solución según la reacción (13) y conjuntamente la solución de rebalse del espesador 1, se destina a tratamiento posterior:



La solución del sedimentador 1, se destina a precipitación de Fe^{3+} a un pH entre 3.5 a 5 con aire y una cantidad estequiométrica de ZnO , mediante la reacción (14).



La precipitación del ión férrico arrastra arsénico, antimonio, germanio y otras impurezas, porque el $\text{Fe}(\text{OH})_3$ forma flóculos que dificultan la precipitación y electrólisis. En una segunda etapa se agrega CaCO_3 para regular el pH y precipitar cobre, cadmio y metales minoritarios en la solución, además de eliminar residuos de hierro que quedaron de la anterior etapa de precipitación. La solución libre de impurezas se destina a electrólisis para obtener Zn electrolítico; así mismo, la solución pobre de electrólisis se recircula a la lixiviación en autoclaves.

Intec, Proceso IZP

Este proceso es una tecnología de lixiviación directa de sulfuros de zinc (Moyes, 2006), actualmente garantizada por la patente denominada Intec Zinc Process IZP, y se basa en la utilización de un reactivo denominado Halax™ mezcla de cloruro y bromuro conformado como un compuesto de BrCl_2^- , altamente oxidante que es aplicado principalmente a la electrólisis de zinc. Esta técnica elimina el proceso convencional de tostación lixiviación ácida-electrólisis, donde también es posible la recuperación de metales como oro, plata e indio en las diferentes etapas del proceso. La descripción general del proceso se muestra en la figura 4 donde se observa tres etapas consecutivas los cuales son:

1. Etapa de preparación y lixiviación
2. Etapa de purificación
3. Etapa de electrólisis

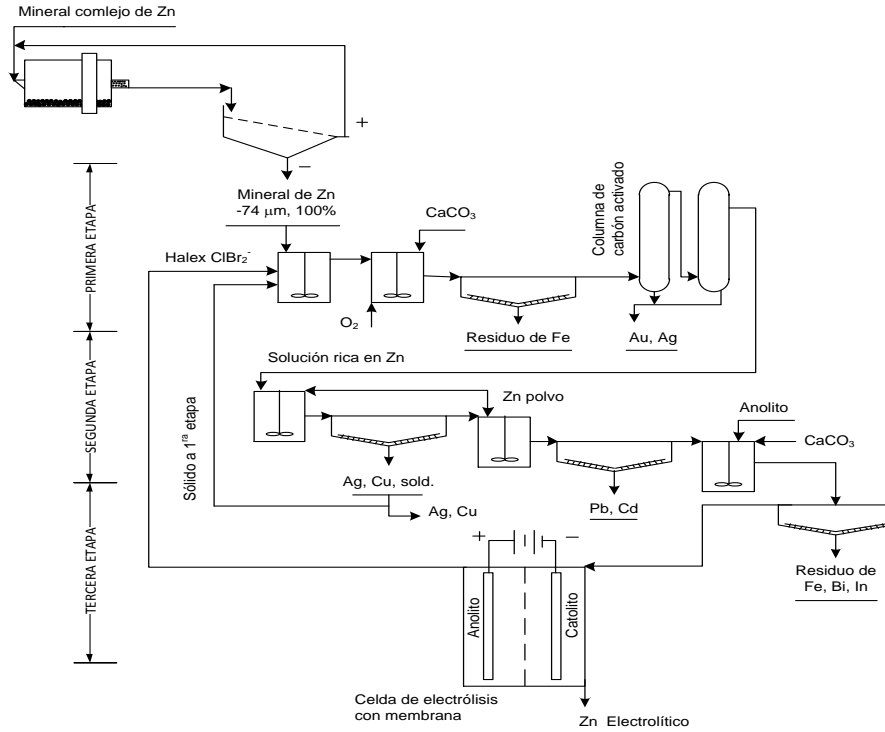
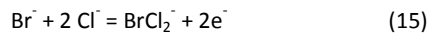
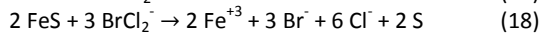
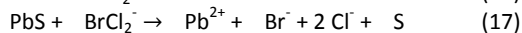
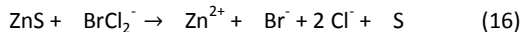


Figura 4. Diagrama de flujo general del proceso de recuperación de zinc IZP.

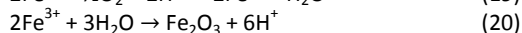
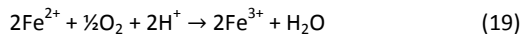
El mineral es molido a $-74 \mu\text{m}$ para tratamiento en la etapa de lixiviación a 85°C , 1 atm y solución halógena BrCl_2^- , lixiviante que procede de la etapa de electrolisis (aplicable a $3,600 \text{ msnm}$) la reacción de formación es:



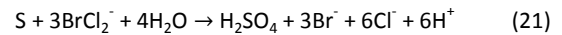
El compuesto BrCl_2^- es considerado como una molécula de cloro en solución con un ión de bromo generado en el ánodo y es un poderoso agente lixiviante aplicado a lixiviación de concentrados de sulfuros de zinc por las siguientes reacciones:



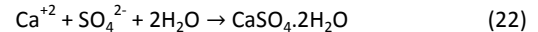
Las anteriores reacciones se llevan a cabo en la primera etapa de lixiviación con los sólidos procedentes de la segunda etapa en las condiciones indicadas anteriormente. La solución lixiviada es vertida al siguiente tanque donde se introduce oxígeno o aire para oxidar el hierro disuelto y sea transformado a Fe_2O_3 en su totalidad de acuerdo a las siguientes reacciones:



Las reacciones (19) y (20) dependen del pH, para este propósito se adiciona CaCO_3 para subir el pH hasta 4.5, donde se precipita el hierro como hematita y puede separarse en el sedimentador de la primera etapa como se observa en la figura 4. El exceso de sulfuro del concentrado o azufre producido por la lixiviación según las reacciones (16), (17) y (18) forma ácido sulfúrico de acuerdo a la siguiente reacción:



El ácido sulfúrico formado según la reacción (21) reacciona con el ión calcio para formar el sulfato de calcio según a la reacción:



Consecuentemente la reacción (21), demuestra la regeneración de la solución halógena; así mismos, el ácido formado se estabiliza como sulfato de calcio con la reacción (22) el que no presentaría problemas ambientales en el manejo de los reactivos. La solución se destina al primer sedimentación de la primera etapa donde se obtiene un residuo de hierro y una solución de zinc que se conduce a las columnas de carbón activado en donde se adsorbe oro y plata.

La solución rica en zinc es depositada en el primer tanque de agitación de la segunda etapa de cementación y purificación, donde se agrega zinc en polvo para cementar plata y cobre. Este residuo con contenido de zinc será previamente procesado por vía pirometalúrgica de manera que se obtendrá una escoria rica en zinc, la cual se destina nuevamente a la etapa de lixiviación de la primera etapa.

La solución libre de plata y cobre, se destina a un segundo tanque de purificación donde se añade zinc en exceso con el propósito de precipitar metales como plomo, cadmio, etc. La solución rica del segundo tanque se destina a un tercer tanque donde se agrega una cantidad de solución anolítica para subir el potencial hasta 700 mV , aproximadamente y oxidar el hierro residual a Fe^{3+} y luego sea precipitado según las reacciones (19) y (20) como Fe_2O_3 a un pH en el rango de 2.5 a 3 regulada por la

adición de CaCO_3 . Este precipitado además de contener hierro, arrastra metales como bismuto, indio y otros que deben ser recuperados por la importancia que representan para Bolivia.

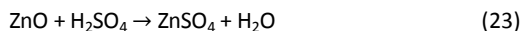
La solución purificada de este tercer sedimentador es destinada a la tercera etapa del proceso que comprende la electrolisis con membrana donde el zinc es depositado en el cátodo sin interferencia porque los electrolitos están separados. El depósito se realiza con alta pureza y la ley de Faraday controla muy bien la cantidad depositada, adicionalmente tiene la propiedad de formar el reactivo Halex que se destina a la lixiviación de minerales sulfurosos en la primera etapa.

Técnicas reunidas (Zinc Skorpion)

Técnicas Reunidas desarrolló los procesos ZINCEX™, PLACID y PLINT, basados en la extracción solvente para la recuperación de zinc los cuales no fueron aplicados industrialmente para minerales complejos con plomo (Díaz et al. 2001).

Técnicas Reunidas comenzó sus operaciones en Namibia, en el depósito Skorpion constituido por minerales oxidados de zinc (silicatos), característica única en el mundo. Sin embargo, existen otras fuentes de zinc asociado a minerales oxidados, silicatos y carbonatos como Shaemerdem en Kazajstan, Lanping en China, Sierra Mojada en México, etc. Técnicas Reunidas construyó la planta tipo ZINCEX™ que incluye las de lixiviación (química o biolixiviación), extracción con disolventes y electrolisis.

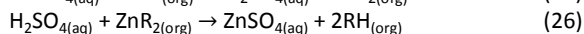
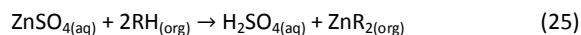
La lixiviación en estos procesos, también incluyen los minerales sulfurosos de zinc en condiciones oxidantes con iones férrico según la reacción (5) donde el zinc en forma de sulfato co-lixiviará con muchas impurezas. El sulfato ferroso agotado se regeneraría permanentemente según la reacción (10), estas etapas presentan los mismos problemas del hierro descritos anteriormente, por este motivo Técnicas Reunidas (Frías, 2008) y por el consumo adicional de ácido debido a la ganga básica, parámetro crítico que da lugar a dos tipos de procesamiento: (i) lixiviación directa del mineral cuando el consumo de ácido es bajo; (ii) preconcentración del mineral por medios densos o flotación seguido de la lixiviación del concentrado de zinc producido.



Así mismo según Gnoinski (2007), la lixiviación de minerales oxidados de zinc por ácido sulfúrico se describe por la reacción:

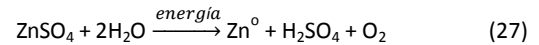


Después de la lixiviación, incorporan una etapa de neutralización para retirar el hierro disuelto junto con otras impurezas. El licor rico se envía a una etapa de extracción con disolventes que contiene el reactivo D2EHPA (2 – dyetil ácido fosfórico hexil) disuelto en queroseno, donde el zinc se extrae selectivamente para producir una disolución de sulfato de zinc de alta pureza. Esta etapa a su vez comprende sub etapas como la re-extracción, lavado y regeneración de la fase orgánica, las reacciones de esta etapa son:



Las reacciones (25) y (26) proceden en la etapa extracción y re-extracción, respectivamente. La tecnología ZINCEX™ tuvo éxito ya que trata soluciones cargadas de zinc en concentraciones de 1 a 160 g/l Zn y es adecuada para combinarse con varias aplicaciones para obtener un electrolito de alta pureza.

En la electrolisis se obtienen zinc metálico SHG (special high grade) y la reacción generalizada de esta etapa es (Frías, 2008):



Respecto a la lixiviación atmosférica, Técnicas Reunidas recurre al proceso Albion y presenta un diagrama conceptual del tratamiento de concentrados de Zn/Pb combinando con las tecnologías ZINCEX™ y PLINT mostrado en la figura 5. Este proceso no ha sido probado en escala industrial y no muestra ser adecuado a los concentrados de alta ley de zinc de Bolivia.

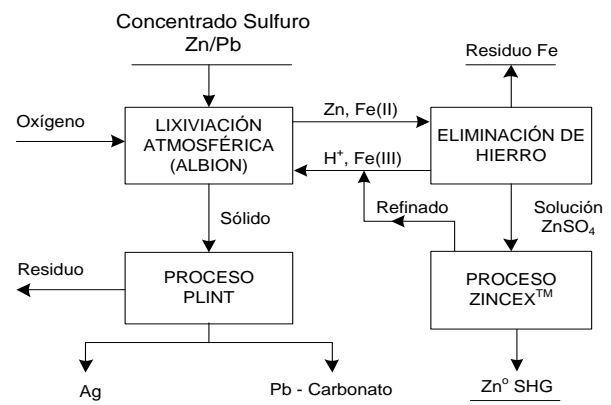


Figura 5. Diagrama de flujo general en tanques de lixiviación de sulfuros – Técnicas Reunidas (Frías, 2008).

Proceso Placid y Proceso Plint

El proceso Placid evolucionó de limitaciones técnicas, económicas y ambientales impuestas sobre el plomo secundario de procesos convencionales donde se generan apreciable cantidad de lodos ácidos, escorias tóxicas y gases SO_2 con graves problemas ambientales. Placid consta de cuatro etapas: Lixiviación de Pb en salmuera caliente; Remoción del sulfato de una solución rica de Pb para precipitar yeso; Purificación utilizando Pb polvo para obtener Pb, Cu, Bi, Sn, etc.; Electrólisis para lograr 99.99% de Pb, el diagrama se muestra en la figura 6.

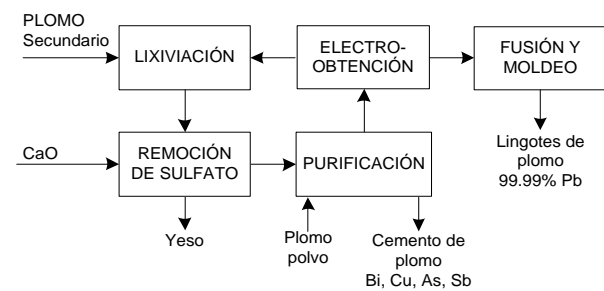


Figura 6. Diagrama conceptual del proceso PLACID Técnicas Reunidas (Díaz et al. 2001).

El proceso Plint (Placid Intermedio) recuperar plomo de fuentes secundarias con la sustitución de electro-obtención del proceso Placid por precipitación de plomo con CaO mostrada en la figura 7. Sin embargo, no aplicables cuando el mineral contiene apreciable cantidad de plomo debido a que es muy complicada la extracción en varias etapas cuando se combinan los procesos.

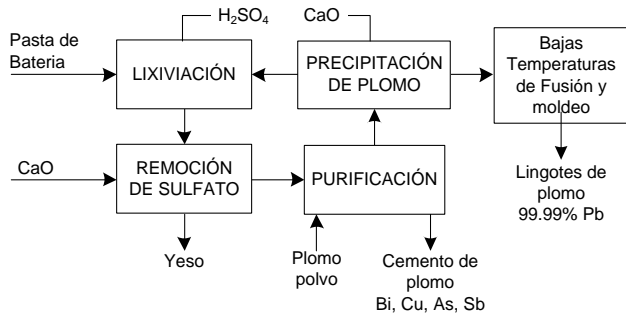


Figura 7. Diagrama conceptual del proceso PLINT Técnicas Reunidas (Diaz et al. 2001).

Proceso Albion

El proceso Albion fue desarrollado por la Compañía Xstrata, en ésta se incluyó un molino horizontal IsaMill, como principal etapa, para conseguir un material molido ultrafino (8 – 12 µm) y área superficial mayor (Hourn et al. 2005), (Turner, 2010). La molienda fina activa el mineral y mejora la lixiviación con oxidación realizada a presión atmosférica y autotérmicamente 100 °C en tanques agitados no presurizados al mezclar con oxígeno. La temperatura del lodo de lixiviación se controla por el flujo de oxígeno y por la densidad del lodo de lixiviación. En este proceso los resultados de extracciones de zinc superan el 97%. El diagrama de flujo de este proceso es simple y se muestra en la figura 8.

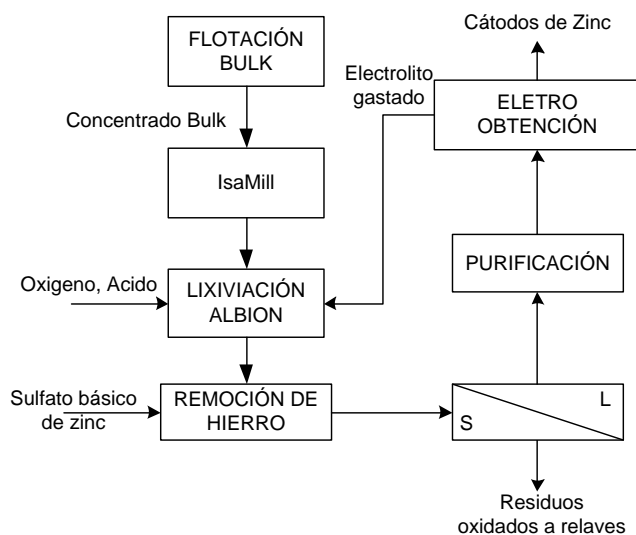
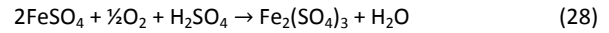
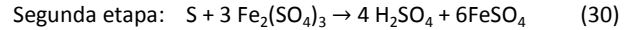
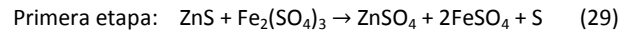


Figura 8. Esquema de flujo del proceso Albion para la lixiviación directa de concentrados de zinc.

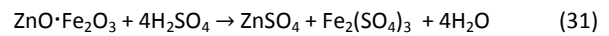
La lixiviación Albion es una lixiviación ferrosa regenerado continuamente el ión férrico como sulfato férrico mediante la reacción con oxígeno disuelto suministrada por inyección a través del lodo, la reacción es:



La lixiviación de la esfalerita ocurre con la solución férrica generada por la reacción (28) con la formación de sulfato de zinc y azufre elemental como residuo del proceso, las reacciones ocurren en dos etapas los cuales son:



Hourn y Turner (2013) dicen que la lixiviación del zinc de ferritas a altas temperaturas es rápida según la reacción (31). Lixiviación que no puede efectuarse por procesos existentes.



En este proceso el control del hierro es importante para el proceso de lixiviación como fuente de hierro ferroso. Sin embargo, se requiere un paso de control para prevenir el exceso de hierro en la solución de lixiviación de circulación forzada y el método de eliminación debe ser previa, con la tostación y lixiviación neutra, y el hierro debe ser extraído en una etapa jarosita. También puede ser extraído por precipitación goethita.

Existe una tecnología denominada Bateman-Litwin dedicadas a la extracción por solvente BSX como una etapa en la industria donde el contenido de zinc sea bajo y se integra con otro proceso como interercambio iónico (IX), extracción por solventes (SX) y electrobtención (EW) denominado "Solution Purification Group" (SPG).

Mediante la tecnología Bateman-Litwin, se eleva la concentración del zinc de las soluciones lixiviadas para su recuperación económica mediante electrolisis. Técnicas Reunidas aplica esta tecnología en Namibia, en Bolivia no existen minerales de zinc de característica oxidados.

Proceso AUSMELT /ZINC

La tecnología Ausmelt/zinc, trabaja con lanza para fundir-volatilizar los concentrados de cobre, estaño, plomo y zinc (en éste caso concentrados y residuos) en varias etapas en el mismo horno. El Ausmelt/zinc es la mejor alternativa exitosa para procesar concentrados de zinc de la calidad producida en Bolivia, con contenidos de plomo, estaño, plata, Indio y porcentajes altos de hierro (marmatita). La producción de polvos con altas recuperaciones de los elementos metálicos en forma de óxidos, posteriormente son procesados por lixiviación neutra sin la producción de ferritas ya que el hierro forma un compuesto estable en la escoria del Ausmelt, no es necesaria la lixiviación en caliente; así mismo en las etapas posteriores, no se producen residuos sino escorias inertes. La extracción de zinc, plomo, Indio y otros elementos supera a cualquier otro proceso y la recuperación de energía del vapor producido en los WHB (waste heat boiler) es sustancial. Esta tecnología opera en

Korea del Sur no es contaminante y su implementación a nivel internacional está siendo realizada.

Conclusiones

En el orden de alternativas de los procesos de extracción de minerales sulfuroso de zinc, se pueden considerar las siguientes:

- La tecnología Ausmelt de alto grado de extracción de metales no es contaminante y no requiere de la etapa de lixiviación en caliente, es autosuficiente en energía recuperada y la inversión por tonelada de zinc producida es menor comparada a otros procesos. Con ventajas es aplicable a los concentrados de Bolívar por su alto contenido en Indio, Porko y Colquiri especialmente por su elevado contenido en hierro.
- La tecnología RLEW es viable únicamente reemplazando la etapa de extracción en caliente por el horno ciclón y/o horno Ausmelt (Korea-Zinc); en este caso se aplicaría el Ausmelt como etapa secundaria para procesar residuos de zinc.
- La tecnología Dynatec para el tratamiento de sulfuros de zinc en autoclaves es adecuada para bajos contenidos de plata. Ambas alternativas dan la posibilidad de enviar los residuos con contenidos de metales preciosos de plomo a tratamiento en el horno Kivcet.
- El proceso Intec es una alternativa muy especializada e interesante para tratamiento de minerales sulfuros complejos de zinc con altos contenidos de plata e indio, como el caso de los concentrados de mina Bolívar.
- Los procesos de Técnicas Reunidas basados en la extracción solvente se aplica a minerales de oxidados, silicatos y carbonatos de zinc. Para el caso boliviano del tratamiento de minerales sulfuroso de zinc no sería adecuado. Este proceso recurre al proceso Albion de molienda ultra fina. Los posteriores procesos de TR son complicados cuando los minerales tienen contenidos de plomo y ésta combinación no fue demostrada industrialmente.

Bibliografía

1. LEMA, J. “¿Y la Refinería de Zinc?”. *Reporte Metalúrgico y de Materiales*. Instituto de Investigaciones Metalúrgicas y de Materiales. Universidad Mayor de San Andrés. N° 7 Febrero de 2010.
2. Estudio de Zinc. *Estudio sobre la Factibilidad del Tratamiento de Residuos Procedentes de la Lixiviación Neutra*. Abril de 1978.
3. SANCHO, J. P. “Metalurgia del Zinc”. En: *Metalurgia Extractiva, Volumen II, Procesos de Obtención*. España: Editorial Síntesis, 2003.
4. MORGAN, S. W. K. *Zinc and Its Alloys and Compounds*. Ellis Horwood Series in Industrial Metals. 1985.
5. WEIGEL, H. and LEMA, J. *Method for the Recovery of Zinc*. United States Patent 4292283 Sep. 29, 1981.
6. MOYES, A.J. *The Intec Zinc Process*. Intec Ltd. Gordon Chiu Building, J01. Department of Chemical Engineering. University of Sydney NSW 2006.
7. DÍAZ, G., MARTÍN, D., FRÍAS, C. and SANCHEZ F. “Emerging Applications of ZINCEX and PLACID Technologies”. *Lead and Zinc Recovery Overview*. *JOM*. December 2001.
8. Frías, C. *Beneficio Hidrometalúrgico de Minerales de Zinc y de Zinc Polimetálicos*. (Técnicas Reunidas S.A.) VII Simposio Internacional de Mineralurgia. Avances Tecnológicos en el Procesamiento de Minerales. TECSUP.
9. HUORN, M., ROHNER, P., BARTSCH, P., NGOVIKY, K. *Benefits of Using the Albion Process for a North Queensland Project, and a Case Study of Capital and Operating Cost Benefits Versus Bacterial Oxidation and Pressure Oxidation*. Albion Process. 2005.
10. TURNER, D. *Albion Process for Treatment of Refractory Ores*. Mike Hourn (Xstrata Technology), Albion Process. 2010.
11. www.bateman-litwin.com
12. ROINE, A., MANSIKKA-AHO, J., BJÖRKLUND, P., KENTALA, J. P. and LAMBERG, P. *HSC Chemistry 5.1, 6.0 and 7.0*. Outokumpu Technology, Chemical Reaction and Equilibrium Software with Extensive Thermochemical Database and Flowsheet Simulation. Outokumpu Research Oy, August, 2006.
13. GNOINSKI, J. “Skorpion Zinc: Optimization and Innovation”. En: *The Fourth Southern African Conference on Base Metals*. The Southern African Institute of Mining and Metallurgy pp 329-342. 2007).
14. LEMA, J. “Tratamiento de minerales complejos de Zinc-Plomo”. *Revista Metalúrgica*. Carrera de Ingeniería Metalúrgica, Universidad Técnica de Oruro: Ed. Universitaria, N°28, 2009. ISSN 2078-5593.
15. Hourn, M., Turner, D. W. “Commercialisation of the Albion Process” Website www.albionprocess.com Xstrata Technology – Albion Process.