



# COMO RELLENOS CEMENTADOS

Disponer los relaves de esa manera en minas subterráneas es ya una realidad en muchos países. ¿Cuál es su potencial y aporte a la gran minería? Este artículo lo aclara.

Enrique Peragallo R., ingeniero químico industrial de la P. Universidad Católica de Chile  
Sergio Martínez T., ingeniero civil de la Universidad de Chile

**E**n Chile y en el resto del mundo, las limitaciones en el abastecimiento de agua para los procesos mineros y la disposición sustentable de los relaves mineros se han convertido en temas centrales para la viabilidad de este tipo de proyectos.

En efecto, la necesidad de la industria minera de disminuir los impactos ambientales de sus actividades y de construir una relación de confianza con las comunidades afectadas, se ha traducido en una exigencia crítica de reducir el consumo de agua. También se han incrementado las exigencias para la disposición de los relaves mineros, que deben plasmarse en planes de cierre de minas, hoy en día obligatorios en nuestro país.

Esta condición ha impulsado al sector a avanzar en el manejo de alternativas frente a la disposición convencional de los relaves, destacando los relaves espesados de alta densidad, en pasta y filtrados. Son soluciones que permiten grandes ahorros en el consumo de agua y la reducción de los impactos ambientales asociados a su disposición. Sin embargo, requieren inversiones significativas.



*El uso de cemento como adición aglomerante en relaves en pasta no ha sido técnica ni económicamente competitiva frente a las alternativas actuales en uso.*

### MAYOR ESTABILIDAD

En ese escenario, una prometedora y cada vez más popular estrategia de gestión de relaves es su disposición como rellenos cementados en minas subterráneas. Esta opción contribuye a incrementar su estabilidad geotécnica, como también a aumentar posiblemente su estabilidad geoquímica y a disminuir su potencial de lixiviación.

Comparativamente, el manejo convencional de los relaves en contacto con el aire puede afectar de manera negativa la calidad del agua del entorno, si es que al tomar contacto con la intemperie se produce drenaje ácido de roca (DAR) y la lixiviación de metales (LM) presentes en el relave.

En contraste, la disposición de relaves cementados puede limitar la lixiviación de los metales por medio de la reducción de la porosidad y su permeabilidad, como también aportar un medio alcalino que puede limitar el potencial de DAR y de LM.

A continuación, profundizaremos en la aplicación de la tecnología de relaves en pasta cementados para el relleno de minas subterráneas, considerando que es una aplicación del cemento con un atractivo potencial de desarrollo en la minería mundial. En particular, la disposición superficial de relaves en pasta tiene importantes avances en la actualidad

a nivel mundial y, sobre todo, en aplicaciones en la mediana minería e incipientemente en la gran minería del cobre en Chile.

Sin embargo, la utilización de cemento como adición aglomerante en esos casos no ha sido técnica ni económicamente competitiva frente a las alternativas actuales en uso. Queda planteado, entonces, el desafío del desarrollo de compuestos cementicios aglomerantes que sean competitivos en esta aplicación, especialmente considerando que en Chile tenemos grandes producciones de relaves.

De hecho, cualquier proyecto minero nuevo parte con más de 30 o 50 mil toneladas/día de mineral procesado y prácticamente genera la misma cantidad de relaves.

### ANTECEDENTES

Los relaves son desechos tóxicos, subproductos de procesos mineros, especialmente de la concentración de minerales. Son usualmente una mezcla de tierra, minerales y rocas finamente molidas que tienen un porcentaje variable de agua.

Son residuos que contienen altas concentraciones de químicos y elementos que alteran el medio ambiente, por lo que deben transportarse y almacenarse en tranques de relaves o embalses. Allí, lentamente, los contaminantes se van decantando en el fondo y el agua se recupera o evapora. El material queda dispuesto como un depósito estratificado de materiales sólidos finos.

El manejo de relaves es una operación clave en la recuperación de agua, por lo que para evitar filtraciones hacia el suelo y las napas subterráneas hoy en día su almacenamiento es la única opción para disponerlo en forma sustentable. De ahí que las exigencias para su disposición segura en un horizonte de muy largo plazo cada día se incrementan, imponiéndose en los países desarrollados el concepto de "Instalaciones de Disposición de Relaves", que establece los criterios para su diseño, construcción, operación y cierre con una visión de manejo integral de su integridad en el tiempo.

Respecto a los relaves en pasta, una pasta mineral puede definirse como un sistema coloidal o casi coloidal que se presenta como un fluido homogéneo, en el cual no ocurre segregación granulométrica de las partículas. Además, al ser dispuesto suavemente sobre superficies estables, no muestra drenaje significativo de agua. Su fluidez y consistencia durante su disposición pueden determinarse mediante técnicas como los ensayos de "abatimiento" y de "canaleta".

Particularmente, los relaves en pasta utilizados para el relleno de minas deben primero espesarse para formar la pasta mineral, que luego se cementa a través de la adición de pequeñas cantidades de cemento (del orden de 3 a 8% en peso) para lograr una adecuada resistencia mecánica. Posteriormente, la pasta debe fluir a través de un ducto con ayuda de la fuerza de gravedad y/o de sistemas de bombeo, para después disponerse de forma horizontal cuando se efectúa la operación de relleno de la mina subterránea.

Los rellenos de mina pueden agruparse en dos categorías generales: los no-cementados, que incluyen los hidráulicos y las pastas minerales; y los cementados, que incorporan la adición de agentes aglomerantes como cemento portland o mezclas de éste con otras adiciones puzolánicas, cenizas volantes, yeso o escoria de hornos.

Con el relleno de las minas subterráneas se logra incrementar su estabilidad local, lo que genera un aumento en la seguridad y la eficiencia de las operaciones mineras. Por ejemplo, el relleno con relaves cementados permite la extracción de los pilares mineralizados cuando se emplea el método denominado "túneles y pilares" en la explotación →



*Con el relleno de las minas subterráneas con relaves cementados se logra incrementar su estabilidad local, lo que genera un aumento en la seguridad y la eficiencia de las operaciones mineras.*

→ minera. Así también se previene la ocurrencia de derrumbes al interior de la mina. La inclusión de relaves tiene la ventaja adicional de reducir o eliminar la afectación en la superficie asociada a su disposición.

### MÚLTIPLES BENEFICIOS

En definitiva, la aplicación de relleno con relaves en pasta cementada presenta los siguientes beneficios:

- El relave se almacena bajo tierra y reduce el impacto en la superficie. Esta condición es más amigable con el medio ambiente, ya que los suelos superficiales no requieren utilizarse como áreas de disposición de residuos mineros. Tales terrenos tienen problemas asociados a la generación de polvo, impacto visual, contaminación de los cursos de agua superficiales o subterráneos y riesgos de inundación asociados a una posible falla estructural de los tranques de relave.
- Se reduce el consumo de agua del proceso en comparación con la disposición convencional de relaves.
- Cuando se utiliza el método de explotación minero denominado "túneles y pilares" éstos pueden explotarse si contienen minerales de interés.
- El relleno de las galerías subterráneas ayuda en el soporte estructural de la mina.
- Reduce el riesgo de explosión de roca, debido a que las presiones en ella no están concentradas en los pilares y soportes de la mina.
- Mejora el circuito de ventilación en la mina.
- Previene caídas del techo de la mina ante las tronaduras.
- El aglutinante ayuda a minimizar la contaminación de las aguas subterráneas.
- Se reduce el desarrollo de drenaje ácido de roca.
- La factibilidad técnica y económica de aplicar este método se evalúa caso a caso, siendo cada vez más frecuente su empleo en los países con normativas ambientales más exigentes.

Finalmente, el uso de los rellenos con relaves en pasta cementada presenta una oportunidad de colaboración entre las industrias minera y cementera en pos del desarrollo sustentable de la minería en Chile.

### USO PROBADO

Esta alternativa de gestión de relaves ha sido utilizada globalmente en numerosas operaciones mineras subterráneas. A continuación, algunos ejemplos:

- BHP Cannington: Mina subterránea de plata, plomo y zinc, en Northwest, Australia, que opera un sistema de relleno en pasta cementada desde 1997.
- Stratoni Operations: En sus minas de plomo, zinc y plata Madem Lakkos y Mavres Petres en Grecia. Utiliza esta solución desde los años 90.
- Higginsville: Depósito de oro de Western, Australia, que la ocupa desde el 2009.
- Barrick Porgera: En Papúa Nueva Guinea, ocupa relleno con pasta cementada en aproximadamente el 10% de los relaves de su operación.
- BHP Olympic Dam: Mina de uranio y cobre ubicada en Australia que ha usado este método para el manejo de una porción de sus relaves y botaderos.
- Barrick Goldstrike: Mina de oro ubicada en Nevada, Estados Unidos, que lo utiliza desde el año 2013.
- Breakwater Resources - SCM El Toqui: Emplazada en Aysén, en Chile, es una mina subterránea de oro y zinc que opera un sistema integral de manejo de relaves en pasta. Una parte se emplea como pasta cementada para el relleno de la mina.
- Minsur - Unidad Minera San Rafael: Situada en Puno, Perú, la mina subterránea de estaño ocupa relleno con pasta cementada en su disposición de relaves como relleno de la mina. 