

**MÉTODO DE RELLENO EN MINAS, COMPOSICIÓN AGLUTINANTE PARA
DICH0 MÉTODO Y EL USO DE LOS MISMOS**

Campo de la Invención

5 La invención se refiere a un método de relleno en minas, a una composición aglutinante para dicho método, así como al uso de dicha composición.

Antecedentes de la Invención

10 En general, el relleno se aplica en la extracción de minerales. El mineral es una roca o sedimento natural que contiene uno o más minerales valiosos en concentraciones superiores a los niveles de referencia. Normalmente, los minerales contienen metales que pueden extraerse, procesarse
15 y venderse con fines lucrativos. La ley del mineral se refiere a la concentración del material deseado que contiene.

 Los minerales de interés generalmente son óxidos, sulfuros, silicatos o metales nativos tal como el cobre o el oro. Los yacimientos de minerales se forman mediante diversos
20 procesos geológicos, generalmente denominados génesis de minerales, y pueden clasificarse de acuerdo con su tipo de yacimiento. El mineral se extrae de la tierra mediante minería y se procesa o refina para extraer los metales o minerales valiosos.

25 En la mayoría de los casos, un mineral no consiste completamente de un solo mineral, sino que se mezcla con otros minerales valiosos y con rocas y minerales no deseados o sin valor. La parte de un mineral que no es económicamente deseable y que no puede evitarse en la minería se conoce como
30 ganga. Los minerales valiosos se separan de los minerales de

ganga mediante flotación por espuma, concentración por gravedad, métodos eléctricos o magnéticos y otras operaciones conocidas colectivamente como procesamiento de minerales o beneficio de minerales.

5 El procesamiento de minerales consiste de una primera liberación, para separar el mineral de la ganga, y la concentración, para separar los minerales deseados. Una vez procesada, la ganga se denomina relaves, que son materiales inútiles, pero potencialmente dañinos que se producen en
10 grandes cantidades, especialmente en yacimientos de baja ley.

En minería, los relaves son, por lo tanto, los materiales que quedan después del proceso de separación de la fracción valiosa de la fracción no rentable (ganga) de un mineral. Los relaves son diferentes de la sobrecarga, que es
15 la roca estéril u otro material que cubre un yacimiento mineral y se desplaza durante la extracción sin procesarse.

La minería con relleno es un requisito en la industria, especialmente en la minería subterránea, ya que constituye un aspecto importante de muchos métodos mineros y es una
20 solución a numerosos problemas de estabilidad de la roca. Cuando una mina planea utilizar relleno, debe considerar diversos factores con respecto al tipo de relleno, los sistemas de suministro y su procedencia. Además, la aplicación de relleno implica infraestructura adicional tanto
25 en superficie como subterránea, lo que en última instancia conlleva un aumento general de los costos operativos.

El relleno minero se define como el material utilizado para rellenar las cavidades (i.e., los tajos) creadas por la minería subterránea. El relleno puede ser una forma de
30 eliminar lodos y/o relaves que pueden contener materiales

peligrosos y de reducir el impacto ambiental en la superficie mediante el almacenamiento subterráneo de los relaves.

La mayoría de los materiales de relleno se componen de relaves, que a veces incluyen arena, áridos y/o roca triturada. Es común agregar cemento hidráulico para proporcionar resistencia estructural.

Los aglutinantes ricos en escoria se utilizan como aglutinantes para los materiales de relleno subterráneo en la minería. Su alto contenido en escoria los hace menos sensibles a los sulfatos o ácidos generados por algunos componentes de los materiales de relleno.

El cemento super-sulfatado activado o cemento de escoria super-sulfatado (ambos términos se utilizan comúnmente) se conoce desde hace mucho tiempo para la fabricación de concreto y mortero. Para mayor coherencia, a continuación, se utiliza el término cemento super-sulfatado.

Actualmente, los cementos super-sulfatados activados resultan cada vez más atractivos, ya que presentan una huella de carbono relativamente baja. El cemento super-sulfatado, su composición, especificaciones y criterios de conformidad se estandarizan en la norma EN15743.

La norma hace referencia a las normas EN196-1 a 9, relativas a los métodos de prueba del cemento, y a la norma EN197-1, relativa a la composición, especificación y criterios de confirmación del cemento común.

De acuerdo con la norma EN15743, el cemento super-sulfatado es un aglutinante hidráulico, i.e., un material inorgánico finamente molido que, al mezclarse con agua, forma una pasta que fragua y endurece mediante reacciones y procesos de hidratación. Después del endurecimiento, el

cemento super-sulfatado conserva su resistencia y estabilidad incluso bajo el agua.

El cemento super-sulfatado se compone principalmente de escoria granulada de alto horno y sulfato de calcio. Su
5 composición estadísticamente homogénea es el resultado de procesos de producción y manipulación de materiales con calidad asegurada. En el cemento super-sulfatado, a diferencia del cemento común de acuerdo con la norma EN197-1, la escoria granulada de alto horno molida se activa
10 principalmente con sulfato de calcio. Para acelerar la activación y la hidratación temprana de la escoria, pueden agregarse otros componentes.

De acuerdo con la norma EN15743, un cemento super-sulfatado se compone de al menos 75% de GGBFS (escoria
15 granulada de alto horno) y de 5% a 20% de sulfato de calcio, como componentes principales y de 0% a 5% de clinker de cemento Portland como un posible constituyente adicional.

La escoria granulada de alto horno se obtiene mediante el enfriamiento rápido de una escoria fundida de composición
20 adecuada, procedente de la fundición de mineral de hierro en un alto horno. La escoria granulada de alto horno consiste de al menos dos tercios en masa de fase vítrea y posee propiedades hidráulicas cuando se activa de manera adecuada.

La escoria granulada de alto horno puede consistir de al
25 menos 66% en peso de una combinación de óxido de calcio (CaO), óxido de magnesio (MgO) y dióxido de silicio (SiO_2). El resto contiene óxido de aluminio (Al_2O_3), junto con pequeñas cantidades de otros compuestos. La relación en masa $(\text{CaO} + \text{MgO})/(\text{SiO}_2)$ puede ser superior a 1.0.

Los sulfatos de calcio existen en diferentes modificaciones, tal como yeso, dihidrato de sulfato de calcio ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), hemihidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$) o anhidrita (sulfato de calcio anhidro, CaSO_4), o cualquier mezcla de los mismos. El yeso y la anhidrita se encuentran en la naturaleza; los sulfatos de calcio también se encuentran disponibles como subproducto de ciertos procesos industriales.

Como componente adicional en el cemento super-sulfatado, especialmente para su activación, puede estar presente el clinker de cemento Portland. El clinker de cemento Portland es un material hidráulico que puede contener al menos dos tercios en masa de silicatos de calcio ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) y ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$). El resto del clinker de cemento Portland puede contener fases de clinker que contienen aluminio y hierro, así como otros compuestos. La relación en peso de (CaO) / (SiO_2) no debe ser inferior a 2.0. El contenido de óxido de magnesio (MgO) no debe superar el 5.0% en peso.

Los "mecanismos de hidratación del cemento de escoria super-sulfatado", de A. Gruskovnjak et al., publicado en "Cement and Concrete Research 38" (Investigación sobre cemento y concreto 38) (2008), págs. 983-992, describe la hidratación y la evolución de la resistencia de cementos super-sulfatados producidos mediante la activación de dos escorias granuladas de alto horno molidas diferentes con anhidrita y pequeñas cantidades de activador alcalino. Se descubrió que existe un "aumento" en la cantidad de hidratos de una escoria de baja reactividad al agregar sulfato de aluminio e hidróxido de calcio, lo que incrementó la cantidad

de etringita. Sin embargo, la resistencia a compresión inicial no aumentó, aunque la resistencia tardía mostró un incremento lento. Se concluye que la resistencia a la compresión inicial de un cemento super-sulfatado (SSC) que
5 utiliza escoria de baja reactividad no puede mejorarse mediante la adición de cantidades estequiométricas de los componentes empleados en la formación de un producto de hidratación específico.

El documento AU 200168775 A1 describe un aglutinante
10 hidráulico que contiene una escoria voluminosa vítrea molida con una finura superior a 5000 cm^2/g Blaine. La escoria de alto horno, de naturaleza latente e hidráulica, presenta una vitrificación superior al 93%, contiene entre 34% y 40% de SiO_2 , entre 34% y 37% de CaO y más de 9% y, preferentemente,
15 menos del 13% de Al_2O_3 . La relación en peso $(\text{CaO} + \text{MgO}) / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2)$ debe variar entre 0.88 y 0.98. El aglutinante contiene entre 0.5% y 5% de clinker de cemento Portland o cemento Portland. En este documento, la activación de la escoria se logra mediante el mezclado o molienda adicional de
20 sulfato de calcio natural (yeso natural), yeso desulfurado de gases de combustión (o su anhidrita) en una cantidad de 12% a 20% en peso, cemento Portland en una cantidad de 0.5% a 5% en peso y/u otros óxidos de calcio tal como polvo caliente, cal viva o $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en una cantidad de 0.5% a 3% en peso, sulfatos
25 alcalinos o carbonatos alcalinos en cantidades hasta 3% en peso y/o sales de calcio de ácidos carboxílicos en cantidades de 0.5% a 3% en peso con la escoria. Sin embargo, se prefiere el uso de polvo caliente obtenido de gases de combustión o de hornos.

El documento US 6,409,819 B1 describe un aglutinante de aluminosilicato super-sulfatado activado que contiene aluminosilicatos, sulfato de calcio y un activador con sales de metales alcalinos, en donde los aluminosilicatos se seleccionan del grupo que consiste de escoria de alto horno, arcilla, marga y subproductos industriales tal como cenizas volantes, con la condición de que el contenido de Al_2O_3 sea superior a 5% en peso. La escoria de alto horno se encuentra presente en una cantidad superior a 35% en peso, y la arcilla, la marga y/o las cenizas volantes, se encuentran presentes en una cantidad superior al 5% en peso. Se agrega polvo de horno de cemento a la mezcla como activador, en una cantidad de 3% a 10% en peso, y se utiliza sulfato de calcio en una cantidad superior a 5% en peso.

El documento CN 107827379A se refiere a un cemento super-sulfatado de alta resistencia a la flexión. Este método aborda el problema de la lenta hidratación y la baja resistencia inicial, debido a la incapacidad de los activadores conocidos para estimular suficientemente la actividad de la escoria granulada de alto horno. Para lograr este objetivo, un cemento super-sulfato de alta resistencia a la rotura debe incluir como materias primas escoria granulada de alto horno, yeso y clinker de cemento de sulfoaluminato con alto contenido de belita. Además, puede contener entre 0.05% y 3% de un componente de excitación mineral opcional, en donde preferentemente, el componente de excitación mineral incluye cualquiera o una combinación de al menos dos de los siguientes: cemento Portland, clinker de cemento Portland, agente expansor de tipo etringita, agente expansor de tipo óxido de calcio, escoria de acero o escoria de carburo.

Además, puede estar presente un componente promotor de la coagulación, que incluye hidróxido de litio, cloruro de litio, carbonato de litio, sulfato de litio, silicato de litio, hidróxido de sodio, hidróxido de potasio, hidróxido de calcio, óxido de calcio, sulfato de sodio o sulfato de potasio. Cualquiera de los siguientes compuestos, o una combinación de al menos dos de ellos: sulfato de aluminio, carbonato de sodio, bicarbonato de sodio, carbonato de potasio, bicarbonato de potasio, cloruro de sodio o silicato de sodio.

El documento CN108083671A se refiere al agente excitador de escoria granulada de alto horno respectivo.

El documento KR101581905B1 se refiere a una composición aglutinante de fraguado rápido, ecológica y sin cemento.

Objetivo de la Invención

Un objetivo de la presente invención es proporcionar un método de relleno en minería con mayor resistencia y estabilidad.

El objetivo se logra por medio de un método con las características de la reivindicación 1.

En las reivindicaciones que dependen de la reivindicación 1 se reivindican mejoras adicionales y modalidades ventajosas.

Otro objetivo de la invención es proporcionar un aglutinante para su uso en el método de relleno.

El objetivo se logra mediante las características de la reivindicación 8; las modalidades ventajosas se reivindican en las reivindicaciones dependientes de la reivindicación 8.

Sumario de la Invención

De acuerdo con la invención, los relaves se utilizan para rellenar una mina y se unen con un aglutinante mineral especializado, adaptado a las necesidades del relleno, capaz
5 de desarrollar la resistencia y durabilidad suficientes en un ambiente ácido y rico en sulfatos.

En general, el cemento super-sulfatado ya se encuentra estandarizado en algunos países, pero para concreto y no para aglomerar relaves. La principal diferencia entre los cementos
10 super-sulfatados comunes y el aglutinante de la presente invención es que la cantidad de CaO , sulfato de calcio y clinker de cemento Portland utilizada es mayor que la de los cementos super-sulfatados conocidos.

Las ventajas, en comparación con los aglutinantes
15 conocidos para relleno, son una menor huella de CO_2 , mejores propiedades mecánicas de los materiales de relleno y una mayor durabilidad de los materiales de relleno.

Por lo tanto, la invención se refiere a un método de relleno en minería subterránea y a cielo abierto en donde los
20 relaves se mezclan con un aglutinante, en donde el aglutinante comprende al menos escoria granulada de alto horno, clinker de cemento Portland y sulfato de calcio, en donde la cantidad de clinker de cemento Portland varía entre 5% hasta 12% en masa, y la cantidad de sulfato de calcio
25 varía de 5% hasta 15% en masa; siendo el resto escoria granulada de alto horno molida. En la presente descripción, los porcentajes en masa se expresan como % en masa.

En una modalidad, se utiliza sulfato de calcio que contiene uno, más o todos del siguiente grupo: yeso,
30 dihidrato de sulfato de calcio ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), hemihidrato

($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$), anhidrita (sulfato de calcio anhidro, CaSO_4), en cualquier proporción. De esta manera, puede controlarse la solubilidad en el aglutinante mixto y la reactividad del aglutinante ya mezclado.

5 En otra modalidad, los componentes del aglutinante se utilizan en forma molida, en donde se muelen por separado o se muelen juntos.

 En una modalidad, la finura Blaine combinada del aglutinante no es inferior a 2500 g/m^2 y, preferentemente, no
10 es inferior a 3500 g/m^2 .

 En una modalidad, el clínter de cemento Portland puede ser cualquier clínter de cemento Portland o cualquier cemento Portland, que es un material ya molido, elaborado a partir de clínter de cemento Portland y aditivos, en donde en el caso
15 de utilizar cemento Portland, puede emplearse cualquier clase de resistencia de 32.5, 42.5 y 52.5.

 En una modalidad, se agrega ganga u otros áridos.

 En una modalidad, la densidad de la pulpa (masa de la fracción sólida para el relleno dividida por la masa total
20 del material de relleno) se ajusta entre 55% y 82%.

 En una modalidad, entre 1% y 14% en masa del aglutinante se mezcla con relaves o con relaves y otros áridos sólidos tal como ganga, arena o roca.

 En una modalidad, el aglutinante o el material de
25 relleno se mezclan con aditivos adicionales del siguiente grupo: retardantes de fraguado, aceleradores de fraguado y plastificantes.

 Otro aspecto de la invención se refiere a un aglutinante para la aglutinación de material de relleno en minería
30 subterránea, comprendiendo el aglutinante clínter de cemento

Portland de 5% a 12% en masa y sulfato de calcio de 5% a 15% en masa, siendo el resto escoria granulada de alto horno molida en una cantidad de 73% a 90% en masa, y otros componentes.

5 En una modalidad, el aglutinante comprende aditivos adicionales del siguiente grupo: retardantes de fraguado, aceleradores de fraguado y plastificantes.

 En una modalidad, el aglutinante tiene una finura de al menos 2500 g/m² Blaine.

10 En una modalidad, el aglutinante tiene una finura de al menos 3500 g/m² Blaine.

 En una modalidad, el clinker de cemento Portland puede ser cualquier clinker de cemento Portland o cualquier cemento Portland ya molido, elaborado a partir de clinker de cemento
15 Portland y aditivos, en donde en caso de utilizar cemento Portland, se emplea cualquier clase de resistencia de 32.5, 42.5 y 52.5, o cualquier mezcla de los mismos.

 En una modalidad, el sulfato de calcio contiene uno, más o todos del siguiente grupo: yeso, dihidrato de sulfato de
20 calcio ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), hemihidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$) y anhidrita (sulfato de calcio anhidro, CaSO_4), en cualquier proporción.

 Otro aspecto de la invención se refiere al uso del aglutinante mencionado para la aglutinación de material de relleno en minería subterránea y a cielo abierto.

25

Breve Descripción de las Figuras de la Invención

 La invención se explica mediante ejemplos y el dibujo adjunto que muestra:

 Figura 1: Un diagrama del sistema GGBFS, clinker de

cemento Portland y yeso;

Figura 2: Una tabla que muestra un primer ejemplo de la invención con un ejemplo comparativo;

Figura 3: Una tabla que muestra un segundo ejemplo de la invención con un ejemplo comparativo;

Figura 4: Una tabla que muestra un tercer ejemplo de la invención con un ejemplo comparativo;

Figura 5: Una tabla que muestra un cuarto ejemplo de la invención con un ejemplo comparativo;

Figura 6: Una tabla que muestra un quinto ejemplo de la invención con un ejemplo comparativo;

Figura 7: Una tabla que muestra un sexto ejemplo de la invención con un ejemplo comparativo;

Figura 8: Una tabla que muestra un séptimo ejemplo de la invención con un ejemplo comparativo.

Descripción Detallada de la Invención

Si los porcentajes no se mencionan de otro modo, se expresan en porcentaje en masa (m.-%).

Como se mencionó en lo anterior, el método de acuerdo con la invención consiste en mezclar los relaves del procesamiento del mineral con un aglutinante.

El aglutinante incluye escoria granulada de alto horno molida (GGBFS), un portador de sulfato (CS) y clínker de cemento Portland (PC).

La GGBFS puede ser cualquier GGBFS común. El CS puede ser cualquier sulfato de calcio, por ejemplo, yeso, dihidrato de sulfato de calcio ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), hemihidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) o anhidrita (sulfato de calcio anhidro, CaSO_4), o

cualquier mezcla de los mismos.

El PC puede ser cualquier PC o cualquier cemento Portland, que es un material ya molido, compuesto de PC y aditivos. En este último caso, puede ser de cualquier clase
5 de resistencia de 32.5, 42.5 y 52.5.

Los componentes pueden utilizarse en una forma molida; cada mineral puede molerse conjuntamente. En cualquier caso, la finura Blaine combinada del aglutinante no debe ser inferior a 2500 g/m² y, preferentemente, no inferior a 3500
10 g/m².

La finura de los relaves puede variar, pero normalmente la fracción inferior a 20 µm es de aproximadamente 50% o más.

Los principales constituyentes, de acuerdo con la invención, y los rangos de su contenido en el aglutinante se muestran en la Figura 1. Como puede observarse, la GGBFS como
15 constituyente principal se encuentra presente de 73% a 90% en masa.

El portador de sulfato se encuentra presente de 5% a 15% en masa, calculado como sulfato de calcio. El clínker se encuentra presente de 5% a 12% en masa. En caso de utilizarse
20 cemento Portland, el cálculo se realiza sobre la base de los constituyentes del clínker puro, sin aditivos.

En este método, los relaves se mezclan con de 1% a 14% en masa del aglutinante, en donde puede agregarse agua hasta
25 alcanzar una densidad de pulpa (fracción sólida/material de relleno total) ajustada de 55% a 82%. Los relaves pueden utilizarse húmedos. En este caso, el contenido de agua se ajusta durante el mezclado al nivel mayor deseado agregando agua. Se ajusta a un nivel menor agregando relaves más secos
30 u otros áridos que se encuentran presentes debido al

procesamiento del mineral.

La invención se explica mediante otros ejemplos.

EJEMPLOS

- 5 Ejemplo 1: Relaves con 6% de aglutinante; muestras curadas a 35°C (Figura 2).

En los ejemplos A y B, con el mismo contenido de GGBFS y yeso, la mezcla B, con 10% de clínker de acuerdo con la invención, presenta un rendimiento muy superior al del ejemplo A, con solo 2%, a los 3 y 7 días, lo cual es por supuesto importante para el relleno. El contenido total de aglutinante es de 6% en masa del peso total del material de relleno.

- 15 Ejemplo 2: Muestras de relaves con 6% de aglutinante curadas a 20°C (Figura 3)

En este segundo ejemplo, se comparan las mezclas C, D y E. La mezcla C tiene un aglutinante con un contenido de clínker comparativamente alto de 28.5% en masa. Las mezclas D y E, con un menor contenido de clínker respectivamente de 8% y 7.6%, presentan un rendimiento sorprendentemente mejor que la mezcla C en todos los tiempos. De nuevo, el contenido de aglutinante es de 6% en masa de la mezcla total.

- 25 Ejemplo 3: Muestras de relaves con 6% de aglutinante curadas a 35°C (Figura 4)

En este tercer ejemplo, se deduce que a mayor contenido de yeso, es mayor la resistencia en tiempos tempranos. Sin embargo, la resistencia a largo plazo puede verse afectada. El contenido óptimo de yeso debe determinarse equilibrando la

resistencia mecánica a tiempos tempranos y tardíos. Sin embargo, un alto contenido de yeso puede ser útil si se requiere una rápida resistencia en tiempos tempranos. Además, esto puede controlarse mediante una mezcla de sulfatos de calcio con diferentes solubilidades, i.e., mediante el uso parcial de anhidrita.

Ejemplo 4: Relaves con 3% de aglutinante, muestras curadas a 35°C (Figura 5)

En este cuarto ejemplo, el contenido de aglutinante se reduce a 3% en masa. El contenido de yeso es de aproximadamente 10% en masa. Sorprendentemente, la mezcla I, que de acuerdo con la invención contiene 81% en masa de escoria y solo 10% en masa de clínker, presenta un mejor rendimiento que la mezcla comparativa J, con 30% en masa de clínker.

Ejemplo 5: Relaves, 5% de aglutinante, muestras curadas a 23°C (Figura 6)

En el quinto ejemplo se observa que, en ambas mezclas de acuerdo con la invención, la mezcla L con 7% en masa de yeso presenta un rendimiento ligeramente superior al de la mezcla K con 5% en masa de yeso. El contenido de clínker es de 9.5% en masa, dentro del rango de la invención.

Ejemplo 6: Relaves, 4-5% de aglutinante, muestras curadas a 23°C (Figura 7)

En este quinto ejemplo se ilustra el límite superior del contenido de yeso de la invención, la mezcla M, de acuerdo con la invención, con 14% de yeso, muestra un mejor

rendimiento en cuanto al desarrollo de la resistencia que la mezcla N comparativa, con 16% en masa de yeso, la cual no se encuentra dentro de la invención. La mezcla M se aproxima mucho al contenido máximo óptimo de sulfato de calcio.

5 Ejemplo 7: Relaves con 1-6% de aglutinante, muestras curadas a 35°C (Figura 2).

En el ejemplo 7 se investigan diferentes fuentes de sulfato. En las mezclas Q y R se utiliza yeso calcinado. El yeso de este ejemplo se deshidrata a 120°C. El objetivo es
10 simular un proceso en un molino de bolas de cemento industrial, en donde, debido al calor en el molino se presenta la deshidratación. Como puede observarse, el yeso calcinado no afecta negativamente las propiedades del relleno. Por el contrario, en comparación con las mezclas O y
15 P, el uso de yeso calcinado en lugar de yeso mejora la resistencia mecánica.