

P-13408

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO
DIRECCIÓN DE NUEVAS CREACIONES

E. S. D.

Re: Expediente No. **NC2017/0003893**

Solicitud de patente a nombre de **EARTH TECHNOLOGIES USA LIMITED**

Yo, CAROLINA DAZA MONTALVO identificada como aparece al pie de mi firma, domiciliada en la Carrera 11 No. 86-53, piso 3, obrando como apoderada de la sociedad **EARTH TECHNOLOGIES USA LIMITED**, domiciliada en California, Estados Unidos de América, solicitante de la patente de la referencia, en respuesta al oficio No. **5988** notificado el 27 de abril de 2017, relacionado con los requerimientos formales de la solicitud, atentamente me permito informar que, con fundamento en la facultad que confiere el artículo 34 de la Decisión 486 al solicitante para modificar la solicitud de patente en cualquier momento del trámite, se realizan las siguientes modificaciones:

1. Poder

De acuerdo con lo requerido, acompaño con este escrito el poder conferido por el solicitante, EARTH TECHNOLOGIES USA LIMITED, el cual me faculta para ratificar las actuaciones surtidas en este expediente y representarlo en el presente trámite.

2. Título

De acuerdo con la objeción realizada, se aclara que se modificó el título con el fin de dar mayor claridad al mismo. De este modo, el título ha sido modificado a: “*PROCESO PARA SEPARAR PARTÍCULAS DE CARBÓN DE PARTÍCULAS DE COMPONENTE FORMADOR DE CENIZA MEDIANTE SEPARACIÓN POR FLOTACIÓN*”.

3. Reivindicaciones

En relación con las objeciones sobre la falta de claridad de las reivindicaciones, presento junto con este memorial un nuevo capítulo reivindicatorio, el cual consta de treinta y seis

(36) reivindicaciones, y que reemplaza completamente el presentado anteriormente. Específicamente, se efectuaron las siguientes modificaciones:

- 3.1 El nuevo capítulo reivindicatorio no incluye la antigua reivindicación 31.
- 3.2 Se eliminó la expresión que hacía referencia a un uso en la antigua reivindicación 5.
- 3.3 Se definieron o eliminaron algunos de los términos considerados como generales.
- 3.4 Se modificaron o eliminaron algunos de los términos considerados como relativos y/o imprecisos.
- 3.5 Se modificaron las antiguas reivindicaciones 1, 11 y 27.

En cuanto a estas modificaciones, me permito decir que las mismas no amplían de ninguna manera la materia objeto de la presente solicitud y se realizaron con el ánimo de superar las objeciones de claridad planteadas por el examinador en su concepto técnico.

En relación con el número de reivindicaciones, atentamente nos permitimos decir que se adjunta tasa por reivindicaciones adicionales, toda vez que el nuevo capítulo reivindicatorio tiene mayor número de reivindicaciones que el inicialmente presentado, específicamente dos (2) reivindicaciones adicionales, y en esencia es el mismo objeto, pero definido con mayor claridad.

4. Claridad del Capítulo Reivindicatorio

Respecto a las objeciones de claridad, el solicitante manifiesta que mediante las modificaciones realizadas en el capítulo reivindicatorio quedan subsanadas la totalidad de las objeciones, de modo tal que las nuevas reivindicaciones proporcionan claridad y concisión a la invención descrita, siguiendo las recomendaciones realizadas por el examinador en su concepto técnico.

- 4.1 Como primera medida, se informa que el nuevo capítulo reivindicatorio no incluye la antigua reivindicación 31. Adicionalmente, se informa que se han incluidas las nuevas reivindicaciones 27 a 29. Las nuevas reivindicaciones 27 y 28 están soportadas en al menos el Ejemplo 3 incluido en el capítulo descriptivo inicialmente presentado. Por su parte, la nueva reivindicación 29 está soportada en los Párrafos [0034], [0035], [0081], [0125], [0126], [0128], [0129] y [0131].
- 4.2 Además, se informa que se eliminó la expresión “*para uso en la celda de flotación de carbón*” en la antigua reivindicación 5, ya que esta hacía referencia a un uso, lo cual no es patentable de acuerdo con nuestra legislación.
- 4.3 En relación con los términos “*cantidad de agua*”, “*suspensión acuosa*”, “*finos de carbón*”, “*partículas discretas*”, “*partículas sólidas*”, “*componentes formadores de ceniza*”, “*un periodo*”

de tiempo”, “procesamiento adicional” y “material poroso” considerados como generales, se informa que:

- Los términos “cantidad de agua” y “procesamiento adicional” no son incluidos en el nuevo capítulo reivindicatorio. Respecto al término “cantidad de agua”, cabe mencionar que la cantidad real de agua dentro de la celda de flotación no es relevante para la invención y puede variar dependiendo del tamaño de la celda de flotación.
- El término “un periodo de tiempo” ha sido definido como “desde 15 segundos a 10 minutos”, en las antiguas reivindicaciones 15 a 17 y 21, tal como se divulga en el Párrafo [0102] de la descripción originalmente presentada.
- El término “material poroso” ha sido definido según lo descrito en el Párrafo [0062] de la descripción originalmente presentada.
- El término “suspensión acuosa” es ampliamente conocido en el estado de la técnica. Una persona versada en la materia conoce que una “suspensión acuosa es un lodo fino o un cemento o, en uso extendido, cualquier mezcla fluida de un sólido pulverizado con un líquido (usualmente agua), usado a menudo como un modo conveniente de manipular sólidos a granel”¹. También, la solicitud es clara cuando menciona que la “suspensión acuosa” es “de finos de carbón que comprenden partículas discretas de carbón y partículas de componentes formadores de ceniza”.

No obstante, las antiguas reivindicaciones 1, 9 a 11, 17 a 19, 23, 25, 26 y 32 han sido modificadas para aclarar las características de la “suspensión acuosa de finos de carbón introducida en las burbujas dentro de la celda de flotación”, según lo descrito en al menos los Párrafos [0035], [0037], [0038], [0061], [0080], [0082] y [0085].

- El término “finos de carbón” se entiende fácilmente por un experto en la técnica, quien sabe que “finos de carbón” se refiere a “carbón cuyas partículas tienen un tamaño inferior a 1 milímetro” tal como se divulga en el Párrafo [0008] de la descripción originalmente presentada. Además, la solicitud es clara cuando menciona que el tamaño de la partícula de los “finos de carbón” es “menor a 750” o “500” o “300 μm ”.
- El término “partículas discretas” también es fácilmente comprendido por un experto en la técnica, quien sabe que “las partículas discretas corresponden a partículas que no cambian de tamaño, forma o masa durante la sedimentación”.
- El término “partículas sólidas” está claramente definido al mencionar, las “partículas sólidas comprenden partículas de carbón y partículas de componentes formadores de ceniza”.
- El término “componentes formadores de ceniza” se entiende fácilmente por un experto en la técnica, que sabe que “componentes formadores de ceniza” se refieren

¹ https://en.wikipedia.org/wiki/Slurry#cite_note-1

a “*partículas como arcilla, caliza y arena*”, como se divulga en el Párrafo [0011] de la descripción originalmente presentada.

4.4 En cuanto a los términos “*grueso*”, “*fino*”, “*alto*”, “*bajo*”, “*pesado*”, “*ligero*”, “*grande*”, “*pequeño*”, “*menor a*”, “*aproximadamente*”, “*por lo menos*” y “*uno o más*” considerados como relativos y/o imprecisos, se informa que:

- Los términos “*grueso*”, “*alto*”, “*bajo*”, “*pesado*”, “*ligero*”, “*grande*” y “*pequeño*” no son incluidos en el capítulo reivindicatorio estudiado.
- Los términos “*aproximadamente*” y “*uno o más*”, no son incluidos en el nuevo capítulo reivindicatorio.
- El término “*menor a*” ha sido reemplazado con un rango específico en las antiguas reivindicaciones 1, 9, 10, 15 a 19, 21, 23, 25, 26, 27 y 32 a 34. Las modificaciones relacionadas con el tamaño de los poros se encuentran soportadas en el Párrafo [0058]. Por su parte, la modificación relacionada con la altura de la espuma de carbón está soportada en el Ejemplo 15, Párrafo [0220] y Tabla 3 de la descripción originalmente presentada.
- El término “*por lo menos*” ha sido reemplazado con un rango en las antiguas reivindicaciones 1, 12, 13, 27 a 30, 33 y 34, de acuerdo con la materia divulgada en el Párrafo [0041] de la descripción originalmente presentada.
- El término “*fino*” hace parte de la expresión “*finos de carbón*”, el cual es fácilmente entendido por una persona versada en el arte, como se mencionó en el ítem 4.3.

4.5 Además, se informa que la antigua reivindicación 27 ha sido modificada para recitar una espuma de carbón “*sin lavar*”. La mencionada modificación está soportada en al menos el Párrafo [0216] que dice: “*el agua de lavado no es necesaria con la tecnología de flotación y el procedimiento descrito en el presente documento para obtener una eficiencia de flotación en exceso de 95%, por ejemplo, menos de 5% en peso de componentes que forman cenizas en el producto de la espuma de carbón sobre una base seca. Si las tasas de agua de lavado a contracorriente habían sido empleadas durante los esfuerzos a escala, probablemente no se ha observado la tendencia de un mayor contenido de sólidos con celdas de flotación de mayor diámetro*”.

Asimismo, las antiguas reivindicaciones 1 y 11 se han modificado para aclarar la característica de recuperación de combustible de la espuma de carbón. La tasa de flotación de la antigua reivindicación 17 se conserva como una característica esencial del procedimiento. En otras palabras, se generan burbujas y se introduce una suspensión acuosa para producir la velocidad de flotación.

4.6 Por otra parte, se informa que las expresiones referentes a características funcionales han sido conservadas. Es así como se le aclara amablemente a este Despacho, que:

- Las reivindicaciones de proceso no pretenden reclamar la “*estructura*” de la invención, sino que reclaman un proceso que puede realizarse en una variedad de estructuras y condiciones diferentes. Es así como la no inclusión de dichas características funcionales en los procesos divulgados dejaría las reivindicaciones con poca o ninguna sustancia patentable; y
- A pesar de que las características funcionales de la invención no contribuyen con la novedad y/o nivel inventivo de la misma, resultan ser indispensables para brindar claridad sobre el funcionamiento de cada uno de los elementos característicos esenciales que conforman la invención reclamada. La presencia de este tipo de características en el pliego reivindicatorio, es aceptada y por tanto respaldada por este mismo Despacho, tal y como se establece en el Instructivo de Exámenes de Solicitudes de Patente de Invención y Modelos de Utilidad, de la siguiente manera:

Características técnicas funcionales:

Las características técnicas funcionales son los elementos que conforman las invenciones, descritos en términos de su uso o su función. No definen la invención, pero explican la relación que hay entre sus diversas características estructurales. Por ejemplo: aparato que tiene, además un “elemento para medir la presión”.

Las reivindicaciones deben incluir características estructurales y funcionales cuando para la persona del oficio normalmente versada en la materia no sea obvio el funcionamiento de los elementos característicos y la relación entre estos.

4.7 Asimismo, su Despacho ha indicado que las antiguas reivindicaciones 1, 17 y 32, que tienen por objeto un método, se encuentran mal definidas ya que, aunque enseñan una secuencia de pasos, no divulgan las condiciones técnicas por medio de las cuales deba llevarse a cabo dicho método. Ante ello, mi mandante manifiesta su completo desacuerdo e indica que la inclusión de condiciones técnicas específicas haría que las reivindicaciones sean muy restringidas, no proporcionando ninguna protección de patente significativa. Es de resaltar que las condiciones del proceso variarán ampliamente dependiendo de la estructura de la celda de flotación y de las tasas de procesamiento deseadas.

4.8 También, su Despacho ha objetado algunas expresiones incluidas en las antiguas reivindicaciones 1, 11 y 17 por ser consideradas como resultados a alcanzar, ante

lo cual mi mandante nuevamente manifiesta su desacuerdo e indica que dichas expresiones son necesarias para caracterizar la presente invención.

5. Descripción

Se aclara al examinador que se presenta un nuevo capítulo descriptivo en el cual se ha modificado el Párrafo [0059] con el propósito de aclarar que la tasa de flotación es expresada con respecto a “*espuma*” de carbón “*seco*” como toneladas métricas por hora (MTPH) dividido por el área de sección transversal de la columna de flotación (MTPH/m²). Dicha modificación fue efectuada con base en el Párrafo [0018] original.

6. Cesión

Aunque no fue requerida la presentación de la cesión en el oficio que se contesta, se presenta junto a este memorial copia del documento en el cual consta la cesión del derecho de patente de invención de los inventores al solicitante, junto con su respectiva traducción al castellano.

En consecuencia, nos permitimos informar que las nuevas reivindicaciones 1 a 36 se ajustan a las disposiciones del artículo 30 de la Decisión 486/00.

Habiendo atendido cabalmente las objeciones presentadas por ese Despacho en el oficio No. **5988** notificado el 27 de abril de 2017, solicito atentamente sea tomada en cuenta la información aquí presentada y continuar con el trámite de la presente solicitud.

Señor Director,


CAROLINA DAZA MONTALVO
C.C. 66.783.790 de Palmira Valle
TP-141563 CSJ
notificaciones@clarkemodet.com.co

ANEXOS

- Nuevo capítulo descriptivo que contiene:
 - Nueva descripción.
 - Nuevo capítulo reivindicatorio conformado por treinta y seis (36) reivindicaciones.
- Documento de poder conferido por el solicitante, EARTH TECHNOLOGIES USA LIMITED.
- Documento de Cesión del derecho de patente de invención de los inventores al solicitante.
- Comprobante de pago de tasa correspondiente a dos (2) reivindicaciones adicionales.

5 **PROCESO PARA SEPARAR PARTÍCULAS DE CARBÓN DE PARTÍCULAS DE**
COMPONENTE FORMADOR DE CENIZA MEDIANTE SEPARACIÓN POR
FLOTACIÓN

ANTECEDENTE DE LA INVENCION

10 [0001] Esta divulgación se relaciona con sistemas y métodos para la separación por flotación de partículas finas de carbón a partir de partículas de componente que forman ceniza, permitiendo de esta forma la recuperación de las partículas finas de carbón para procesarse en productos de carbón mejorados y comercialmente valiosos.

15

ANTECEDENTES

[0002] Los carbones se clasifican principalmente con base en la estructura de carbono del material (por ejemplo, macerales y carbono fijo contra materia volátil) y valor de BTU como una función del mineral formador de ceniza y el contenido de
20 humedad.

[0003] Antracita es el carbón con la categoría más alta y es usada por la industria del acero como un sustituto de coque a través de procesos tales como inyección de carbón pulverizado en aplicaciones de carbón metalúrgico. Esta es una piedra densa y dura con un realce metálico. Contiene entre 85% y 98% de carbono fijo en
25 peso. El carbón de antracita contiene aproximadamente 14000+ BTU/lb (32+ MJ/Kg).

[0004] Bituminoso es el carbón con la segunda categoría más alta y se usa para generación de energía eléctrica y producción de coque. Es un carbón relativamente duro que es usualmente negro, algunas veces café oscuro. Contiene entre 45% y

85% de carbono fijo en peso. El carbón bituminoso contiene aproximadamente 9000 a 13000 BTU/lb (21 a 30 MJ/Kg).

[0005] Sub-bituminoso es un carbón de clasificación más baja usado principalmente para generación de energía eléctrica. Contiene entre 35% y 45% de carbono fijo en peso. El carbón sub-bituminoso contiene aproximadamente 4000 a 9000 BTU/lb (9 a 21 MJ/Kg).

[0006] Lignita es el carbón con la clasificación más baja usada exclusivamente para generación de energía eléctrica. Contiene entre 15% y 35% de carbono fijo en peso. El carbón lignita produce menos de 4000 BTU/lb (<9 MJ/Kg).

[0007] El carbón metalúrgico a veces es relacionado como carbón de coque debido a que es utilizado en el proceso de crear el coque necesario para la fabricación de hierro y acero. El carbón térmico a menudo es denominado carbón de vapor debido a que es usado para encender plantas de potencia que producen vapor para electricidad y usos industriales.

[0008] El carbón es una de las fuentes de energía más importantes en el mundo. Aproximadamente 1 billón de toneladas se produce en Estados Unidos cada año. El carbón típicamente es triturado. Durante la operación de minería y trituración, se generan desperdicios finos de carbón, también conocidos como polvo de carbón. Además, el carbón típicamente se lava antes de transportarlo para remover el polvo superficial. El carbón fino se define como carbón que tiene menos de 1 milímetro en tamaño, y el carbón ultrafino se define como carbón que tiene menos de 500 micrómetros en tamaño. Los procesos industriales actuales para recuperar partículas de carbón de menos de 1 mm de tamaño son más costosos que otros procesos de carbón. Entre menor es la partícula, mayor es el costo de procesamiento. Además, actualmente no hay procesos comerciales para recuperar y vender partículas menores a 100 micrómetros (0.1 mm). Aproximadamente 200 a 300 millones de toneladas de desperdicio de carbón se producen y se confiscan cada año en los Estados Unidos. Se estima que más de 3 billones de toneladas de

carbón se producen en China cada año, y más de 500 millones de toneladas de carbón fino asociado se incautan cada año.

[0009] En resumen, hay varios grados de carbón con base en el contenido de ceniza, humedad, macerales, carbono fijo, y materia volátil. Sin importar el grado
5 sin embargo, el contenido de energía del carbón está directamente relacionado con su humedad y el contenido de mineral formador de ceniza. Entre menor sea el contenido de humedad y mineral formador de ceniza del carbón, mayor será el contenido de energía y mayor el valor del carbón. Cualquier carbón de cualquier grado se puede mejorar a través de la reducción del contenido de componente
10 formador de ceniza de dicho carbón.

[0010] Aunque el carbón fino tiene la misma composición química del producto de carbón minado de tamaño más grande, este se considera desperdicio debido a que el proceso de recuperación de carbón convencional no está diseñado para manejar partículas pequeñas. El carbón fino de desperdicio se deja sin utilizar debido a que
15 es típicamente muy húmedo para quemar, muy sucio para que valga la pena secar, y muy fino para transportar. Hay billones de toneladas de carbón fino de desperdicio incautado en miles de minas a lo largo del mundo. Se estima que hay más de 10 billones de toneladas en los Estados Unidos y China, y billones de toneladas adicionales en Australia, India, Indonesia, Rusia, Colombia y otros países.

[0011] El carbón fino generalmente contiene tres componentes: (1) partículas de carbón (carbono); (2) partículas componente formador de ceniza, tal como arcilla, caliza, y arena; y (3) agua. Este carbón fino típicamente tiene un contenido de componente formador de ceniza mayor a 30%, en peso (alrededor de 15% en volumen), y un contenido de humedad mayor a 30% en peso. A menudo se incauta
25 como ambientalmente peligroso.

[0012] Un reto particular en la industria del carbón es la quema del carbón con componentes formadores de ceniza típicos. Los componentes son la principal fuente de emisiones más dañinas, tales como SO_x , y reducen el valor de la energía y la

eficiencia de transferencia de calor. Reducir los componentes formadores de ceniza a menos de aproximadamente 5% en peso en el carbón eliminaría aproximadamente 2/3 de las emisiones dañinas. Esta quema de carbón más limpia sería un avance significativo en el sector de la energía.

5 [0013] Aunque las tecnologías de separación, clasificación y secado de carbón fino son conocidas, estas son muy ineficientes y costosas con partículas de menos de 150 micrómetros para ser factibles comercialmente. No se ha desarrollado un proceso eficiente para convertir carbón fino en un producto comercial económico. Dinero significativo adicional se está gastando en el transporte y manejo de la
10 fracción de humedad y la fracción de mineral formador de ceniza del carbón.

[0014] La separación por flotación comercial como un medio para separar las partículas de carbón de las partículas de componente formador de ceniza se ha practicado por décadas. Las partículas de carbón libres de partículas de componente formador de ceniza es esencialmente carbón. En general, una celda
15 de flotación tiene unidades que hacen burbujas en el fondo de la celda. El agua llena tanto como el 90% o más del volumen de la celda de flotación. El agua es aireada con las burbujas formando una región de burbuja de agua. Toda la región de burbuja de agua a menudo se denomina la pulpa de la celda de flotación. Una pequeña cantidad de espumador para ayudar en la formación de burbujas de aire fino se
20 mezcla en el agua para estabilizar el tamaño de la burbuja en la pulpa. Después que se adiciona el espumador, el tamaño y la cantidad de burbujas se determina mediante el método por el cual se hacen las burbujas. Una suspensión del carbón fino se bombea en la región de pulpa de la celda de flotación en algún punto encima de los generadores de burbuja. La separación de las partículas de carbón de las
25 partículas de componente formador de ceniza toma lugar en la pulpa. La región encima de la pulpa donde las burbujas llevan las partículas de carbón se denomina la región de espuma. En el límite entre las regiones de pulpa y espuma, pequeñas burbujas en la superficie del agua se incorporan en burbujas más grandes que

forman una espuma de carbón. La espuma se riega sobre un sistema de recolección que se alimenta por gravedad en una tolva de recolección [Flint 2000].

[0015] El proceso de separación para las partículas de carbón de las partículas de componente formador de ceniza en la separación por flotación se puede describir a

5 continuación. Las partículas de carbón que son predominantemente carbono no oxidado son hidrófobas por naturaleza. Un recolector se puede adicionar a la suspensión para recubrir las partículas de carbón y aumentar la hidrofobia de la superficie de las partículas de carbón. La piel de las burbujas es hidrófoba. Las partículas de carbón se unen a las partículas en crecimiento por medio de atracción

10 hidrófoba. Las burbujas con suficiente flotabilidad elevan las partículas de carbón unidas hacia arriba a través de la pulpa en la celda de flotación al límite entre la pulpa y la región de espuma, después de lo cual las burbujas se integran en burbujas más grandes llamadas espuma de carbón. Las partículas predominantemente de componente formador de ceniza as hidrófilas en naturaleza y no flotan con las

15 burbujas. Por lo tanto, la mayoría de las partículas de componente formador de ceniza permanecen suspendidas en el agua de la pulpa. Las partículas más grandes de componente formador de ceniza y las partículas de carbón que son muy grandes para flotar caen al fondo de la celda de flotación contra la corriente hacia arriba de las burbujas como sedimento. Así, es útil moler o triturar las partículas al tamaño

20 correcto. En la espuma, las partículas de carbón permanecen unidas a las burbujas de espuma más grandes. A medida que más burbujas de carbón unido llegan al límite entre la pulpa y la espuma de carbón, la formación de más espuma produce una fuerza neta hacia arriba que empuja la masa de espuma de carbón hacia arriba y afuera de la columna de flotación. Tres medidas para caracterizar la separación

25 por flotación del carbón fino son eficiencia de flotación, recuperación de combustible, y tasa de flotación.

[0016] La eficiencia de flotación es el porcentaje de peso de las partículas de carbón en la espuma de carbón en una base seca. La espuma de carbón consiste de

burbujas, partículas de carbón sobre las burbujas, y agua de la pulpa que se atrapa con la espuma. La porción de agua de la pulpa contiene partículas de componente formador de ceniza suspendidas y algunas partículas de carbón que están en suspensión. Entre más agua de la pulpa haya incluida en la espuma de carbón, más partículas de componente formador de ceniza se incluirán en el producto de espuma de carbón. En consecuencia, una espuma de carbón más seca tiene una mayor eficiencia de flotación porque tiene menos agua de la pulpa y las partículas de componente formador de ceniza suspendidas en el agua.

[0017] La recuperación de combustible reporta que el carbón flota en la espuma de carbón dividido por la entrada de carbón en la suspensión. Por ejemplo, una recuperación de combustible de 90% indica que 90% de la masa de las partículas de carbón en la suspensión se desborda de la columna de flotación en la espuma de carbón y se recolecta.

[0018] La tasa a la cual el producto de espuma de carbón sale de la celda de flotación se denomina la tasa de flotación y se expresa en términos de toneladas métricas de espuma seca por hora (MTPH) dividido por el área de sección transversal de la columna de flotación (MTPH/m^2). La tasa de flotación máxima que puede salir es la capacidad de carga de la celda de flotación.

[0019] La separación por flotación es un producto de al menos cuatro probabilidades: la probabilidad que una partícula de carbón colisione con una burbuja, la probabilidad que una partícula de carbón se una a una burbuja con la colisión, la probabilidad de desunión de una burbuja debido a turbulencia, y la probabilidad de levitación de partícula a través la espuma a la zona de recolección [Klima 2012]. A medida que el tamaño de la partícula aumenta, las probabilidades de unión, desunión, y levitación disminuyen mientras la probabilidad de colisión aumenta. El resultado neto es que la recuperación de combustible y la tasa de flotación aumentan con la disminución del tamaño de partícula [Tao 2004]. Un beneficio agregado de reducir el tamaño de la partícula de carbón es que entre

menor sea la partícula de carbón, menor componente formador de ceniza arrastrado en la partícula de carbón, aumentando así la eficiencia de flotación.

[0020] La vista general es que la recuperación de combustible disminuye significativamente para los tamaños de partícula menores a 0.05 mm y mayores a 0.5 mm [Yoon 1995 y Jameson 2007]. Se ha demostrado que a medida que los tamaños de burbuja disminuyen, la tasa de flotación aumenta a una tasa rápida [Ahmed 1985, Yoon 1986]. Así, un sistema de flotación ideal tendría tanto tamaños de partículas pequeños (por ejemplo, carbón ultrafino menor a 0.05 mm en diámetro) como tamaños de burbuja pequeños, por ejemplo burbujas lo suficiente flotantes para levantas las partículas de carbón a través de la celda de flotación.

[0021] Como se indicó anteriormente, la teoría sugiere que la recuperación de combustible y la tasa de flotación deben aumentar con partículas más pequeñas y burbujas más pequeñas. Sin embargo, los reportes en literatura y patentes no han demostrado la teoría, por el contrario muestran que la recuperación de combustible aumenta con aumento en el tamaño de partícula [Yoon 1995, Vapur 2010, Peng 2013]. Se han demostrado recuperaciones de combustible hasta 90%, pero con contenidos de ceniza mayores a 10% en peso [Yoon 1995, Vapur 2010, Peng 2013]. En general, la tasa de flotación (y en forma similar la capacidad de carga) se reporta que disminuye con la disminución del tamaño de partícula [Patwardhan 2000].

[0022] En resumen, la industria del carbón ha diseñado su procesos con partículas menores a 1 mm descartadas como desperdicio. Este desperdicio suma de 20% a 30% de toda la producción de carbón. Incluso con avances recientes en algunos procesos de carbón, incluyendo intentos por recuperar carbón fino por medio de procesos de flotación de carbón, la industria del carbón no tiene un proceso efectivo para mejorar y manejar el carbón fino menor a 500 micras (0.5 mm), más específicamente menor a 300 micras (0.3 mm), menor a 150 micras (0.15 mm), menor a 100 micras (0.1 mm), y ciertamente menor a 50 micras (0.05 mm). Estas

cantidades masivas de desperdicio fino son ineficientes y son un problema ambiental y de disposición.

[0023] Sería un avance significativo en el estado del arte suministrar un proceso eficiente para separar partículas finas de carbón de partículas de componente formador de ceniza, eliminando de esta forma un peligro ambiental y creando un producto de carbón comercialmente valioso. Sería un avance adicional suministrar un proceso para separar partículas finas de carbón separadas de partículas de componente formador de ceniza que tienen eficiencia de flotación mejorada y recuperación de combustible mejorada. Sería otro avance suministrar un proceso para separar partículas finas de carbón de partículas de componente formador de ceniza que suministra una tasa de captura mejorada de partículas finas con tamaño promedio menor a 300 micrómetros.

REFERENCIAS DE ANTECEDENTES

[0024] [1] I. M. Flint y M. A. Burstein, "Enciclopedia de Ciencia de Separación", en *Enciclopedia de Ciencia de Separación*, I. D. Wilson, Ed. Elsevier, 2000, pp. 1521-1527.

[0025] [2] M. S. Klima, B. J. Arnold, y P. J. Bethell, Retos en Procesamiento, Deshidratación, y Disposición de Carbón Fino. Englewood, CO: Sociedad para Minería, Metalurgia, y Exploración Inc., 2012.

[0026] [3] D. Tao, "Papel del Tamaño de Burbuja en Flotación de Partículas Gruesas y Finas - Una Revisión", Sep. Sci. Technol., vol. 39, no. 4, pp. 741-760, Enero de 2005.

[0027] [4] R.-H. Yoon, G. T. Adel, y G. H. Luttrell, "Aparato para la separación de partículas hidrófobas e hidrófilas usando flotación de columna de microburbuja junto con un proceso y aparato para la generación de microburbujas", Patente No. US 5,397,001, 1995.

[0028] [5] G. J. Jameson y N. W. A. Lambert, "Proceso de flotación de espuma y aparato", Patente No. US 7,163,105 B2, 2007.

[0029] [6] N. Ahmed y G. J. Jameson, "El efecto del tamaño de burbuja en la tasa de flotación de partículas finas", Int. J. Miner. Process., vol. 14, no. 3, pp. 195-215, Abril 1985.

[0030] [7] R.-H. Yoon y G. H. Luttrell, "El efecto del Tamaño de Burbuja en FLOTACIÓN de Carbón Fino", Coal Prep., vol. 2, no. 3, pp. 179-192, Enero 1986.

[0031] [8] H. Vapur, O. Bayat, y M. Ucurum, "Optimización de flotación de carbon usando parámetros de flotación modificados y recuperación de combustible en una celda Jameson", Energy Convers. Manag. , vol. 51, no. 10, pp. 1891-1897, Octubre 2010.

[0032] [9] F. F. Peng y Y. Xiong, "El Desarrollo y Optimización de Flotación de Columna con Generación de Burbuja Pico-Nano para la Operación de Separación de Carbón Grueso y Ultrafino", 2013.

[0033] [10] A. Patwardhan y R. Honaker, "Desarrollo de un modelo con capacidad de carga para flotación de espuma en columna", Int. J. Miner. Process., vol. 59, no. 4, pp. 275-293, Julio 2000.

BREVE RESUMEN DE LA INVENCION

[0034] Esta divulgación se relaciona con sistemas y métodos para la separación por flotación de partículas finas de carbón de partículas de componente formador de ceniza. Como se usa acá, el carbón fino incluye carbón que tiene un tamaño de partícula menor a aproximadamente 750 micrómetros (μm) o un tamaño de partícula promedio menor a 500 μm en diámetro. El carbón fino puede comprender partículas aglomeradas de carbón y partículas de componentes formadores de ceniza. Así, el carbón fino incluye partículas de carbón y partículas de componentes formadores de ceniza. Las partículas de carbón comprenden carbono (incluyendo el contenido

maceral orgánico del carbón). Las partículas de los componentes formadores de ceniza contribuyen al contenido mineral o inorgánico del carbón.

[0035] Se divulga un proceso para separar las partículas de componente formador de ceniza de las partículas de carbón. En una modalidad no limitante, el proceso incluye el paso de obtener una cantidad de finos de carbón. La cantidad de finos de carbón puede ser seco o húmedo. La cantidad de finos de carbón se mezcla con agua bajo altas condiciones de mezclado de cizallamiento o alta energía para formar una suspensión acuosa de finos de carbón. Las condiciones de mezclado de alto cizallamiento y alta energía sirven para quebrar los aglomerados de partículas pequeñas de fino de carbón en partículas individuales de carbón y componentes formadores de ceniza para aumentar el área superficial total de la partícula sólida y para suspender y dispersar las partículas a lo largo de la suspensión. Así, la suspensión acuosa de finos de carbón es una mezcla de agua, partículas discretas de carbón, y partículas discretas de componente formador de ceniza.

[0036] Ejemplos no limitantes de mezclado de alto cizallamiento incluyen una combinación de un mezclador de pala y un mezclador cortador. El mezclador de pala puede tener una velocidad mayor a 0.5 m/s. El mezclador cortador puede tener una velocidad mayor a 11.5 m/s. Ejemplos no limitantes de mezclado de alta energía incluyen ultra-sonicación. La ultra-sonicación puede operar a una frecuencia entre 10 y 50 Hz. La ultra-sonicación puede también operar en combinación con un mezclador de pala para suministrar dispersión adecuada de los finos de carbón en agua. El mezclador de pala puede tener una velocidad mayor a 0.5 m/s.

[0037] Debido a las condiciones de mezclado de alto cizallamiento o alta energía, el tamaño actual o aparente de los finos de carbón se puede reducir. Aunque los finos de carbón en bruto o sin procesar pueden tener un tamaño de partícula menor a 750 micras (μm) en diámetro, en algunas modalidades, los finos de carbón, incluyendo partículas discretas de carbón y partículas de componente formador de ceniza, en la suspensión acuosa tienen un tamaño de partícula menor a

aproximadamente 500 μm . En algunas modalidades, los finos de carbón, incluyendo partículas discretas de carbón y partículas de componente formador de ceniza, en la suspensión acuosa tiene un tamaño de partícula menor a aproximadamente 300 μm . En otras modalidades, los finos de carbón en la suspensión acuosa tienen un tamaño de partícula menor a aproximadamente 150 μm . En aún otras modalidades, los finos de carbón en la suspensión acuosa tienen un tamaño de partícula menor a aproximadamente 100 μm . En aún otras modalidades, los finos de carbón en la suspensión acuosa tienen un tamaño de partícula menor a aproximadamente 50 μm .

[0038] En una modalidad, la suspensión acuosa de finos de carbón contiene más de 15% en peso de finos de carbón. En otra modalidad, la suspensión acuosa de finos de carbón contiene más de 20% en peso de finos de carbón. En aún otra modalidad, la suspensión acuosa de finos de carbón contiene más de 35% en peso de finos de carbón. En aún otra modalidad, la suspensión acuosa de finos de carbón contiene más de 45% en peso de finos de carbón. En aún otra modalidad, la suspensión acuosa de finos de carbón contiene aproximadamente $40 \pm 15\%$ en peso de finos de carbón.

[0039] Una suspensión acuosa de finos de carbón que tiene contenido de sólidos mayor a 15% en peso es una mejora significativa en comparación con las suspensiones convencionales. Kilma divulga un contenido de sólidos de suspensión típica entre 2.5 y 6.0% en peso, pero menciona algunas celdas con cuotas entre 10 y 15% en peso [Kilma 2012]. Peng divulga suspensiones entre 2 y 10% en peso con 3.5% en peso siendo el óptimo [Peng 2013]. Estas suspensiones se preparan al lavar los finos de carbón a través de una o más pantallas o filtros. La razón por la que las suspensiones del arte previo son tan bajas en contenido de sólido es porque están hechas al lavar los finos a través de filtros con mucha agua de lavado [Kilma 2012]. La suspensión con alto contenido de sólidos de partículas discretas divulgada acá es hecha posible debido al paso de mezclado de alto cizallamiento y alta energía el

cual permite que las partículas discretas fluyan a través del filtro o pantalla vibratoria con el agua existente en la suspensión, eliminando de esta forma la necesidad de dilución significativa causada por el agua de lavado.

[0040] La suspensión acuosa de finos de carbón se introduce en una celda de flotación de carbón. Las burbujas se generan en una cantidad de agua dispuesta en la celda de flotación de carbón. Las burbujas tienen un tamaño de burbuja y cantidad de burbuja seleccionado para capturar y flotar las partículas de carbón de un tamaño particular en la suspensión acuosa separando de esta forma las partículas de carbón de las partículas de componente formador de ceniza mediante separación por flotación.

[0041] Una espuma de carbón se forma en la región superior de la celda de flotación de carbón. En una modalidad, la espuma de carbón comprende por lo menos 15% en peso de partículas sólidas, en donde las partículas sólidas comprenden partículas de carbón y partículas de componente formador de ceniza. En otra modalidad, la espuma de carbón comprende por lo menos 20% en peso de partículas sólidas. En aún otra modalidad, la espuma de carbón comprende por lo menos 25% en peso de partículas sólidas. En aún modalidad, la espuma de carbón comprende por lo menos 30% en peso de partículas sólidas. En una modalidad adicional, la espuma de carbón comprende por lo menos 35% en peso de partículas sólidas. En aún otra modalidad adicional, la espuma de carbón comprende por lo menos 40% en peso de partículas sólidas. En otra modalidad, la espuma de carbón comprende por lo menos 45% en peso de partículas sólidas. En aún otra modalidad, la espuma de carbón comprende por lo menos 50% en peso de partículas sólidas. En contraste con el proceso de separación por flotación divulgado acá, la espuma de carbón típica en los sistemas de flotación de carbón disponibles comercialmente comprende de 10 a 12% en peso de partículas sólidas.

[0042] En una modalidad no limitante, las partículas sólidas recolectadas en la espuma de carbón contienen menos de 8% en peso de partículas de componente

formador de espuma y una correspondiente eficiencia de flotación mayor a 92%. En otra modalidad, las partículas sólidas recolectadas en la espuma de carbón contienen menos de 5% en peso de partículas de componente formador de ceniza y una correspondiente eficiencia de flotación mayor a 95%. En aún otra modalidad, las partículas sólidas recolectadas en la espuma de carbón contienen menos de 3% en peso de partículas de componente formador de ceniza y una correspondiente eficiencia de flotación mayor a 97%.

[0043] Como se usa acá, la espuma de carbón incluye la combinación enriquecida de carbón de partículas finas que se rebosa en la parte superior de la celda de flotación. Típicamente, la espuma de carbón incluye entre 25 y 50% en peso de sólidos, con base en el diámetro de la celda de flotación y la tasa de alimentación de aire. La espuma de carbón comúnmente contiene más de 92% en peso de carbón o contenido de carbono en una base seca. La espuma de carbón a menudo contiene 95% en peso o más de carbón o contenido de carbono en una base seca, es decir, una eficiencia de flotación de 95% o más.

[0044] Un proceso no limitante divulgado para separar partículas de componente formador de ceniza de las partículas de carbón es preferiblemente operado en una forma que mantienen una altura relativamente baja de la espuma de carbón, menos de aproximadamente 18 pulgadas (0.45 m), en contraste a las celdas de flotación de carbón estándar en la industria que operan con una altura de espuma de carbón de 1 a 2 m. En el proceso divulgado, las burbujas se generan dentro de una cantidad de agua en una celda de flotación de carbón. Una suspensión acuosa de finos de carbón que comprende partículas de carbón y partículas de componentes formadores de ceniza se introduce en las burbujas dentro de la celda de flotación de carbón en una forma que permite que las burbujas capturen y floten las partículas de carbón y formen una espuma de carbón. La altura de la espuma de carbón se mantiene a menos de aproximadamente 18 pulgadas (0.45 m).

[0045] La espuma de carbón es recolectada para procesamiento adicional. Dicho procesamiento adicional incluye, sin limitación, deshidratación para formar un coque de filtro, peletización del coque de filtro para formar bolas de carbón, y procesamiento adicional de las bolas de carbón para hacerlos resistentes a la
5 humedad, resistentes al polvo, resistentes a aplastamiento, etc.

[0046] El proceso de separación por flotación divulgado es preferiblemente operado de modo que el volumen de entrada de suspensión acuosa a la celda de flotación balancea el volumen de salida de espuma de carbón de la celda de flotación. De esta forma, la celda de flotación se puede operar bajo condiciones aproximadas a
10 estado estable. Como consecuencia, el contenido de sólidos de la entrada de suspensión acuosa a la celda de flotación aproximadamente balancea el contenido de sólidos de la salida de espuma de carbón. En contraste, los sistemas de flotación de carbón típicos disponibles comercialmente requieren un drenaje de líquido continuo de la celda de flotación debido a que la cantidad de líquido adicionado a la
15 celda supera su capacidad y de esta forma crea la necesidad de drenar alguna de la pulpa con el fin de mantener el balance de volumen en la celda de flotación.

[0047] En una modalidad divulgada, el proceso de separación por flotación incluye el paso de detener la introducción de la suspensión acuosa de finos de carbón en la celda de flotación de carbón pero continuando la generación de burbujas y
20 espuma de carbón por un periodo de tiempo. Este paso de continuar generando burbujas y espuma de carbón a veces se relaciona como periodo de "limpieza". La longitud del periodo de limpieza puede variar dependiendo de la cantidad de partículas de carbón que permanecen en la celda de flotación que necesitan flotarse después que la introducción de la suspensión acuosa de finos de carbón en la celda
25 de flotación se ha detenido. En una modalidad no limitante, el periodo de limpieza varía entre 15 segundos y 10 minutos. Después del periodo de limpieza, la cantidad de agua en la celda de flotación de carbón es drenada. Esta agua drenada o restantes se pueden procesar adicionalmente para separar y recuperar las

partículas sólidas del agua drenada. Las partículas sólidas recuperadas del agua drenada son predominantemente partículas de componente formador de ceniza y una pequeña fracción de partículas de carbón oxidadas.

[0048] En una modalidad divulgada, el proceso de separación por flotación incluye el paso de monitorear el contenido de partículas sólidas en la cantidad de agua dentro de la celda de flotación de carbón. Las partículas sólidas incluyen partículas de componente formador de ceniza y partículas de carbón. Cuando el contenido de partículas sólidas en la cantidad de agua en la celda de flotación de carbón supera un porcentaje de peso predeterminado, entonces la introducción de la suspensión acuosa de finos de carbón en la celda de flotación de carbón se detiene.

[0049] En una modalidad divulgada, la introducción de la suspensión acuosa de finos de carbón en la celda de flotación de carbón se detiene después de un periodo de tiempo predeterminado o después que una cantidad predeterminada de suspensión acuosa de finos de carbón se introduce en la celda de flotación de carbón.

[0050] Como se usa acá, los relaves incluyen una combinación de agua, partículas de componente formador de ceniza, y cualquier partícula de carbón sin flotar drenada de una celda de flotación en la conclusión de un ciclo de operación de celda de flotación de carbón. Típicamente, los relaves incluyen entre 2 y 6% en peso de sólidos. El componente formador de ceniza de los relaves puede alcanzar 90% en peso o más partículas de componente formador de ceniza en una base seca. El restante 10% en peso de sólidos es carbón o residuos de carbón dejados del proceso de flotación.

[0051] El proceso divulgado puede también incluir el paso de reciclar el agua clarificada a partir del cual las partículas sólidas se recuperan para uso de nuevo en la celda de flotación de carbón.

[0052] En una modalidad divulgada, el porcentaje de peso predeterminado de partículas sólidas en la cantidad de agua es 7% en peso. En otra modalidad

divulgada, el porcentaje de peso predeterminado de partículas sólidas en la cantidad de agua es 5% en peso. En aún otra modalidad divulgada, el porcentaje de peso predeterminado de partículas sólidas en la cantidad de agua es 3% en peso. En una modalidad divulgada adicional, el porcentaje de peso predeterminado de partículas sólidas en la cantidad de agua está entre 3% en peso y 6% en peso.

[0053] En un aspecto del proceso divulgado, una ayuda de flotación se adiciona a la suspensión acuosa de finos de carbón. Las ayudas de flotación son conocidas en la técnica de flotación mineral. Algunas ayudas de flotación incluyen espumadores y recolectores. Los espumadores ayudan en la formación de burbujas de aire finas.

Los espumadores son típicamente surfactantes que controlar y reducen el tamaño de la burbuja y suministran capacidad de creación de espuma. Los recolectores aumentan la hidrofobia natural de la superficie de partícula de carbón, aumentando la separabilidad de partículas de carbón hidrófobas y las partículas de componente formador de ceniza hidrófilas. Los recolectores son especialmente utilizados donde la superficie de las partículas de carbón puede estar parcialmente oxidada y tienen “grupos” hidrófilos que contienen oxígeno. Ejemplos no limitantes de dichos grupos que contienen oxígeno incluyen grupos hidroxilo, cetona, ácido carboxílico, y éter. La ayuda de flotación se puede mezclar con la suspensión acuosa de finos de carbón. Se puede utilizar cualquier proceso de mezclado que disperse adecuadamente la ayuda de flotación con el agua y los finos de carbón. El proceso de mezclado debe permitir que los recolectores adecuadamente recubran los finos de carbón.

[0054] En una modalidad no limitante, la ayuda de flotación se mezcla con los finos de carbón bajo condiciones de mezclado de alta energía. Esto es especialmente benéfico para las ayudas de flotación recolectoras debido a que el mezclado de alta energía ayuda a asegurar un recubrimiento uniforme y completo de las partículas de carbón con el recolector para mejorar la hidrobia de las partículas de carbón y mejorar de esta forma la flotación de las partículas de carbón.

[0055] La ayuda de flotación está típicamente presente en una cantidad menor a aproximadamente 0.03% en peso de la cantidad inicial de finos de carbón. Las partículas de carbón difíciles de flotar, las cuales pueden incluir partículas de carbón oxidadas o partículas de carbón que son muy grandes o muy pequeñas para una
5 condición de operación dada, pueden requerir más de 0.03% en peso de ayuda de flotación. En una modalidad no limitante, la ayuda de flotación comprende un recolector. En otra modalidad, la ayuda de flotación comprende un espumador. En aún otra modalidad, la ayuda de flotación comprende una combinación de recolector y espumador. En aún otra modalidad no limitante, la ayuda de flotación es una nano-
10 partícula que selectivamente se fija al carbono.

[0056] El proceso de separación por flotación divulgado está diseñado para funcionar eficientemente con una cantidad mínima de agua. El reciclaje del agua de la cual se recuperan las partículas sólidas para uso de nuevo en la celda de flotación de carbón no sólo reduce el requerimiento de agua, sino que debido a que el agua
15 reciclada ya contiene una ayuda de flotación, reduce la cantidad de ayuda de flotación, tal como un espumador, a adicionarse a la suspensión acuosa de finos de carbón. En una modalidad no limitante, la invención incluye el paso de monitorear y mantener la cantidad de espumador en el agua a una cantidad suficiente para promover la formación deseada de burbujas.

[0057] La celda de flotación de carbón incluye uno o más generadores que generan burbujas dentro de la celda de flotación de carbón. Un inyector de suspensión de carbón se dispone por encima del uno o más generadores de burbujas para introducir la suspensión acuosa de finos de carbón en las burbujas. El inyector de suspensión de carbón preferiblemente comprende una pluralidad de aberturas para
20 permitir que la suspensión acuosa de finos de carbón se introduzca gradualmente y continuamente en las burbujas a una tasa tal que las partículas de carbón se llevan hacia arriba por las burbujas para formar la espuma de carbón.

[0058] En una modalidad no limitante, el generador de burbujas comprende un material poroso. El material poroso típicamente tendrá un tamaño de poro promedio.

En una modalidad no limitante, el tamaño de poro promedio puede estar en el rango de 3 μm a 30 μm . En modalidades más específicas, el tamaño de poro promedio

5 puede ser aproximadamente 3 μm . En otra modalidad, el tamaño de poro promedio puede ser aproximadamente 6 μm . En algunas modalidades, el tamaño de poro promedio está entre 5 y 7 μm . En otra modalidad, el tamaño de poro promedio es

menor a 10 μm . En aún otra modalidad, el tamaño de poro promedio puede ser aproximadamente 15 μm . En otra modalidad, el tamaño de poro promedio es menor

10 a 15 μm . En aún otras modalidades, el tamaño de poro promedio puede ser 30 μm . En algunas modalidades, el tamaño de poro promedio es menor a 30 μm . Los tamaños de poro mayores tienden a crear burbujas más grandes. Las burbujas más grandes son capaces de capturar y flotar partículas más grandes. Los tamaños de

poro menores tienen a generar más burbujas. El generador de burbuja se activa por una fuente de aire. En una modalidad no limitante, el aire puede tener una tasa de

15 flujo alta (pies cúbicos por minuto o CFM) a presión relativamente baja. En operación, es típicamente deseable maximizar el flujo de aire o la formación de burbujas mientras que se minimiza la turbulencia generada por las burbujas lo que puede causar que las burbujas se incorporen. Ejemplos no limitantes de material

poroso que se puede usar en los generadores de burbujas incluyen materiales cerámicos porosos y plásticos hidrófobos.

20 [0059] En una modalidad no limitante, el proceso de separación por flotación es operado en una forma para suministrar una tasa de flotación de espuma de carbón mayor a 1.5 MTPH/ m^2 en una base seca. En el proceso divulgado para separar

partículas de carbón de partículas de componente formador de ceniza, uno o más generadores de burbuja generan las burbujas dentro de una cantidad de agua en la

25 celda de flotación de carbón. Los generadores de burbuja pueden comprender un material poroso que tiene un tamaño de poro promedio menor a 30 μm . Una

suspensión acuosa de finos de carbón que comprende partículas de carbón y partículas de componentes formadores de ceniza se introduce en las burbujas dentro de la celda de flotación de carbón en una forma que hace que las burbujas capturen y floten las partículas de carbón y formen una espuma de carbón. Los finos de carbón en la suspensión acuosa tienen un tamaño de partícula menor a aproximadamente 500 μm . Las burbujas se generan y la suspensión acuosa se introduce en las burbujas de modo que la tasa de flotación de la espuma de carbón es mayor a 1.5 MTPH/ m^2 en una base seca.

[0060] En otra modalidad no limitante, los finos de carbón en la suspensión acuosa tienen un tamaño de partícula menor a aproximadamente 300 μm . En aún otra modalidad no limitante, los finos de carbón en la suspensión acuosa tienen un tamaño de partícula menor a aproximadamente 150 μm . En aún otra modalidad no limitante, los finos de carbón en la suspensión acuosa tienen un tamaño de partícula menor a aproximadamente 100 μm . En una modalidad no limitante adicional, los finos de carbón en la suspensión acuosa tienen un tamaño de partícula menor a aproximadamente 75 μm .

[0061] En otra modalidad no limitante, la suspensión acuosa de finos de carbón contiene más de 25% en peso de finos de carbón. En aún otra modalidad no limitante, la suspensión acuosa de finos de carbón contiene más de 35% en peso de finos de carbón. En aún otra modalidad no limitante, la suspensión acuosa de finos de carbón contiene más de 45% en peso de finos de carbón.

[0062] En otra modalidad no limitante, los generadores de burbuja comprenden un material poroso que tiene un tamaño de poro promedio menor a 15 μm . En aún otra modalidad no limitante, los generadores de burbuja comprenden un material poroso que tiene un tamaño de poro promedio menor a 10 μm . El material poroso comprende un material seleccionado de materiales cerámicos y plásticos hidrófobos.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS VARIAS VISTAS DE LAS FIGURAS

[0063] Con el fin de entender fácilmente la forma en la que las características anteriormente descritas y otras características y ventajas de la invención se obtengan, una descripción más particular de la invención brevemente descrita anteriormente se definirá por referencia a modalidades específicas de la misma que se ilustran en las figuras adjuntas. Entendiendo que estas figuras ilustran únicamente modalidades típicas de la invención no por lo tanto, no se deben considerar como limitantes de su alcance, la invención se describirá y explicará con especificidad adicional y detalles a través del uso de las figuras adjuntas, en las cuales:

[0064] La figura 1 muestra una representación esquemática de una celda de flotación de carbón.

[0065] La figura 2 es un gráfico de porcentaje de recuperación de combustible como función de contenido de ceniza de la espuma de carbón (%) que muestra la alta recuperación de combustible en combinación con el bajo contenido de ceniza de la espuma de carbón.

[0066] La figura 3 es un gráfico de porcentaje de recuperación de combustible como función del volumen de burbujas en la celda de flotación.

[0067] La figura 4 es un gráfico de porcentaje de sedimentación (sedimentos/desbordamiento total) en una base seca como función del volumen de burbujas en la celda de flotación.

[0068] La figura 5 es un gráfico del tamaño de partícula de sedimento promedio como función del diámetro de poro promedio de los generadores de burbuja.

[0069] La figura 6 es un gráfico de la recuperación de combustible como función del contenido de ceniza de los relaves que muestra que el contenido de ceniza de los relaves se puede usar para predecir la recuperación de combustible.

[0070] La figura 7 es un gráfico del tamaño de partícula de espuma de carbón promedio que es flotado como función del diámetro de poro promedio del generador

de burbuja que muestra que las burbujas más grandes pueden flotar partículas más grandes.

[0071] La figura 8 es un gráfico de la capacidad de carga como función del diámetro de partícula de espuma promedio.

5 [0072] La figura 9 es un gráfico de la distribución de tamaño de partícula para la suspensión, espuma de carbón, relaves, y sedimento para flotaciones usando una suspensión sin molido.

[0073] La figura 10 es un gráfico de la distribución de tamaño de partícula para la suspensión, espuma de carbón, y relaves para flotaciones usando una suspensión
10 molida.

[0074] La figura 11 es un gráfico del % en peso del contenido de ceniza de la espuma de carbón y el contenido de sólido de la pulpa como una función del tiempo de adición de la suspensión.

[0075] La figura 12 es un gráfico de contenido de ceniza de la espuma instantánea
15 como función del contenido de sólidos de la pulpa.

[0076] La figura 13 es un gráfico del contenido de sólidos de la espuma de carbón como función del volumen de burbuja en la celda de flotación.

[0077] La figura 14 es un gráfico de contenido de sólidos de la espuma de carbón como función del agua de lavado en contracorriente.

20 [0078] La figura 15 es un gráfico del contenido de sólidos de la espuma de carbón como función del diámetro de celda de flotación.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

[0079] Las presentes modalidades de la presente invención serán mejor entendidas
25 por referencia a las figuras, en donde las partes similares se designan por numerales similares completamente. Se entenderá fácilmente que los componentes de la presente invención, como se describen y se ilustran generalmente en las figuras acá, se pueden disponer y diseñar en una amplia variedad de diferentes

configuraciones. Así, la siguiente descripción más detallada de las modalidades de la invención no pretende limitar el alcance de la invención, como se reivindica, sino que es simplemente representativa de las presentes modalidades de la invención.

[0080] Un aspecto de la invención divulgada se relaciona con la separación y la recuperación de partículas de carbón de partículas de componente formador de ceniza presente en los finos de carbón. En el proceso divulgado, una cantidad de finos de carbón se obtiene que comprende partículas de carbón, partículas de componentes formadores de ceniza, y agua. En una modalidad no limitante, los finos de carbón tienen un tamaño de partícula menor a aproximadamente 750 μm .

En otra modalidad, los finos de carbón tienen un tamaño de partícula menor a aproximadamente 500 μm . En otras modalidades, los finos de carbón tienen un tamaño de partícula menor a aproximadamente 300 μm . En otra modalidad, los finos de carbón tienen un tamaño de partícula menor a aproximadamente 150 μm . En otra modalidad, los finos de carbón tienen un tamaño de partícula menor a aproximadamente 100 μm . En otra modalidad, los finos de carbón tienen un tamaño de partícula menor a aproximadamente 50 μm .

[0081] En el proceso divulgado, los finos de carbón se preparan para separación de las partículas de carbón de las partículas de componentes formadores de ceniza al mezclar la cantidad de finos de carbón con una cantidad de agua bajo condiciones de mezclado de alto cizallamiento o alta energía para formar una suspensión acuosa de finos de carbón. Las condiciones de mezclado de alto cizallamiento o alta energía sirven para quebrar aglomerados de partículas grandes de finos de carbón en partículas individuales de carbón y componentes formadores de ceniza y para suspender y dispersar las partículas a lo largo de la suspensión. Después de las condiciones de mezclado de alto cizallamiento o alta energía, el tamaño de los finos de carbón se puede reducir. Sin atarse a la teoría, este proceso de mezclado de alto cizallamiento o alta energía puede servir para quebrar aglomerados de partículas grandes de partículas de carbón y partículas de componente formador de ceniza en

partículas discretas e individuales y suspenderlas de forma uniforme a lo largo de la suspensión.

[0082] Una suspensión acuosa de partículas de carbón discretas e individuales y partículas de componente formador de ceniza sirve para maximizar la recuperación de combustible y la eficiencia de flotación. Si una suspensión está hecha sin suficiente energía, los aglomerados de partículas de carbón y partículas de componente formador de ceniza permanecen en los finos de carbón. Aunque algunas de estas partículas aglomeradas de carbón y componente formador de ceniza se pueden dispersar en partículas discretas e individuales dentro de la celda de flotación, aglomerados grandes se hunden al fondo de la celda debido a que son muy grandes para flotar y otros aglomerados permanecen en suspensión o se flotan fuera y se recolectan como parte de la espuma de carbón. Las partículas de carbón en los aglomerados que se hunden o permanecen en la suspensión no se recolectan en la espuma de carbón, y así, reducen la recuperación de combustible. Las partículas de componente formador de ceniza en los aglomerados que flotan se incluyen en la espuma y reducen la eficiencia de flotación.

[0083] La suspensión acuosa opcionalmente se puede pasar a través de un triturador, micro-molino o molino, y luego una tolva para asegurar que cualquier partícula grande se remueva de la suspensión acuosa que podría potencialmente taponar los tubos hacia abajo y los puertos de inyección de suspensión de carbón.

[0084] Hay distintos beneficios para realizar el proceso de separación por flotación divulgado con finos de carbón de tamaño más pequeño. Por ejemplo, quebrar los aglomerados de partículas grandes en partículas de carbón más pequeñas y partículas de componente formador de ceniza permite que más partículas de componente formador de ceniza atrapadas sean removidas. Adicionalmente, las partículas de carbón más pequeñas tienen más área superficial para una masa dada. Más área superficial aumenta la probabilidad que las partículas de carbón se capturen y se floten por las burbujas. Adicionalmente, más área superficial aumenta

la cantidad de carbón que se puede procesar efectivamente para remover los componentes de azufre del carbón.

[0085] Una ventaja importante del proceso de flotación divulgado es la capacidad de usar una suspensión acuosa de sólidos altos de finos de carbón. Esto suministra por lo menos dos ventajas distintas. Primero, una suspensión de sólidos altos significa que se requiere menos agua para procesar los finos de carbón. Segundo, una suspensión de sólidos altos hace más fácil mantener un balance de volumen de suspensión de entrada con la espuma de carbón de salida. En una modalidad, la suspensión acuosa de finos de carbón puede contener más de 15% en peso de finos de carbón. En otra modalidad, la suspensión acuosa de finos de carbón puede contener más de 25% en peso de finos de carbón. En aún otra modalidad, la suspensión acuosa de finos de carbón puede contener más de 35% en peso de finos de carbón. En aún otra modalidad, la suspensión acuosa de finos de carbón puede contener más de $40 \pm 15\%$ en peso de finos de carbón.

[0086] En algunas modalidades, los finos de carbón en la suspensión acuosa, después del mezclado de alto cizallamiento o alta energía, tienen un tamaño de partícula menor a aproximadamente 750 μm . En otra modalidad, los finos de carbón en la suspensión acuosa tienen un tamaño de partícula menor a 500 μm . En otra modalidad, los finos de carbón en la suspensión acuosa tienen un tamaño de partícula menor a 300 μm . En otras modalidades, los finos de carbón en la suspensión acuosa tienen un tamaño de partícula menor a 150 μm . En aún otras modalidades, los finos de carbón en la suspensión acuosa tienen un tamaño de partícula menor a 100 μm . En aún otras modalidades, los finos de carbón en la suspensión acuosa tienen un tamaño de partícula menor a 50 μm .

[0087] El paso de preparación puede opcionalmente comprender mezclar los finos de carbón y agua con una ayuda de flotación. En una modalidad, la ayuda de flotación se mezcla con la suspensión acuosa de finos de carbón en un tanque de compensación antes de introducirse en la celda de flotación. En una modalidad, la

ayuda de flotación comprende un recolector. En otra modalidad, la ayuda de flotación comprende un espumador. En aún otra modalidad, la ayuda de flotación comprende una combinación de recolector y espumador. En casos puede ser deseable combinar más de un espumador y más de un recolector. En aún otra
5 modalidad no limitante, la ayuda de flotación es una nano-partícula que se fija selectivamente al carbono.

[0088] Las ayudas de flotación son conocidas en la técnica de flotación mineral. Por ejemplo, los espumadores ayudan en la formación de burbujas de aire finas. Los espumadores típicamente son surfactantes que controlan y reducen el tamaño de
10 burbuja y suministran capacidad de creación de espuma. Ejemplos no limitantes de espumadores comunes incluyen alcoholes alifáticos y poliglicoles, incluyendo propilenglicoles y propilenglicol alquil éteres que tienen un rango de grupos alquilo y grupos de óxido de propileno. Los recolectores aumentan la hidrofobia natural de la superficie de partícula de carbón, aumentando de esta forma la separabilidad de
15 partículas de carbón hidrófobas y las partículas de componente formador de ceniza hidrófilas. Los recolectores son especialmente útiles donde la superficie de las partículas de carbón se puede oxidar parcialmente y tiene grupos funcionales hidrófilos. Ejemplos no limitantes de recolectores comunes incluyen hidrocarburos líquidos tal como querosene, diésel, aceite de linaza, aceite de nuez, etc.

[0089] La ayuda de flotación puede estar presente en una cantidad menor a
20 aproximadamente 0.5% en peso, de la cantidad inicial de finos de carbón. En otra modalidad, la ayuda de flotación puede estar presente en una cantidad menor a aproximadamente 0.1% en peso, de la cantidad inicial de finos de carbón. En otra modalidad, la ayuda de flotación puede estar presente en una cantidad menor a
25 aproximadamente 0.01% en peso, de la cantidad inicial de finos de carbón.

[0090] En el proceso divulgado, las partículas de carbón se separan de las partículas de componentes formadores de ceniza usando separación por flotación. Así, la suspensión acuosa de finos de carbón se introduce en una celda de flotación de

carbón en múltiples puntos y a una tasa y concentración para acomodar la captura efectiva por las burbujas.

[0091] Las burbujas se generan en una cantidad de agua dispuesta en la celda de flotación de carbón. Las burbujas tienen un tamaño de burbuja seleccionado para capturar y flotar las partículas de carbón de un tamaño particular separando de esta forma las partículas de carbón de las partículas de componente formador de ceniza mediante separación por flotación. La cantidad de burbuja preferiblemente se maximiza al volumen de agua sin causar unión de burbujas. Se requiere que las burbujas más grandes capturen y floten partículas de carbón más grandes. Se requiere que las burbujas más pequeñas capturen y floten partículas de carbón más pequeñas. Sin atarse a la teoría, se cree que el tamaño de burbuja más pequeño suministra área superficial mejorada para contactarse con las partículas de carbón. Esto se cree que mejora la tasa de flotación de partícula para partículas más pequeñas.

[0092] La figura 1 muestra una representación esquemática no limitante de una celda de flotación de carbón 100. La celda de flotación de carbón incluye uno o más generadores de burbuja 105 que generan burbujas en una zona 110 por encima de los generadores de burbuja 105 dentro de la celda de flotación de carbón 100. En una modalidad no limitante, los generadores de burbuja 105 comprenden un material poroso. El material poroso tendrá un tamaño de poro promedio. En una modalidad no limitante, el tamaño de poro promedio puede estar en el rango de 3 μm a 30 μm . En modalidades más específicas, el tamaño de poro promedio puede ser aproximadamente 3 μm . En otra modalidad, el tamaño de poro promedio puede ser aproximadamente 6 μm . En aún otra modalidad, el tamaño de poro promedio puede ser aproximadamente 15 μm . En aún otras modalidades, el tamaño de poro promedio puede ser 30 μm . En algunas modalidades, el tamaño de poro promedio está entre 5 y 7 μm . En otra modalidad, el tamaño de poro promedio es menor a 10 μm . En otra modalidad, el tamaño de poro promedio es menor a 15 μm . En otras

modalidades, el tamaño de poro promedio es menor a 30 μm . Los tamaños de poro mayores tienen a crear burbujas más grandes. Las burbujas más grandes son capaces de flotar partículas más grandes. Los tamaños de poro menores tienen a generar más burbujas. Ejemplos no limitantes de materiales porosos que se pueden utilizar en los generadores de burbuja incluyen materiales cerámicos porosos y plásticos hidrófobos.

[0093] En una modalidad no limitante, los generadores de burbuja se fabrican de un material microporoso o cerámico con aproximadamente 45% de porosidad. Los generadores de burbuja pueden tomar cualquier forma adecuada siempre y cuando se pueda forzar aire a través de ellos. Una forma presentemente preferida es un cilindro de 1 pulgada (25.4 mm) de cilindro externo por 3 pulgadas (76.2 mm) de alto. Las paredes laterales del cilindro son 3/16 pulgadas (4.8 mm) de grueso. Un extremo del cilindro está tapado. El otro extremo está sumergido en un colector común 117.

[0094] Los generadores de burbujas se activan por una fuente de aire 115 a través de un colector 117. En una modalidad no limitante, la fuente de aire 115 puede tener una tasa de flujo alta a presión relativamente baja. En una modalidad, la presión es menor a 10 psi (libras por pulgada cuadrada) y preferiblemente 6 y 7 psi. En una modalidad, la tasa de flujo está entre 200 y 500 CFM (pies cúbicos por minuto). En operación, es típicamente deseable maximizar el flujo de aire o la formación de burbuja mientras se minimiza la turbulencia generada por las burbujas. La turbulencia de la mezcla de agua-burbuja puede incluir en la eficiencia de flotación de carbón. Sin atarse a la teoría, se cree que la alta turbulencia causa que las burbujas se unan y formen burbujas de mayor tamaño. Las burbujas de mayor tamaño tienen área superficial relativa más pequeña con la cual se contacta y se flotan las partículas de carbón. Presentemente se cree que las burbujas de tamaños más grandes disminuyen la eficiencia de flotación de carbón. Presentemente se cree que la formación de burbuja debe producir fusión de burbujas mínima, incluso

en zonas turbulentas, hasta después de la captura de partícula. Luego, el flujo de burbuja es preferiblemente laminar para evitar la pérdida de partícula de la burbuja.

[0095] Se utilizaron cuatro diferentes celdas de flotación que siguen el diseño descrito anteriormente: una celda de flotación a escala de laboratorio de 17.5 pulgadas (0.444 m) en diámetro por 6 pies (1.83 m) de alto con 24 generadores de burbujas que tienen un tamaño de poro de 6 μm , una celda de flotación a escala de laboratorio de 17.5 pulgadas (0.444 m) en diámetro por 20 pies (6.1 m) de alto con 24 generadores de burbuja que tienen un tamaño de poro de 6 μm , una celda de flotación a escala piloto de 4 pies (1.22 m) en diámetro por 10 pies (3.05 m) de alto con 40 generadores de burbuja que tienen un tamaño de poro de 6 μm , y una celda de flotación a escala de producción de 8.5 pies (2.59 m) en diámetro por 14 pies (4.27 m) de alto con 200 generadores de burbuja que tienen un tamaño de poro de 6 μm . Se realizaron múltiples flotaciones de finos de carbón en las diferentes celdas de flotación.

[0096] El tamaño de poro del generador de burbuja se varió en las dos celdas de flotación de 17.5 pulgadas (0.444 m) de diámetro. Algunas pruebas de separación por flotación se realizaron usando 24 generadores de burbuja que tienen un tamaño de poro de 3 μm . Algunas pruebas de separación por flotación se realizaron usando 6 generadores de burbuja que tienen un tamaño de poro de 15 μm . Algunas pruebas de separación por flotación se realizaron usando 4 generadores de burbuja que tienen un tamaño de poro de 30 μm .

[0097] Un inyector de suspensión de carbón 120 se dispone encima del uno o más generadores de burbuja 105 para introducir la suspensión acuosa de finos de carbón 125 en las burbujas dentro de la zona de burbuja 110. El inyector de suspensión de carbón 120 preferiblemente comprende una pluralidad de aberturas 130 para permitir que la suspensión acuosa de finos de carbón 125 se introduzca gradualmente y continuamente en las burbujas a una tasa tal que las partículas de carbón se lleven hacia arriba por las burbujas para formar la espuma de carbón 135.

En operación, la zona de burbuja 110 se extiende hacia arriba desde los generadores de burbuja 105 hacia la espuma de carbón 135. Las aberturas del inyector de suspensión de carbón 130 preferiblemente se espacian para distribuir uniformemente la suspensión acuosa de los finos de carbón 125 en la zona de burbuja 110.

[0098] Cuando la suspensión de carbón se adiciona a la celda de flotación, una espuma de carbón 135 se crea y forma en una región superior de la celda de flotación de carbón 100 a medida que el carbón hidrófobo flota sobre la superficie de las burbujas a la parte superior de la celda 100. Pequeñas cantidades de partículas de componente formador de ceniza pueden también estar presentes en la espuma de carbón 135. Esto puede resultar de una pequeña cantidad de partículas de componente formador de ceniza aglomeradas con las partículas de carbón flotadas. Adicionalmente, el agua de la pulpa también se incluye en la espuma. El agua de la pulpa contiene partículas de carbón suspendidas y partículas de componente formador de ceniza. Así, la espuma de carbón incluye partículas sólidas que comprenden partículas de carbón, partículas de componente formador de ceniza, y agua. En una modalidad, la espuma de carbón comprende por lo menos 15% en peso de partículas sólidas. En otra modalidad, la espuma de carbón comprende por lo menos 20% en peso de partículas sólidas. En aún otra modalidad, la espuma de carbón comprende por lo menos 30% en peso de partículas sólidas. En aún otra modalidad, la espuma de carbón comprende por lo menos 40% en peso de partículas sólidas. En una modalidad adicional, la espuma de carbón comprende por lo menos 45% en peso de partículas sólidas.

[0099] En una modalidad no limitante, las partículas sólidas recolectadas en la espuma de carbón contienen menos de 8% en peso de partículas de componente formador de ceniza. En otra modalidad, las partículas sólidas recolectadas en la espuma de carbón contienen menos de 5% en peso de partículas de componente formador de ceniza. En aún otra modalidad, las partículas sólidas recolectadas en

la espuma de carbón contienen menos de 3% en peso de partículas de componente formador de ceniza.

[0100] La espuma de carbón 135 se remueve de la celda por medio del puerto de salida de espuma de carbón 140. La espuma de carbón se puede recolectar en un tanque de compensación adecuado hasta que sea procesada adicionalmente. Dicho procesamiento adicional incluye, sin limitación, deshidratación para formar un coque de filtro, peletización del coque de filtro para formar bolas de carbón, y procesamiento adicional de las bolas de carbón para hacerlas resistentes a la humedad, resistentes al polvo, resistentes a aplastamiento, etc.

[0101] El proceso de separación por flotación divulgado es preferiblemente operado de modo que el volumen de la entrada de suspensión acuosa 125 a la celda de flotación balancea el volumen de salida de espuma de carbón de la celda de flotación por medio del puerto de salida de espuma de carbón 140. De esta forma, la celda flotación 100 se puede operar bajo condiciones aproximadas de estado estable. En contraste, los sistemas de flotación de carbón típicos comercialmente disponibles requieren un drenaje de líquido continuo de la celda de flotación para mantener un nivel de agua estable debido a que la cantidad de líquido adicional a la celda supera su capacidad.

[0102] En una modalidad divulgada, el proceso de separación por flotación incluye el paso de detener la introducción de la suspensión acuosa 125 de finos de carbón en la celda de flotación de carbón pero continuando a generar burbujas y espuma de carbón por un periodo de tiempo. Este paso de continuar a generar burbujas y espuma de carbón a veces se relaciona como un periodo de "limpieza". La longitud del periodo de limpieza puede variar dependiendo de la cantidad de partículas de carbón que permanecen en la celda de flotación que necesita flotarse después que se detiene la introducción de la suspensión acuosa de los finos de carbón en la celda de flotación de carbón. En una modalidad no limitante, el periodo de limpieza está en el rango entre 15 segundos y 10 minutos.

[0103] En una modalidad divulgada, la introducción de la suspensión acuosa 125 de finos de carbón en la celda de flotación de carbón se detiene después de un periodo de tiempo predeterminado o después que una cantidad predeterminada de suspensión acuosa de finos de carbón se introduce en la celda de flotación de carbón.

[0104] En una modalidad divulgada, el proceso de separación por flotación incluye el paso de monitorear el contenido de partículas sólidas en la cantidad de agua dentro de la celda de flotación de carbón 100. Las partículas sólidas incluyen partículas de componente formador de ceniza y partículas de carbón. Uno o más sensores 145 se pueden utilizar para este propósito. Los sensores 145 también pueden ser usados para monitorear otras condiciones de operación del proceso. Los sensores 145 se pueden acoplar a un controlador de proceso adecuado 150 que es operado para controlar las tasas de entrada de flujo, valores de entrada y salida, bombas, sopladores, etc. Cuando el contenido de partículas sólidas en la cantidad de agua en la celda de flotación de carbón 100 supera un porcentaje de peso predeterminado, entonces el proceso de separación por flotación se modifica al detener la introducción de la suspensión acuosa 125 de finos de carbón en la celda de flotación de carbón y continuando a generar burbujas y espuma de carbón por un periodo de tiempo de limpieza.

[0105] Después del periodo de limpieza, la cantidad de agua en la celda de flotación es drenada por medio del drenaje de celda de flotación 155. Esta agua drenada se puede procesar adicionalmente para separar y recuperar las partículas sólidas del agua drenada. Las partículas sólidas recuperadas del agua drenada son predominantemente partículas de componente formador de ceniza. Las partículas sólidas recuperadas del agua drenada también pueden incluir una pequeña cantidad medible de partículas de carbón.

[0106] En una modalidad divulgada, el porcentaje de peso predeterminado de partículas sólidas en la cantidad de agua es 7% en peso. En otra modalidad

divulgada, el porcentaje de peso predeterminado de partículas sólidas en la cantidad de agua es 5% en peso. En aún otra modalidad divulgada, el porcentaje de peso predeterminado de partículas sólidas en la cantidad de agua es 3% en peso. En aún otra modalidad divulgada, el porcentaje de peso predeterminado de partículas sólidas en la cantidad de agua está entre 4% en peso y 7% en peso. En otra modalidad divulgada, el porcentaje de peso predeterminado de partículas sólidas en la cantidad de agua está entre 5% en peso y 6% en peso.

[0107] El proceso de separación por flotación divulgado puede también incluir el paso de reciclar el agua a partir de la cual se recuperar las partículas sólidas para uso de nuevo en la celda de flotación de carbón. El agua reciclada, agua fresca, o una combinación de agua reciclada y fresca se puede introducir en la celda de flotación 100 por medio de la entrada de agua 160 a un nivel de agua mostrado por la línea punteada 165.

[0108] El proceso divulgado está diseñado para funcionar eficientemente con una cantidad mínima de agua. Reciclar el agua a partir de la cual se recuperan las partículas sólidas para uso de nuevo en la celda de flotación de carbón no sólo reduce los requerimientos de agua, sino que debido a que el agua reciclada ya contiene una ayuda de flotación, reduce la cantidad de ayuda de flotación, tal como un espumador, a adicionarse a la suspensión acuosa de finos de carbón.

[0109] En una modalidad no limitante, la invención incluye el paso de monitorear y mantener la cantidad de espumador en el agua a una cantidad suficiente para promover la formación deseada de burbujas. Un método para medir la cantidad de espumador en el agua es mediante la medición del atraco de gas en el agua. El atraco de gas es igual al volumen de las burbujas dividido por el volumen total, es decir, burbujas más agua.

[0110] Como se indicó previamente, la recuperación de combustible es una medida usada para caracterizar el desempeño de la celda de flotación. La recuperación de combustible se define como C_{out}/C_{in} , donde C_{out} representa el contenido total de

partícula de carbón (carbono) en la salida de espuma de carbón (medido en una base seca) y C_{in} representa el contenido total de partícula de carbón (carbono) en la suspensión acuosa de entrada de finos de carbón (medido en una base seca). En algunas modalidades no limitantes del proceso de separación por flotación, la recuperación de combustible es mayor a 90%. En otras modalidades, la recuperación de combustible es mayor a 93%. En aún otras modalidades, la recuperación de combustible es mayor a 95%. En aún modalidades adicionales, la recuperación de combustible es 97% o más.

[0111] Los siguientes ejemplos no limitantes están dados para ilustrar varias modalidades que se relacionan con el proceso de separación por flotación de carbón divulgado y el aparato relacionado. Se debe entender que estos ejemplos no son comprensivos ni exhaustos de los varios tipos de modalidades que se pueden practicar de acuerdo con la presente invención.

[0112] EJEMPLO 1

[0113] Medición del contenido de humedad y contenido de componente formador de ceniza de una muestra de carbón.

[0114] El contenido de humedad y el contenido de componente formador de ceniza en cualquier muestra de carbón, en este caso la suspensión, se obtuvieron al seguir el procedimiento definido en el Estándar ASTM D7582 – Métodos de Prueba Estándar para Análisis Próximo de Carbón y Coque por Análisis de Macro Termogravimetría y Estándar ASTM D3173-11 – Método para Humedad en la Muestra de Análisis de Carbón y Coque.

[0115] Para humedad, se midió la masa de la suspensión. La suspensión luego se secó en un horno a 110°C bajo aire seco fluyendo por una o dos horas. La masa de la muestra se obtuvo después de completar el secado. La masa restante después del secado es el contenido de sólido de la muestra, y la masa perdida es el contenido de humedad del material. El % en peso de sólido y % en peso de humedad se

calcularon para la muestra. $\% \text{ en peso de contenido de sólidos} = \text{muestra húmeda de masa} / \text{muestra seca de masa}$. $\% \text{ en peso de humedad} = 100\% - \% \text{ en peso de muestra sólida}$.

[0116] Para cuantificar el contenido del componente formador de ceniza de la muestra, se midió la masa de una muestra de suspensión seca. La muestra luego se calentó en un horno de mufla bajo aire seco fluyendo, pasando de temperatura ambiente a 750°C sobre el curso de dos horas. La temperatura se mantuvo a 750°C por dos horas, después de lo cual la muestra se retiró del horno de mufla. En una prueba alterna, la muestra de carbón se calentó a 950°C por cuatro horas bajo aire seco fluyendo. La muestra se enfrió en un desecador a temperatura ambiente. Durante el proceso de calentado, las partículas de carbón se quemaron y sólo permaneció el contenido mineral oxidado. El contenido de carbón o carbono es la matriz de carbón de combustible que está en una muestra. La masa de la muestra restante se obtuvo. A partir de la masa del contenido de mineral oxidado restante y la masa de inicio, se calculó el $\% \text{ en peso de los componentes formadores de ceniza}$. $\% \text{ en peso de ceniza} = \text{masa de ceniza seca después del horno} / \text{masa de muestra seca antes del horno}$. $\% \text{ en peso de contenido de carbón o carbono} = 100\% - \% \text{ en peso de contenido de ceniza}$.

[0117] Estos procedimientos se pueden seguir para obtener el contenido de humedad y componente formador de ceniza en cualquier muestra en cualquier etapa del proceso (por ejemplo, finos de carbón como son recibidos, suspensión acuosa de finos de carbón, espuma de carbón, coque de filtro, producto en bola de carbón seco, etc.).

[0118] EJEMPLO 2

[0119] Preparación de Suspensión a Alto Cizallamiento o Alta Energía y Unidad de Memoria de Pantalla Vibratoria.

[0120] La suspensión acuosa regular sin triturar se hace a partir de finos de carbón al introducir los finos de carbón en un mezclador de pala. La pala homogeniza la muestra y se obtiene el contenido de humedad. Se adiciona agua a los finos de carbón para reducir los contenidos de sólidos a entre 45% en peso y 50% en peso de sólidos. Mientras los mezcladores de pala están aún girando, los mezcladores de alta energía también se encienden por hasta dos minutos. Los mezcladores de alto cizallamiento quiebran los grumos y aglomeraciones de carbón y partículas de componente formador de ceniza creando una suspensión de partículas discretas de carbón y componente formador de ceniza.

[0121] El mezclado de alta energía se desarrolló inicialmente usando equipo a escala de laboratorio al probar el mezclado de cizallamiento. Primero, una suspensión acuosa de finos de carbón se hizo usando un mezclado de pala Hobart de 0.13 m³ con una pala de 0.42 m de diámetro. La velocidad de punta es una medida de la velocidad de la punta de un elemento de mezclado y se usa para caracterizar la acción de mezclado de un elemento giratorio. El mezclador de pala Hobart tuvo una velocidad de punta de 1.5 m/s. Cuando la suspensión se vertió sobre una tolva con aberturas de 500 µm, los aglomerados de partículas de carbón y formador de ceniza se retuvieron en la tolva. Luego se intentó mezclado de alto cizallamiento a una escala de laboratorio usando una licuadora de hogar común configurada a una velocidad de punta de 130 m/s. Se encontró que las suspensiones producidas con la licuadora se configuraron a una velocidad de punta de 130 m/s se pudieron verter sobre una tolva con aberturas de 500 µm sin aglomerados de partículas de carbón y formador de ceniza dejado restante en la tolva. El mezclado de cizallamiento exitoso produce una fuerza de impacto suficiente para quebrar los aglomerados de partículas más pequeñas de finos de carbón en partículas individuales de carbón y componentes formadores de ceniza. Como se usa acá, el mezclado de alto cizallamiento produce una fuerza de impacto suficiente

para crear partículas de carbón discretas y partículas de componente formador de ceniza.

[0122] El mezclado de alto cizallamiento se probó adicionalmente a una escala de piloto usando mezcladores de volumen mayor. Se probó un mezclador de 1.7 m³ con una pala de 1.06 m de diámetro y dos cortadores de 10 cm de diámetro. El mezclador de pala operó a una velocidad punta máxima de 2.0 m/s. Los mezcladores cortadores operaron a una velocidad de punta máxima de 19 m/s. En las pruebas de escala piloto, se alimentaron 0.794 toneladas métricas (MT) de finos de carbón de entrada en un mezclador de pala con una cinta transportadora de medición. El contenido de humedad se midió para ser 24.5% en peso de humedad. Los finos de carbón contenían aproximadamente 25% en peso de partículas de componente formador de ceniza en una base seca. Se calculó que 0.405 MT de agua se necesitaron adicionar al mezclador para hacer una suspensión de 50% en peso de humedad.

[0123] Usando los mezcladores de pala solos a una velocidad de punta máxima de 2.0 m/s por 2 minutos no se pudo suspender completamente todo el carbón y las partículas de componente formador de ceniza en una suspensión de partículas discretas o individuales. Una cantidad significativa de aglomerados que comprenden partículas de carbón y partículas de componente formador de ceniza se recolectaron en las pantallas de 1.4 mm y 0.7 mm de una unidad de memoria de pantalla vibratoria de doble cubierta.

[0124] En el mismo mezclador a escala piloto, se encendieron dos mezcladores de corte de 10 cm de diámetro a su velocidad de punta máxima de 19 m/s en conjunto con el mezclador de pala a su velocidad de punta máxima por dos minutos. El mezclador de pala sirvió para traer las partículas de aglomerado fino de carbón en la suspensión a los mezcladores de corte, después de lo cual los mezcladores de corte quebraron los aglomerados de finos de carbón. La suspensión hecha con los mezcladores a alta velocidad y el mezclador de pala como se describió, se alimentó

sobre la pantalla superior (1.4 mm) de la unidad de memoria de pantalla vibratoria de doble cubierta. Ningún material se retuvo en la parte superior ya que no hubo partículas mayores a 1.4 mm en los finos usados para hacer la suspensión. La suspensión acuosa fluyó fácilmente a través de la pantalla. La suspensión acuosa también pasó a través de la pantalla de 0.7 mm sin acumulación con la excepción que una cierta cantidad de carbón discreto y partículas de componente formador de ceniza de la suspensión se retuvieron en la pantalla debido a que eran mayores a 0.7 mm. Estas retenciones de 0.7 mm se descargaron de la pantalla según la operación normal de la unidad. Una suspensión acuosa que contiene partículas discretas de carbón y partículas de componente formador de ceniza menores a 0.7 mm en tamaño, se produjo durante este tiempo de mezclado de dos minutos.

[0125] Una velocidad de punta mínima necesaria para producir una suspensión de partículas individuales de partículas de carbón y partículas de componente formador de ceniza se investigó en un mezclador de corte a escala piloto más pequeño. Este mezclador tiene una tolva de 0.23 m³ montada en un tubo. El tubo es de 0.17 m de diámetro interno y de 0.36 m de largo. Dentro del tubo hay un mezclador de corte de 0.15 m de diámetro con una hoja de corte. El mezclador de corte tiene una velocidad de punta máxima de 28.5 m/s. El mezclador de corte se encendió a la velocidad de punta seleccionada. Se adicionaron agua y finos de carbón al mezclador de corte para llenar el tubo y empezar con el llenado de la tolva. Se adicionó agua y finos de carbón en una cantidad para producir una suspensión de 50% en peso de sólido. Los finos de carbón contenían aproximadamente 25% en peso de componentes formadores de ceniza en una base seca. Después de un tiempo de mezclado de dos minutos, la suspensión se descargó sobre una pantalla de 300 micras de una unidad de memoria vibratoria. Las retenciones sobre la pantalla luego se analizaron por aglomerados de partículas de carbón y partículas de componente formador de ceniza. Se encontró que una velocidad de punta de por lo menos 11.5 m/s produjo una suspensión con partículas de carbón discretas y

partículas de componente formador de ceniza de modo que no se encontraron partículas aglomeradas en las retenciones en el tamiz con aberturas de 0.3 mm.

[0126] La velocidad de punta mínima de 11.5 m/s para producir partículas discretas se probó adicionalmente usando finos de carbón que contenían 70% en peso de partículas de componente formador de ceniza en una base seca. Se utilizó el mismo mezclador de corte a escala piloto más pequeño descrito anteriormente. También se siguió el mismo procedimiento como se describió anteriormente para producir una suspensión de 50% en peso de sólidos. Después del tiempo de mezclado de dos minutos, la suspensión se descargó sobre la pantalla vibratoria de 0.3 mm. El análisis de las retenciones sobre el tamiz de 0.3 mm no mostró aglomerados de partículas de carbón y partículas de componente formador de ceniza.

[0127] Se pueden utilizar cortadores de diferente tamaño y diferente velocidad para suministrar mezclado de alto cizallamiento. Por ejemplo, las hojas de corte en el rango de 3-6 pulgadas se pueden operar a una velocidad en el rango de 1800 a 3600 rpm. El tamaño y la velocidad de los cortadores adecuados se puede escalar de acuerdo los requerimientos de desempeño. El mezclado de alto cizallamiento exitoso produce una fuerza de impacto suficiente para quebrar los aglomerados de partículas más pequeñas de finos de carbón en partículas individuales de carbón y componentes formadores de ceniza.

[0128] Una suspensión con 15% en peso de sólidos usando finos de carbón que contenían 25% en peso de partículas de componente formador de ceniza en una base seca, se hizo en el mezclador de corte a escala piloto más pequeño a velocidades de punta de 11.5 m/s. El análisis de las retenciones sobre el tamiz de 0.3 mm no mostró aglomerados de partículas de carbón y partículas de componente formador de ceniza. Esta suspensión se utilizó para separación por flotación en varias columnas de flotación: una celda de flotación a escala de laboratorio de 17.5 pulgadas (0.444 m) en diámetro por 6 pies (1.83 m) de alto, una celda de flotación a escala de laboratorio de 17.5 pulgadas (0.444 m) en diámetro por 20 pies (6.1 m),

y una celda de flotación a escala piloto de 4 pies (1.22 m) en diámetro por 10 pies (3.05 m).

[0129] Se hizo una suspensión con 30% en peso de sólidos usando finos de carbón que consistían de 25% en peso de partículas de componente formador de ceniza en una base seca, en el mezclador de corte a escala piloto más pequeño a velocidades de punta de 11.5 m/s. El análisis de las retenciones sobre el tamiz de 0.3 mm no mostró aglomerados de partículas de carbón y partículas de componente formador de ceniza. Esta suspensión se utilizó para separación por flotación en varias columnas de flotación: una celda de flotación a escala de laboratorio de 17.5 pulgadas (0.444 m) en diámetro por 6 pies (1.83 m) de alto, una celda de flotación a escala de laboratorio de 17.5 pulgadas (0.444 m) en diámetro por 20 pies (6.1 m), y una celda de flotación a escala piloto de 4 pies (1.22 m) en diámetro por 10 pies (3.05 m).

[0130] A partir de lo anterior, se puede producir una suspensión acuosa de partículas discretas usando mezclado de alto cizallamiento con una velocidad de punta de por lo menos 11.5 m/s de finos de carbón un rango de partículas de componente formador de ceniza en una base seca y un rango de cantidades de contenido de sólido.

[0131] El mezclado de alta energía para crear una suspensión acuosa de finos de carbón que contienen partículas discretas de carbón y componentes formadores de ceniza, también se demostró en el laboratorio por medio de una combinación de un mezclador de pala con una velocidad de punta de 1.5 m/s y ultrasonificación a 40 kHz en un recipiente de mezclado de 0.004 m³. La suspensión acuosa de finos de carbón contenía 50% en peso de sólidos y tuvo 25% en peso de componentes formadores de ceniza en una base seca. El tiempo de mezclado fue 2 minutos. La suspensión se pudo verter sobre un tamiz vibratorio de 300 µm sin aglomerados encontrados en el material retenido en el tamiz. El mezclado con el mezclador de

pala solo produjo una suspensión que contiene aglomerados de partículas de carbón y partículas de componente formador de ceniza.

[0132] Un beneficio de la suspensión producida por medio de mezclado de alta energía y que contiene partículas discretas es que la suspensión pasa fácilmente a través del tamiz, especialmente cuando se aplica vibración a los tamices, dejando atrás las retenciones que son mayores a las aberturas de la pantalla de dicho tamiz. Las partículas menores a las aberturas del tamiz fluyen a través del tamiz como el agua debido a que son discretas y se suspenden en el agua que pasa a través del tamiz. El tamaño de partícula máximo en la suspensión se puede seleccionar por medio del tamiz más pequeño usado en una unidad de memoria vibratoria. Se han producido suspensiones donde el tamiz de 0.5 mm fue el tamiz más pequeño usado en la unidad vibratoria. Se han producido suspensiones donde el tamiz de 0.3 mm fue el tamiz más pequeño usado en la unidad vibratoria. Se han producido suspensiones donde el tamiz de 0.025 mm fue el tamiz más pequeño usado en la unidad vibratoria. Las retenciones en los tamices de la unidad vibratoria se pueden enviar a un circuito de molienda para reducción de tamaño y luego se alimentan al circuito de flotación o se pueden remover del proceso y venderse como están, dependiendo del contenido de ceniza de las retenciones.

[0133] El paso de mezclado de alta energía permite el filtrado rápido y altamente eficiente de la suspensión debido a que crea una suspensión acuosa de partículas discretas de carbón y componentes formadores de ceniza. Las partículas discretas en la suspensión permiten el uso de una unidad de pantalla con tamaño menor (por ejemplo, área) para el volumen de suspensión que se procesa en comparación con las unidades de pantalla comunes en el campo. Como resultado, se puede procesar una suspensión con alto contenido de sólidos, reduciendo el uso de agua en exceso.

[0134] Además, debido a la naturaleza discreta de las partículas sólidas en la suspensión, no es necesario usar agua de lavado para asegurar que todas las partículas pequeñas en la suspensión pasen a través de una abertura de tamiz más

grande, la cual es una práctica común en la industria. El uso de agua de lavado sobre una pantalla requiere incluso más agua en el proceso, diluyendo la suspensión que se está produciendo. Sin el uso de mezclado de alto cizallamiento, sería difícil o imposible producir una suspensión que pase el tamaño de tamiz deseado (por ejemplo, menor a 500 μm) con una alta concentración de sólido (por ejemplo, mayor a 25% en peso y hasta 50% en peso o más de sólidos.).

[0135] EJEMPLO 3

[0136] Circuito de Molienda para Preparar una Suspensión Molida

- 10 [0137] Las partículas retenidas en las pantallas de 0.7 mm y 1.4 mm de la unidad de pantalla vibratoria se procesaron a través de un molino húmedo para reducir su tamaño a 0.3 mm o menos. Se han producido partículas con un tamaño de partícula promedio menor a 0.15 mm. En algunas modalidades, el tamaño de partícula promedio de la suspensión molida fue de menos de 0.04 mm. En otras modalidades,
- 15 el tamaño de partícula promedio de la suspensión molida fue de menos de 16.5 μm . La suspensión molida preferiblemente no tiene partículas más grandes de aproximadamente 200 μm . Un tamaño de partícula promedio objetivo se puede producir al variar las dimensiones de salida del molino, tiempo de residencia en el molino, tamaño medio en el molino, y volumen medio en el molino.
- 20 [0138] Las partículas de componente formador de ceniza se atraparon en partículas de carbón. Las partículas de componente formador de ceniza atrapadas tienen un tamaño de partícula promedio en el rango de menos de 0.01. En un ejemplo, el tamaño de partícula promedio de las partículas de componente formador de ceniza se midió para ser 0.004 mm. El tamaño de partícula promedio de las partículas de
- 25 carbón que salen del circuito de molienda se seleccionó para ser lo suficientemente pequeño de modo que se minimizaron las partículas de componente formador de ceniza atrapadas. En teoría, la molienda de las partículas de carbón al mismo tamaño de las partículas atrapadas de componente formador de ceniza minimizaría

el atrapamiento. Sin embargo, entre menor sea el tamaño de partícula de carbón objetivo, mayor será el tiempo de molienda requerido.

[0139] Se encontró que moler a tamaños de partícula promedio 10x mayores y 100x mayores que los tamaños promedio de partícula de componente formador de ceniza

5 resultó en componentes formadores de ceniza atrapados minimizados de un rango de 2 a 4% en peso, dependiendo del sitio de carbón y el tamaño de partícula al que se molió. En resultado, el tamaño de partícula de carbón objetivo después del circuito de molienda es 1x a 10x y hasta 100x mayor al tamaño de partículas de componentes formadores de ceniza atrapados. En el caso de las partículas

10 atrapadas de componente formador de ceniza que tienen un tamaño promedio de 0.004 mm, las partículas de carbón tendrían tamaños de partícula promedio de 4 micras, 40 micras, y así hasta 500 micras cuando salen del molino húmedo. Hay

dos razones para la configuración de un límite superior de tamaño de partícula de 500 micras después de la molienda en húmedo. Primero, para algunos carbones, el

15 contenido de componente formador de ceniza atrapado empieza a alcanzar niveles mayores a 4 a 5% en peso a medida que el tamaño de partícula de carbón promedio supera 500 micras. Segundo, las partículas de carbón mucho mayores a 500 micras

no flotan bien en el sistema de flotación descrito acá. Así, el tamaño de partícula de carbón promedio es preferiblemente menor a 500 micras para mejorar la flotación

20 de la partícula de carbón y para reducir el contenido de componente formador de ceniza.

[0140] EJEMPLO 4

[0141] Flotación.

25 [0142] Se configuró una celda de flotación de tamaño comercial generalmente como se muestra en la figura 1. Esta tenía un tanque de 8.5 pies (2.59 m) de diámetro por 14 pies (4.27 m) de alto hecho de polietileno de alta densidad (HDPE) moldeado. La celda de flotación contenía múltiples generadores de burbuja (105) en el fondo.

Cada generador de burbuja comprende un cilindro hecho de cerámica microporosa o plástico hidrófobo. Los cilindros son de 3 pulgadas (76.2 mm) de alto y tienen un diámetro externo de 1 pulgada (25.4 mm) con un grosor de pared de 3/16 pulgadas (4.8 mm). Un extremo del cilindro está tapado. El otro extremo del cilindro está sumergido un colector común ubicado en el fondo de la celda de flotación. El número de generadores de burbuja discretos sumergidos en el colector variará dependiendo del diámetro de la celda de flotación y el tamaño de poro de los generadores. Para la celda de flotación de tamaño comercial descrita acá, puede haber entre 100 a 200 generadores de burbuja conectados al colector. Ejemplos no limitantes de tamaños de poro promedio son 3 μm , 6 μm , 15 μm , y 30 μm . A medida que el tamaño de poro de los generadores de burbuja aumenta, el tamaño de partícula promedio de las partículas de carbón flotadas aumenta. Los generadores de burbuja con diferentes tamaños de poro se pueden mezclar y coincidir con el colector para concertar el tamaño de partícula promedio de las partículas de carbón que flotan en la espuma de carbón.

[0143] Aire es forzado dentro del colector por medio de un soplador. El aire pasa a través de los poros de todos los generadores de burbuja sumergidos en el colector y produce burbujas en el agua en la base de la celda de flotación. Un soplador fuerza aire dentro del colector y a través de los generadores de burbuja a una presión y tasa de flujo de volumen adecuados para el tamaño de la celda de flotación y el número y tamaño de los generadores de burbuja usados. En un ejemplo no limitante, el soplador opera a una presión menor a 10 psi (libras por pulgada cuadrada), preferiblemente entre 6 y 7 psi, y a una tasa de flujo de volumen de entre 200 y 500 CFM (pies cúbicos por minuto).

[0144] La celda de flotación se llena con agua clarificada hasta un nivel de agua por debajo de la parte superior de la celda, como se indica por la línea punteada 165. La suspensión acuosa de los finos de carbón se bombea a través del colector 120, ingresando en la celda a través de los puertos etiquetados 130. A medida que la

suspensión es bombeada en la celda de flotación, las burbujas llevan las partículas de carbón a la línea de nivel de agua 165. En la línea de agua, pequeñas burbujas en la superficie del agua se fusionan en burbujas más grandes que forman una espuma de carbón. Las partículas de carbón permanecen adheridas a las burbujas fusionadas en la espuma de carbón. La fuerza hacia arriba de las burbujas que llegan desde abajo empuja la espuma de carbón hacia arriba en la región 135 y fuera del puerto de salida de espuma de carbón 140.

[0145] Una celda de flotación de tamaño comercial de 8.5 pies (2.59 m) de diámetro por 14 pies (4.26 m) de alto se ha operado en modo por lotes como se describe acá.

Primero, se encendió un soplador a 300 CFM para soplar aire a través del colector y los generadores de burbuja de cerámica microporosa en el fondo de la celda. El aire siempre sopla a través de los generadores de burbuja para evita cualquier taponamiento potencial de los poros por partículas suspendidas en el agua. La celda de flotación se llenó a una profundidad de aproximadamente 13 pies (3.96 m) de agua. Una suspensión acuosa de finos de carbón, que contiene aproximadamente 70% en peso de partículas de carbón y 30% en peso de partículas de componente formador de ceniza en una base seca, se bombeó en la celda a 170 litros por minuto por 44 minutos, después de lo cual la alimentación de suspensión se apagó. Las partículas de carbón que aún estaban suspendidas en la región de burbuja flotaron fuera de la celda durante un tiempo de limpieza de 10 minutos. La espuma de carbón se derramó sobre la parte superior de la celda de flotación durante los últimos 42 minutos de la inyección de suspensión y todo excepto el último minuto del tiempo de limpieza. Después del tiempo de limpieza de 10 minutos, 12 pies de los 13 pies de profundidad de agua en la celda de flotación se drenaron en 1.8 minutos y se enviaron a un espesante. La celda de flotación luego se llenó de nuevo hasta la línea de agua de 13 pies en 1.8 minutos. El proceso similar a lotes se inició una vez más a medida que la suspensión era bombeada dentro de la celda de flotación a 170 litros por minuto. El proceso por lotes tiene un tiempo de ciclo de 1 hora.

[0146] Durante el ciclo de operación descrito anteriormente, 5.4 toneladas métricas de espuma de carbón se recolectaron a 50% en peso de sólidos, el cual era 2.7 toneladas métricas de espuma de carbón en una base seca. La espuma de carbón era 5.1% en peso de partículas de componente formador de ceniza en una base seca. Adicionalmente, 21.5 toneladas métricas de relaves se drenaron fuera como desbordamiento a 5.7% en peso de sólidos, el cual era 1.22 toneladas métricas de relaves en una base seca. Los relaves eran 85.7% en peso de partículas de componente formador de ceniza. La recuperación de combustible para los resultados del ciclo por lotes explicado y reportado anteriormente fue por encima de 93%.

[0147] Con base en los resultados representativos reportados anteriormente para operar una celda de flotación con tamaño comercial de 8.5 pies (2.59 m) de diámetro por 14 pies (4.26 m) de alto con una alimentación de 50% en peso de suspensión sólida a 30% en peso de partículas de componente formador de ceniza en una base seca, 36 a 37 celdas de flotación se necesitarán para producir 100 MTPH (toneladas métricas por hora) de producto de carbón en bola. Cada 100 MT consistirá de 93.1 MT de partículas de carbón, 4.9 MT de partículas de componente formador de ceniza, y 2.0 MT de agua. El desbordamiento para cada 100 MT será 44 MT de sólidos secos a 85% en peso de partículas de componente formador de ceniza. La recuperación de combustible para cada 100 MT será mayor a 90%.

[0148] EJEMPLO 5

[0149] Comparación de Uso de Agua

[0150] Los sistemas y métodos divulgados para la separación por flotación de partículas de carbón fino de partículas de componente formador de ceniza utilizan significativamente menos agua que los procesos de flotación de carbón en la competencia. Como ejemplo, los datos en la Tabla 1 a continuación compara el uso de agua de acuerdo con los sistemas y métodos divulgados para la separación por

flotación de partículas de carbón fino con una instalación de procesamiento de carbón que utiliza columnas de flotación de carbón disponibles comercialmente. Ambas instalaciones producen 100 MTPH de producto seco.

[0151] Tabla 1

Uso de Agua para Columnas de Separación de Flotación Comerciales			
escaladas a salida de 100 MTPH de producto seco			
	<u>Entrada</u>		<u>Salida</u>
	MTPH		MTPH
	Agua		Agua
Suspensión Acuosa	2668.5	Espuma de carbón	733.1
Agua de Lavado	865.7	Relave (ceniza)	2801.1
Agua Total	3534.2	Agua Total	3534.2

Uso de Agua para la Celda de Separación de Flotación Divulgada			
escalada a salida de 100 MTPH de producto seco			
	<u>Entrada</u>		<u>Salida</u>
	MTPH		MTPH
	Agua		Agua
Suspensión Acuosa	101	Espuma de carbón	120
Circuito de Molido	11	Relave (ceniza)	824
Entrada a Celda Flotación	795	Agua Total	944
En Carbón Entrante	37		
Agua Total	944		

5

[0152] La instalación que utiliza las columnas de flotación disponibles comercialmente utilizarían aproximadamente 3.75 veces más agua que el sistema actualmente divulgado. Los ahorros de agua es principalmente un resultado de diferencias en la alimentación de entrada de suspensión acuosa y en la salida de

espuma de carbón. La alimentación de flotación comercial es aproximadamente 5% en peso de sólidos. En contraste, el sistema divulgado es típicamente aproximadamente 50% en peso de sólidos. La salida de espuma de carbón de flotación comercial es aproximadamente 12% en peso de sólidos, el sistema divulgado es típicamente aproximadamente 45% de sólidos. Adicionalmente, el relave o desbordamiento de la flotación comercial es aproximadamente 1% en peso de sólidos, mientras que el sistema divulgado es típicamente aproximadamente 5 a 6% en peso de sólidos.

[0153] La reducción en uso de agua se traduce en ahorros sustanciales en costos de capital (bombas más pequeñas, tubos más pequeños, unidad de tamiz más pequeña, capacidad de reacción menor, equipo de deshidratación más pequeño, etc.) y costos operacionales (menos electricidad para ejecutar equipos pequeños, menos dinero usado en deshidratación de productos, menos costos de agua, etc.).

[0154] EJEMPLO 6

[0155] Operación General de Celda de Flotación a Escala de Laboratorio

[0156] Se utilizó una celda de flotación a escala de laboratorio de 17.5 pulgadas (0.444 m) de diámetro por 6 pies (1.83 m) de alto. El fondo de la celda de flotación tenía un colector de aire común en el cual 24 generadores de burbuja se sumergieron. El colector era de 24 pulgadas (0.61 m) por 24 pulgadas (0.61 m) y 4 pulgadas (0.10 m) de alto. Para algunos experimentos, los 24 generadores de burbuja de cerámica tenían poros de 6 μm y una porosidad promedio de 45%. Para otros experimentos, los generadores de burbuja cerámicos tenían un tamaño de poro promedio de 3 μm , 15 μm , y 30 μm . Una tubería de alimentación de aire de 2.5 pulgadas (0.063 m) conecta el colector a un soplador. El soplador suministra aire al colector, y así a todos los generadores de burbuja de forma igual, entre 4 y 7 psi en un rango de 10 a 40 pies cúbicos por minuto (CFM) de aire.

[0157] El soplador se encendió al CFM deseado. Se adicionó agua a la celda de flotación a una profundidad de 4 pies (1.22 m). Se adicionaron 4.2 gramos de espumador a la celda. El espumador se mezcló completamente después de 2 minutos. Después de la adición del espumador, las burbujas se estabilizaron al tamaño característico para el generador de burbuja. Se adicionó agua para aumentar la región de pulpa a una profundidad de 5 pies de nivel en la celda de flotación. La espuma blanca indica el límite donde la espuma de carbón se formará cuando la suspensión de carbón se introduce en la celda de flotación. La región de pulpa se llena hasta la línea de 5 pies (1.52 m) de la celda de flotación dejando una altura de espuma a aproximadamente 1 pie (0.305 m).

[0158] Una suspensión acuosa de finos de carbón se bombeo en la celda con una bomba a aproximadamente 5 kg/min por 30 minutos. Se recolectó la espuma de carbón a medida que ésta rebosaba la columna por medio de un sistema de canal. Después de 30 minutos, la alimentación de suspensión se apagó. Las burbujas continuaron corriendo. Cualquier exceso de carbón en la celda se dejó continuar a la espuma por 10 minutos. Al final de un ciclo de flotación como se describe acá, la región de agua-burbuja era café en color, característico de los componentes formadores de ceniza que se han quedado atrás en la pulpa durante el proceso de separación por flotación. La pulpa luego se drenó en dos tambores de 55 galones. El sedimento que no flotó y que no se llevó lejos con los relaves drenados se dejó en la placa de fondo de la celda de flotación. Estos sedimentos fueron recolectados.

[0159] Se midió el % en peso de sólidos, % en peso de ceniza, y la masa total (agua + sólidos) para la suspensión acuosa adicionada, la espuma de carbón recolectada, los relaves drenados, y el sedimento. La cantidad de carbón en cada material se calculó a partir del % en peso de sólidos, % en peso de ceniza, y la masa total. A partir de estos datos, se calculó la recuperación de combustible. Se calculó la tasa de flotación a la cual el carbón seco o producto de carbón sale de una celda de flotación y se reportó en toneladas métricas por hora por metro cuadrado de área

superficial de columna de flotación (MTPH/m²). También se calculó la eficiencia de flotación.

[0160] Los resultados experimentales para las pruebas de laboratorio descritas acá se reportan en las Tablas 2A-2F abajo. Como se etiqueta en las tablas, las flotaciones fueron hechas con suspensiones que pasan un tamiz de 0.75 mm, un tamiz de 0.5 mm, y un tamiz de 0.3 mm. Una suspensión adicional que se molió en un molino de bola húmedo también se utilizó para separación por flotación de finos de carbón. Los parámetros de entrada de celda de flotación se repitieron en cada tabla con el fin de permitir ver cómo las diferentes entradas influyen los resultados de flotación (salidas).

[0161] La mayoría de los datos de flotación reportados en las Tablas 2A-2F se hicieron usando en la suspensión molida pasada a través de un tamiz de 0.75 mm que luego se alimentó en la celda de flotación. Algunas partículas de carbón se retuvieron y se removieron de la suspensión en el tamiz de 0.75 mm. El tamaño de partícula promedio en la suspensión sin moler fue aproximadamente 20 micras, pero la suspensión tenía partículas más grandes en ella, tan grandes como 300 micras (Tabla 2A) en una medida. Las partículas de sedimento para flotaciones que usan suspensiones que pasaron el tamiz de 0.75 mm alcanzaron tamaños tan grandes como 1.2 mm (Tabla 2F), indicando que las partículas de este tamaño existieron en la suspensión, pero a dicha concentración tan baja no fueron representadas en la muestra usada para el análisis de tamaño de partículas de la suspensión. Las partículas de 1.2 mm en el sedimento, las cuales también han estado en la suspensión se pueden explicar por el hecho que un tamiz de 0.75 mm tendrán algunos agujeros mayores a 0.75 mm y las partículas en la suspensión pueden ser algunas veces oblongos o con forma de aguja lo que les permite pasar el tamiz, pero muestran un tamaño más grande en el análisis de tamaño de partículas.

[0162] Dos flotaciones reportadas en las Tablas 2A-2F se hicieron usando una suspensión molida como la alimentación en la celda de flotación. El tamaño de

partícula promedio de la suspensión molida fue 17 μm sin partículas mayores a 140 μm . No hubo sedimentos en el fondo de la celda después que la celda de flotación se drenó lo que significa que todas las partículas de carbón y todas las partículas en la pulpa eran tan pequeñas que la turbulencia las mantuvo en suspensión de modo que no se sedimentaron al fondo de la celda de flotación.

[0163] Una flotación reportada en las Tablas 2A-2F se hizo usando la suspensión que pasó a través de un tamiz de 0.5 mm. El tamaño de partícula promedio era 50 micras sin partículas mayores a 245 micras (Tabla 2A). La cantidad de sedimento en el fondo de la celda fue despreciable, con un tamaño de partícula no mayor a 1000 micras (Tabla 2F). Por la misma razón ya discutida con relación a la suspensión que pasa 0.75 mm, los sedimentos muestran que hay partículas más grandes en la suspensión de lo determinado en el análisis de tamaño de partícula.

[0164] Una flotación reportada en las Tablas 2A-2F se hizo usando la suspensión que pasó a través de un tamiz de 0.3 mm. El tamaño de partícula promedio fue 20 micras sin partículas mayores a 223 micras (Tabla 2A). La cantidad de sedimento en el fondo de la celda fue despreciable, con un tamaño de partícula no mayor a 550 micras (Tabla 2F). Por la misma razón ya discutida con relación a la suspensión que pasa 0.75 mm, los sedimentos mostraron que hay partículas más grandes en la suspensión de lo determinado en el análisis de tamaño de partícula.

[0165] Tabla 2A. Parámetros de Entrada de Suspensión

Parámetros de Entrada de Celda de Flotación					Parámetros de Entrada de Suspensión				
Velocidad de Bomba (rpm)	Velocidad volumétrica de aire (acfm)	Procesamiento de Suspensión	Tamaño Poro Creador Burbuja (μm)	Número Creadores Burbuja	Contenido Sólidos (% peso)	Contenido Ceniza (% peso)	Tamaño Partícula Promedio (μm)	Desviación Estándar Tamaño Partícula (μm)	Partícula Más Grande (μm)
500	10.00	Paso 0.75mm	3	24	38.7	25.9	21	27.1	245
550	15.00	Paso 0.75mm	3	24	38.1	25.9	26.9	45.6	300
625	22.00	Paso 0.75mm	3	24	37.4	24.2	19.4	26.4	200
650	25.00	Paso 0.75mm	3	24	37.1	26	19.4	26.4	200
500	10.00	Paso 0.75mm	6	24	43.2	25.1	19.6	32.3	220
550	15.00	Paso 0.75mm	6	24	43.2	25.1	19.6	32.3	220
575	17.5	Paso 0.75mm	6	24	43.2	25.1	19.6	32.3	220

600	20.00	Paso 0.75mm	6	24	38.5	25.6	16	21.5	220
500	10.00	Molido	6	24	48.6	24.6	16.5	21.4	140
550	15.00	Molido	6	24	43.1	24.6	16.5	21.4	140
550	15.00	Paso 0.3mm	6	24	47.2	26.3	19.8	31.7	223
550	15.00	Paso 0.5mm	6	24	49.5	25.3	50.15	60	245
450	5.00	Paso 0.75mm	15	6	38.3	25.5	27.5	42.6	270
400	1.00	Paso 0.75mm	30	4	38.3	25.5	27.5	42.6	270

[0166] Tabla 2B. Parámetros de Salida de Desempeño de Celda de Flotación

Parámetros de Entrada de Celda de Flotación						Parámetros Salida Desempeño Celda Flotación			
Velocidad Bomba (rpm)	Velocidad volumétrica de aire (acfm)	Procesamiento de Suspensión	Tamaño Poro Creador Burbuja (µm)	Número Creadores Burbuja	Tasa Alimentación Suspensión en base seca (kg/hr)	Tiempo Limpieza (min)	Tasa Flotación (MTPH/ m²)	Recuperación Combustible (%)	Eficiencia Flotación (%)
500	10.00	Paso 0.75mm	3	24	127.8	20	0.27	33.7	94.3
550	15.00	Paso 0.75mm	3	24	125.8	10	0.90	90.8	93.0
625	22.00	Paso 0.75mm	3	24	124.1	5	1.09	95	94.2
650	25.00	Paso 0.75mm	3	24	194.2	2	1.85	96.7	90..5
500	10.00	Paso 0.75mm	6	24	120.9	10	0.91	94.6	94.6
550	15.00	Paso 0.75mm	6	24	115.8	8	0.92	95.1	94.6
550	17.5	Paso 0.75mm	6	24	124.5	6	1.05	94.9	93.9
600	20.00	Paso 0.75mm	6	24	126.9	6	1.04	93.2	93.5
500	10.00	Molido	6	24	111.8	1.5	1.24	97	94.0
550	15.00	Molido	6	24	114.6	1.5	1.13	96.8	93.8
550	15.00	Paso 0.3mm	6	24	210.5	2.7	1.96	96.9	92.1
550	15.00	Paso 0.5mm	6	24	282.3	10	2.13	95.1	91.5
450	5.00	Paso 0.75mm	15	6	137.8	10	1.00	91.62	88.1
400	1.00	Paso 0.75mm	30	4	134	10	0.93	87.8	84.7

[0167] Tabla 2C. Parámetros de Salida de Caracterización de Burbuja

Parámetros de Entrada de Celda de Flotación						Parámetros de Salida de Caracterización de Burbuja	
Velocidad Bomba (rpm)	Velocidad volumétrica de aire (acfm)	Procesamiento de Suspensión	Tamaño Poro Creador Burbuja (µm)	Número Creadores Burbuja	Tasa Alimentación Suspensión en base seca (kg/hr)	Atraco de Gas (% en volumen)	Volumen de aire en celda (m³)
500	10.00	Paso 0.75mm	3	24	127.8	1.2	0.007
550	15.00	Paso 0.75mm	3	24	125.8	5.3	0.013
625	22.00	Paso 0.75mm	3	24	124.1	14.4	0.025
650	25.00	Paso 0.75mm	3	24	194.2	17.9	0.039
500	10.00	Paso 0.75mm	6	24	120.9	5.9	0.019
550	15.00	Paso 0.75mm	6	24	115.8	13.2	0.028
550	17.5	Paso 0.75mm	6	24	124.5	17.0	0.031

600	20.00	Paso 0.75mm	6	24	126.9	19.5	0.034
500	10.00	Molido	6	24	111.8	5.9	0.019
550	15.00	Molido	6	24	114.6	13.2	0.028
550	15.00	Paso 0.3mm	6	24	210.5	13.2	0.028
550	15.00	Paso 0.5mm	6	24	282.3	13.2	0.028
450	5.00	Paso 0.75mm	15	6	137.8	7.7	0.019
400	1.00	Paso 0.75mm	30	4	134	9.9	0.024

[0168] Tabla 2D. Parámetros de Salida de Espuma

Parámetros de Entrada de Celda de Flotación					Parámetros de Salida de Espuma			
Velocidad de Bomba (rpm)	Velocidad volumétrica de aire (acfm)	Procesamiento de Suspensión	Tamaño Poro Creador Burbuja (µm)	Número Creadores Burbuja	Contenido Sólidos (% peso)	Contenido Ceniza (% peso)	Tamaño Partícula Promedio (µm)	Tamaño de Partícula Más Grande (µm)
500	10.00	Paso 0.75mm	3	24	30.8	5.7	13.9	130
550	15.00	Paso 0.75mm	3	24	26.0	7.0	21.2	140
625	22.00	Paso 0.75mm	3	24	18.6	5.8	61.3	400
650	25.00	Paso 0.75mm	3	24	14.0	9.5	50.8	300
500	10.00	Paso 0.75mm	6	24	26.3	5.4	32.2	115
550	15.00	Paso 0.75mm	6	24	25.6	5.4	67.8	125
575	17.5	Paso 0.75mm	6	24	23.9	6.1	32.1	220
600	20.00	Paso 0.75mm	6	24	17.4	6.5	37.3	200
500	10.00	Molido	6	24	26.3	6.0	18.6	200
550	15.00	Molido	6	24	25.7	6.2	18.4	200
550	15.00	Paso 0.3mm	6	24	22.7	7.9	79.3	350
550	15.00	Paso 0.5mm	6	24	20.7	8.5	61.2	600
450	5.00	Paso 0.75mm	15	6	15.0	11.9	55.0	100
400	1.00	Paso 0.75mm	30	4	15.3	15.3	70.0	750

[0169] Tabla 2E. Parámetros de Salida de Relaves

Parámetros de Entrada de Celda de Flotación					Parámetros de Salida de Relaves			
Velocidad de Bomba (rpm)	Velocidad volumétrica de aire (acfm)	Procesamiento de Suspensión	Tamaño Poro Creador Burbuja (µm)	Número Creadores Burbuja	Contenido Sólidos (% peso)	Contenido Ceniza (% peso)	Tamaño Partícula Promedio (µm)	Tamaño de Partícula Más Grande (µm)
500	10.00	Paso 0.75mm	3	24	5.4	42.2	13.7	130
550	15.00	Paso 0.75mm	3	24	4.1	89.6	7.6	73
625	22.00	Paso 0.75mm	3	24	2	88.9	8.7	30
650	25.00	Paso 0.75mm	3	24	2.7	90.4	7.8	60
500	10.00	Paso 0.75mm	6	24	2.1	87.8	7	115
550	15.00	Paso 0.75mm	6	24	2.5	88.4	6.2	60
575	17.5	Paso 0.75mm	6	24	2.1	91.3	7	35
600	20.00	Paso 0.75mm	6	24	3	90	7.1	32

500	10.00	Molido	6	24	2.1	89.3	7.6	60
550	15.00	Molido	6	24	1.7	89.9	7.2	40
550	15.00	Paso 0.3mm	6	24	3.3	90.1	7.2	40.0
550	15.00	Paso 0.5mm	6	24	6.8	90.0	9.5	40.0
450	5.00	Paso 0.75mm	15	6	4.3	82.5	8	35
400	1.00	Paso 0.75mm	30	4	2.7	80.1	9.3	40

[0170] Tabla 2F. Parámetros de Salida de Sedimento

[0171] Parámetros de Entrada de Celda de Flotación					Parámetros de Salida de Sedimento				
Velocidad de Bomba (rpm)	Velocidad volumétrica de aire (acfm)	Procesamiento de Suspensión	Tamaño Poro Creador Burbuja (μm)	Número Creadores Burbuja	Contenido Sólidos (% peso)	Contenido Ceniza (% peso)	Tamaño Partícula Promedio (μm)	Partícula Más Grande (μm)	Sedimento como % de Relaves Total (% peso)
500	10.00	Paso 0.75mm	3	24	66.1	55	247.5	1200	15.4
550	15.00	Paso 0.75mm	3	24	71.1	56.9	464.6	1200	19.7
625	22.00	Paso 0.75mm	3	24	70.4	64.1	517.9	1200	24.7
650	25.00	Paso 0.75mm	3	24	71.4	74.4	446	1200	14.6
500	10.00	Paso 0.75mm	6	24	44.3	45.5	371.1	1100	11.7
550	15.00	Paso 0.75mm	6	24	67.4	43.7	416.3	1100	13.2
575	17.5	Paso 0.75mm	6	24	73.2	44.7	387.6	1100	26
600	20.00	Paso 0.75mm	6	24	75.2	66.7	457.3	1100	29.2
500	10.00	Molido	6	24	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno
550	15.00	Molido	6	24	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno
550	15.00	Paso 0.3mm	6	24	74.7	81.9	168.5	550	4.7
550	15.00	Paso 0.5mm	6	24	84.7	69.4	460.9	1000	4.8
450	5.00	Paso 0.75mm	15	6	66.2	43.4	412.5	1200	2.9
400	1.00	Paso 0.75mm	30	4	68.8	39.2	332.4	1200	13.6

[0172] EJEMPLO 7

5 [0173] Recuperación de Combustible

[0174] La recuperación de combustible de una celda de flotación se define como C_{out}/C_{in} , donde C_{out} representa el contenido total de partícula de carbón (carbono) en la suspensión acuosa de entrada de finos de carbón (medido en una base seca). Tradicionalmente, la recuperación de combustible se muestra que aumenta con el contenido de ceniza en aumento en la espuma de carbón. En estos sistemas previos, con el fin de recuperar un contenido más alto del carbón, el sistema se debe “jalar más fuerte”. Al hacerlo así, más ceniza se fuerza fuera de la parte superior de la celda de flotación con la espuma de carbón desbordante. Una forma de “jalar más

fuerte” en el sistema de flotación es introducir más aire en la columna por unidad de tiempo.

[0175] En contraste, como se muestra mediante los datos en la figura 2 para diferentes recorridos recolectados usando la tecnología de flotación descrita acá
5 donde se generan burbujas finas con generadores de burbuja microporosa, la recuperación de combustible disminuye ligeramente con el contenido de ceniza en aumento. En el proceso de flotación descrito acá, las partículas de carbón finas y ultrafinas se flotan eficientemente y selectivamente, lo que significa que las partículas de carbón ultrafinas hidrófobas flotan en la columna y se recolectan en la
10 espuma de carbón desbordante mientras que las partículas de componente formador de ceniza hidrófilas permanecen en la región de agua-burbuja. Adicionalmente, en el rango de tamaño ultrafino, poco o ningún material de componente formador de ceniza se atrapa en las partículas de carbón. Así, la capacidad de las partículas de carbón ultrafinas de flotar eficientemente resulta en
15 alta eficiencia de flotación.

[0176] La figura 3 ilustra la recuperación de combustible como una función del volumen de las burbujas en la celda de flotación. El volumen de burbuja se calculó al medir el cambio en la altura de agua cuando el aire se introdujo en la columna a través de los generadores de burbuja a diferentes tasas de flujo. Tasas de flujo de
20 aire mayores resultaron en un volumen mayor de las burbujas. El volumen de las burbujas se puede considerar una medición de cuántas burbujas están en la celda de flotación debido a que el número de burbujas es igual al volumen de las burbujas dividido por el volumen promedio de una burbuja. Para los dos juegos de datos obtenidos usando generadores de burbuja con poros de 6 μm , suspensión regular
25 (#1) y suspensión molida (#2), la tendencia general es que la recuperación de combustible disminuye con el volumen aumentado de las burbujas (o número mayor de burbujas en la celda de flotación). Uno puede esperar que un número mayor de burbujas en la celda de flotación resultaría en una recuperación de combustible

mayor debido a que hay una mayor probabilidad que el carbón entre en contacto con una burbuja, se una a una burbuja, o flote a la parte superior de la celda de flotación para ser recolectado en el producto de espuma de carbón. Para los primeros dos puntos de datos de poros de 6 μm (suspensión regular #1), la recuperación de combustible de hecho sí aumentó a medida que más burbujas se introducían en la celda de flotación que iba de 94.6% a 95.1% para 0.019 y 0.028 m^3 respectivamente. Más allá de 0.028 m^3 , la recuperación de combustible disminuye bruscamente.

[0177] Sin atarse a la teoría, actualmente se cree que la disminución en la recuperación de combustible al volumen mayor de las burbujas se puede explicar por la turbulencia. A medida que el volumen de las burbujas (número de burbujas en la celda de flotación) aumentó, la turbulencia en la celda de flotación también aumentó. Actualmente se cree que mucha turbulencia dentro de la celda de flotación hace que las partículas de carbón se desvinculen de las burbujas a medida que las burbujas flotan a la parte superior de la celda resultando en partículas de carbón que permanecen suspendidas en los relaves y previniendo que ellas alcancen el producto de espuma de carbón, disminuyendo de esta forma la recuperación de combustible.

[0178] Así, más allá de un cierto volumen de burbujas, o número de burbujas en la celda de flotación, para un tamaño de poro de generador de burbuja dado, la turbulencia es muy alta y la recuperación de combustible disminuye. La turbulencia en la celda de flotación aumentó para los generadores de burbuja con tamaños de poro promedio de 15 μm y 30 μm , resultando en una reducción adicional de la recuperación de combustible cuando estos generadores de burbuja se usaron en comparación cuando se utilizaron los generadores de burbuja con un tamaño de poro promedio de 6 μm . Los datos para los generadores de burbuja con tamaño de poro promedio de 3 μm es menor a lo esperado. Como se ve en la figura 3, la recuperación de combustible para los generadores de burbuja de poro de 3 μm es

significativamente menor a los generadores de burbuja de 6 μm . Esto se puede deber a insuficiente volumen de burbujas. Se cree que con un volumen mayor de las burbujas (es decir, mayor número de burbujas) usando los generadores de burbuja de tamaño de poro de 3 μm en la celda de flotación la recuperación de combustible también aumentará hasta que la turbulencia comience a anular las ganancias en la recuperación de combustible como se pudo ver para los generadores de burbuja de poro de 6 μm .

[0179] EJEMPLO 8

10 [0180] Sedimentación

[0181] Después de completar un ciclo de flotación y drenar los relaves de la celda de flotación, se observó la sedimentación de carbón más grande y partículas de ceniza en el fondo de la celda de flotación. Esta sedimentación se reunió y se analizó por contenido de humedad, contenido de ceniza, y tamaño de partícula y se incluyó como parte del desborde total en los cálculos de recuperación de combustible como se resume en la Tabla 2F. La figura 4 ilustra el porcentaje de sedimentación (sedimentos/desborde total) en una base seca como función del volumen de las burbujas en la celda de flotación. A medida que el volumen de las burbujas en la celda de flotación aumentó (ver tendencias para tamaño de poro de 6 μm (suspensión regular #1) y los conjuntos de datos de tamaño de poro de 3 μm), el % en peso de sedimentos también aumentó y se puede explicar por el aumento en turbulencia discutido previamente. Se cree que las partículas más grandes se desvinculan más fácilmente de las burbujas en una celda de flotación más turbulenta. Los datos sugieren que varias las partículas más grandes se asentaron contra la corriente de flotación hacia arriba hacia el fondo de la celda de flotación durante el ciclo de flotación. De hecho, la tasa de asentamiento aumentó con la turbulencia aumentada para el tamaño de poro de 6 μm (suspensión regular #1) y los conjuntos de datos de tamaño de poro de 3 μm .

[0182] En el gráfico anterior la baja recuperación de combustible para los generadores de burbuja de tamaño de poro de 15 μm y 30 μm se explicó por la turbulencia aumentada observada con estos generadores de burbuja de tamaño de poro mayor debido a que las partículas de carbón se desvincularon de las burbujas y no se recolectaron en el producto de espuma de carbón. La figura 4 sugiere que está ocurriendo menos sedimentación para los generadores de burbuja de tamaño de poro de 15 μm y 30 μm aunque produjeron ambiente de flotación más turbulento. Un proceso dinámico competitivo está ocurriendo cuando las partículas de carbón se unen y se desvinculan a las burbujas más grandes producidas por los generadores de burbuja de 15 μm y 30 μm se usan y no se asientan al fondo de la celda de flotación durante el ciclo de flotación a tasas tan altas como ocurre para burbujas hechas de los generadores de burbuja de 3 μm y 6 μm .

[0183] La figura 5 muestra el tamaño de partícula de sedimento promedio ilustrado como una función del diámetro de poro promedio de los generadores de burbuja.

Para la suspensión regular, el tamaño de partícula de sedimento promedio disminuye como se espera a medida que el diámetro de poro promedio de los generadores de burbuja aumenta debido a que las burbujas más grandes producidas por los generadores de burbuja de tamaño de poro mayor pueden flotar partículas más grandes debido a flotabilidad mayor. La suspensión molida tiene un tamaño de partícula de sedimento promedio de cero debido a que no hubo sedimento. El hecho que no hubo partículas de sedimento con la suspensión molida es importante. Esto demuestra que la flotación con generadores de burbuja de cerámica microporsa o plástico es muy eficiente en la flotación de partículas de carbón ultrafinas por debajo de 300 μm en diámetro. De hecho, virtualmente todas las partículas de carbón molidas flotaron porque la recuperación de combustible para la suspensión molida con generadores de burbuja de tamaño de poro promedio de 6 μm fue 97%.

[0184] EJEMPLO 9

[0185] Correlación entre Recuperación de Combustible y Contenido de Ceniza de los Relaves

[0186] A medida que más carbón se flota fuera de la celda de flotación, menos
5 carbón se deja atrás en los relaves. La recuperación de combustible como función del contenido de ceniza de los relaves para una alimentación de carbón dada (25 a 30% en peso de ceniza) se calculó y se ilustró en la figura 6. Se puede ver que los valores calculados coinciden bien con los valores experimentales. Como tal, el contenido de ceniza de los relaves puede de hecho ser un indicador para la
10 recuperación de combustible. Entre mayor sea el contenido de ceniza de los relaves (es decir, entre menor sea el contenido de carbón de los relaves), mayor será la recuperación de combustible.

[0187] EJEMPLO 10

15 [0188] Correlación entre el Tamaño de Poro del Generador de Burbuja y el Tamaño de Partícula de Espuma de Carbón

[0189] La figura 7 muestra el diámetro promedio de partícula de espuma de carbón que se flota por los generadores de burbuja con diferente diámetro de poro promedio. A medida que el diámetro de poro promedio aumenta, el tamaño de
20 partícula promedio de espuma de carbón también aumenta. Esto es esperado porque una burbuja grande estará hecha de un tamaño de poro mayor. Las burbujas más grandes tienen mayor flotabilidad y por lo tanto pueden flotar partículas más grandes que se unen a las burbujas más grandes.

25 [0190] EJEMPLO 11

[0191] Tasa de Flotación

[0192] La tasa de flotación es la tasa a la cual el producto seco sale de la columna de flotación en la espuma dividida por el área de sección transversal de la celda de

flotación. La figura 8 ilustra la Tasa de Flotación como una función del diámetro promedio de partícula de espuma. Como se discutió anteriormente, la teoría sugiere que las burbujas más pequeñas deben tener una mayor tasa de flotación que las burbujas grandes. Los datos en este gráfico corroboran esa teoría en que la tasa de
5 flotación medida para las burbujas hechas del generador de burbuja de poros de 6 μm > poros de 15 μm > poros de 30 μm .

[0193] Generalmente se cree en la industria de flotación de carbón que la tasa de flotación disminuye para los tamaños de partículas mayores a 500 micras y para tamaños de partículas menores a 100 micras. La razón para la capacidad de carga
10 reducida de las partículas de carbón mayores a 500 micras es que estas partículas grandes tienden a desvincularse de las burbujas debido a su masa, reduciendo así la tasa de flotación. La razón para la capacidad reducida de carga de las partículas de carbón ultrafinas menores a 100 micras es que estas partículas pequeñas se pueden deslizar después de las burbujas en la corriente que rodea las burbujas a
15 medida que se elevan a través de la columna sin unión. Para los datos mostrados en la figura 8, flotación vs. diámetro de partícula de espuma promedio, se reportan dos diferentes tamaños de partículas para las flotaciones realizadas con los generadores de burbuja de poro de 6 μm : diámetro promedio de partícula de espuma de 32 μm y partículas tan grandes como 1200 μm (ver sedimento en la
20 Tabla 2F) para flotaciones usando la suspensión sin moler (poro de 6 μm #1) y diámetro promedio de partícula de espuma de 16 μm y partículas tan grandes como 140 μm para flotaciones realizadas usando la suspensión molida (poro de 6 μm #2). Estos resultados son opuestos a la vista común que la capacidad de carga disminuye a medida que el tamaño de partícula disminuye en el régimen de carbón
25 ultrafino (menos de 100 μm). Por el contrario, la capacidad de carga aumenta por 18% cuando se va de 32 μm a 16 μm de diámetro promedio de partícula de espuma. Así, usando la tecnología de flotación descrita acá, la capacidad de carga puede de hecho aumentar y no se compromete cuando el tamaño de partícula se reduce

cuando se hace separación por flotación de partículas de carbón fino y ultrafino a medida que el tamaño de partícula se reduce. La capacidad de flotar eficientemente partículas de carbón ultrafinas ($< 100 \mu\text{m}$) puede suministrar oportunidades de recuperar finos de carbón valiosos de varios sitios de desperdicio que están abandonados debido a que el desperdicio es considerado para estar en el rango de tamaño ultrafino y por lo tanto, es difícil de flotar y recuperar. Adicionalmente como se divulga acá, a medida que el tamaño de partícula va al rango ultrafino ($< 100 \mu\text{m}$) hay poca o ninguna ceniza arrastrada en las partículas de carbón.

[0194] Las figuras 9 y 10 muestran la distribución de tamaño de partícula para la suspensión, espuma de carbón, relaves, y sedimento (si hay) para flotaciones usando una suspensión sin moler (poro de $6 \mu\text{m}$ #1) y una suspensión molida (poro de $6 \mu\text{m}$ #2). El diámetro de partícula en la suspensión sin moler (poro de $6 \mu\text{m}$ #1) se extiende hasta aproximadamente $400 \mu\text{m}$. El diámetro de partícula en la suspensión molida (poro de $6 \mu\text{m}$ #2) no es mayor a $200 \mu\text{m}$. Como resultado, la distribución de tamaño de partícula de espuma para la suspensión molida es menor que para la suspensión sin moler, resultando en tamaños de partícula promedio menores. La distribución de tamaños de partícula de relaves es similar. Como ya se discutió, no se observó sedimentación para la suspensión molida debido a que todas las partículas están por debajo de $200 \mu\text{m}$. El tamaño de partícula de los sedimentos que no flotaron para la flotación usando la suspensión sin moler llegó a un pico en $400 \mu\text{m}$. Se observó que la espuma de carbón de la suspensión molida (figura 10) tiene un tamaño de partícula menor a la espuma de carbón de la suspensión sin moler (figura 9) cuando se flota con generadores de burbuja de poro de $6 \mu\text{m}$ en el mismo volumen de aire o rpm de operación de soplador, 500 rpm en estos casos.

[0195] EJEMPLO 12

[0196] Contenido de espuma de carbón y pulpa

[0197] Un proceso de flotación de carbón por lotes se describe en el presente documento en relación a un diámetro de 17,5 pulgadas (0,444 m) por 6 pies (1,83 m) de altura de celda de flotación. La celda de flotación se llena de agua clarificada con el soplador, yendo a los generadores de burbujas. La región de burbuja-agua alcanza el nivel designado, que es típicamente de 1 pie (0,305 m) por debajo del borde superior de la celda de flotación. Durante el proceso de separación por flotación, el flujo inferior o las colas no se drenan continuamente. Más bien, la concentración de componente de formación de ceniza se acumula continuamente en el interior de la región de la burbuja-agua (pulpa) a medida que más y más partículas de carbón flotan fuera de la columna y las partículas de componentes que forman cenizas se quedan atrás.

[0198] El proceso de flotación de carbón descrito en este documento se dirige a sólidos del producto de espuma de 50% en peso que dejan la parte superior de la celda de flotación. Eso significa que la espuma se compone de 50% en peso de sólidos y 50% en peso de agua. Aproximadamente el 95% en peso de los sólidos son partículas de carbón sobre una base seca. La gran mayoría de las partículas de carbón hidrofóbicas llegan a la espuma a través de la flotación en burbujas en la pulpa que flota hacia arriba y se unen para formar espuma. Algunas de las partículas de carbón se incluyen como partículas de carbón en suspensión en la pulpa. La piel que hace a las burbujas consiste en una película delgada de agua y vaporizador. Esta película delgada no compensa la totalidad del 50% en peso de la humedad de la espuma. Parte de la pulpa de agua está incluida en la espuma intersticial entre las grandes burbujas de espuma. Ya sea en la piel de las burbujas o como agua intersticial, el agua en la espuma es de la pulpa y contiene partículas de componentes que forman cenizas que fueron suspendidas en la pulpa. Puesto que la pulpa de agua es la fuente del agua en la espuma, ya sea en las pieles de las burbujas o agua intersticial, a mayor es la concentración de partículas de componentes que forman cenizas en la pulpa, mayor es la masa de las partículas

de componentes que forman cenizas que se incluyen en la espuma de carbón a través de arrastre en el agua de pulpa.

[0199] Un experimento se realizó donde el carbón se hizo flotar en un diámetro de 17,5 pulgadas (0,444 m) por 6 pies (1,83 m) de células altas de flotación donde se recogió la espuma, ya que se desbordó la célula cada 10 minutos durante 50 minutos. Se tomaron muestras de la pulpa también en cada intervalo de tiempo desde un puerto de muestreo a 3 pies (0,91 m). La velocidad de adición de suspensión era de 5 kg/minuto, la suspensión fue de 35% en peso de sólidos, y la suspensión fue de 25% en peso de cenizas sobre una base seca.

[0200] La figura 11 grafica el % en peso del contenido de cenizas de la espuma de carbón y el contenido de sólidos de la pulpa como una función del tiempo de adición de suspensión. Correspondientemente, la figura 12 grafica el contenido de ceniza de la espuma instantánea como una función del contenido de sólidos de la pulpa. La espuma instantánea es la espuma que está desbordando de la columna. A través de los datos de las figuras 11 y 12, se ve que a medida que el contenido de sólidos en la pulpa (región burbuja-agua) aumenta con el tiempo, el contenido de cenizas de la espuma instantánea también aumenta. Además, existe una relación casi lineal entre el contenido de cenizas de la espuma instantánea y el contenido de sólidos de la pulpa. Por lo tanto, el contenido de sólidos de la pulpa se puede usar como una métrica de control para decidir cuándo dejar de alimentar suspensión en la celda de flotación y comenzar el ciclo de limpieza del proceso continuo por lotes similares. En cada intervalo de 10 minutos, la totalidad de la espuma recogida se mezcló bien para homogeneizarla y también se tomaron muestras (espuma homogeneizada).

[0201] La figura 12 también grafica el contenido de cenizas de la espuma homogeneizada vs. el contenido de sólidos de la pulpa. La espuma homogeneizada tiene un contenido de cenizas inferior a la espuma instantánea ya que es un contenido medio de cenizas para todo el recorrido. Para las condiciones en las que se ejecutó este experimento (tasa de suspensión de alimentación, contenido de

sólido de la suspensión, y el contenido de cenizas en suspensión), si el contenido de cenizas de destino de la espuma homogeneizada es de 5% en peso, entonces la columna se puede ejecutar hasta que el contenido de sólidos de la pulpa sea poco más de 7% en peso, que se traduce en aproximadamente 40 minutos tiempo de adición de suspensión.

[0202] EJEMPLO 13

[0203] Contenido de espuma de carbón y volumen de la burbuja

[0204] La figura 13 muestra el contenido de sólidos de la espuma de carbón como una función del volumen de burbujas en la celda de flotación. El volumen de burbuja, que también representa el número de burbujas, en la celda de flotación aumenta ya que el aire se pasa a través de los generadores de burbujas a una velocidad superior, es decir, mayor velocidad del ventilador (rpm). El aumento de la tasa de flujo de aire a través de la columna causa más agua para salir de la columna con la espuma, lo que resulta en una espuma más húmeda o un menor contenido de sólidos. Por lo tanto, una de las formas de maximizar el contenido de sólidos de la espuma es reducir al mínimo el caudal de aire a través de la celda de flotación sin dejar de lograr tasas de flotación deseadas.

[0205] EJEMPLO 14

[0206] Lavado a Contracorriente de la Espuma de Carbón

[0207] El agua de lavado a contracorriente a través de la capa de la espuma de carbón se ha convertido en un procedimiento estándar en la flotación de la espuma de carbón para ofrecer un menor contenido de cenizas de la espuma de carbón [Kilma 2012, Jameson 2007, y Yoon 1995]. La creencia es que el agua a contracorriente lava las partículas de componentes que forman cenizas fuera de la espuma de carbón y hacia abajo en la región de agua-burbuja (o pulpa) de la celda de flotación. Una razón importante del alto contenido de humedad en la espuma de

carbón en otras celdas de flotación de carbón es el uso de grandes volúmenes de agua de lavado a contracorriente para reducir la ceniza arrastrada.

[0208] Los datos reportados en la figura 14 muestran que si diferentes tasas de agua de lavado a contracorriente se añaden a una celda de flotación de 17,5 pulgadas (0,444 m) de diámetro por 6 pies (1,83 m) de alto, el contenido de sólidos de la espuma va desde 27,5% en peso para cuando no hay agua de lavado a contracorriente a 25,4% en peso y 13,2% en peso para 0,25 l/min y 1,12 l/min de agua de lavado a contracorriente respectivamente. La creencia predominante es que el agua a contracorriente lava las partículas de los componentes que forman ceniza fuera de la espuma de carbón y hacia abajo en la región de la pulpa de la celda de flotación para incrementar la eficiencia de flotación. Sin embargo, los resultados experimentales muestran que a medida que la tasa de agua de lavado a contracorriente aumenta, el contenido de sólidos de la espuma disminuye desde 27,5% de sólidos a menos de 15% en peso de sólidos en el ejemplo anterior.

[0209] EJEMPLO 15

[0210] Contenido de sólidos de la espuma de carbón, diámetro de la celda flotación, y la altura de la espuma

[0211] La tabla 3, a continuación, resume el contenido de sólidos y la ceniza de la suspensión de entrada y el contenido de sólidos y la ceniza de la espuma de salida para varias carreras hechas utilizando las diferentes celdas de flotación. Las cuatro celdas de flotación usadas fueron de 17.5 pulgadas (0,444 m) de diámetro por 6 pies (1,83 m) de altura, 17,5 pulgadas (0,444 m) de diámetro por 20 pies (6,1 m) de altura, de 4 pies (1,22 m) de diámetro por 10 pie (3,05 m) de altura, y 8,5 pies (2,59 m) de diámetro por 14 pies (4,27 m) de altura. Los cuatro puntos de datos para la celda de flotación de 17,5 pulgadas (0,444 m) de diámetro por 6 pies (1,83 m) de alto fueron recogidos en la misma prueba. Todo el resto de los puntos de datos en la Tabla 3 representan puntos de datos de carreras de flotación únicas.

[0212] El contenido de sólidos de la espuma no mostraron tendencia o dependencia del contenido sólido de la entrada de suspensión en la celda de flotación. Además, para el mismo diámetro de celda de flotación, el contenido de sólidos de la espuma fue sólo débilmente dependiente de la altura de espuma que muestra un pequeño
5 aumento en el contenido sólido con una altura de espuma más alta. La altura de espuma se define por la distancia desde el límite entre la pulpa y la espuma a la parte superior de la celda de flotación, es decir, la altura que la espuma debe viajar para desbordar la celda de flotación y ser recogida.

[0213] Curiosamente, el contenido de sólidos de la espuma era fuertemente
10 dependiente del diámetro de la celda de flotación. El contenido sólido de la espuma de carbón se representó en función del diámetro del diámetro de la celda de flotación en la figura 15. El contenido en sólidos aumento cuando el diámetro de la celda de flotación aumentó. Por lo tanto, el contenido de sólidos de la espuma de carbón puede ser dictado por el diámetro de la celda de flotación, alcanzando niveles de
15 contenido de sólidos en exceso del 50% en peso de sólidos.

[0214] La espuma de alto contenido de solido es deseable al menos por dos razones. Primero, la espuma de carbón se deshidrata posteriormente para producir un producto de carbón mejorado seco. Cuanto mayor sea el contenido de sólidos de la espuma de carbón, menos agua necesita ser retirada de la espuma de carbón
20 en los procesos de deshidratación. La espuma de carbón generalmente se deshidrata a través de métodos tales como prensas de filtro, sistemas de filtración de vacío, prensas de banda, etc. Otros sistemas de la espuma de carbón de carbón fino y ultrafino producen espuma de carbón en el rango de 12% en peso. Deshidratar una espuma de contenido bajo de sólido tal como el anterior, requiere más equipo
25 que si la espuma de carbón fuera de un mayor contenido de sólido, por ejemplo 50% en peso de sólidos producidos por la tecnología de flotación y el procedimiento descrito en el presente documento. En segundo lugar, las partículas de componentes que forman cenizas son arrastradas en el agua de pulpa que se

incluye en la espuma. Un contenido de sólidos más alto significa menos agua de pulpa que se incluye en la espuma, lo que significa menos componente de formación de ceniza que se incluye en la espuma, lo que resulta en una mayor eficiencia de flotación.

5 [0215] En la interfaz de pulpa-espuma, las burbujas finas se unen para formar burbujas de espuma más grandes. El agua de la pulpa es arrastrada en el intersticio de la espuma de carbón a las propias burbujas. Las burbujas grandes de área de espuma son forzadas hacia arriba y fuera de la celda de flotación por la espuma nueva formada en la interfaz de pulpa-espuma. Cerca de la interfaz de pulpa-
10 espuma, el agua intersticial entre las grandes burbujas de espuma puede drenarse por gravedad a través de la espuma de carbón hacia abajo en la pulpa de la celda de flotación. El uso de agua de lavado a contracorriente se aprovecha de este mecanismo de drenaje. Intuitivamente, una altura de espuma de carbón más alta daría más tiempo y distancia a la espuma para drenar, permitiendo la mayor
15 cantidad disponible de agua vuelva a la pulpa y producir la espuma más seca posible. Si bien es cierto que los datos en la Tabla 3 muestran que una altura de la espuma de carbón más alta hizo producir una espuma más seca (mayor contenido de sólidos), como ya se dijo, los datos muestran además que el diámetro de la columna tuvo un efecto mucho mayor sobre el contenido de sólidos de la espuma
20 de carbón que la altura de la espuma.

[0216] Las celdas de flotación estándar en la industria actualmente operan con una altura de espuma de carbón de aproximadamente 1 metro. Una razón de la gran altura de espuma es mantener una espuma estable que no se colapse mientras se aplica el agua de lavado de contracorriente para que se filtre a través de la espuma
25 y que sea una etapa de lavado de espuma eficaz [Yoon 1995, Kilma 2012]. El sorprendente resultado de una espuma de carbón seca que se produce con una celda de flotación de mayor diámetro se debió a los esfuerzos a escalas de las pequeños diámetros de las columnas de flotación en la escala de laboratorio a las

columnas de flotación de mayor diámetro en la escala piloto y las escalas de producción en la ausencia de agua de lavado a contracorriente. El agua de lavado no es necesaria con la tecnología de flotación y el procedimiento descrito en el presente documento para obtener una eficiencia de flotación en exceso de 95%, por ejemplo menos de 5% en peso de componentes que forman cenizas en el producto de la espuma de carbón sobre una base seca. Si las tasas de agua de lavado a contracorriente habrían sido empleadas durante los esfuerzos a escala, probablemente no se ha observado la tendencia de un mayor contenido de sólidos con celdas de flotación de mayor diámetro. Además, probablemente no se han alcanzado contenido de sólidos de espuma mayor que 15 a 20% en peso, especialmente si se han utilizado tasas de agua de lavado a contra corriente más grandes. Ya que no se utilizó agua de lavado a contracorriente y la altura de espuma tiene una influencia mínima en el contenido de sólidos de espuma, el contenido de sólidos en exceso del 50% en peso se logró con una celda de flotación de 8 pies de diámetro mientras se mantiene la altura de espuma de menos de 18 pulgadas.

[0217] Sin estar atado por la teoría, actualmente se cree que la razón del diámetro de la columna es más importante que la altura de espuma en la determinación del contenido de sólidos de la espuma debido a la velocidad de drenaje de la espuma dentro de la celda de flotación basado en la teoría de paseo aleatorio. En las celdas de flotación de diámetro más pequeño, el número de vías para el drenaje del agua intersticial de nuevo en la celda de flotación está restringida por la proximidad más estrecha de las paredes de la celda de flotación. Además, los datos muestran que para un diámetro de celda de flotación dado, aumentando la altura de la espuma de carbón por encima de aproximadamente 18 pulgadas (0,45 m) no tiene una influencia significativa en el contenido de sólidos de la espuma. Esto es probablemente porque el proceso de drenaje es muy rápido resultando en el límite del contenido de sólidos para un diámetro de celda de flotación dado a ser alcanzado casi inmediatamente y cualquier drenaje adicional de agua cuando la

espuma sube en la celda de flotación se sustituye por el agua que drena hacia abajo desde la espuma de arriba. El resultado es un contenido de sólidos en equilibrio para un diámetro de celda de flotación dado que aumentó ligeramente con la altura de la espuma de carbón por encima de la interfaz de pulpa-espuma cuando la
5 espuma fue empujada fuera de la celda de flotación.

[0218] Es importante destacar que el contenido sólido de la espuma de carbón es un factor que influye en el contenido de componentes que forman cenizas de la espuma. Como se señaló anteriormente, una espuma más húmeda contiene más agua de la pulpa. Las partículas de componentes que forman cenizas en la espuma
10 no están flotando en las burbujas, sino que se incluyen en la espuma de carbón como parte del agua intersticial de la pulpa durante la formación de espuma. Por lo tanto, como el contenido de sólidos de la espuma se incrementa mediante el aumento de drenaje de espuma con celdas de flotación de mayor diámetro, el componente de formación de cenizas de la espuma se reduce a través de la
15 inclusión de menos agua de la pulpa.

[0219] Adicionalmente, los datos de la Tabla 3 muestran que el contenido de componentes que forman cenizas de la espuma de carbón sobre una base seca para un diámetro de celda dada es independiente de la altura de espuma. Como se discute en este documento, el contenido de componente de formación de ceniza es
20 una función de la operación de la celda de flotación. Una vez que la espuma de carbón se produce en el límite de pulpa-espuma y el agua se haya drenado al nivel de equilibrio para el diámetro de celda de flotación como se discutió anteriormente, el contenido de componente de formación de ceniza sobre una base seca para la cantidad de espuma producida en ese momento es una constante y no cambia
25 cuando la espuma aumenta aún más en la celda de flotación. Como se discutió anteriormente, la cantidad de componente de formación de ceniza para la cantidad de espuma producida en ese momento es una función de cuanto componente de

formación de ceniza se ha acumulado en la celda de flotación durante el tiempo en que la celda ha estado operando en el ciclo de lote dado.

[0220] Como se mencionó anteriormente, los cuatro puntos de datos para la celda de flotación de 17,5 pulgadas (0,444 m) de diámetro por 6 pies (1,83 m) de altura fueron todos recogidos en el mismo plazo. La altura total de espuma para esta ejecución se fijó en 3 ft, por ejemplo, la distancia desde la interfaz de espuma de pulpa a la parte superior de la columna era de tres pies. Toda esta información se recogió casi inmediatamente después de comenzar la flotación. Los recipientes se suspendieron en la celda de flotación a alturas de espuma de 0,5 ft, 1,25 ft, y 2 ft.

Cuando la espuma alcanzó cada altura después de comenzar la flotación, el recipiente se llenó de espuma. Después de que la espuma superó este nivel y el recipiente se llenó, se retira de la celda de flotación con una cadena adjunta. La espuma se recogió en una última altura de espuma de 3 pies cuando la espuma comenzó a derramarse sobre la parte superior de la celda de flotación. Los resultados de este experimento controlado muestran dos de las observaciones que se describieron: el contenido del componente de formación de ceniza no cambia después de la formación de espuma en el límite de pulpa-espuma y una débil dependencia del contenido de sólidos de la altura de espuma. El bajo contenido del componente de formación de ceniza de la espuma para estos cuatro puntos de datos de la celda de flotación de 17,5 pulgadas (0,444 m) de diámetro por 6 pies (1,83 m) de altura es porque el ciclo de flotación se acaba de comenzar. Los altos contenidos de componentes que forman cenizas se muestran para otros puntos de datos en la Tabla 3 ya que las muestras de espuma eran muestras de toda la espuma producida durante un ciclo de 30 a 40 minutos (excepto los 2 pies de altura de espuma en la celda de flotación de 8,5 pies (2,59 m) de diámetro por 14 pies (4,27 m) de altura que se recogió usando un recipiente en una cadena inmediatamente después de comenzar la flotación cuando la espuma avanzaba hasta la celda de flotación).

[0221] Por lo tanto, el componente de formación de ceniza de la espuma es una función del contenido de sólidos instantáneos y el contenido de componentes que forman cenizas de la pulpa en el momento en el que la espuma se forma en la interfaz de pulpa-espuma.

5 [0222] Tabla 3. Contenido de sólidos y de ceniza de la suspensión de entrada y contenido de sólido y ceniza de la espuma saliente por cuatro celdas de flotación diferentes.

Celda de flotación	Contenido de Sólido de la Suspensión (% en peso)	Contenido de Cenizas de la Suspensión (% en peso)	Altura de Espuma (pies)	Contenido Sólido de la Espuma (% en peso)	Contenido de Ceniza de la Espuma (% en peso)
17.5" x 6'	38.7%	25.5%	0.5	26.5%	2.7%
17.5" x 6'	38.7%	25.5%	1.25	30.7%	2.8%
17.5" x 6'	38.7%	25.5%	2	32.1%	2.4%
17.5" x 6'	38.7%	25.5%	3	30.7%	2.8%
17.5" x 20'	53.0%	25.0%	6	30.2%	n/a
17.5" x 20'	53.0%	25.0%	6	33.9%	n/a
17.5" x 20'	53.0%	25.0%	12	35.0%	n/a
4' x 10'	35.0%	25.0%	4	51.1%	4.13%
8.5" x 14'	57.0%	28.2%	1.5	55.0%	4.80%
8.5" x 14'	57.0%	28.2%	2	54.8%	2.37%
8.5" x 14'	57.0%	28.2%	6	67.4%	5.09%

[0223] EJEMPLO 16

10 [0224] Procesamiento por lotes para obtener una alta recuperación de combustible, alta eficiencia, y una tasa de flotación en o cerca de la capacidad de carga de la celda de flotación.

[0225] Como se describe en el presente documento, un procedimiento preferido para hacer funcionar una celda de flotación de carbón es a través de un proceso por lotes. Los datos se recogieron con la operación de una celda de flotación a escala

15

de laboratorio de 17,5 pulgadas (0,444 m) de diámetro por 6 pies (1,83 m) de altura.

Un ventilador se utiliza para suministrar aire a los generadores de burbujas a través del colector descrito anteriormente que contiene generadores de burbujas. Para 25

generadores de burbujas con poros de 6 μm , 15 pies cúbicos por minuto (CFM) de

5 aire se suministran generalmente al colector con el soplador, pero otras velocidades

de flujo de aire se ensayaron. Para iniciar el ciclo de lote, el ventilador se enciende

en el caudal deseado. A continuación, la celda de flotación se llenó con agua a un

nivel de 1,2 m. Se añadió una espiga de espuma equivalente en la dosis de 20,3 g

de espuma por metro cúbico de agua en la celda de flotación para estabilizar las

10 burbujas. El volumen utilizado para calcular la dosis de la espiga de espuma era la

de la celda hasta la línea de 1,52 m. A continuación, se añadió el agua hasta que la

pulpa (región de burbuja de agua) era al nivel de 1.52m de la celda de flotación.

[0226] Por lo general, una suspensión acuosa sólida de 45% en peso de finos de

carbón se utilizó para la flotación, pero se probaron suspensiones bajas de 15% en

15 peso de sólido y altas de 55% en peso de sólido. Por lo general, un colector y

espuma se mezclaron en la suspensión a una dosis de 0,3 kg de colector o espuma

por MT de carbono seco en la suspensión. A veces se añadieron dosis más bajas o

más altas de colector y/o espuma a la suspensión. La velocidad de alimentación de

la suspensión era generalmente de aproximadamente 5 kg/min, aunque se probaron

20 velocidades de alimentación más altas y más bajas. La suspensión se alimenta por

lo general en la columna durante 30 minutos, aunque los tiempos cortos y más

largos fueron a veces utilizados. Durante el tiempo de alimentación de 30 minutos,

la espuma de carbón se empieza a regar normalmente sobre la parte superior de la

columna después de aproximadamente dos minutos. La alimentación de la

25 suspensión se detuvo después de 30 minutos, y un período permitido de carbono

de limpieza que queda en la pulpa para flotar hacia fuera. Si la tasa de alimentación

de la suspensión introduce partículas de carbón a una velocidad mucho mayor que

la capacidad de carga de la celda de flotación (por ejemplo, la tasa de flotación

máxima de la celda de flotación), entonces se necesitaba el tiempo de limpieza para las partículas de carbón que se acumularon en la pulpa para que flotaran y se recogieran como espuma de carbón.

[0227] Si la tasa de alimentación de la suspensión introducía partículas de carbón en la celda de flotación a una velocidad más baja que la capacidad de carga de la celda de flotación, se necesitaba entonces poco o nada de tiempo de limpieza para la espuma de carbón para que dejara de desbordar la celda de flotación después de que la alimentación de la suspensión fue desactivada. El tiempo de limpieza era no más de 10 minutos.

[0228] Si el tiempo de limpieza superó los 10 minutos, la etapa de flotación se terminó. Idealmente, la velocidad de alimentación de la suspensión acuosa introdujo partículas de carbono en la celda de flotación en un ligero exceso de la capacidad de carga de tal manera que se necesitaba un tiempo de limpieza de 3 a 5 minutos. Cuando la espuma de carbón paró de derramarse sobre la parte superior de la celda de flotación o cuando el tiempo de limpieza alcanzó los 10 minutos, lo que sucedió primero, la pulpa se drenó de la celda de flotación y se guardó para el análisis. Cualquier sedimentación que se acumuló en el fondo de la celda de flotación se guardó para el análisis. El carbón de espuma que se desbordó de la celda de flotación se guardó para el análisis. Una muestra de la suspensión también se guardó para el análisis. El análisis comúnmente hecho en la suspensión acuosa de finos de carbón, espuma de carbón, pulpa (o flujo inferior o colas), y sedimentos incluídos la masa total consumida o producida, contenido de humedad, contenido de cenizas, y análisis de tamaño de partículas. A partir de estos datos, la recuperación de combustible, la eficiencia de flotación, y la tasa de flotación se determinaron. Se recogieron las colas (pulpa drenada), se deshidrataron, y se secaron para su uso en el procesamiento posterior. La espuma de carbón recogida se deshidrató, se granuló, se secó adicionalmente y luego se analizó, en algunas ocasiones, adicionalmente para el contenido de calor, el contenido de materia

volátil, contenido de cenizas, contenido de azufre, y propiedades de coque tales como FSI, fluidez, plasticidad, CRI, CSR, reflectancia máxima media, etc . Las tasas de flotación altas como 2,0 MT/m³ de área de celda de flotación, la recuperación de combustible tan alto como 97%, y la eficiencia de flotación tan alta como 97% en la
5 escala de laboratorio para la celda de flotación de 17,5 pulgadas (0,444 m) de diámetro por 6 pies (1,83 m) de altura.

[0229] EJEMPLO 17

[0230] Operación de Celdas de Flotación de Diferentes Tamaños

10 [0231] Los datos experimentales se recogieron en una celda de flotación a escala de laboratorio que tenía 17,5 pulgadas (0,44 m) de diámetro por 6 pies (1,83 m) de alto. Las celdas de flotación de escala piloto (4 pies (1,22 m) de diámetro por 10 pies (3,05 m) de altura) y la escala de producción (8,5 pies (2,59 m) de diámetro por 14 pies (4,27 m) de altura) también se hicieron funcionar en múltiples ocasiones
15 hasta 5 horas. La Tabla 4 compara los resultados de operación típicas para las tres celdas de flotación diferentes. Todos estos resultados son para tiempos de alimentación de la suspensión entre 30 minutos a 45 minutos para la misma velocidad de alimentación de suspensión, suspensión de contenido de sólidos, contenido de cenizas de la suspensión, y el rango de tamaño de partícula. Como
20 puede verse, el contenido de cenizas de la espuma, Btu/lb, FSI, y el contenido de cenizas de las colas son todos muy similares. Como se discutió anteriormente, el contenido sólido de la espuma de carbón aumentó con el aumento de diámetro de la celda de flotación. La recuperación de combustible se midió para una celda de flotación a escala de laboratorio que fue de 17,5 pulgadas (0,44 m) de diámetro por
25 6 pies (1,83 m) de altura y era rutinariamente alta como un 97%. Aunque la recuperación de combustible no se midió directamente para la celda de flotación a escala piloto y a escala de producción, como se discutió anteriormente, la recuperación de combustible puede ser calculada basado en el contenido de ceniza

de los residuos. La recuperación de combustible calculada fue mayor a 95%, tanto para las celdas de flotación a escala piloto y de producción. Los resultados mostrados en la Tabla 4 y analizados en este documento demuestran que los resultados de la caracterización de flotación realizados en la celda de flotación a

5 escala de laboratorio, se escalan con las celdas de flotación a escala piloto y a escala de producción.

[0232] Tabla 4

	Clases de Celdas de Flotación		
	Escala de Laboratorio	Escala Piloto	Escala de Producción
Contenido de Sólidos de la Suspensión (% en peso)	45	45	45
Contenido de Cenizas de la Suspensión (% en peso)	25	25	25
Contenido de Cenizas de la Espuma (% en peso)	6	4.13	3.05
Contenido de Calor de la Espuma (BTU/lb)	15255	15266	15218
FSI de la Espuma (%)	8	7.9	8
Contenido de Cenizas de las Colas (% en peso)	89.9	86.1	87.1
Recuperación de Combustible Medida (%)	97.0	n/a	n/a
Recuperación de Combustible Calculada (%)	n/a	95.4	95.6
Tasa de Alimentación de la Suspensión (kg/min)	5	37.6	170
Producto seco MTPH basado en la Tasa de Alimentación de la Suspensión	0.02	1	4.6

[0233] Observaciones

[0234] El contenido de cenizas de las colas que superan el 90% en peso sobre una base en seco se puede obtener utilizando la celda de flotación y el proceso de flotación que se describe en este documento.

5 [0235] Los datos sugieren que las partículas de carbón más grandes que 500 μm no flotan cuando se utilizan generadores de burbujas de cerámica microporosas y de plástico con tamaños medios de poro entre 3 μm y 30 μm . Cuando la suspensión se muele o tamiza de tal manera que el tamaño de partículas es de menos de 500 μm , no se recogieron sedimentos de carbón lo que sugiere que todo el carbón puede flotar por los tamaños de las burbujas que se producen por los generadores de
10 burbujas descritos.

[0236] La recuperación de combustible de 97% se puede lograr utilizando la celda de flotación y el proceso de flotación que se describe en este documento.

[0237] El tamaño medio de partícula de la espuma de carbón se puede ajustar cambiando el tamaño de poro de los generadores de burbujas.

15 [0238] La capacidad de carga se incrementa a medida que el tamaño de partícula disminuye en el rango fino y especialmente en los rangos de tamaño ultrafino.

[0239] El contenido de cenizas de la espuma de carbón se ve afectado por el contenido de sólidos (contenido de cenizas) que se acumula en la pulpa durante el tiempo de alimentación de la suspensión de la flotación por lotes de tipo continua
20 descrita en el presente documento.

[0240] El contenido de humedad de la espuma se ve afectada por el diámetro de la columna de flotación y la velocidad a la que fluye el aire a través de la columna.

[0241] Los datos de caracterización de la escala de laboratorio se escalan para las escalas piloto y de producción de las columnas de flotación.

25 [0242] A partir de la descripción anterior, se apreciará que la invención descrita proporciona un procedimiento eficaz para separar las partículas de carbón finas a partir de partículas de componentes que forman cenizas.

[0243] El procedimiento descrito requiere sustancialmente menos agua en comparación con los procesos actuales comercialmente disponibles que resultan en menores costos de operación y costos de instalaciones de capital.

5 [0244] El procedimiento descrito permite la recuperación de las partículas de carbón finas para ser procesadas en productos de carbón mejorados, comercialmente valiosos. Del mismo modo, el procedimiento descrito permite la recuperación de partículas de componentes que forman cenizas.

10 [0245] Las modalidades y ejemplos descritos están todos para ser considerados en todos los aspectos como ilustrativos y no como restrictivos. El alcance de la invención está, por lo tanto, indicado por las reivindicaciones adjuntas, más que por la descripción anterior. Todos los cambios que caigan dentro del significado y rango de equivalencia de las reivindicaciones han de ser incluidos dentro de su ámbito de aplicación.

5

REIVINDICACIONES

1. Un proceso para separar partículas de carbón de partículas de componente formador de ceniza que comprende:
 - generar burbujas en agua dentro de una celda de flotación;
 - 10 - introducir una suspensión acuosa de finos de carbón que comprende más de 35% en peso de partículas sólidas que comprenden partículas discretas de carbón y partículas discretas de componentes formadores de ceniza en las burbujas dentro de la celda de flotación de carbón en una forma que hace que las burbujas capturen y floten las partículas de carbón y formen
 - 15 una espuma de carbón, en donde las partículas de carbón y las partículas de componentes formadores de ceniza en la suspensión acuosa tienen un tamaño de partícula entre 0 y 150 μm ; y
 - recolectar la espuma de carbón, en donde la espuma de carbón comprende desde 15 a 50% en peso de partículas sólidas y en donde las
 - 20 partículas sólidas comprenden partículas de carbón y partículas de componente formador de ceniza, con una eficiencia de flotación mayor a 92%, y las partículas de carbón en la espuma de carbón tienen una recuperación de combustible de finos de carbón mayor a 90%.
- 25 2. El proceso de acuerdo con la reivindicación 1, que además comprende los pasos de:
 - detener la introducción de la suspensión acuosa de finos de carbón en la celda de flotación de carbón; y
 - continuar generando burbujas y espuma de carbón por un periodo de
 - 30 tiempo desde 15 segundos a 10 minutos para separar las partículas de carbón separadas que permanecen en el agua de las partículas de componente formador de ceniza.
3. El proceso de acuerdo con la reivindicación 2, que además comprende el paso
- 35 de drenar el agua en la celda de flotación de carbón.
4. El proceso de acuerdo con la reivindicación 3, que además comprende el paso de recuperar las partículas sólidas del agua drenada.

5. El proceso de acuerdo con la reivindicación 4, que además comprende el paso de reciclar el agua a partir de la cual se recuperan las partículas sólidas.
6. El proceso de acuerdo con la reivindicación 2, que además comprende el paso de monitorear un contenido de partículas sólidas en el agua en la celda de flotación de carbón, en donde las partículas sólidas comprenden partículas de componente formador de ceniza y partículas de carbón, y detener la introducción de la suspensión acuosa de finos de carbón en la celda de flotación cuando el contenido de partículas sólidas en el agua en la celda de flotación de carbón supera un porcentaje de peso predeterminado.
7. El proceso de acuerdo con la reivindicación 6, en donde el porcentaje de peso predeterminado de partículas sólidas en el agua está entre 3 y 6% en peso.
8. El proceso de acuerdo con la reivindicación 6, en donde el contenido de partículas sólidas en el agua en la celda de flotación de carbón determina un contenido de partículas de componente formador de ceniza en la espuma de carbón.
9. El proceso de acuerdo con la reivindicación 1, en donde las partículas de carbón y las partículas de componentes formadores de ceniza en la suspensión acuosa tienen un tamaño de partícula desde 0 a 100 μm .
10. El proceso de acuerdo con la reivindicación 1, en donde las partículas de carbón y las partículas de componentes formadores de ceniza en la suspensión acuosa tienen un tamaño de partícula de 0 a 50 μm .
11. El proceso de acuerdo con la reivindicación 1, en donde las partículas de carbón en la espuma de carbón tienen una recuperación de combustible de finos de carbón mayor a 95%.
12. El proceso de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la espuma de carbón comprende desde 25 a 50% en peso de partículas sólidas.
13. El proceso de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la espuma de carbón comprende desde 45 a 50% en peso de partículas sólidas.

14. El proceso de acuerdo con la reivindicación 1, que además comprende el paso de balancear un volumen de entrada de la suspensión acuosa a un volumen de salida de espuma de carbón.
- 5 15. El proceso de acuerdo con la reivindicación 1, en donde las burbujas son generadas con un generador de burbuja o generadores de burbuja, en donde los generadores de burbuja comprenden un material poroso seleccionado de materiales cerámicos y plásticos hidrófobos que tienen un tamaño de poro promedio desde 3 a 30 μm .
- 10 16. El proceso de acuerdo con la reivindicación 1, en donde las burbujas son generadas con un generador de burbuja o generadores de burbuja, en donde los generadores de burbuja comprenden un material poroso seleccionado de materiales cerámicos y plásticos hidrófobos que tienen un tamaño de poro promedio desde 3 a 10 μm .
- 15 17. Un proceso para separar partículas de carbón de partículas de componente formador de ceniza que comprende:
- generar burbujas en agua dentro de una celda de flotación de carbón con un generador de burbuja o generadores de burbuja, en donde los generadores de burbuja comprenden un material poroso seleccionado de materiales cerámicos y plásticos hidrófobos que tienen un tamaño de poro promedio desde 3 a 30 μm ;
 - introducir una suspensión acuosa de finos de carbón que comprende partículas de carbón y partículas de componentes formadores de ceniza en las burbujas dentro de la celda de flotación de carbón en una forma que hace que las burbujas capturen y floten las partículas de carbón y formen una espuma de carbón, en donde las partículas de carbón y las partículas de componentes formadores de ceniza en la suspensión acuosa tienen un tamaño de partícula desde 0 a 150 μm , en donde las burbujas se generan y la suspensión acuosa se introduce en las burbujas de modo que la tasa de flotación de la espuma de carbón es mayor a 1,5 MTPH/ m^2 en una base seca.
- 20 25 30 35 18. El proceso de acuerdo con la reivindicación 17, en donde las partículas de carbón y las partículas de componentes formadores de ceniza en la suspensión acuosa tienen un tamaño de partícula desde 0 a 100 μm .

- 19.El proceso de acuerdo con la reivindicación 17, en donde las partículas de carbón y las partículas de componentes formadores de ceniza en la suspensión acuosa tienen un tamaño de partícula desde 0 a 50 μm .
- 5 20.El proceso de acuerdo con la reivindicación 17, en donde la suspensión acuosa de finos de carbón contiene $40 \pm 15\%$ en peso de finos de carbón.
- 21.El proceso de acuerdo con la reivindicación 17, en donde los generadores de burbuja comprenden un material poroso seleccionado de cerámica y
10 materiales plásticos hidrofóbicos que tiene un tamaño de poro promedio desde 0 a 10 μm .
- 22.El proceso de acuerdo con la reivindicación 17, en donde las partículas de carbón en la espuma de carbón tiene una recuperación de combustible de
15 finos de carbón mayor a 95%.
- 23.Una suspensión acuosa de finos de carbón adecuada para separación por flotación inmediata que comprende:
- partículas discretas de carbón;
 - 20 - partículas discretas de componentes formadores de ceniza; y
 - agua, en donde la suspensión acuosa contiene más de 35% en peso de partículas sólidas que comprenden partículas de carbón y partículas de componentes formadores de ceniza, y en donde las partículas de carbón y las partículas de componentes formadores de ceniza tienen un tamaño
25 de partícula desde 0 a 150 μm .
- 24.La suspensión acuosa de acuerdo con la reivindicación 23, en donde la suspensión acuosa contiene más de 45% en peso de partículas de carbón y partículas de componentes formadores de ceniza.
30
- 25.La suspensión acuosa de acuerdo con la reivindicación 23, en donde las partículas de carbón y las partículas de componentes formadores de ceniza tienen un tamaño de partícula desde 0 a 100 μm .
- 35 26.La suspensión acuosa de acuerdo con la reivindicación 23, en donde las partículas de carbón y las partículas de componentes formadores de ceniza tienen un tamaño de partícula desde 0 a 50 μm .

27. La suspensión acuosa de acuerdo con la reivindicación 23, en donde las partículas de carbón y las partículas de componentes formadores de ceniza tienen un tamaño de partícula promedio desde 0 a 40 μm .
- 5 28. La suspensión acuosa de acuerdo con la reivindicación 23, en donde las partículas discretas de carbón comprenden componentes formadores de ceniza atrapados que tienen una cantidad desde 2 a 4% en peso de partículas de carbón.
- 10 29. La suspensión acuosa de acuerdo con la reivindicación 23, en donde la suspensión es sustancialmente libre de partículas de carbón aglomeradas y partículas de componentes formadores de ceniza.
- 15 30. Una espuma de carbón sin lavar generada en una celda de flotación de carbón que comprende desde 15 a 50% en peso de partículas sólidas y en donde las partículas sólidas comprenden partículas de carbón y partículas de componente formador de ceniza, de los cuales desde 0 a 5% en peso de las partículas sólidas son partículas de componente formador de ceniza.
- 20 31. La espuma de carbón de acuerdo con la reivindicación 30, en donde la espuma de carbón comprende desde 25 a 50% en peso de partículas sólidas.
- 25 32. La espuma de carbón de acuerdo con la reivindicación 30, en donde la espuma de carbón comprende desde 35 a 50% en peso de partículas sólidas.
33. La espuma de carbón de acuerdo con la reivindicación 30, en donde la espuma de carbón comprende desde 45 a 50% en peso de partículas sólidas.
- 30 34. Un proceso para separar partículas de componente formador de ceniza de partículas de carbón que comprende:
- generar burbujas en agua dentro de una celda de flotación de carbón;
 - introducir una suspensión acuosa de finos de carbón que comprende partículas discretas de carbón y partículas discretas de componentes formadores de ceniza en las burbujas dentro de la celda de flotación en una forma que permite que las burbujas capturen y floten las partículas de carbón y formen una espuma de carbón; en donde la suspensión acuosa
- 35 contiene más de 35% en peso de partículas sólidas que comprenden las

partículas de carbón y las partículas de componentes formadores de ceniza; y

- remover la espuma de carbón para mantener una altura de la espuma de carbón desde 6 pulgadas (0,15 m) a 18 pulgadas (0,45 m).

5

35. El proceso de acuerdo con la reivindicación 34, en donde la espuma de carbón comprende desde 25 a 50% en peso de partículas sólidas y en donde las partículas sólidas comprenden partículas de carbón y partículas de componente formador de ceniza, de los cuales desde 0 a 8% en peso de las partículas sólidas son partículas de componente formador de ceniza.

10

36. El proceso de acuerdo con la reivindicación 34, en donde la espuma de carbón comprende desde 45 a 50% en peso de partículas sólidas y en donde las partículas sólidas comprenden partículas de carbón y partículas de componente formador de ceniza, de los cuales desde 0 a 8% en peso de las partículas sólidas son partículas de componente formador de ceniza.

15

Clarke, Modet & C^o

COLOMBIA

E-MAIL: info@clarkemodet.com.co
SANTAFÉ DE BOGOTÁ, A.A. 92397 COLOMBIA

CESION

El (la) abajo firmante (En adelante EL CEDENTE)

1. SWENSEN, James S.
2. HODSON, Simon K.
3. HODSON, Jonathan K.

en su carácter de inventor /diseñador con domicilio en:

1. 3757 State Street, Suite 2A Santa Barbara, California 93105, Estados Unidos de América
2. 3757 State Street, Suite 2A Santa Barbara, California 93105, Estados Unidos de América
3. 3757 State Street, Suite 2A Santa Barbara, California 93105, Estados Unidos de América

por el presente documento declara que cede todos y cada uno de los derechos que le corresponden o puedan corresponderle sobre la siguiente invención, modelo de utilidad, diseño industrial No. PCT/US2015/050737

a: EARTH TECHNOLOGIES USA LIMITED

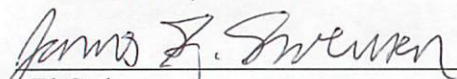
con domicilio 3757 State Street, Suite 2A Santa Barbara, California 93105, Estados Unidos de América

En prueba de la mutua aceptación de esta cesión ambas partes CEDENTE y CESIONARIO firman el presente documento.

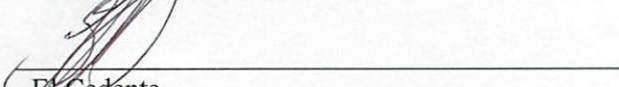
Dado y firmado en

A los días de de

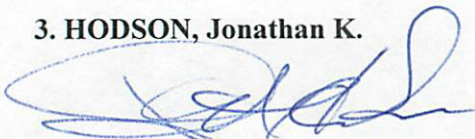
1. SWENSEN, James S.


El Cedente

2. HODSON, Simon K.


El Cedente

3. HODSON, Jonathan K.


El Cedente

El Cesionario

ASSIGNMENT

The undersigned (Hereinafter THE ASSIGNOR)

1. SWENSEN, James S.
2. HODSON, Simon K.
3. HODSON, Jonathan K.

Inventor /designor of domiciled at:

1. 3757 State Street, Suite 2A Santa Barbara, California 93105, United States of America
2. 3757 State Street, Suite 2A Santa Barbara, California 93105, United States of America
3. 3757 State Street, Suite 2A Santa Barbara, California 93105, United States of America

do hereby declares that it assigns all and each of his rights and privileges on the following invention, industrial design, utility model No. PCT/US2015/050737

to: EARTH TECHNOLOGIES USA LIMITED

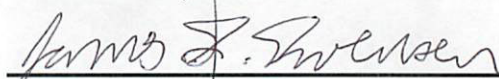
with domicile in 3757 State Street, Suite 2A Santa Barbara, California 93105, United States of America

As a proof of the mutual acceptance of this assignment, both parties ASSIGNOR and ASSIGNEE sign the present document.

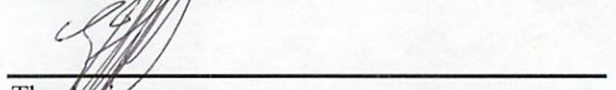
Granted and signed at

on this 16th day of June of 2017

1. SWENSEN, James S.


The Assignor

2. HODSON, Simon K.


The Assignor

3. HODSON, Jonathan K.


The Assignor

The Assignee

Clarke, Modet & C^o

COLOMBIA

Carrera 11 N° 86-53 Piso 6 Bogotá Colombia Tel: (57 1) 6181088 · Fax: (57 1) 6350824 · Email: info@clarkemodet.com.co
PODER **POWER OF ATTORNEY**

Yo (nosotros), abajo firmante(s)

I (we), the undersigned

en mi (nuestro) carácter de representante(s) legales de

legal representative(s) of

EARTH TECHNOLOGIES USA LIMITED

EARTH TECHNOLOGIES USA LIMITED

una sociedad organizada y existente de acuerdo con las leyes de

an organization existing under the laws of

y en actual cumplimiento de su objeto social, con domicilio en **3757 State Street, Suite 2A Santa Barbara, California 93105, Estados Unidos de América**

and in present execution of its business activity, domiciled **3757 State Street, Suite 2A Santa Barbara, California 93105, United States of America**

por el presente instrumento confiero (conferimos) poder especial a favor de **CAROLINA MERCEDES DAZA MONTALVO**, con Cédula de Ciudadanía No. 66.783.790 de Palmira Valle, y tp. 141563 con domicilio en Bogotá, Colombia, para que actuando en nombre del (de la) otorgante le (la) represente ante cualquier entidad, autoridad y/o persona, especialmente ante las del orden Administrativo, Contencioso Administrativo, Judicial, Tribunales de Arbitramento y/o cualquier otro en lo referente a los siguientes asuntos:

do hereby grant **POWER OF ATTORNEY** to **CAROLINA MERCEDES DAZA MONTALVO**, identification card No. 66.783.790 of Palmira Valle, and tp. 141563 residing in Bogotá Colombia, to act in behalf of grantor before any entity, authority and/or natural or juridical person, specially before those Administrative, Administrative-Contentious, Judicial, arbitration courts, and/or any other, in all matters concerning the following:

- 1) Solicitar, tramitar, obtener y/o registrar cualquiera de las modalidades de Propiedad Industrial, tales como: patentes de invención, modelos de utilidad; diseños industriales, variedades vegetales; marcas, lemas, nombres y enseñanzas comerciales y denominaciones de origen; así como sus renovaciones, prórrogas, transferencias, cambios de nombre y/o domicilio, contratos y licencias.
- 2) Solicitar, tramitar, obtener y/o registrar derechos de autor, en cualquiera de sus presentaciones así como la protección de secretos industriales y know-how.
- 3) Solicitar, tramitar, obtener y/o registrar registros sanitarios, permisos y/o licencias de funcionamiento; así como sus renovaciones o prórrogas, transferencias, cambios de nombre y/o domicilio, contratos y licencias.
- 4) Ejercer acciones de oposición, observación, reclamos, reconsideración, reposición, apelación, cancelación administrativa o judicial, nulidad, protección al consumidor, concesión de licencias, protección de secretos industriales y demás acciones y recursos relacionados con derechos derivados de los asuntos arriba indicados y en contra de la competencia desleal, acciones derivadas de la obtención o explotación de licencias, acciones de indemnización de perjuicios. También podrá(n) intervenir en juicios civiles, comerciales, penales, contencioso-administrativos, tutelas y de policía; en acciones o juicios promovidos por el (la) mandante o en contra el (ella)
- 5) Registrar nombres de dominio ante la entidad competente.
- 6) En el ejercicio de este mandato los mandatarios arriba mencionados quedan facultados para: conciliar, cancelar, transigir, comprometer en árbitros, desistir, recibir y tomar posesión de la cosa objeto de litigio y renunciar o desistir a derechos concedidos o en curso de concesión, admitir los hechos del proceso.
- 7) Ratificar o no la agencia oficiosa.
- 8) Así mismo faculto (facultamos) a los mencionados apoderados para recibir notificaciones y designar apoderados judiciales o extrajudiciales, sustituir el presente poder y revocar las sustituciones que hicieren.

- 1) To apply, process, obtain and/or register any of the modalities of Industrial Property, such as: Patents of Invention, Utility Models; Designs, plant varieties; Marks, Slogans, Trade Names and emblems and appellations of Origin; as well as their renewals, assignments, changes of name and/or domicile, agreements and licenses.
- 2) To apply, process, obtain and/or register copyrights of any kind as well as protection of industrial secrets or know-how.
- 3) To apply, process, obtain and/or register sanitary registrations, operating authorizations and/or licenses; as well as their renewals or assignments, changes of name and/or domicile, agreements and licenses.
- 4) To bring actions of opposition, observations, claims, reconsideration, appeal or legal remedies, cancellations, nullity, protection to the consumer, granting of licenses, protection of trade secrets and other actions related with rights derived from the above-mentioned matters and against the unfair competition, actions resulting from the obtaining or exploitation of licenses, recovering damages actions. They can also intervene or participate in Civil, Commercial, Criminal or Contentious-Administrative Trials; the actions for writ mandamus, police actions; in actions, lawsuits or litigations instituted by the grantor or against him.
- 5) To register domain names before the competent entity.
- 6) To the effect of this mandate the above-named proxy are empowered to: conciliate, cancel, settle, submit to arbitration, withdraw and to receive and take possession of the litigation related objet and waive or renounce the rights granted or in process of granting, admit the facts of the case.
- 7) To ratify or not the officious agency.
- 8) I (we) hereby appoint the afore mentioned attorneys with powers to receive notifications and to designate judicial and extrajudicial attorneys, substitute this Power of Attorney and to revoke such substitutions.

Dado y firmado en

Granted and signed at

a los

días de

on the

day of

of


Firma / Signature



SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO

NIT: 800.176.089-2

COMPROBANTE DE RECAUDO SISTEMA SIPI

Radicado: NC2017/0003893
Recibo: 17-48651
Fecha: 21/06/2017

CAROLINA MERCEDES DAZA MONTALVO
CC: 66.783.790
Pago PSE No: 87540
CUS: 265608168

Patente PCT
SEPARACIÓN POR FLOTACIÓN DE PARTÍCULAS FINAS DE CARBÓN DE PARTÍCULAS FORMADORAS DE CENIZA

Detalle del pago

Id.	Rentístico	Concepto y Servicio	Cant.	Val. Unit.	Subtotal
1	50005-01-02	Pago unitario reivindicacion adicional (A partir de de undécima reivindica	2	\$ 36,000	\$ 72,000
TOTAL					\$ 72,000

Sede Centro: Carrera 13 No.27-00 Pisos 3,4,5 y 10 Bogotá D.C. - Colombia

Web: www.sic.gov.co **e-mail:** contactenos@sic.gov.co **Conmutador:** (571)5870000 **Contact Center:** (571)5920400