

PROBLEMAS GEOTÉCNICOS asociados a la LIXIVIACIÓN DE LATERITAS NIQUELÍFERAS EN PILASⁱ

Por M.E. Smith, PE, GE y M.L. Steemson, PhD, RPEQⁱⁱ

INTRODUCCIÓN

Debido al potencial de obtener costos de capital comparativamente bajos y leyes de corte más bajas mediante el método de lixiviación en pilas, este ha sido propuesto como una alternativa en diversos proyectos recientes de explotación de lateritas niquelíferas, como es el caso del Proyecto Europeo de Níquel Çaldağ, ubicado en Turquía, el Proyecto Acoje en Filipinas, el Proyecto Piauí, de Vale, en Brasil y el Proyecto Nornico de Metallica Minerals en Australia, entre otros. Efectivamente, muchos de los proyectos nuevos de explotación de níquel están llevando a cabo investigaciones con el método de lixiviación en pilas como una alternativa, por lo menos para una parte de su producción. BHP Billiton ha llevado a cabo un extenso trabajo de desarrollo en dicho campo, aplicando el método de aglomeración con ácido a una serie de minerales de laterita niquelífera, incluyendo limonitas, saprolitas y minerales finos con contenido de arcilla. Además, dicha empresa introdujo en la industria el concepto de lixiviación en pilas de dos etapas. Este ímpetu por utilizar el método de lixiviación en pilas, en estos proyectos, proviene de la experiencia desarrollada a lo largo de mucho años trabajando con cobre y oro; sin embargo, los proyectos de explotación de lateritas niquelíferas acarrearán ciertos problemas propios de su naturaleza, que necesitan ser tomados en cuenta. Este artículo trata algunos de los problemas relacionados a los aspectos geotécnicos de la lixiviación en pilas de lateritas niquelíferas.

Permeabilidad de las Pilas

Las tasas máximas de irrigación sostenible están directamente relacionadas con la permeabilidad, razón por la cual, uno de los principales problemas aplicables a todos los yacimientos de laterita y saprolita es la baja permeabilidad del mineral y su sensibilidad a la altura de la pila. En el caso de las lateritas niquelíferas esto se complica aún más dada la disolución de hasta un 30% de los sólidos y la consecuente destrucción de los aglomerados que mejoran la permeabilidad. Por lo tanto, las pruebas de permeabilidad del mineral deberían ser llevadas a cabo incluyendo tanto aglomerados frescos como residuos lixiviados ó ripios (representando la permeabilidad más baja) en una serie de pilas o capas de alturas simuladas. En varios programas recientes de pruebas, que incluyeron pruebas metalúrgicas en columnas, seguidas por análisis geotécnicos, las muestras de ripios reportaron valores de permeabilidad constantes, con tasas de irrigación sostenible entre 5 y 10 L/m²/hr., con alturas máximas de capas entre 4 y 8 m. De haberse utilizado tasas de irrigación más alta o capas más gruesas, se podría haber obtenido como resultado una total saturación de las pilas, empozamiento de las superficies, inestabilidad de taludes y una alta sensibilidad a la licuefacción. Con grosores de capa y tasas de irrigación oscilando dentro de estos valores, las pruebas de permeabilidad no saturada, generalmente sugirieron un alto grado de saturación al final del ciclo de lixiviación, lo que también afecta la estabilidad del talud e influye en el potencial de licuefacción. Estos datos incluso sugirieron que el drenaje en pilas de lixiviación de capas múltiples sería considerablemente afectado, lo que indica la necesidad de utilizar revestimientos delgados intercapas y sistemas de drenaje entre cada capa, como es usual en las pilas de lixiviación de óxidos de cobre.

Un aspecto clave para la interpretación de los datos metalúrgicos de la lixiviación en columnas, en términos de permeabilidad, ha sido el tomar en cuenta que las columnas pequeñas son generalmente optimistas en lo que a propiedades de drenaje respecta. Esto es causado por una serie de factores tales como minerales con densidades más bajas, formaciones de puentes a lo largo de las paredes de las columnas o canalización de la solución. En un caso se lixivió una muestra en una columna de plástico transparente de diámetro pequeño. El laboratorio reportó tasas de irrigación sostenible de hasta 100 L/m³/hr., si bien el mineral era limonita. La inspección visual de la columna demostró que la mayoría de la solución había seguido canales en la superficie del contacto entre la columna y el mineral. Las columnas de mayores dimensiones (como por ejemplo las de 1,000mm de diámetro nominal), con la carga apropiada, tienden a reportar información más realista sobre el drenaje, y existe una buena correlación entre los datos del desempeño en estas columnas, las pruebas geotécnicas y el desempeño real de la lixiviación.

Construcción de las Pilas

Tanto las pilas de capas múltiples (pilas convencionales) como las pilas dinámicas (también conocidas como pilas on/off) son apropiadas para las lateritas níquelíferas, dependiendo de factores relacionados con el lugar y el mineral. Al llevarse a cabo estudios comparativos para varios proyectos se encontró que tanto las pilas de capas múltiples como las dinámicas tenían costos de capital inicial y valores actuales netos (VANs) de tiempo de vida del proyecto similar. Por ende, al escoger entre estas dos tecnologías, la decisión siempre se basará en factores que no están relacionados con la economía. En términos generales, las ventajas relativas de cada una se pueden resumir en la siguiente lista:

- Ciclos de lixiviación: Los ciclos de lixiviación cortos y bien definidos tienden a favorecer las pilas dinámicas.
- Disponibilidad de tierras: Las pilas dinámicas requieren de un área total de terreno mayor debido a las zonas de desecho de rípios.
- Desecho y cierre de zonas de rípios: Un botadero combinado (conteniendo los rípios de una pila dinámica y los residuos de planta) puede ser más pequeño y por ende menos costoso en lo que al cierre respecta, en comparación con los costos de cierre de dos botaderos separados.
- Balance de agua: Las pilas dinámicas requieren de un área total de terreno mayor (pila y botadero de rípios) y por consiguiente recolectan una mayor cantidad de agua de precipitación, sin embargo el agua del botadero de rípios puede ser más fácil de derivar desde dicho tipo de proceso que desde una pila de capas múltiples de mayor envergadura.
- Capacidad de soporte del tráfico del mineral lixiviado: La capacidad de poder soportar el apilamiento de las capas precedentes de mineral lixiviado es una limitación crucial en los sistemas de apilamiento por capas múltiples con mineral laterítico.
- Los factores de riesgo pueden variar considerablemente dependiendo de la opción seleccionada entre los dos enfoques, y suele ser un análisis de riesgo el que rige la toma de decisión final.

Planta de Manejo de Residuos

Los residuos de las plantas generalmente están conformados por tres componentes: Precipitados de hierro (las fracciones más grandes), sulfatos (yeso, sulfato de magnesio), y pequeñas cantidades de otros sedimentos del proceso; dichos residuos pueden ser producidos como pulpa (o "slurry") convencional o espesada, como pasta ó como "tortas" de filtración. Varios autores han indicado que el método de apilamiento de relaves filtrados en seco es el conveniente para todos los emplazamientos y todos los flujos de relaves, cuando se están tomando en cuenta la estabilidad y la contención medioambiental. Lamentablemente, los costos involucrados en la producción de tortas de filtración son, a menudo, excesivos. En muchas de las operaciones de lixiviación de níquel en pilas, estudiadas por los autores, se eligió el método de filtración de residuos a razón de

los beneficios del proceso (mejora en la recuperación del metal y del ácido) y por ende, el apilamiento de residuos en seco se convirtió en el método generalmente elegido para el desecho de relaves. Debido a que los residuos contienen niveles muy altos de sulfatos y magnesio, niveles bajos de pH y a menudo, niveles elevados de manganeso, con frecuencia se requerirá de un sistema de contención medioambiental (revestimiento de base, drenajes, cobertura de cierre), a menos que existan unos buenos factores geológicos de contención, además de unos factores climáticos adecuados. Por lo común, se necesitará de algún método para la estabilización de los taludes finales, ya que la resistencia al corte de los residuos será generalmente muy baja y el material será susceptible a la licuefacción. Los análisis han indicado que las combinaciones de pequeños contrafuertes de estabilización y la compactación de los límites externos del botadero, dan como resultado una buena estabilidad y protección contra la erosión, además de convertirse, con frecuencia, en parte del sistema de cobertura del cierre. Si bien los residuos usualmente tendrán una permeabilidad baja, el lixiviado se producirá por la compresión de estos y por el efecto de las acciones normales de la lixiviación (especialmente en climas húmedos) por lo que generalmente se requerirá de un sistema para la colección y remoción de esta agua.

La contención de relaves tiende a ser una de las actividades de más alto riesgo en la minería moderna, y un estudio reciente encontró 122 fallas en estructuras modernas. Algunos de los ejemplos recientes incluyen los incidentes ocurridos en Omai (Guyana, 1995), El Porco (Bolivia, 1996), Las Frailes (España, 1998), y Zhen'an (China, 2006). Los residuos de la lixiviación de níquel son distintos a los relaves convencionales, en cuanto a que estos están mayormente compuestos por precipitados químicos en vez de rocas de suelo. Si bien muchos de los proyectos estudiados tienen planificado el uso de filtros, los botaderos de apilamiento en seco pueden tener grados de saturación relativamente altos e inclusive tener los mismos problemas que los botaderos de ripios, sin embargo, a razón de la composición de los residuos, conformada por precipitados químicos, estos carecen de un medio granular para generar resistencia al corte y capacidad de soporte al tráfico. Estos residuos también tienden a tener una permeabilidad mucho más baja que la de los ripios, aproximándose, a menudo, a las especificaciones comunes para revestimientos compactados de arcilla. Esto hace que los botaderos de residuos sean altamente propensos a la licuefacción en cuanto a que el agua intersticial no drena, inclusive bajo condiciones de carga relativamente bajas. Además, aparte de tener niveles de estabilidad de taludes bajos y muy malas propiedades de drenaje, los residuos pueden ser proclives a la erosión.

Alta Precipitación y Coberturas Contra Lluvia (“Raincoats”)

La mayoría de las lateritas níquelíferas ubicadas fuera de Australia se encuentran en climas tropicales o sub tropicales, caracterizados tanto por las precipitaciones anuales extremadamente altas como por los intensos eventos de tormentas pico, sin embargo, estas características no son exclusivas de las lateritas níquelíferas y varios proyectos de lixiviación en pilas exitosos han sido llevados a cabo en climas de alta precipitación en lugares como Centro América, Myanmar, Ghana, Perú, Brasil y las Filipinas. En lugares de esta naturaleza, el manejo apropiado de las precipitaciones y de las aguas de tormenta puede ser un factor crucial. Una de las técnicas casi universalmente utilizada para manejar las tasas altas de precipitación es la aplicación de coberturas temporales de geomembrana o “cobertura contra lluvias”. Se coloca una cobertura contra lluvias sobre la pila o el botadero de ripios o residuos, para apartar al agua del sistema antes de que esta ingrese al circuito de procesamiento. El uso de coberturas implica la mejora de diversos aspectos durante las temporadas húmedas, como por ejemplo, la reducción de excedentes de agua y de los problemas asociados al manejo del agua; la disminución de la tasa de dilución de las soluciones del proceso y la subsecuente mejora en la recuperación del metal; reducción en el consumo de reactivos en las soluciones recirculadas; reducción de la probabilidad de ocurrencia de derrames accidentales debido a la acumulación excesiva de agua de tormentas o flujos excesivos en los canales o sistemas de tuberías de las soluciones del proceso; y reducción de la posibilidad de daños a la superficie de la pila o los aglomerados de mineral, causados por la caída de las gotas de las precipitaciones (daño por impacto) y por el flujo laminar (erosión). A diferencia de las coberturas semi permanentes o permanentes, utilizadas en otras aplicaciones como los rellenos sanitarios, las coberturas contra lluvias son generalmente utilizadas para aplicaciones a corto plazo en temporadas húmedas, y usualmente retiradas en las temporadas secas, siendo utilizadas como apoyo para la colocación del mineral, el mantenimiento de la red de irrigación, y para fomentar la evaporación.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer el apoyo de las empresas BHP Billiton y European Nickel PLC, las cuales han estado a la cabeza del desarrollo del proceso de lixiviación de lateritas níquelíferas en pilas.

ⁱ Primero publicado en inglés en The Mining Record, mayo 2009

ⁱⁱ Mark Smith es el Director Gerente de Vector Engineering Inc., una empresa ubicada en Grass Valley, California, EEUU, y parte del Grupo Ausenco. smith@vectoreng.com. Mark Steemson es ingeniero senior de procesos en Vector Engineering, Inc., en la oficina ubicada en Brisbane, Australia. steemson@vectoreng.com