

TRATAMIENTO DE COMPOSICIONES ACUOSAS QUE INCLUYEN FINOS

REFERENCIA CRUZADA A SOLICITUDES RELACIONADAS

Esta solicitud reclama el beneficio de la Solicitud Provisional de Estados Unidos No. 62/452784, presentada el 31 de enero de 2017; Solicitud Provisional de Estados Unidos No. 62/535398, presentada el 21 de julio de 2017; Solicitud Provisional de Estados Unidos No. 62/554220, presentada el 5 de septiembre de 2017; y Solicitud Provisional de Estados Unidos No. 62/583360, presentada el 8 de noviembre de 2017; de las cuales las descripciones completas de cada una se incorporan por este medio como referencia en la presente.

CAMPO DE LA INVENCIÓN

La presente descripción se refiere a deshidratación y consolidación de composiciones acuosas que incluyen finos tales como relaves de mineral de procesamiento.

ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

Varios procesos de extracción y minería producen una corriente de relaves caracterizada como un lodo de materia en partículas en el agua. Con frecuencia estos relaves contienen componentes que son peligrosos y no pueden ser descargados directamente en ríos y arroyos. Una práctica común es almacenar los relaves en estanques, los cuales pueden ser muy grandes o abarcar numerosos sitios. Por ejemplo, recientemente se ha estimado que estanques canadienses de relaves de arenas petrolíferas cubren un área de aproximadamente 200 kilómetros cuadrados. En Estados Unidos, la Agencia de Protección Ambiental ha identificado más de 500 estanques de lodo de ceniza y carbón, principalmente en la región minera de carbón de los Apalaches. En Florida, la minería de fosfato da como resultado en la producción de aproximadamente 100,000 toneladas diarias de arcillas fosfáticas en forma de lodo que también se almacena en estanques. Es muy difícil deshidratar y la industria del fosfato deja aproximadamente el 40% de la tierra minada en áreas de sedimentación de arcilla inestables. Los procesos para minería y extracción de menas de aluminio, cobre, zinc, plomo, oro, plata, etc., también crean corrientes de relaves.

La gestión y sostenibilidad de estanques de relaves plantean problemas significativos y crecientes. Las presas o embalses utilizados para formar los estanques con frecuencia se construyen a partir de material local y son un peligro potencial significativo. La falla de una presa de lodo de carbón en West Virginia causó la inundación de Buffalo Creek, que mató a más de 125 personas. Otras diversas fallas de presas más recientes en estanques de contención de relaves han resultado en daños ambientales significativos, por no decir catastróficos. Por ejemplo, en 2016, la falla de una presa de relaves en la provincia de Henan, China, liberó aproximadamente 2 millones de metros cúbicos de lodo rojo, sumergiendo en su totalidad a un poblado cercano. En 2015, un montón de desechos de la extracción minera de

jade resultó fallido en Myanmar, matando a por lo menos 113 personas.

En la industria de arenas petrolíferas, los finos se definen como partículas que tienen un diámetro igual o menor que 44 μm . Son parte de una corriente de desechos que se sedimenta mucho más lentamente que la arena gruesa, dejando una capa de agua con algunos finos arrastrados cerca de la superficie de los estanques. Esta agua se reutiliza en el proceso de extracción de betún. Inicialmente, la mayor parte de los finos (principalmente partículas de sílice y arcilla) forma una capa intermedia de los llamados relaves de finos fluidos (FFT). Este fluido tiene un bajo contenido de sólidos, entre 15% y 30% y también se conoce como relaves de finos delgados (TFT). Con el paso del tiempo, se produce una sedimentación adicional, pero la carga superficial negativa de las partículas minerales limita la adición y se forma una capa distinta de los llamados relaves de finos maduros (MFT). El contenido de sólidos de MFT es en promedio aproximadamente 30%, aunque varía con la profundidad. Tiene propiedades similares al gel que lo hacen difícil de manejar y deshidratar. Se ha estimado que, bajo la sola acción de gravedad, este componente de relaves podría tardar décadas hasta siglos en consolidarse y sedimentarse y, de esta manera, permitir la recuperación de tierras. Los relaves de la extracción minera de fosfato en Florida forman una estructura igual a un gel similar. Debajo de la corteza superficial, estos relaves tienen aproximadamente un contenido de sólidos del 25% con una consistencia similar a un fluido.

Los llamados estanques de contención se utilizan para almacenar dos tipos de desechos de la manipulación y combustión del carbón. La ceniza de carbón que es un residuo de combustión es uno de esos materiales e incluye varios componentes (cenizas volantes, cenizas de fondo, etc.). La EPA estimó que en 2012 se generaron 100 millones de toneladas de ceniza de carbón en Estados Unidos. Existen métodos de eliminación en seco y las cenizas de carbón también pueden reciclarse como material de construcción, aunque por razones económicas, la eliminación en húmedo de cenizas en estanques de cenizas ha sido una práctica común. La EPA estimó que hay más de 500 unidades, supuestamente estanques de cenizas, en más de 200 centrales eléctricas. Hay preocupaciones ambientales en aumento con respecto a líquido lixiviado de estos estanques.

El segundo tipo de estanque de contención para desechos de procesamiento de carbón almacena material que es un producto de las plantas de preparación de carbón, donde suelo y rocas se eliminan del carbón sin procesar para reducir su contenido de cenizas y aumentar su valor. Esto se logra mediante lavado. Sin embargo, este proceso de limpieza de carbón produce una corriente de rechazo en forma de fango o lodo. Este lodo contiene partículas de carbón muy finas junto con otro material (tal como arcillas) y, al igual que con las corrientes de relaves mencionadas en lo anterior, es muy difícil de deshidratar económicamente utilizando métodos estándar. En la actualidad existen alrededor de 600 de

los llamados estanques de contención de lodos en Estados Unidos donde se almacena este material de desecho, principalmente en la región minera de carbón de los Apalaches. Los estanques de contención pueden tener un tamaño de hasta 20,23 hectáreas (50 acres) y contener miles de millones de litros (galones) de fango tóxico. Este material representa tanto un costo económico en términos de la pérdida de un recurso valioso (en forma de finos de carbón) como un riesgo ambiental importante. El Washington Post (24 de abril de 2013) informó que un estudio realizado por la Office of Surface Mining Reclamation and Enforcement encontró que muchos muros de contención de fangos son débiles y se sabe que se filtran. Históricamente, se han producido una serie de fallas catastróficas en los estanques de cenizas y fangos, que han provocado importantes pérdidas de vidas y devastación ambiental. Con la industria del carbón en declive y las compañías mineras declarándose en bancarrota, los estanques de contención, tanto los que siguen en uso como los que han sido abandonados, son un problema importante y creciente.

La producción de alúmina a partir de bauxita también resulta en la generación de una gran corriente de relaves. Aproximadamente 77 millones de toneladas de un producto de desecho altamente alcalino compuesto principalmente de óxido de hierro y conocido como fango rojo o lodo rojo se generan cada año. Esto plantea un importante problema de eliminación y una falla en presas de relaves que conducen a consecuencias catastróficas, como se describe en lo anterior.

Existe una necesidad continua de manejar y tratar finos acuosos, por ejemplo, relaves, para reducir el volumen de tales relaves y/o para deshidratar y consolidar sólidos en tales relaves y de una manera preferible para recuperación y descontaminación de tierras.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

Las ventajas de la presente descripción incluyen procesos para deshidratar composiciones acuosas que incluyen finos, por ejemplo, relaves, para producir materiales con alto contenido de sólidos.

Estas y otras ventajas se satisfacen, al menos en parte, mediante un proceso de consolidación de sólidos en la composición acuosa. El proceso comprende tratar la composición, la cual incluye finos y agua de proceso, con una sal altamente soluble en agua. De manera ventajosa, el proceso puede incluir tratar la composición con al menos una sal altamente soluble en agua o una solución de la misma y puede incluir opcionalmente uno o ambos de (i) al menos un floculante polimérico o una solución del mismo y/o (ii) partículas opcionalmente gruesas, por ejemplo, arena, para formar una composición tratada. La composición tratada puede incluir un material consolidado en el agua de proceso, el cual después puede separarse de forma ventajosa del material consolidado.

Las implementaciones del proceso de la presente descripción incluyen, por ejemplo, (i)

tratar la composición con al menos una sal altamente soluble en agua para formar una composición tratada que incluye un material consolidado en el agua de proceso, (ii) tratar la composición con al menos una sal altamente soluble en agua y al menos un floculante polimérico para formar una composición tratada que incluye un material consolidado en el agua de proceso, (iii) tratar la composición con al menos una sal altamente soluble en agua y partículas gruesas para formar una composición tratada que incluye un material consolidado en el agua de proceso, y (iv) tratar la composición con al menos una sal altamente soluble en agua, al menos un floculante polimérico y partículas gruesas para formar una composición tratada que incluye un material consolidado en el agua de proceso. Cada una de estas implementaciones puede incluir soluciones acuosas de la sal y/o floculante polimérico para tratar la composición. Cada una de estas implementaciones puede incluir separar el agua de proceso del material consolidado. De manera ventajosa, el material consolidado tiene una densidad mayor que el agua de proceso.

Las modalidades de los procesos incluyen una o más de las siguientes características individualmente o combinadas. Por ejemplo, la composición acuosa que incluye finos puede ser relaves. En algunas modalidades, al menos una sal altamente soluble en agua puede tener una solubilidad en agua (una solubilidad en sal/agua) de al menos aproximadamente 5 g/100 g a 20 °C, por ejemplo, al menos aproximadamente 10 g/100 g a 20 °C. En otras modalidades, al menos una sal altamente soluble en agua es una sal no hidrolizante. En modalidades adicionales, al menos una sal altamente soluble en agua puede tener un catión monovalente y puede incluir una sal de amonio, una sal de fosfato o una sal de sulfato o combinaciones de las mismas.

En ciertas modalidades, la composición tratada puede tener una concentración de sal en la composición de al menos 0,5% en peso de al menos una sal altamente soluble en agua y de preferencia no menos de aproximadamente 1% en peso, tal como al menos aproximadamente 2% en peso e incluso más de aproximadamente 3% en peso, 4% en peso, 5% en peso, etc., de al menos una sal altamente soluble en agua. En algunas modalidades, al menos un floculante polimérico es una poliacrilamida o copolímero de la misma. La composición tratada puede tener una concentración de polímeros en la composición de al menos un floculante polimérico de no menos de aproximadamente 0,001% en peso, por ejemplo, no menos de aproximadamente 0,003% en peso, 0,005% en peso, 0,01% en peso o 0,04% en peso. En otras modalidades, la composición se trata con partículas gruesas, por ejemplo, arena, en una relación de arena a finos de menos de 4:1, por ejemplo, entre aproximadamente 2,5:1,0 a aproximadamente 0,5:1 o entre aproximadamente 2,25:1 y aproximadamente 0,75:1. De manera ventajosa, el floculante polimérico forma flóculos de alta densidad, por ejemplo, que tienen una densidad mayor que el agua de proceso, lo que facilita

la separación y deshidratación de los sólidos consolidados.

En varias modalidades, tratar la composición puede incluir combinar la composición con una solución que incluye al menos una sal altamente soluble en agua y al menos un floculante polimérico. En algunas modalidades, tratar la composición puede incluir combinar una corriente de la composición, por ejemplo, relaves, con una corriente de una solución que incluya al menos una sal altamente soluble en agua y una corriente separada de una solución que incluya al menos un floculante polimérico. Alternativamente, o en combinación, tratar la composición puede incluir combinar una corriente de la composición, por ejemplo, relaves, con una corriente de una solución que incluya al menos una sal altamente soluble en agua y al menos un floculante polimérico. Las partículas gruesas (por ejemplo, arena) también pueden agregarse a la composición o corriente de la misma y/o a cualquiera o todas las corrientes de solución. Ventajosamente, las corrientes pueden mezclarse en línea y/o con la ayuda de un mezclador en línea. En ciertas modalidades, tratar la composición puede llevarse a cabo a una temperatura de no más de 50 °C, por ejemplo, no más de aproximadamente 40° C o aproximadamente 30° C. En otras modalidades, tratar la composición incluye utilizar una solución de una o más sales altamente solubles obtenidas de una fuente natural o existente, tal como agua de mar o un cuerpo de agua hipersalina.

En modalidades adicionales, el agua de proceso puede separarse del material consolidado mediante uno o más de decantación, filtrado, aspiración, drenaje por gravedad, electrofiltración, etc., o combinaciones de los mismos. En varias modalidades, separar el agua de proceso del material consolidado puede incluir deshidratar mecánicamente el material consolidado, por ejemplo, deshidratar mecánicamente el material consolidado mediante un tornillo de deshidratación. Una vez separado, el material consolidado puede transferirse para una deshidratación o eliminación adicional.

Al practicar aspectos de los procesos de la presente descripción y las diversas modalidades de los mismos, el agua de proceso separada puede incluir al menos una sal altamente soluble en agua y el proceso además puede comprender recuperar al menos una porción del agua de proceso separada. En algunas modalidades, el proceso además puede comprender reciclar al menos una porción del agua de proceso separada y recuperada para tratar relaves adicionales. En otras modalidades, el proceso además puede incluir purificar al menos una porción del agua de proceso recuperada.

Aún otro aspecto de la presente descripción incluye recuperar materiales valiosos de la composición acuosa de finos, por ejemplo, relaves. Los materiales valiosos pueden incluir elementos de tierras raras (REE) asociados con sólidos tales como arcillas en relaves de varios tipos de finos acuosos tales como una corriente de relaves. Por lo tanto, al practicar ciertos aspectos de los procesos de la presente descripción y las diversas modalidades de los

5 mismos, las composiciones acuosas además pueden incluir materiales de elementos de tierras raras que pueden ser recuperados al tratar la composición con al menos una sal altamente soluble en agua, por ejemplo, una sal de amonio, tal como sulfato de amonio, para formar una composición tratada que incluye REE en el agua de proceso y/o en los materiales consolidados. En algunas modalidades, el proceso además incluye separar el agua de proceso del material consolidado y recuperar el REE del agua de proceso separada y/o los materiales consolidados.

10 De manera ventajosa, los procesos de la presente descripción pueden consolidar los sólidos de la composición para producir un material consolidado que tiene un contenido de sólidos en exceso de aproximadamente 45% en peso, por ejemplo, un contenido de sólidos de más de aproximadamente 50% y más de aproximadamente 60%, 65%, 70% y 75% en peso.

15 Al practicar ciertos aspectos de los procesos de la presente descripción y las diversas modalidades de los mismos, el material consolidado formado en la composición tratada de acuerdo con ciertas modalidades puede dar como resultado un alto contenido de sólidos después de mezclar y/o deshidratar la composición tratada en un corto período de tiempo. En algunas modalidades, el material consolidado puede tener un contenido de sólidos de más de aproximadamente 50% y al menos aproximadamente 60%, 65%, 70%, 75% y 80% en peso después de mezclar y/o deshidratar.

20 Otro aspecto de la presente descripción incluye una solución acuosa para tratar finos acuosos. La solución acuosa incluye una sal de amonio altamente soluble en agua y un floculante polimérico, por ejemplo, un polímero soluble en agua. Las modalidades incluyen, juntas o individualmente, una solución acuosa de una o más de las sales altamente solubles en agua y que tienen una concentración de no menos de aproximadamente 1% en peso, por ejemplo, al menos aproximadamente 2% en peso, 5% en peso, 10% en peso, 20% en peso, 25 30% en peso e incluso hasta 40% en peso o como una suspensión acuosa de sal. La solución acuosa también puede incluir uno o más del o los floculantes poliméricos y tener una concentración de no menos de aproximadamente 0,005% en peso, por ejemplo, no menos de aproximadamente 0,01% en peso, 0,04% en peso, 0,05% en peso, 0,1% en peso, 0,2% en peso, 0,4% en peso, por ejemplo.

30 Las ventajas adicionales de la presente invención se volverán fácilmente evidentes para aquellos con experiencia en esta técnica a partir de la siguiente descripción detallada, en donde sólo se muestra y describe la modalidad preferida de la invención, simplemente a manera de ilustración del mejor modo contemplado para llevar a cabo la invención. Como se comprenderá, la invención tiene capacidad de otras y diferentes modalidades, y sus diversos 35 detalles tienen capacidad de modificación en varios aspectos obvios, todos sin apartarse de la invención. Por consiguiente, los dibujos y la descripción deben considerarse de naturaleza

ilustrativa y no restrictiva.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Se hace referencia a los dibujos anexos, en donde los elementos que tienen las mismas designaciones de números de referencia representan elementos similares a través de los mismos y en donde:

La Figura 1 ilustra esquemáticamente una modalidad ejemplar de un proceso para consolidar una composición acuosa que incluye finos y agua de proceso.

La Figura 2 muestra fotografías de frascos que contienen lodo de carbón residual tratado de acuerdo con una modalidad de la presente descripción. Las fotografías muestran un lodo de carbón después de agregar una solución iónica (izquierda), luego de centrifugar (en el centro) y después de eliminar la solución sobrenadante (derecha).

La Figura 3 muestra fotografías del lodo de carbón deshidratado de la Figura 2 después de retirarlo del frasco (izquierda) y posteriormente comprimir a mano entre toallas de papel.

La Figura 4 muestra fotografías de frascos que contienen relaves de finos maduros del procesamiento de arenas petrolíferas tratadas con una solución de sal de amonio que incluye un floculante de poliacrilamida a las concentraciones indicadas en la figura.

La Figura 5 muestra fotografías de frascos que contienen relaves de finos maduros tratados con una sal de amonio y un floculante de poliacrilamida e ilustran los efectos de incrementar la concentración de sal y reducir la concentración de polímero bajo las condiciones probadas.

La Figura 6 muestra una fotografía de frascos que contienen relaves de finos maduros de arenas petrolíferas tratadas con agua de mar que incluyeron cantidades variadas de un floculante de poliacrilamida.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

La presente descripción se refiere a tratar composiciones acuosas que incluyen finos para consolidar y deshidratar la composición. Las composiciones acuosas de finos pueden tener la forma de relaves, los cuales se producen típicamente cuando se extraen y procesan menas tales como menas de metales, por ejemplo, aluminio, cobre, zinc, plomo, oro, plata, etc., mena de fosfato, arenas petrolíferas, etc., También pueden producirse composiciones acuosas de finos cuando se procesa carbón. Por ejemplo, ciertos procesos muelen finamente el carbón antes de la combustión para liberar más fácilmente pirita (un compuesto de azufre) y, por lo tanto, reducen las emisiones de azufre tras la combustión del carbón molido. Tales procesos pueden producir partículas finas de carbón, así como otros minerales finos o materia mineral en una composición acuosa que son difíciles de recuperar y reutilizar.

Los sólidos en partículas en las composiciones acuosas de la presente descripción

pueden ser minerales y materiales similares a minerales, es decir, materia mineral, arcillas, limo y en tamaños que van desde finos hasta sólidos gruesos. El término finos como se utiliza en la presente es consistente con el sistema canadiense de clasificación de arenas petrolíferas y significa partículas sólidas con tamaños iguales a o menores que 44 micrones (5 μm). La arena se considera partículas sólidas con tamaños superiores a 44 μm . La composición de los finos depende de la fuente de los materiales, pero generalmente los finos se componen principalmente de limo y material arcilloso y, algunas veces, de minerales o materia mineral, dependiendo de la mena. Los relaves pueden tener varios contenidos de sólidos y varias cantidades de finos como su contenido de sólidos. Los relaves tratados de acuerdo con las modalidades de la presente descripción pueden incluir una cantidad significativa de finos en peso (>5% en peso) como su contenido de sólidos. Tales relaves pueden incluir al menos aproximadamente 10% en peso, 20% en peso, 30% en peso, 40% en peso, 50% en peso, 60% en peso, 70% en peso o más de finos como su contenido de sólidos.

De manera ventajosa, el proceso de la presente descripción puede consolidar los sólidos de composiciones acuosas que incluyen finos, por ejemplo, relaves, para producir un material consolidado que tiene un contenido de sólidos en exceso de aproximadamente 45% en peso, por ejemplo, un contenido de sólidos de más de aproximadamente 70% en peso.

Los términos coagulación y floculación a menudo se utilizan indistintamente en la literatura. Sin embargo, como se utiliza en la presente, coagulación significa adición de partículas provocada por la adición de sales hidrolizantes, mientras que floculación significa adición de partículas inducida al flocular polímeros. Las sales hidrolizantes se someten a hidrólisis cuando se agregan al agua para formar hidróxidos de metal, los cuales se precipitan a partir de la solución, capturando finos y otros minerales en la masa coagulante. Las sales hidrolizantes típicamente tienen baja solubilidad en agua y se utilizan como coagulantes. En contraste, se cree que la adición inducida por floculación es el resultado del enlace del polímero a las partículas, por lo que une las partículas entre sí en un llamado flóculo que causa la adición de las partículas.

Al practicar los aspectos de la presente descripción, una composición acuosa de finos y agua de proceso puede consolidarse al tratar la composición con una o más sales altamente solubles en agua o una solución acuosa de las mismas para desestabilizar y consolidar sólidos en la composición, por ejemplo, para desestabilizar y consolidar finos en la composición. Se cree que la adición inducida por la adición de sales es el resultado de desestabilizar las partículas suspendidas en el fluido por una alteración o un blindaje de la carga eléctrica superficial de las partículas para reducir las fuerzas repulsivas entre partículas que impiden la adición. En ciertas modalidades, la composición es relaves, por ejemplo, una suspensión de sólidos en partículas en un líquido acuoso que incluye finos y agua de proceso,

tales como corrientes de relaves de extracción de metal o un lodo de carbón que incluye finos de carbón y otra materia. El proceso incluye tratar la composición con las sales altamente solubles en agua o una solución acuosa de las mismas para formar una composición tratada que incluye un material consolidado, por ejemplo, finos consolidados, en agua de proceso. El

5 agua de proceso entonces puede ser separada del material consolidado. De manera ventajosa, el material consolidado tiene un contenido de sólidos de al menos 45% en peso, por ejemplo, un contenido de sólidos de más de aproximadamente 50% y más de aproximadamente 60%, 65%, 70% y 75% en peso.

Las sales que son útiles para practicar la presente descripción incluyen sales que son

10 altamente solubles en agua. Una sal altamente soluble en agua como se utiliza en la presente es una que tiene una solubilidad en agua de más de 2 g de sal por 100 g de agua (es decir, una solubilidad en sal/agua de 2 g/100 g) a 20 °C. De preferencia, la sal altamente soluble en agua tiene una solubilidad en agua de al menos aproximadamente 5 g/100 g a 20 °C, por ejemplo, al menos aproximadamente 10 g/100 g de sal/agua a 20 °C.

15 Además, las sales altamente solubles en agua utilizadas en los procesos de la presente descripción son de preferencia no hidrolizantes. Las sales hidrolizantes se someten a hidrólisis cuando se agregan al agua para formar hidróxidos de metal, los cuales se precipitan a partir de la solución. Se cree que tales sales hidrolizantes forman flóculos abiertos con un contenido de sólidos inferior y no pueden reciclarse fácilmente para su uso con relaves

20 adicionales en procesos continuos o semicontinuos. Además, las sales hidrolizantes tienen típicamente una baja solubilidad en agua y se utilizan a temperaturas elevadas para garantizar una solubilidad suficiente para la adición, el cual es un proceso que consume mucha energía. Véase US 4,225,433 el cual describe el uso de cal como agente coagulante a una temperatura de 75 °C.

25 Además, las sales altamente solubles en agua de preferencia no son sales de carboxilato ya que tales sales de ácidos orgánicos tienden a ser más costosas que las sales inorgánicas y pueden ser perjudiciales para la vida vegetal y/o animal.

Las sales altamente solubles en agua que no son hidrolizantes y útiles para practicar los procesos de la presente descripción incluyen sales que tienen un catión monovalente, por

30 ejemplo, sales de haluros alcalinos tales como cloruro de sodio, cloruro de potasio; también sales con cationes monovalentes tales como nitrato de sodio, nitrato de potasio, fosfatos de sodio y potasio, sulfatos de sodio y potasio, etc., son útiles para practicar los procesos de la presente descripción. Otras sales de cationes monovalentes útiles para practicar los procesos de la presente descripción incluyen sales de amonio tales como acetato de amonio

35 ($\text{NH}_4\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$), cloruro de amonio (NH_4Cl), bromuro de amonio (NH_4Br), carbonato de amonio ($(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$), bicarbonato de amonio (NH_4HCO_3), nitrato de amonio (NH_4NO_3), sulfato de

amonio ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), hidrógeno sulfato de amonio (NH_4HSO_4), amonio fosfato de dihidrógeno ($(\text{NH}_4)_2\text{H}_2\text{PO}_4$), hidrógeno fosfato de amonio ($(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$), fosfato de amonio ($(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$), etc. También pueden utilizarse mezclas de tales sales.

Las sales de amonio son útiles para practicar la presente descripción ya que las sales de amonio residuales en el material consolidado después de combinar la sal con los finos acuosos, por ejemplo, los relaves, pueden ser beneficiosas para la vida vegetal. De hecho, muchas de las sales de amonio son útiles como fertilizantes, por ejemplo, cloruro de amonio, nitrato de amonio, sulfato de amonio, etc. Muchas de las sales de sulfato y fosfato monovalentes también son útiles como fertilizantes. En ciertas modalidades de la presente descripción, la sal o sales altamente solubles en agua utilizadas en los procesos de la presente descripción pueden ser de preferencia no tóxicas y beneficiosas para la vida vegetal para ayudar en la remediación ambiental y la restauración de sitios de minas.

En un aspecto de la presente descripción, tratar las composiciones de la presente descripción con una sal altamente soluble en agua desestabiliza y consolida los sólidos en la composición. Tal proceso puede incluir mezclar la composición, que incluye finos y agua de proceso, con una sal altamente soluble en agua para consolidar los finos, y separar el agua de proceso de los finos consolidados para producir un alto contenido de sólidos, por ejemplo, al menos 45% en peso. En ciertas modalidades, la sal altamente soluble en agua es una sal de amonio.

Las sales altamente solubles en agua que pueden utilizarse para practicar el presente proceso también pueden incluir sales que tienen cationes multivalentes. Tales sales incluyen, por ejemplo, sales de cationes divalentes tales como sales de cationes de calcio y magnesio, tales como cloruro de calcio (CaCl_2), bromuro de calcio (CaBr_2), nitrato de calcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), cloruro de magnesio (MgCl_2), bromuro de magnesio (MgBr_2), nitrato de magnesio ($\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$), sulfato de magnesio (MgSO_4); y sales de cationes trivalentes tales como sales de cationes de aluminio y hierro (III), por ejemplo, cloruro de aluminio (AlCl_3), nitrato de aluminio ($\text{Al}(\text{NO}_3)_3$), sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), cloruro de hierro (III) (FeCl_3), nitrato de hierro (III) ($\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$), sulfato de hierro (III) ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, etc. Como se explica en lo anterior, las sales altamente solubles en agua utilizadas en los procesos de la presente descripción son de preferencia no hidrolizantes. Muchas de las sales de cationes multivalentes son hidrolizantes y, de esta manera, son menos preferidas por las razones expuestas en lo anterior. Además, la experimentación con sales multivalentes mostró un aumento de ensuciamiento de recipientes y formación de materiales consolidados menos cohesivos en comparación con las sales altamente solubles en agua que tienen cationes monovalentes. Además, algunas sales multivalentes, tales como FeCl_3 y $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, son particularmente corrosivas y $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ se forma a partir de pirita oxidante y da como resultado la escorrentía de mina ácida, que hace

que tales sales sean menos preferibles para su uso en procesos de la presente descripción.

Cuando se incluye una concentración suficientemente alta de la sal altamente soluble en agua en la composición tratada, la sal puede desestabilizar y consolidar los sólidos en la composición. Para tiempos de proceso relativamente cortos con una entrada de energía relativamente baja, la concentración de sal en la composición de al menos una sal altamente soluble en agua debe ser de preferencia de al menos 0,5% en peso y de preferencia no menos de aproximadamente 1% en peso, tal como al menos aproximadamente 2% en peso e incluso al menos aproximadamente 3% en peso, 4% en peso, 5% en peso, etc. El término "concentración de sal en la composición" como se utiliza en la presente se refiere a la concentración de sal o sales altamente solubles en agua en los finos acuosos tratados, por ejemplo, relaves, y se determina al tomar el porcentaje de la masa de sales altamente solubles en agua dividido por la masa combinada de las sales más los finos acuosos y el agua utilizada para diluir las sales. Por ejemplo, combinar 1 parte de sal sin diluir (es decir, pura) con 99 partes de relaves en peso da como resultado una concentración de sal en la composición de 1% en peso. Alternativamente, tratar los relaves con un peso igual de una solución al 2% en peso de la sal también da como resultado una concentración de sal en la composición de 1% en peso en los relaves tratados.

La sal o sales altamente solubles en agua pueden utilizarse para tratar composiciones de la presente descripción como un sólido, por ejemplo, combinando la sal como un polvo con la composición. Alternativamente, la sal puede utilizarse para tratar como una solución, por ejemplo, combinando una solución salina acuosa con las composiciones. En algunos aspectos de la presente descripción, puede prepararse una solución acuosa de la sal altamente soluble en agua que tiene una concentración de no menos de aproximadamente 1% en peso, por ejemplo, más de aproximadamente 2% en peso, 5% en peso, 10% en peso, 20% en peso, 30% en peso e incluso hasta 40% en peso o como una suspensión acuosa de sal. La composición y la solución salina o suspensión deben mezclarse en una relación suficiente para desestabilizar la composición para causar consolidación de los sólidos en la misma. En un aspecto de la presente descripción, la composición y solución salina se mezclan en una relación de entre 5,0:1,0 y 1,0:5,0, por ejemplo, se mezclan en una relación entre 1,5:1,0 a 1,0:1,5 de la composición a solución salina.

En algunas modalidades de los presentes procesos, puede ser más ventajoso utilizar una fuente natural de una sal o sales altamente solubles, tales como en un cuerpo de agua natural que incluya tales sales en una concentración suficientemente alta, tal como al menos aproximadamente 2% en peso e incluso al menos aproximadamente 3% en peso o más. Por ejemplo, agua de mar u oceánica puede utilizarse como fuente de sales altamente solubles, que pueden mejorar significativamente la economía del proceso bajo ciertas condiciones. La

mayor parte del agua de mar tiene una salinidad de entre 31 g/kg y 38 g/kg, es decir, 3,1-3,8%. En promedio, el agua de mar en los océanos del mundo tiene una salinidad de aproximadamente 3,5% (35 g/L, 599 mM). El agua de mar incluye una mezcla de sales, que contienen no sólo cationes de sodio y aniones de cloro (en total juntas suman

5 aproximadamente 85% de las sales disueltas presentes), sino también aniones de sulfato y cationes de calcio, potasio y magnesio. Hay otros iones presentes (tales como bicarbonato), pero estos son los componentes principales. Otra fuente natural de sales altamente solubles que pueden utilizarse como una fuente de sales altamente solubles incluye un cuerpo de agua hipersalina, por ejemplo, un lago, estanque o reservorio hipersalino. Un cuerpo de agua

10 hipersalina es un cuerpo de agua que tiene una alta concentración de cloruro de sodio y otras sales altamente solubles con niveles de solución salina que superan al agua de mar, por ejemplo, más de 3,8% en peso y típicamente más de aproximadamente 10% en peso. Tales cuerpos de agua hipersalina se encuentran ubicados en la superficie de la tierra y también en el subsuelo, que pueden ser llevados a la superficie como resultado de las operaciones de

15 extracción de menas.

Después de tratar los finos acuosos con al menos una sal altamente soluble en agua, los sólidos en la composición pueden consolidarse, tal como al mezclar seguido de sedimentación por gravedad en un tanque de sedimentación o por centrifugación para incrementar la tasa de formación de un material consolidado en la composición tratada. El

20 material consolidado puede separarse del agua de proceso mediante decantación, filtrado, electrofiltración, filtrado de flujo cruzado, aspiración y/o por deshidratación mecánica, es decir, aplicando una fuerza externa al material consolidado. Una vez separado, el material consolidado puede transferirse para una deshidratación o eliminación adicional.

Aunque las sales altamente solubles en agua pueden desestabilizar y consolidar los

25 sólidos en los finos acuosos, se encontró que el proceso podría mejorarse significativamente al agregar uno o más flocculantes poliméricos. La adición de un flocculante polimérico a la sal altamente soluble en agua redujo significativamente el tiempo de consolidación de finos. Además, los procesos de la presente descripción también pueden incluir tratar los finos acuosos con partículas gruesas, por ejemplo, partículas con tamaños mayores a 44 µm, tales

30 como arena, para incrementar significativamente el contenido de sólidos. La mezcla con arena es apropiada para finos acuosos que tienen sólidos principalmente como finos, ya que las partículas finas pueden quedar en los espacios vacíos entre las partículas gruesas, mejorando la compactación y contenido de sólidos. Se encontró, sin embargo, que para ciertas composiciones tales como lodo de carbón, la adición de arena no era necesaria para lograr un

35 alto contenido de sólidos, ya que había suficientes partículas gruesas presentes en la corriente de finos acuosos para brindar un material de alto contenido de sólidos.

Por lo tanto, las implementaciones del proceso de la presente descripción incluyen, por ejemplo, (i) tratar la composición con al menos una sal altamente soluble en agua para formar una composición tratada que incluye un material consolidado en el agua de proceso, (ii) tratar la composición con al menos una sal altamente soluble en agua y al menos un floculante polimérico para formar una composición tratada que incluye un material consolidado en el agua de proceso, (iii) tratar la composición con al menos una sal altamente soluble en agua y partículas gruesas para formar una composición tratada que incluye un material consolidado en el agua de proceso, y (iv) tratar la composición con al menos una sal altamente soluble en agua, al menos un floculante polimérico y partículas gruesas para formar una composición tratada que incluye un material consolidado en el agua de proceso. Cada una de estas implementaciones puede incluir soluciones acuosas de la sal y/o floculante polimérico para tratar la composición. Cada una de estas implementaciones puede incluir separar el agua de proceso del material consolidado. De manera ventajosa, el material consolidado tiene una densidad mayor que el agua de proceso. El agua de proceso entonces puede separarse fácilmente del material consolidado como, por ejemplo, mediante uno o más de decantación, filtrado, drenaje por gravedad, electrofiltración, filtrado de flujo cruzado, aspiración y otras técnicas de evaporación, etc., y/o mediante uno o más de un dispositivo para deshidratar material consolidado, tal como una centrífuga, centrífuga para decantación, tornillo de deshidratación, hidrociclón, filtro de cinta de vacío, prensa de filtro o dispositivos de presión, etc. Además, el material consolidado separado puede eliminarse o depositarse en una estructura de contención que permita la eliminación del agua liberada del material consolidado.

Los polímeros que son útiles para practicar la presente descripción incluyen polímeros floculantes solubles en agua tales como poliacrilamidas o copolímeros de las mismas tales como una poliacrilamida no iónica, una poliacrilamida aniónica (APAM) tal como un ácido poliacrilamida-co-acrílico y una poliacrilamida catiónica (CPAM) la cual puede contener comonomeros tales como cloruro de acriloxietiltrimetil amonio, cloruro de metacriloxietiltrimetil amonio, cloruro de dimetildialilamonio (DMDAAC), etc. Otros polímeros floculantes solubles en agua útiles para practicar la presente descripción incluyen una poliamina, tal como una poliamina o una forma cuaternizada de la misma, por ejemplo, poliacrilamida-co-dimetilaminoetilacrilato en forma cuaternizada, una polietilenimina, un cloruro de polidialildimetilamonio, una polidicicandiamida o sus copolímeros, también puede utilizarse una poliamida-co-amina, polielectrolitos tales como poliestirenos sulfonados. También pueden utilizarse otros polímeros solubles en agua tales como óxido de polietileno y sus copolímeros. Los floculantes poliméricos pueden sintetizarse en forma de una variedad de pesos moleculares (MW), tipos de carga eléctrica y densidad de carga para adaptarse a requisitos

específicos. De manera ventajosa, el polímero floculante utilizado para practicar los procesos de la presente descripción no incluye el uso de polisacáridos activados o almidones activados, es decir, polisacáridos y almidones que han sido tratados térmicamente, en cantidades suficientes para disminuir la densidad del flóculo para bajar la densidad del agua de proceso de la cual se separan. Tales polisacáridos activados y almidones activados, cuando se utilizan en dosis suficientemente altas, tienden a formar flóculos de baja densidad que se elevan a la superficie de una composición acuosa, lo cual puede impedir la eliminación de sólidos en operaciones a gran escala que involucran un alto contenido de sólidos y también pueden impedir la deshidratación del material consolidado.

La cantidad de polímeros utilizada para tratar finos acuosos debe ser de preferencia suficiente para flocular los sólidos en la composición y cualesquier partículas gruesas agregadas, por ejemplo, arena. La cantidad de polímeros utilizada para tratar una composición acuosa que incluye finos y procesos tales como relaves puede caracterizarse como una concentración basada en el peso total de la composición o como una dosis basada en el porcentaje en peso de los sólidos en la composición.

En algunas modalidades de la presente descripción, la concentración de uno o más floculantes poliméricos en la composición tratada tiene una concentración de polímeros en la composición de no menos de aproximadamente 0,001% en peso, por ejemplo, no menos de aproximadamente 0,003% en peso, 0,005 % en peso o no menos de aproximadamente 0,01% en peso. Para tiempos de procesamiento relativamente cortos, la consolidación de la mezcla de finos/arena puede obtenerse a concentraciones de polímeros en la composición de no menos de aproximadamente 0,04% en peso. El término "concentración de polímeros en la composición", como se utiliza en la presente, se refiere a la concentración de los polímeros floculantes en la composición tratada y se determina al tomar el porcentaje de la masa de los polímeros dividido por la masa combinada de los polímeros más la composición y cualquier parte de agua utilizada para disolver los polímeros. Por ejemplo, combinar 1 parte de polímero sin diluir (es decir, puro) con 9999 partes de relaves en peso da como resultado una concentración de polímeros en la composición de 0,01% en peso. Alternativamente, tratar los relaves con un peso igual de una solución al 0,02% en peso del polímero también da como resultado en una concentración de polímeros en la composición de 0,01% en peso. En ciertas modalidades, los finos acuosos se tratan con al menos un floculante polimérico para producir una concentración de polímeros en la composición de no menos de aproximadamente 0,02% en peso, tal como no menos de aproximadamente 0,03% en peso, 0,04% en peso, 0,05% en peso, e incluso al menos aproximadamente 0,07% en peso, 0,09% en peso, 0,1% en peso, 0,2% en peso, etc. La cantidad de floculante polimérico puede utilizarse en mayores concentraciones. Sin embargo, después de ciertas concentraciones altas, se vuelve difícil

disolver el floculante, la solución se vuelve demasiado viscosa y el proceso es menos económico.

En algunas modalidades de la presente descripción, la concentración de uno o más floculantes poliméricos en la composición tratada, por ejemplo, relaves, tiene dosificación
 5 (peso de los floculantes al peso de los sólidos en la composición, por ejemplo, relaves) de no menos de aproximadamente 0,005% en peso, por ejemplo, no menos de aproximadamente 0,01% en peso y de preferencia no menos de aproximadamente 0,015% en peso, 0,020% en peso, 0,025% en peso, 0,03% en peso, o 0,04% en peso.

La cantidad de floculante polimérico puede reducirse si se incrementa la concentración
 10 de sal en la composición. Aunque la razón de porqué este efecto no es clara, una concentración de polímeros en la composición muy baja de no menos de aproximadamente 0,001% en peso, por ejemplo, no menos de aproximadamente 0,003% en peso, 0,005% en peso, 0,01% en peso, 0,02% en peso, 0,03% en peso, 0,04% en peso, 0,05% en peso, por ejemplo, puede lograr una consolidación razonablemente rápida de sólidos en la composición,
 15 por ejemplo, relaves, si la concentración de sal en la composición se incrementa.

Las partículas gruesas útiles para practicar ciertos procesos de acuerdo con la presente descripción son de preferencia arena y cuando se utilizan para tratar composiciones, la cantidad de tales partículas de preferencia se encuentra en una relación de arena a finos (relación SFR) de menos de 4:1, por ejemplo, entre aproximadamente 2,5:1,0 a
 20 aproximadamente 0,5:1 o entre aproximadamente 2,25:1 a aproximadamente 0,75:1. La relación SFR se calcula al determinar la cantidad de arena agregada a una cantidad estimada de finos sólidos en los finos acuosos en una base en peso. Se cree que el uso de partículas gruesas facilita la compactación de los finos consolidados, lo que incrementa de manera ventajosa el contenido de sólidos e incluso puede formar una estructura trabada de sólidos
 25 consolidados, es decir, una estructura en la que partículas generalmente individuales del sólido consolidado ya no pueden moverse libremente a otras partículas.

Tratar una composición acuosa que incluye finos y agua de proceso, por ejemplo, relaves, con al menos una sal altamente soluble en agua y opcionalmente con uno o ambos de al menos un floculante polimérico y/u opcionalmente arena puede llevarse a cabo de varias
 30 maneras. En ciertas modalidades, tratar la composición incluye combinar y/o mezclar los diversos componentes. Además, al menos una sal puede agregarse directamente a la composición ya sea como un sólido sin diluir en forma de polvo o como una solución; al menos un floculante polimérico puede agregarse directamente a la composición ya sea como un material no diluido o como una solución, y la arena puede agregarse a la composición
 35 directamente o con la sal y/o polímero o soluciones de los mismos. La sal y el polímero pueden combinarse en una sola solución, con o sin arena, y combinarse con la composición.

El orden de combinar la sal, el polímero y la arena en la composición puede brindar resultados equivalentes y la optimización del proceso dependerá del tipo de composición, y la escala y equipamiento utilizados en el proceso.

Sin embargo, tiende a ser más conveniente preparar primero una o más soluciones, incluyendo una o más sales altamente solubles en agua y uno o más floculantes poliméricos, seguido de combinar una o más soluciones con la composición y arena. En ciertas modalidades, puede prepararse una solución acuosa de una o más sales altamente solubles en agua que tengan una concentración de no menos de aproximadamente 0,5% en peso o 1% en peso, por ejemplo, al menos aproximadamente 2% en peso, 3% en peso, 4% en peso, 5% en peso, 6% en peso, 7% en peso, 10% en peso, 20% en peso, 30% en peso e incluso hasta 40% en peso o como una suspensión acuosa de sal para su uso en el tratamiento de la composición. Uno o más floculantes poliméricos también pueden incluirse en la solución acuosa de la sal o sales y pueden tener una concentración de no menos de aproximadamente 0,005% en peso, por ejemplo, no menos de aproximadamente 0,01% en peso, 0,04% en peso, 0,05% en peso, 0,1% en peso, 0,2% en peso, 0,4% en peso, por ejemplo. La solución acuosa de la sal o sales altamente solubles en agua y el o los floculantes poliméricos pueden utilizarse para tratar la composición y pueden combinarse con tales composiciones en una relación entre 5,0:1,0 y 1,0:5,0, por ejemplo, en una proporción entre 1,5:1,0 a 1,0:1,5 de la composición a la solución acuosa. La arena puede combinarse con la composición antes, durante o después de combinar la composición con las soluciones.

Debido a que en el proceso de la presente descripción se utilizan sales altamente solubles en agua y floculantes poliméricos que son de preferencia solubles en agua, la temperatura de los finos acuosos tratados no necesita elevarse por encima de la temperatura ambiente para practicar el proceso. En ciertas modalidades, tratar la composición de acuerdo con las diversas modalidades en la presente puede llevarse a cabo a una temperatura de no más de 50 °C, por ejemplo, no más de aproximadamente 40 °C o aproximadamente 30 °C. En otras modalidades, tales como la consolidación de relaves de espuma de arenas petrolíferas, la corriente de relaves ya puede estar templada o caliente como resultado de un procesamiento previo. Los procesos de la presente descripción pueden aplicarse directamente a estas corrientes de relaves.

Para practicar los aspectos de la presente descripción, las composiciones, por ejemplo, una suspensión de sólidos en partículas en un líquido acuoso que incluyen finos y agua de proceso, pueden consolidarse al tratar tales composiciones con al menos una sal altamente soluble en agua o soluciones acuosas de las mismas y opcionalmente pueden incluir cualquiera o ambos de al menos un floculante polimérico, por ejemplo, un floculante polimérico soluble en agua, o soluciones acuosas del mismo, y/u opcionalmente partículas

gruesas, por ejemplo, arena para formar una composición tratada. Tratar las composiciones, por ejemplo, los relaves, de esta manera puede causar desestabilización y consolidación de los sólidos, por ejemplo, finos y arena, en la composición tratada para formar un material consolidado, el cual puede sedimentarse bajo gravedad de manera relativamente rápida, en el agua de proceso.

Las composiciones tratadas y/o el material consolidado pueden deshidratarse aún más para separar aún más el agua de proceso del material consolidado y, en algunos casos, consolidar aún más los sólidos. En algunas modalidades, el material consolidado formado en las composiciones tratadas puede separarse del agua de proceso mediante uno o más de decantación, filtrado, por ejemplo, electrofiltración, filtrado de flujo cruzado, drenaje por gravedad, aspiración y otras técnicas de evaporación, etc., y/o mediante uno o más de una deshidratación mecánica, es decir, aplicar una fuerza externa al material consolidado, con un dispositivo para deshidratar el material consolidado, tal como al aplicar una centrífuga, centrífuga para decantación, tornillo de deshidratación, hidrociclón, prensa de filtro, dispositivo de presión, etc., o combinaciones de los mismos. En un aspecto de los procesos de la presente descripción, el agua de proceso puede separarse del material consolidado al hacer pasar una corriente de composición tratada a través de un filtro de flujo cruzado, por ejemplo, un tubo poroso o ranurado, que filtra y deshidrata la corriente de composición tratada para separar el agua de proceso del material consolidado. El agua de proceso entonces puede ser separada fácilmente del material consolidado. En otro aspecto de los procesos de la presente descripción, el agua de proceso puede separarse del material consolidado mediante drenaje por gravedad para lograr un contenido de sólidos de al menos aproximadamente 70% dentro de aproximadamente un mes después de tratar los relaves, por ejemplo, en aproximadamente dos semanas o en aproximadamente una semana de drenaje por gravedad después de tratar los relaves. En otro aspecto adicional de los procesos de la presente descripción, el material consolidado además puede deshidratarse después de separarse de la composición tratada al depositar el material consolidado separado en una deposición delgada por elevación.

El material consolidado formado en las composiciones tratadas puede tener ventajosamente un alto contenido de sólidos, por ejemplo, un contenido de sólidos de más de aproximadamente 50% y al menos aproximadamente 60%, 65%, 70% y 75% en peso. Además, el material consolidado formado en las composiciones tratadas de acuerdo con ciertas modalidades puede dar como resultado un alto contenido de sólidos después de mezclar y/o deshidratar las composiciones tratadas en un corto período. En modalidades de la presente descripción, el material consolidado puede tener un contenido de sólidos de más de aproximadamente 50% y al menos aproximadamente 60%, 65%, 70%, 75% y 80% en peso después de mezclar y/o deshidratar. En ciertas modalidades, se logra un contenido de sólidos

de al menos aproximadamente 70% en aproximadamente un mes de drenaje por gravedad después de tratar la composición, por ejemplo, en aproximadamente dos semanas o en aproximadamente una semana de drenaje por gravedad después de tratar la composición.

En una modalidad de la presente descripción, el proceso incluye mezclar la
 5 composición con una sal altamente soluble en agua, por ejemplo, una sal de amonio, un polímero soluble en agua, por ejemplo, una poliacrilamida, y opcionalmente arena, tal como en una relación de arena a finos de aproximadamente 2,25:1 a aproximadamente 0,75:1 para formar una composición tratada que incluye un material consolidado que tiene un alto contenido de sólidos, por ejemplo, un contenido de sólidos de más de aproximadamente 50%
 10 en peso, por ejemplo, al menos aproximadamente 60%, 65%, 70% en peso o más en menos de 10 minutos, dependiendo del método de deshidratación utilizado.

Otra ventaja de los procesos de la presente descripción es la recuperación de materiales a partir de relaves que incluyen elementos de tierras raras. Por ejemplo, ciertos relaves pueden incluir minerales valiosos que incluyen elementos de tierras raras. Un
 15 elemento de tierras raras (REE), tal como lo define la IUPAC, es uno de un conjunto de diecisiete elementos químicos en la tabla periódica, específicamente los quince lantánidos, así como el escandio e itrio. El escandio e itrio se consideran elementos de tierras raras porque tienden a presentarse en los mismos depósitos de mineral que los lantánidos y muestran propiedades químicas similares. Muchos de los REE se utilizan en dispositivos electrónicos,
 20 imanes, revestimientos de alto rendimiento. Tales REE incluyen cerio (Ce), disprosio (Dy), erbio (Er), europio (Eu), gadolinio (Gd), holmio (Ho), lantano (La), lutecio (Lu), neodimio (Nd), praseodimio (Pr), prometio (Pm), samario (Sm), escandio (Sc), terbio (Tb), tulio (Tm), iterbio (Yb) e itrio (Y).

Los REE en finos acuosos típicamente se encuentran en forma de un ion u óxido. Por
 25 ejemplo, el circonio puede estar presente como circonio, $ZrSiO_4$, el titanio puede estar presente como los minerales ilmenita, leucoxeno y rutilo. Las cenizas de carbón y los desechos de limpieza de carbón contienen elementos de tierras raras. Las cenizas de carbón de arcilla refractaria tienen concentraciones inusualmente altas de itrio y circonio. Los relaves de arenas petrolíferas también contienen REE.

Los procesos de la presente descripción son útiles para recuperar REE. Se cree que, en algunos relaves, los REEs se absorben en la superficie de las arcillas en los relaves. En otros relaves, los REEs se incluyen predominantemente entre los sólidos de los relaves, pero también pueden estar en el agua de proceso. Los REEs absorbidos pueden intercambiarse con las sales altamente solubles en agua de la presente descripción, por ejemplo, sales de
 35 amonio debido a un intercambio de iones de amonio por los iones de REE. Los REEs de los sólidos de los relaves pueden obtenerse al lixiviar los sólidos con ácido seguido de la

extracción y precipitación o de la descomposición cáustica seguida de lixiviación con ácido.

Otro aspecto de los procesos de la presente descripción incluye consolidar una composición acuosa que incluye finos y agua de proceso, por ejemplo, relaves, que incluyen materiales de REE al tratar la composición con al menos una sal altamente soluble en agua, por ejemplo, una sal de amonio tal como sulfato de amonio, para formar una composición tratada que incluya un material consolidado en agua de proceso que incluya los materiales de REE en el agua de proceso y/o entre los materiales consolidados. En un aspecto de la presente descripción, la composición tratada consolida los finos y también separa los materiales de REE de los sólidos y en el agua de proceso. El agua de proceso puede separarse del material consolidado y los materiales de REE pueden recuperarse del agua de proceso separada. Los materiales de REE pueden recuperarse del agua de proceso por precipitación, por ejemplo, utilizando ácido oxálico o extracción. Otros métodos para recuperar REE del agua de proceso incluyen procesamiento mineral y beneficio físico, extracción profunda de disolventes eutécticos/líquidos iónicos, disolución con ácido, separaciones de fase a alta temperatura, uso de sorbentes selectivos de REE, electroforesis, inyección y extracción de salmuera in situ, trituración reactiva, etc. En otro aspecto de la presente descripción, la composición tratada consolida los finos y los REEs se encuentran entre los materiales consolidados. El agua de proceso entonces puede ser separada del material consolidado. El material consolidado entonces puede lixiviarse con ácido, por ejemplo, ácido nítrico, ácido sulfúrico, etc., seguido de extracción con disolvente y/o resinas de intercambio iónico y precipitarse. Alternativamente, el material consolidado entonces puede tratarse con un reactivo cáustico tal como hidróxido de sodio para descomponer algunos de los materiales para formar hidróxidos de los REEs seguido de lixiviación en ácido, por ejemplo, HCl.

Además, la composición que incluye materiales de REE puede tratarse con al menos un floculante polimérico y opcionalmente arena para formar la composición tratada. La composición tratada puede tener una concentración de sal en la composición de al menos 0,5% en peso de al menos una sal altamente soluble en agua y de preferencia no menos de aproximadamente 1% en peso, tal como al menos aproximadamente 2% en peso e incluso más de aproximadamente 3% en peso, 4% en peso, 5% en peso, etc. al menos una sal altamente soluble en agua.

El proceso de la presente descripción permite el tratamiento a gran escala de finos acuosos en un proceso continuo o semicontinuo con recuperación adicional, reciclando y purificando al menos una porción del agua de proceso en los finos acuosos y opcionalmente recuperando materiales de REE. Cuando no son hidrolizantes, se utilizan sales altamente solubles en agua en los procesos de la presente descripción, el agua de proceso separada de una composición tratada inicial puede incluir ventajosamente una cantidad significativa de una

o más sales altamente solubles en agua inicialmente utilizadas para tratar la composición. En ciertas modalidades, el agua de proceso separada incluye al menos una sal altamente soluble en agua y el proceso incluye recuperar al menos una porción del agua de proceso separada; reciclar al menos una porción del agua de proceso separada y recuperada para tratar finos acuosos adicionales; y/o purificar al menos una porción del agua de proceso recuperada. En otras modalidades, el agua de proceso separada incluye sal de materiales de REE y el proceso además incluye recuperar al menos una porción del agua de proceso separada; reciclar al menos una porción del agua de proceso separada y recuperada para tratar finos acuosos adicionales; recuperar los materiales de REE y/o purificar al menos una porción del agua de proceso recuperada.

La Figura 1 ilustra esquemáticamente un proceso ejemplar continuo o semicontinuo. Como se muestra en la figura, las composiciones acuosas que incluyen finos y agua de proceso se tratan con una o más sales altamente solubles en agua y, opcionalmente, uno o más floculantes poliméricos y opcionalmente partículas gruesas (arena) al combinar una corriente de sal o sales (101a), la cual puede ser una solución acuosa con una corriente de la composición (103a). Para esta modalidad, la composición es una composición de relaves, pero otras composiciones de finos acuosos pueden procesarse de la misma manera. Opcionalmente, la composición también puede tratarse con uno o más floculantes de polímero al combinar una corriente de los floculantes (102a), la cual puede ser como una solución acuosa, con la corriente de composición (103a). Alternativamente, las sales y floculantes pueden combinarse juntos como una solución para tratar los relaves como una corriente de los mismos. Las partículas gruesas (arena) también pueden agregarse a la composición o corriente de la misma y/o a cualquiera o todas las corrientes de solución.

Las corrientes de solución de sales y polímeros pueden obtenerse de los tanques de retención 101 y 102 y las corrientes de finos acuosos y arena pueden obtenerse de los tanques de retención 103 y 105, respectivamente. Alternativamente, los relaves pueden obtenerse de una operación de extracción de arenas petrolíferas.

Para esta modalidad, la corriente de sales (101a) y polímeros (102a) y la corriente de relaves (103a) se llevan al dispositivo de mezclado 107 donde se agrega una corriente de arena (105a) y se mezcla la combinación. El dispositivo de mezclado 107 puede ser un mezclador en línea, un tanque de mezclado, un mezclador de cinta u otro dispositivo de mezclado que pueda mezclar las corrientes 101a, 102a, 103a y 105a. Para esta modalidad, los finos acuosos se combinan con las sales y polímeros como soluciones, seguido de la adición de arena para tratar los finos acuosos. Sin embargo, el orden puede cambiarse, por ejemplo, la arena puede combinarse con los finos acuosos (105b), seguido de la mezcla con las soluciones de sales y polímeros. La arena puede agregarse como una corriente húmeda o

seca. En algunas modalidades, la combinación de las corrientes en una línea puede causar una mezcla suficiente para eliminar la necesidad de un dispositivo de mezclado separado, por ejemplo, mezclado en línea, y las corrientes combinadas pueden llevarse directamente a un dispositivo de deshidratación mecánica para separar el material consolidado del agua de proceso y, en algunos casos, para consolidar aún más los sólidos en el material consolidado.

Como se muestra en la modalidad de la Figura 1, después del mezclador 107, los finos acuosos tratados, que incluyen un material consolidado y agua de proceso, se transfieren al dispositivo de deshidratación 109 para separar el agua de proceso del material consolidado. Tales dispositivos de deshidratación incluyen, por ejemplo, uno o más de un dispositivo de decantación, filtrado, electrofiltración, filtrado de flujo cruzado, drenaje por gravedad o aspiración o una combinación de los mismos y/o mediante uno o más de un dispositivo para deshidratar material consolidado, tal como una centrífuga, centrífuga para decantación, tornillo de deshidratación, hidrociclón, filtro de cinta de vacío, prensa de filtro o dispositivos de presión, etc., o combinaciones de los mismos.

El agua de proceso separada puede recuperarse y recolectarse en el tanque 111 y el material consolidado separado puede recuperarse y recolectarse en el contenedor 113. Para esta modalidad, el agua de proceso recuperada en el tanque 111 incluye el agua de proceso de los finos acuosos, por ejemplo, relaves, diluida con la corriente 101a y, de esta manera, incluye sales residuales de una o más sales altamente solubles en agua y, posiblemente, puede incluir polímeros residuales de uno o más floculantes poliméricos, así como contaminantes de los finos acuosos. Si los finos acuosos incluyen materiales de REE, el agua de proceso recuperada en el tanque 111 y/o el material consolidado en 113 también pueden incluir materiales de REE. También hay sales altamente solubles en agua que son constituyentes de los finos acuosos originales y éstos se vuelven parte del agua de proceso recuperada. El agua de proceso recuperada en el tanque 111 entonces puede transferirse a un sistema de purificación de agua 115 para purificar al menos una porción del agua de proceso recuperada que se transfiere al tanque 117. Sistemas de purificación de agua que pueden utilizarse para modalidades de los procesos de la presente descripción incluyen sistemas de ósmosis inversa, sistemas de destilación al vacío, electrodíálisis, sistemas de filtración, etc. El agua de proceso recuperada no purificada, restante se transfiere al tanque 119 para recuperar el agua de proceso, incluyendo una o más sales altamente solubles en agua y sales altamente solubles en agua que son constituyentes de los finos acuosos originales. Esta agua de proceso recuperada, no purificada restante puede reciclarse nuevamente al proceso de tratamiento. Para esta modalidad, al menos una porción del agua de proceso recuperada no purificada puede reciclarse nuevamente al tanque de retención 101 y la deficiencia en la concentración de sales o polímeros puede corregirse al agregar

adicionalmente sales altamente solubles en agua o floculantes poliméricos de uno o más tanques de reposición, tales como contenedores de reposición 121 y 122.

El proceso de la presente descripción también puede incluir la recuperación de materiales de REE del agua de proceso separada y reciclada o de los sólidos consolidados.

- 5 Los materiales de REE pueden recuperarse del agua de proceso por precipitación, por ejemplo, utilizando ácido oxálico o extracción. Otros métodos para recuperar REE del agua de proceso incluyen procesamiento mineral y beneficio físico, extracción profunda de disolventes eutécticos/líquidos iónicos, disolución con ácido, separaciones de fase a alta temperatura, uso de sorbentes selectivos de REE, electroforesis, inyección y extracción de salmuera in situ, trituración reactiva, etc. El proceso de la presente descripción también puede incluir recuperar
- 10 materiales de REE de los sólidos consolidados por lixiviación en ácido o descomposición cáustica.

- El proceso de la presente descripción puede incluir agregar un disolvente orgánico (por ejemplo, nafta, queroseno o un hidrocarburo de C_{5-8} , tal como pentano, hexano, heptano, benceno, tolueno, etc., o mezclas de los mismos) para diluir el material orgánico incluido con
- 15 los finos acuosos, por ejemplo, relaves tales como hidrocarburos residuales, disolventes orgánicos, aceite, betún. La adición de un disolvente orgánico forma una mezcla orgánica con el material orgánico que puede eliminarse.

- Además, los sólidos consolidados pueden ser recuperados. Los sólidos consolidados recuperados pueden incluir sales residuales altamente solubles en agua del tratamiento de los relaves. Cuando la sal utilizada para tratar los relaves es beneficiosa para la vida vegetal, tal como una sal de amonio o una sal de sulfato o una sal de fosfato, la sal residual puede actuar como un fertilizante con los sólidos consolidados. Los sólidos consolidados recuperados pueden incluir materiales de REE que pueden separarse de los sólidos consolidados como se
- 20 explica en otra parte de la presente.

25 EJEMPLOS

- Los siguientes ejemplos pretenden ilustrar adicionalmente ciertas modalidades preferidas de la invención y no son de naturaleza limitante. Aquellos de experiencia ordinaria en la técnica reconocerán, o podrán determinar, utilizando no más que la experimentación rutinaria, numerosos equivalentes a las sustancias específicas y procedimientos descritos en
- 30 la presente.

Consolidación de Lodos de Ceniza de Carbón

- Una muestra inicial de un lodo de ceniza de carbón se analizó mediante espectroscopia infrarroja para determinar la cantidad de contenido de sólidos. Además, se estimó que la muestra tenía 30% o más de finos de carbón presentes, es decir, una mezcla de
- 35 partículas finas de carbón y partículas finas de minerales. Se colocaron aproximadamente 5 g

del lodo de carbón en un frasco y se añadió un peso igual de una solución iónica acuosa y el lodo diluido se agitó para mezclar los componentes. El líquido iónico estaba compuesto de agua, 10% en peso de sulfato de amonio y 0,1% en peso de poliacrilamida (PAM). La sedimentación comenzó de inmediato, como puede verse en la fotografía de la izquierda en la

5 Figura 2. Luego, el frasco se centrifugó durante 30 segundos a 3000 rpm y las partículas se consolidaron en una masa compacta, como se muestra en la fotografía en el centro de la Figura 2. El líquido sobrenadante parecía estar limpio, sin partículas suspendidas visibles. Tras retirar el líquido, se encontró que los sólidos compactados tenían suficiente fuerza cohesiva para mantener su forma cuando se invirtió el frasco, como puede verse en la

10 fotografía de la derecha en la Figura 2.

El material se retiró del frasco (Figura 3, izquierda) y se secó una porción. El material consolidado tuvo un contenido inicial de sólidos del 54%. Parte del resto se comprimió (a mano) entre toallas de papel (Figura 3, derecha). Este material comprimido tenía un contenido de sólidos del 74%.

15 Variación de Sal y Concentración de Sal para Tratar Relaves de Arenas Petrolíferas

Se llevaron a cabo experimentos adicionales con varias sales altamente solubles en agua y en diferentes concentraciones y con y sin arena para tratar los relaves de arenas petrolíferas. Se preparó una serie de soluciones de sal/polímero. Todas las soluciones de sal/polímero incluyeron 0,1% en peso de poliacrilamida (PAM) pero variaron el tipo y

20 concentración de la sal. Por ejemplo, se preparó una serie de soluciones de cloruro de calcio al 10% en peso, 5% en peso y 2% en peso cada una con 0,1% en peso de PAM y se utilizó para tratar MFT. Se prepararon otras soluciones salinas al 10% en peso, 5% en peso y 2% en peso de sulfato de amonio, cloruro de potasio, etc., cada una con 0,1% en peso de PAM. Un peso igual de una solución particular de sal/polímero se combinó luego con MFT, con o sin

25 arena, en un frasco seguido de un mezclado vigoroso. Luego, los frascos se centrifugaron a 3000 rpm en una centrifugadora de laboratorio LW Scientific durante 30 segundos para formar un material consolidado en forma de lodo. Después de la centrifugación, el líquido sobrenadante se separó del material consolidado mediante una pipeta. El material consolidado se pesó, se secó y se volvió a pesar para determinar el contenido de sólidos del

30 material consolidado. Las diversas sales y sus concentraciones que se utilizaron para tratar MFT y los datos resultantes del contenido de sólidos se resumen en las Tablas 1 y 2 a continuación.

Tabla 1: Contenido de sólidos de MFT tratado con un peso igual de una solución salina/PAM sin la adición de arena y después de centrifugación.

35

	Sal (+ 0,1% en peso de PAM) Sin Arena	10% de Concentración ¹	5% de Concentración ²	2% de Concentración ³
5	Cloruro Férrico (FeCl ₃)	34,9%	--	35,6%
	Sulfato de Aluminio (Al ₂ (SO ₄) ₃)	33,1%	--	34,1%
	Cloruro de Calcio (CaCl ₂)	36,8%	37,1%	35,8%
	Sulfato de Amonio (NH ₄ SO ₄)	33,1%	31,8%	31,4%
10	Cloruro de Potasio (KCl)	35,4%	32,4%	33,5%

Tabla 2: Contenido de sólidos de MFT tratado con un peso igual de una solución salina/PAM con la adición de arena (relación de SFR 1:1) después de centrifugación.

	Sal (+ 0,1% en peso de PAM) Con Arena	10% de Concentración ¹	5% de Concentración ²	2% de Concentración ³
15	Cloruro Férrico (FeCl ₃)	45,7%	--	52,8%
	Sulfato de Aluminio (Al ₂ (SO ₄) ₃)	51,4%	--	53,7%
	Cloruro de Calcio (CaCl ₂)	58%	56,8%	56,1%
20	Sulfato de Amonio (NH ₄ SO ₄)	53,6%	52,3%	53,5%
	Cloruro de Potasio (KCl)	53,4%	52,5%	53,9%

1. La concentración de relaves de sal fue de aproximadamente 5% en peso.
2. La concentración de relaves de sal fue de aproximadamente 2,5% en peso.
3. La concentración de relaves de sal fue de aproximadamente 1% en peso.

La Tabla 1 informa el contenido de sólidos del material consolidado seco después del tratamiento de MFT con las diversas soluciones de sal/polímero sin arena. Después de centrifugación durante sólo 30 segundos, las sales altamente solubles en agua dieron contenido de sólidos para los materiales consolidados en un margen entre aproximadamente 31%-37%. Sin embargo, el uso de sales altamente solubles en agua que tienen un catión multivalente, tal como el aluminio y cationes férricos, parece causar ensuciamiento de las paredes del frasco y dio un material consolidado menos cohesivo en comparación con las sales altamente solubles en agua que tienen un catión monovalente bajo las condiciones probadas. En algunas pruebas que utilizan concentraciones de sal del 10%, el agua clarificada situada en la parte superior de los materiales consolidados se retiró utilizando una pipeta y los sólidos húmedos se comprimieron entre toallas de papel. Se encontró que las sales con

cationes multivalentes, cloruro de aluminio (AlCl_3), cloruro férrico (FeCl_3) y cloruro de calcio (CaCl_2), los cuales dieron depósitos significativos de un material viscoso en las paredes del frasco, eran menos cohesivas que los sólidos comprimidos obtenidos utilizando sales con cationes monovalentes, tales como las sales de amonio NH_4Cl y $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

5 La Tabla 2 informa el contenido de sólidos del material consolidado seco después del tratamiento de MFT con las diversas soluciones de sal/polímero y arena. Se agregó arena con una relación de arena a finos de 1:1 (es decir, se agregaron 1,5 g de arena a 5 g de MFT que tiene 30% de sólidos para dar una relación de 1:1 del peso de arena a la de los sólidos en el MFT). Después de centrifugación durante sólo 30 segundos, las sales altamente solubles en
10 agua dieron un contenido de sólidos para los materiales consolidados en un margen entre aproximadamente 46%-58%, el cual fue significativamente mayor que el margen de contenido de sólidos sin el uso de arena. Aunque el contenido de sólidos de los frascos que contienen arena agregada es el doble de los que no tienen arena, el volumen de lodo centrifugado es aproximadamente el mismo.

15 Los datos en las Tablas 1 y 2 muestran que la adición de solución salina al 2% en peso para tratar MFT fue tan efectiva como una solución salina al 10% en peso. Es decir, una concentración de relaves de sal al 1% en peso fue tan efectiva como una concentración de relaves de sal al 5% en peso. Puesto que se utilizó un peso igual de la solución salina/polímero para tratar MFT, la concentración de sal de la sal agregada en los relaves
20 tratados es la mitad de la concentración en la solución salina/polímero, es decir, la solución salina al 2% en peso agregada proporcionó una concentración de relaves de sal al 1% en peso y la solución salina al 10% en peso proporcionó una concentración de relaves de sal al 5% en peso. La concentración de relaves de sal en MFT tratado puede lograrse de varias maneras. Para facilitar la manipulación en las pruebas de frascos anteriores, fue conveniente
25 combinar pesos iguales de soluciones de sal/polímero con MFT. Sin embargo, cantidades más pequeñas de soluciones de sal/polímero con mayores concentraciones de las mismas para obtener la misma concentración de sales en relaves brindan resultados equivalentes de materiales consolidados.

El centrifugado en frascos de fondo plano no es tan efectivo en términos de producir
30 un material con alto contenido de sólidos como utilizar tubos de centrifugado. Debe tenerse en cuenta que, para todos los conjuntos de pruebas de frascos y tubos de laboratorio, siempre queda solución en los espacios vacíos entre las partículas. Posteriormente se demostrará que el contenido de sólidos del material consolidado puede incrementarse fácilmente desde el intervalo de 46%-58% simplemente al drenar o por el uso de métodos de deshidratación
35 mecánica conocidos en la técnica, tales como prensas de filtro, filtros de banda, filtrado de flujo cruzado, tornillos de deshidratación de arena, centrifugas para decantación,

hidrociclones, etc.

Variación de Concentración de Sal y Concentración de Polímero para Tratar Relaves de Arenas Petrolíferas

Cuando se utilizan juntos sal, polímero y arena, deben utilizarse concentraciones de sales en relaves en exceso de 0,5% en peso y de preferencia no menos de aproximadamente 1% para lograr una consolidación razonablemente rápida de los sólidos en los relaves. Además, aunque se obtiene un grado de consolidación de la mezcla de finos/arena a concentraciones de polímeros en relaves tan bajas como 0,01% en peso para tiempos de procesamiento relativamente cortos, se obtienen resultados superiores a concentraciones de polímeros en relaves de 0,05% y más. Estas preferencias fueron determinadas por un conjunto de experimentos en frascos. El conjunto superior de frascos en la Figura 4 muestra los resultados obtenidos al agregar 5 g de un 2% en peso de solución de sulfato de amonio ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) que contiene PAM a 5 g de MFT. También se agregó arena para obtener una relación de arena a finos de 1:1 (es decir, se agregó 1,5 g de arena). La cantidad de PAM en las soluciones se varió entre 0,1% (en peso) y 0,02% (en peso). El conjunto inferior de frascos muestra lo que se observa cuando se utiliza un 1% en peso de sulfato de amonio. Los frascos se centrifugaron a 3000 rpm durante 30 segundos para acelerar la sedimentación.

Puede verse que para todos los frascos tratados con las soluciones al 1% en peso de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, existe un grado de sedimentación de los finos y arena, pero el líquido sobrenadante contiene una cantidad significativa de partículas suspendidas. Además, visualmente parece que existe un grado de segregación de la arena y los finos. En contraste, los MFT tratados con una solución al 2% en peso de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ que contiene 0,1% en peso de PAM mostró sólidos sedimentados y compactados en contacto con un sobrenadante transparente. A medida que la cantidad de polímero en la solución se reduce del frasco A4 a E4, la claridad del sobrenadante disminuye a medida que más partículas suspendidas permanecen en la fase líquida. Puede lograrse una mayor claridad del líquido sobrenadante en tiempos de centrifugado más largos, pero para tiempos de procesamiento cortos, tratar el MFT para dar como resultado una concentración de sales en relaves de no menos de aproximadamente 0,5% en peso y una concentración de polímeros en relaves de no menos de aproximadamente 0,04 % en peso son preferibles.

El contenido de sólidos de los materiales consolidados en cada uno de los frascos mostrado en la Figura 4 se determinó por secado, es decir, el material consolidado y centrifugado se separó de su líquido sobrenadante, la masa húmeda se pesó, se secó y se pesó nuevamente para determinar el contenido de sólidos. El contenido de sólidos de los materiales consolidados para los conjuntos de frascos se resume en la Tabla 3.

Tabla 3: El contenido de sólidos de MFT tratado con sulfato de amonio centrifugado/PAM que se determina por separación y secado del material consolidado.

		0,1% de PAM % de Sólidos	0,08% de PAM % de Sólidos	0,06% de PAM % de Sólidos	0,04% de PAM % de Sólidos	0,02% de PAM % de Sólidos
5	2% (NH ₄) ₂ SO ₄	60,3%	58,8%	58,1%	52,0%	48,5%
	1% (NH ₄) ₂ SO ₄	54,4%	57,2%	58,1%	56,3%	44,6%

10 Puede verse que para la solución al 2% en peso de (NH₄)₂SO₄ que contiene 0,1% en peso de PAM, se logró un contenido de sólidos de poco más de 60%. Esto sólo disminuyó ligeramente cuando se trató MFT con soluciones que incluyen concentraciones de PAM de 0,08% en peso y 0,06% en peso, pero significativamente con soluciones concentradas de PAM más bajas. Tratar MFT con un peso igual de las soluciones de (NH₄)₂SO₄/polímero dieron como resultado una concentración de sales en relaves de aproximadamente 1% en

15 peso para cada uno de los frascos A4-E4, y para el frasco A4 una concentración de polímeros en relaves de aproximadamente 0,05% en peso de PAM, para el frasco B4 una concentración de polímeros en relaves de aproximadamente 0,04% en peso de PAM, para el frasco C4 una concentración de polímeros en relaves de aproximadamente 0,03% en peso de PAM, para el frasco D4 una concentración de polímeros en relaves de aproximadamente 0,02% en peso de

20 PAM, y para el frasco E4 una concentración de polímeros en relaves de aproximadamente 0,01% de PAM. Para las soluciones al 1% en peso de (NH₄)₂SO₄, el contenido de sólidos fue muy variable, lo que refleja los problemas con la segregación de partículas gruesas y finas en los materiales consolidados en estos experimentos.

Mayor Concentración de Sales Permite Menor Concentración de Polímeros

25 Cuando se utilizan juntos sal, polímero y arena para tratar relaves, se observó que la concentración de polímeros en relaves puede reducirse si se incrementa la concentración de sales en relaves bajo ciertas circunstancias. De esta manera, una concentración de polímeros en relaves muy baja puede lograr una consolidación razonablemente rápida de sólidos en los relaves si se incrementa la concentración de sales en relaves. La Figura 5 ilustra que a

30 medida que incrementa la concentración de sales, se necesita menos floculante polimérico para obtener soluciones de sobrenadante limpias. Para estas pruebas, la concentración de polímeros en relaves incrementa de 0,01% a 0,05% en incrementos de 0,01% de derecha a izquierda, mientras que la concentración de sales en relaves se incrementa de 1% a 2% de arriba a abajo.

35 Variación de Concentración de Polímeros para Tratar Relaves de Arenas Petrolíferas con Agua de Mar

Para estos experimentos, se prepararon soluciones de agua de mar (obtenidas de la costa este de Estados Unidos en el Océano Atlántico) con diversas concentraciones de una poliacrilamida no iónica (disponible en SNF como FA920) entre 0,1% (en peso) y 0,02% (en peso). Se cree que la concentración de sales altamente solubles en el agua de mar es superior a 3% en peso. Las soluciones de agua de mar en polímeros se utilizaron para tratar MFT del procesamiento de arenas petrolíferas. Se utilizó una cantidad igual de solución de agua de mar en polímeros para tratar MFT (aproximadamente 5 g de solución de agua de mar en polímeros hasta aproximadamente 5 g de MFT) en un frasco. Las mezclas tratadas primero se agitaron y luego los frascos se centrifugaron a 3000 rpm durante 30 segundos para acelerar la sedimentación. Los resultados se muestran en la fotografía de la Figura 6. De izquierda a derecha, el agua de mar utilizada para tratar MFT incluía aproximadamente 0,1% en peso, 0,08% en peso, 0,06% en peso, 0,04% en peso y 0,02% en peso del floculante polimérico, respectivamente. Estos experimentos demuestran que puede utilizarse una mezcla de sales altamente solubles obtenidas de un océano en el proceso de la presente descripción.

Sólo la modalidad preferida de la presente invención y los ejemplos de su versatilidad se muestran y describen en la presente descripción. Debe entenderse que la presente invención es capaz de utilizarse en otras diversas combinaciones y entornos y es capaz de cambios o modificaciones dentro del alcance del concepto inventivo como se expresa en la presente. De esta manera, por ejemplo, aquellos de experiencia en la técnica reconocerán, o serán capaces de determinar, utilizando no más que experimentación rutinaria, numerosos equivalentes a las sustancias, procedimientos y disposiciones específicos, descritos en la presente. Tales equivalentes se consideran dentro del alcance de esta invención, y son cubiertos por las siguientes reivindicaciones.