

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 715 180**

51 Int. Cl.:

B01D 15/00 (2006.01)
C02F 9/00 (2006.01)
C02F 1/28 (2006.01)
C12N 1/12 (2006.01)
C02F 1/463 (2006.01)
C12N 1/02 (2006.01)
C10L 5/44 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.08.2011** **PCT/IB2011/001884**
87 Fecha y número de publicación internacional: **01.03.2012** **WO12025806**
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.08.2011** **E 11819477 (8)**
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.11.2018** **EP 2608861**

54 Título: **Aprovechamiento de finos carbonosos utilizando microalgas y procedimientos relacionados**

30 Prioridad:

23.08.2010 ZA 201005979

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
03.06.2019

73 Titular/es:

**NELSON MANDELA METROPOLITAN
UNIVERSITY (100.0%)
Room 1207, 12th Floor Main Building
Summerstrand Campus (South) University Way
Summerstrand, Port Elizabeth 6031, ZA**

72 Inventor/es:

**ZEELIE, BERNARD y
DUGMORE, GARY MORRIS**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 715 180 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Aprovechamiento de finos carbonosos utilizando microalgas y procedimientos relacionados

Campo de la invención

5 La presente invención se relaciona, en términos generales, con el aprovechamiento de finos carbonosos, especialmente los de carbón y carbón vegetal, utilizando microalgas contenidas en un medio acuoso. La invención también se refiere a diversos procedimientos relacionados con el aprovechamiento de los finos carbonosos de esta manera.

Uno de estos procedimientos relacionados es la eliminación de microalgas del agua, con al menos un objetivo que es el de purificar el agua y, al mismo tiempo, aprovechar los finos carbonosos.

10 Otro procedimiento relacionado es la producción de aglomerados de los finos carbonosos, generalmente en forma de briquetas que son aglomerados moldeados a presión elevada y muy a menudo acompañados de curado a temperatura elevada, o microesferas que pueden ser de forma y tamaño más aleatorios que, por lo general, son producto de un procedimiento de peletización convencional.

15 Por supuesto, una mezcla de finos carbonosos y biomasa de microalgas se puede alimentar directamente a un procedimiento apropiado en el que se puede usar la mezcla, especialmente si el tamaño de partícula de los finos carbonosos, especialmente los finos de carbón, es no demasiado pequeño.

En cualquier caso, la mezcla de finos carbonosos y microalgas se puede utilizar para calefacción, generación de energía, procesamiento de minerales, generación de gas de síntesis y cualquier otro procedimiento apropiado.

20 Debe entenderse que la expresión finos carbonosos tal como se usa en la presente memoria descriptiva pretende incluir otros materiales carbonosos finamente divididos adecuados, tales como el coque finamente dividido y similares. Generalmente, cualquier fino carbonoso, y que pueda procesarse de acuerdo con la presente invención, tendrá un tamaño de partícula inferior a aproximadamente 2 mm, oscilando hasta tamaños de partícula extremadamente pequeños.

25 Asimismo, el término aglomerado se usará para incluir briquetas, microesferas y cualquier otra aglomeración de partículas múltiples.

Antecedentes de la invención

30 La minería y el procesamiento del carbón producen enormes cantidades de finos de carbón que no pueden usarse en la mayoría de las aplicaciones de carbón normales, tales como la generación de energía. Si los finos de carbón son relativamente gruesos y de flujo libre, a menudo pueden ser recuperados por cargadores frontales y otros equipos convencionales de movimiento de tierras y es más que probable que resulten útiles como combustible en calderas de lecho fluidizado o calderas de carbón pulverizado especialmente diseñadas.

Otros usos potenciales de los finos de carbón residual dependen de características de calidad más detalladas, incluyendo la distribución por tamaño; la naturaleza y contenido de la materia volátil; el contenido de azufre; la molturabilidad; el contenido de cenizas; otras características de combustión; y el contenido de humedad.

35 Cuando los finos de carbón residual no cumplen con las características primarias específicas para su utilización sin procesamiento adicional, deben formularse en un producto combustible que cumpla con estas características primarias. Se han propuesto diversos sistemas para la recuperación y la formulación de productos combustibles de finos de carbón, principalmente a través de una u otra forma de procedimiento de fabricación de briquetas o peletización, tal como se describe, por ejemplo, en las patentes de Estados Unidos n.º 6.165.238, n.º 6.530.966 y n.º 6.626.966.

40 Algunos procedimientos de aglomeración requieren la adición de un agente aglutinante, en la mayoría de los casos aglutinantes derivados del petróleo, para poder obtener una briqueta o microesfera estable y robusta. Otros procedimientos de aglomeración no utilizan ningún agente aglutinante adicional y garantizan la estabilidad y robustez de las briquetas o microesferas mediante el empleo de condiciones de procesamiento más estrictas, principalmente presiones más altas, durante la formación de briquetas o peletización y temperaturas más altas durante el curado.

45 Los finos de carbón residual se depositan generalmente en estanques en forma de suspensión en agua y el agua se evapora posteriormente para estabilizar el depósito antes de que se cubra. Dichos residuos de carbón no solo representan una enorme pérdida económica, sino que también presentan un problema ambiental importante, ya que los finos de carbón seco pueden inflamarse espontáneamente y liberar enormes cantidades de dióxido de carbono y otros gases nocivos a la atmósfera. Además, pueden producirse fugas durante los periodos húmedos, en particular, de agua ácida, y la lixiviación de químicos y minerales en el agua subterránea circundante es un verdadero peligro.

Como un problema aparte, muchas actividades industriales, incluyendo las prácticas agrícolas comerciales, las prácticas mineras y las prácticas de tratamiento de aguas residuales municipales e industriales provocan la contaminación de las fuentes superficiales de agua dulce, tales como las presas y los ríos. Tales sistemas de agua contaminada a menudo tienen una actividad sustancial de crecimiento de algas que da lugar a lo que puede denominarse "ecologización" de tales sistemas de agua.

Si bien el crecimiento de algas en sistemas de agua contaminada puede ser beneficioso, ya que elimina nutrientes y minerales del agua, por lo general presenta un problema sustancial de calidad del agua, ya que su eliminación de los sistemas de agua es complicada.

Debido a su pequeño tamaño, las microalgas generalmente se consideran demasiado difíciles de eliminar mediante el uso de técnicas convencionales tales como la sedimentación, la filtración y similares. Sin embargo, si no se eliminan de los sistemas de agua, es muy probable que las algas mueran; se devuelvan nutrientes y minerales al agua a medida que las algas muertas se descomponen; y, por lo tanto, se estimule el crecimiento bacteriano. Las algas en los sistemas de agua también pueden liberar cantidades de productos químicos malolientes en el agua, lo que la hace inadecuada para el consumo humano y animal.

El documento DE 102006016715 divulga un agente para la reducción o prevención del crecimiento de algas verdes, preferiblemente algas fibrosas, en piscinas, ríos y tanques, y para la supresión de los olores podridos y las emisiones de olores de cultivos acuáticos y plantas cultivadas, que comprende material de fibra a base de lignito (lignito xiloide) y/o sus gránulos.

Objeto de la invención

Es un objeto de la presente invención proporcionar un procedimiento de aprovechamiento de finos de carbón y carbón vegetal usando microalgas contenidas en un medio acuoso. Es otro objeto de la invención proporcionar un procedimiento para el tratamiento del agua que contiene microalgas. Otro objeto de la invención es mejorar la calidad del agua que contiene microalgas. Otro objeto más de la invención es proporcionar un procedimiento mediante el cual los finos de carbón y carbón vegetal puedan aglomerarse eficazmente sin la adición de aglutinantes derivados del petróleo.

Sumario de la invención

De acuerdo con un aspecto de la invención, se proporciona un procedimiento para la recolección y eliminación de al menos una parte de las microalgas del agua, en el que las microalgas se cultivan en sistemas de fotobiorreactores comerciales, caracterizándose el procedimiento por que incluye:

poner en contacto los finos carbonosos con el agua en condiciones que permitan la adsorción de microalgas en partículas de finos carbonosos y en el que los finos carbonosos se carguen con microalgas adsorbidas en los mismos en una cantidad de entre el 1 % y el 25 % de microalgas en peso de los finos carbonosos; separar los finos carbonosos junto con las microalgas adsorbidas del agua; y someter los finos carbonosos junto con las microalgas adsorbidas en los mismos a un procedimiento de aglomeración para la producción de aglomerados de la mezcla resultante como parte de un aprovechamiento de finos carbonosos; y en el que las microalgas sirven como aglutinante.

Otras características de la invención prevén que los finos carbonosos sean finos de carbón; que los finos de carbón se sometan a un tratamiento previo, según se requiera, para producir intervalos de tamaño de partículas adecuados que puedan tener como objetivo facilitar la adsorción, facilitar el manejo de los finos de carbón tanto antes como después de la adsorción de las microalgas y facilitar la separación de los finos de carbón con las microalgas adsorbidas en los mismos del agua mediante un procedimiento apropiado para un intervalo de tamaño de partícula seleccionado de los finos de carbón; que los finos de carbón se sometan a un tratamiento previo para la eliminación de cualesquiera materiales inadecuados o valiosos, tales como los minerales de los mismos; que la puesta en contacto de los finos carbonosos con microalgas que contienen agua se produzca mediante la formación de una suspensión de finos carbonosos en el agua o pasando el agua a través de un lecho o columna que contiene los finos carbonosos; los finos carbonosos pueden estar cargados con microalgas adsorbidas en los mismos en una cantidad de entre el 2 % y el 15 % en peso de los finos carbonosos y, más preferiblemente, entre el 5 y el 10 % en peso; y que la suspensión se someta a floculación electroquímica durante o después de que las microalgas se hayan adsorbido en los finos carbonosos.

En una aplicación de la invención, el principal factor motivador puede ser el aprovechamiento de los finos de carbón, en cuyo caso, si los finos de carbón tienen un tamaño y una constitución apropiados, los finos de carbón junto con las microalgas adsorbidas en los mismos se pueden usar directamente en una aplicación adecuada, tal como combustible en calderas de lecho fluidizado o calderas de carbón pulverizado especialmente diseñadas.

En otra aplicación de la invención en la que el principal factor motivador es el aprovechamiento de los finos carbonosos, los finos carbonosos junto con las microalgas adsorbidas en los mismos pueden someterse a un procedimiento de aglomeración para la producción de aglomerados generalmente en forma de briquetas o

microesferas de la mezcla resultante. Los aglomerados se pueden adaptar para fines específicos y pueden incluir ingredientes adicionales que se pueden agregar antes o durante el procedimiento de aglomeración. También pueden contener finos de diferentes materiales carbonosos, tales, como carbón y carbón vegetal en proporciones predeterminadas.

5 En otra aplicación adicional de la invención, el principal factor motivador puede ser la recolección de microalgas cultivadas en agua en sistemas de fotobiorreactores comerciales específicamente para recuperación y mejora de los finos carbonosos residuales mediante la aglomeración de mezclas de finos carbonosos y biomasa de microalgas. En tal caso, el agua normalmente se recirculará al sistema de fotobiorreactor y, al hacerlo, el contenido residual de microalgas se conserva y, de hecho, se utiliza para comenzar un nuevo ciclo del procedimiento de crecimiento de microalgas.

En otra aplicación más de la invención, el principal factor motivador puede ser la mejora de los sistemas de agua contaminada que pueden ocurrir naturalmente; un sistema de agua contaminada por un aumento de nutrientes producidos artificialmente que promueven el crecimiento de microalgas y que surgen como resultado del efluente de una o más fábricas; o un sistema de agua que forma parte de un procedimiento de tratamiento de agua comercial.

15 Cualquiera que sea la motivación, la invención pone a disposición tecnología complementaria para la mejora de los sistemas de agua contaminada, mientras que, al mismo tiempo, mejora los finos de carbón residual que se recuperan de esta manera.

Con el fin de que la invención pueda ser comprendida en su totalidad, a continuación, se analizará con más detalle y se describirán varios ejemplos y disposiciones alternativas con referencia al dibujo adjunto.

20 **Breve descripción de los dibujos**

En el dibujo, la Figura 1 es un diagrama de flujo que ilustra diversas posibilidades de procedimientos de acuerdo con la invención.

Descripción detallada con referencia al dibujo

25 Como se indica en el dibujo, el procedimiento de la presente invención puede, según las circunstancias y los requisitos, incluir una etapa de dimensionamiento [1] en la cual el carbón u otros finos carbonosos se tratan previamente para producir al menos uno y, según resulte apropiado, una pluralidad, de intervalos de tamaño de partículas adecuados, como se indica con el número [2]. En el caso de que se produzca más de un intervalo de tamaño, cada intervalo de tamaño puede tratarse de manera diferente según los requisitos para facilitar la adsorción de microalgas, facilitar el manejo de los finos carbonosos tanto antes como después de la adsorción de las microalgas y facilitar la separación de los finos carbonosos con microalgas adsorbidas en los mismos del agua, estando normalmente el procedimiento de separación dictado en gran medida por el tamaño de partículas final. La manera en que se dimensionan los finos no es crítica y puede ser, por ejemplo, por medio de cribados, ciclones de clasificación, procedimientos basados en densidad tales como espirales, hidrociclones y ciclones de medios pesados.

35 Además, según lo requieran las características de los finos carbonosos, estos pueden ser tratados en una etapa adicional de tratamiento previo [3] para la eliminación de cualquier material inadecuado o valioso, tal como los minerales. Los materiales inadecuados pueden ser aquellos que podrían afectar negativamente al rendimiento de los aglomerados en la cadena, por ejemplo, creando un problema de contaminación cuando se utilizan para crear energía térmica.

40 El objetivo principal del tratamiento previo es normalmente la eliminación de minerales de los finos y esto puede lograrse mediante tecnologías convencionales. El tratamiento previo puede seleccionarse para lograr objetivos específicos de procesamiento y calidad. La distribución de tamaño de los finos de carbón puede seleccionarse para permitir una rápida y efectiva adsorción de microalgas mientras que al mismo tiempo hace que la separación de sólidos y líquidos sea lo más fácil y efectiva posible.

45 Por supuesto, el tratamiento de los finos de carbón para eliminar cualquier material inadecuado o valioso puede tener lugar antes de la etapa de dimensionamiento.

La presente invención no estipula ninguna restricción sobre el tamaño de partícula de los finos carbonosos que se pueden usar para la adsorción de microalgas. Sin embargo, es preferible que los finos carbonosos se dimensionen para proporcionar una distribución de tamaño razonablemente igual.

50 Los finos carbonosos, después de cualquier tratamiento previo, se ponen en contacto en una etapa de contacto [4] con agua que contiene microalgas mediante un procedimiento apropiado para el intervalo de tamaño de partícula de los finos de carbón. El contacto puede realizarse normalmente formando una suspensión de los finos de carbón en el agua que contiene algas, o pasando el agua a través de un lecho o columna que contiene los finos de carbón. En cualquier caso, el contacto se lleva a cabo de una manera dirigida a cargar los finos carbonosos con microalgas adsorbidas en los mismos en una cantidad preferida de entre el 5 y el 10 % en peso.

La cantidad real de microalgas que van a ser adsorbidas dependerá, en cualquier caso, del uso eventual de la mezcla de finos carbonosos y microalgas, así como de cualquier procedimiento que se utilice para aglomerar la mezcla. Por lo tanto, para la formación de briquetas a baja presión y baja temperatura, es ventajoso tener cantidades más altas de microalgas en comparación con el caso en el que la fabricación de briquetas se realiza a presiones de briquetado y temperaturas de curado más altas.

Para lograr las cargas deseadas de microalgas, la cantidad de microalgas en la fuente de agua se determina primero sobre la base de una masa seca por volumen (por ejemplo, gramos/litro, gramos/metro cúbico, etc.) y, a partir de ahí, se determina la cantidad de finos carbonosos y agua que contiene microalgas que se va a mezclar.

El agua que contiene las microalgas puede ser, como se indicó anteriormente, un agua natural o contaminada, pero generalmente se derivará de sistemas de fotobiorreactores comerciales, como se indica con el número [5], en cuyo caso el contacto constituye una recolección de microalgas cultivadas en el agua específicamente para este propósito. En tal caso, el agua generalmente se recirculará al sistema de fotobiorreactor y, al hacerlo, se conserva cualquier contenido residual de microalgas y, de hecho, se utiliza para comenzar un nuevo ciclo del procedimiento de crecimiento de las microalgas.

Según se requiera, cualquier suspensión se someterá luego a una etapa de separación [6] cuya naturaleza dependerá en gran medida del tamaño de las partículas de los finos carbonosos. Por lo tanto, cuando se utilizan finos de carbón relativamente gruesos, la recuperación del agua generalmente se puede lograr mediante la sedimentación de los sólidos. Cuando se usan finos de carbón más finos u otros finos carbonosos que no se asientan fácilmente, se pueden usar otras técnicas como la flotación por espuma para recuperar los sólidos de la suspensión.

Después de la separación, los finos carbonosos junto con las microalgas adsorbidas en los mismos se pueden usar de acuerdo con los requisitos. Si es apropiado, se pueden usar directamente en una aplicación adecuada, tal como combustible en calderas de lecho fluidizado o calderas de carbón pulverizado especialmente diseñadas indicadas con el número [7].

De manera alternativa, y más comúnmente, los finos carbonosos junto con las microalgas adsorbidas en los mismos se someterán a una etapa de aglomeración [8] en la que se forman briquetas o microesferas de los finos de carbón. Los aglomerados se pueden adaptar para fines específicos y pueden incluir ingredientes adicionales que se pueden agregar antes o durante el procedimiento de aglomeración.

La formación de briquetas o peletización se puede lograr de cualquier manera adecuada. El curado de las briquetas o microesferas resultantes también se puede llevar a cabo mediante el uso de cualquier tecnología conocida o de otro tipo. Las temperaturas para el curado pueden variar de aproximadamente 50 °C a aproximadamente 150 °C. La temperatura y el tiempo exactos para el curado se determinan, al menos en cierta medida, por el contenido de agua deseado del aglomerado final y esto, a su vez, depende del uso o aplicación de las briquetas o microesferas finales. Por lo tanto, para fines de gasificación, las briquetas o microesferas pueden tener mayores cantidades de agua en comparación con las briquetas o microesferas que se utilizarán para fines de calefacción o generación de energía.

Ejemplos

Ejemplo 1: Determinación de la capacidad de carga de microalgas de finos de carbón

Se cultivó una mezcla de microalgas en un fotobiorreactor tubular de 2000 l, y el contenido de microalgas presente en el medio de crecimiento se determinó de la siguiente manera. Se pesaron previamente seis tubos de centrifuga de una centrifuga Hitachi HIMAG (Tabla 1) y se introdujeron 5 ml de medio de crecimiento que contenía algas en cada tubo con una pipeta de 5 ml. Las soluciones que contenían algas se centrifugaron durante 10 minutos a 4000 rpm y las soluciones sobrenadantes se decantaron. Las algas húmedas se secaron (sin lavar) durante 2 horas a 110 °C; y los tubos se enfriaron y se volvieron a pesar para permitir el cálculo del peso seco de las algas (Tabla 1).

A 5 litros de agua que contenía microalgas, se añadió suficiente suspensión de finos de carbón (suspensión cruda no tratada obtenida de una mina Witbank, RSA y que contenía 124,8 g de sólidos por Kg de suspensión) para obtener cargas de microalgas de 2,0, 5,0, 10,0 y 15,0 % en peso (Tabla 2). La mezcla de finos de carbón de microalgas se mezcló rápidamente durante aproximadamente 20 segundos y luego se filtró a través de una tela de filtro (200 g/m²) y se observó la aparición del primer residuo verde que indicaba microalgas libres en la suspensión. Solo la mezcla destinada a obtener un 15 % en peso de microalgas mostró microalgas libres en la mezcla.

Este ejemplo ilustra que (a) las microalgas son adsorbidas por finos de carbón rápidamente y (b) los finos de carbón pueden absorber microalgas hasta aproximadamente el 15 % en peso en función de la masa de finos de carbón utilizados.

Tabla 1: Carga de microalgas en medio de crecimiento

Tubo (g)	Tubo + Algas (g)	Algas (g)	Algas/l (g/l)
5,6883	5,6936	0,0053	1,06
5,5946	5,5996	0,005	1
5,6264	5,6314	0,005	1
5,4389	5,444	0,0051	1,02
5,5146	5,5201	0,0055	1,1
5,49	5,4956	0,0056	1,12
Media			1,05

Tabla 2: Determinación del nivel de adsorción

Microalgas en masa (g)	Sólidos de carbón en masa (g)	Suspensión de carbón en volumen (l)	Algas residuales (Sí/No) *
5	257,25	2,06	No
5	99,75	0,80	No
5	47,25	0,38	No
5	29,75	0,24	Sí
* Indicado por un color verde sobre la tela de filtro/el color residual en agua			

Ejemplo 2: Determinación de las propiedades aglutinantes de los finos de carbón de las microalgas

5 Se decantó el exceso de agua de la suspensión de microalgas y finos de carbón del ejemplo 1 y se vertieron aproximadamente 10 gramos de la mezcla húmeda de finos de carbón/microalgas en una placa de Petri. Esta mezcla se secó durante 4 horas a 110 °C y se dejó enfriar a temperatura ambiente. La dureza de la torta resultante se probó luego presionando el extremo plano de una espátula de acero inoxidable en la torta. Esto se comparó con una torta de finos de carbón que no contenía microalgas.

10 Los resultados muestran que la torta que no contenía microalgas tenía poca (si es que tenía alguna) coherencia de partículas en la torta; para los finos de carbón que tenían 2 y 5 % en peso de microalgas, las tortas mostraron un aumento sustancial de adherencia, pero, con todo, dieron lugar a la formación de polvo libre cuando se aplicó presión. Con cargas de 10 % y 15 % en peso de microalgas, las tortas eran lo suficientemente duras como para evitar que el extremo de la espátula penetrara en el fondo de la torta. La fragmentación de estas tortas no dio lugar a la formación de partículas similares al polvo, sino más bien a grandes trozos de torta.

15 Ejemplo 3: Efecto de las microalgas en los índices de sedimentación de la suspensión de carbón

20 A 100 ml de suspensión de carbón que contenía 12,48 g de sólidos/l de suspensión, se agregaron varias cantidades de biomasa húmeda de microalgas para obtener cargas de microalgas sobre carbón de aproximadamente 0,5, 10 y 13 % (Tabla 3). El volumen de medio de crecimiento que contenía 1,05 g/l de microalgas (Ejemplo 1) se calculó y se midió en cuatro tubos de centrifuga de una centrifuga Hermle Z383. Las algas se centrifugaron durante 10 minutos a 4000 rpm, la solución sobrenadante se decantó y se añadió la suspensión de carbón (100 ml). Las algas y la suspensión de carbón se mezclaron completamente para asegurar una mezcla completa de las microalgas en la suspensión de carbón.

25 Las mezclas así derivadas se transfirieron a cilindros de medición de 100 ml, y la velocidad de sedimentación de los sólidos de las mezclas se siguió fotográficamente usando una cámara digital Nikon P7000 usando el modo de disparo a intervalos y utilizando un intervalo de 10 minutos entre las imágenes. Los detalles de las mezclas se resumen en la Tabla 3.

Tabla 3: Índice de sedimentación de la suspensión de carbón

Masas sólidas de carbón (g)	12,48		
Microalgas g/l	1,05		

(continuación)

Volúmenes de solución de algas (l)	g de sólidos de carbón utilizados	Masa combinada (g)	% de carga
0,7	0,735	13,215	5,56
1,4	1,47	13,95	10,54
1,86	1,953	14,433	13,53

De un conjunto de tres imágenes, quedó bastante claro que la adsorción de microalgas sobre la superficie de la suspensión de carbón retrasa el índice de sedimentación de los finos de carbón. Esta observación es coherente con las propuestas (por ejemplo, E. Poelman, N. De Pauw y B. Jeurissen, *Resources, Conservation and Recycling*, 19 (1997), 1, 10) de que las microalgas tienen una carga negativa natural que impide que las microalgas se adhieran entre sí estabilizando así las suspensiones de microalgas.

Ejemplo 4: Floculación electroquímica de mezclas de finos de carbón y microalgas

El uso de corriente eléctrica para provocar la floculación de microalgas es conocido en la técnica (por ejemplo, E. Poelman, N. De Pauw y B. Jeurissen, *Resources, Conservation and Recycling*, 19 (1997), 1, 10 y sus referencias) y, como en el Ejemplo 3 se mostró que las microalgas también estabilizan las suspensiones de finos de carbón, se propuso que se puede usar una corriente eléctrica para flocular las suspensiones de finos de carbón que contienen microalgas. La floculación electroquímica de una suspensión de carbón que contiene un 15 % (m/m) de microalgas (preparada como se describe en el Ejemplo 3) se comparó con una suspensión de carbón sin microalgas.

Se pasó una corriente eléctrica (10 V, 1,2 A) a través de las dos soluciones usando ánodos y cátodos de aluminio durante aproximadamente 10 minutos. No se pudo observar floculación de los finos de carbón sin microalgas en ningún momento durante la electrólisis, mientras que la mezcla que contenía carbón y microalgas mostró una floculación apreciable después de tan solo 10 minutos. Por lo tanto, la floculación se puede considerar rápida y las mezclas floculadas se podrían separar fácilmente mediante decantación o filtrado. El grado de sedimentación de la mezcla de finos de carbón/algas no fue tan extenso como en el caso de los finos de carbón solos (después de periodos prolongados de reposo, véase el Ejemplo 3), ya que los flocúlos generados electroquímicamente parecían ser sustancialmente esponjosos.

Se cree que, si el contacto entre los finos carbonosos y las microalgas se lleva a cabo en presencia de una corriente eléctrica, se pueden lograr mayores cargas. Esto podría resultar ventajoso especialmente en procedimientos de gasificación y metalúrgicos

Ejemplo 5: Peletización de mezclas de finos de carbón/microalgas

Se prepararon mezclas de finos de carbón/microalgas mezclando pasta húmeda de algas (obtenida por centrifugación de las microalgas de un volumen de medio de crecimiento con contenido de algas conocido) y una suspensión de carbón (500 ml que contenía 124,8 g/l de sólidos). La mezcla se agitó a fondo y se centrifugó a 4000 rpm durante 5 minutos utilizando una centrífuga Hermle Z383. Se decantó el agua y se secó la pasta húmeda de algas de carbón presionando entre hojas de papel de filtro.

La torta húmeda se dividió en dos porciones aproximadamente iguales. Se dejó secar una porción a temperatura ambiente durante dos días antes de la peletización (Procedimiento A). La porción húmeda se peletizó inmediatamente (Procedimiento B).

Se prepararon microesferas (de aproximadamente 1 g cada una) comprimiendo la suspensión húmeda en un molde a una presión de 144,8 bar (2100 libras por pulgada cuadrada) usando una prensa hidráulica. Después de retirarlas de la prensa, las microesferas se secaron a 160 °C durante 2 horas y se enfriaron a temperatura ambiente. Las microesferas así preparadas se sometieron a dos pruebas, a saber, una prueba de caída, en la que las microesferas se dejaron caer desde una altura de 1 metro sobre un suelo de hormigón y determinaron el % de pérdida de masa; y una prueba de resistencia al agua en la que se sumergieron las microesferas en agua durante 2 horas y se observó su capacidad para mantener su forma.

La Tabla 4 que figura a continuación resume los resultados obtenidos en las pruebas de caída.

Tabla 4: Pérdida de masa observada en pruebas de caída de microesferas

% aproximado de microalgas	Procedimiento A			Procedimiento B		
	Masa de las microesferas (g)	Masa después de la caída (g)	% de pérdida de masa	Masa de las microesferas (g)	Masa después de la caída (g)	% de pérdida de masa
0	1,0513	0,866	17,6 %	1,2198	1,0275	15,8 %

(continuación)

% aproximado de microalgas	Procedimiento A			Procedimiento B		
	Masa de las microesferas (g)	Masa después de la caída (g)	% de pérdida de masa	Masa de las microesferas (g)	Masa después de la caída (g)	% de pérdida de masa
0	1,1034	0,9134	17,2 %	1,1873	1,0001	15,8 %
0	1,0087	0,8267	18,0 %	1,2096	1,0143	16,1 %
3,0				1,0287	0,9042	12,1 %
5,0				1,0743	1,0622	1,1 %
7,0	1,6795	1,6711	0,5 %	1,0858	1,0843	0,1 %
7,0	1,6294	1,6187	0,7 %	1,1278	1,1253	0,2 %
7,0	2,1947	2,1915	0,1 %	1,2689	1,2669	0,2 %
10,0				1,0902	1,0866	0,3 %
15,0				1,048	1,0446	0,3 %

Los resultados de la prueba de resistencia a la intemperie mostraron que tanto las microesferas libres de algas como las microesferas que contienen algas preparadas de acuerdo con el procedimiento A se desintegran después de aproximadamente 5 minutos después de haber sido sumergidas en el agua. Sin embargo, las microesferas que contienen algas preparadas de acuerdo con el procedimiento B, y que contienen un 5 % (m/m) o más de microalgas, conservan su forma incluso después de 2 horas sumergidas en agua. Se concluyó que un mínimo de un 10 % de microalgas haría que las microesferas fuesen resistentes a la intemperie desde un punto de vista práctico.

Ejemplo 6: Peletización de mezclas de finos de carbón vegetal/microalgas

Se prepararon mezclas de carbón vegetal/microalgas mezclando pasta húmeda de algas (obtenida por centrifugación de las microalgas de un volumen de medio de crecimiento con un contenido de algas conocido - 3,0 g de microalgas en base al peso seco) y carbón vegetal (27,0 g - tamaño de partícula < 500 µm). La mezcla se mezcló a fondo moliendo juntos. Los pellets (aproximadamente 1 g cada uno) se prepararon de acuerdo con el Procedimiento B del Ejemplo 5 y se sometieron a una prueba de caída donde los pellets se dejaron caer desde una altura de 1 metro sobre un suelo de hormigón y se determinó el % de pérdida de masa. La Tabla 5 resume los resultados obtenidos para la prueba de caída de microesferas que no contienen microalgas y microesferas que contienen un 10 % de microalgas.

Tabla 5: Pérdida de masa observada en pruebas de caída de microesferas

% de microalgas	Masa de las microesferas (g)	Masa de las microesferas después de la caída (g)	% de pérdida de masa
0	1,5372	1,2629	17,8 %
0	1,4280	1,2237	14,3 %
0	1,3782	1,1446	17,0 %
10,0	1,0618	1,0551	0,63 %
10,0	1,0289	1,0255	0,33 %
10,0	1,1181	1,1152	0,26 %
10,0	1,0265	1,0233	0,31 %

Por lo tanto, el carbón vegetal se puede peletizar con éxito usando microalgas como aglutinante con las microesferas que muestran una fuerza de manejo considerable, como lo indican los resultados de la prueba de caída. Se inflamaron varias microesferas mediante su breve exposición a una llama hasta que el borde de la microesfera comenzó a brillar. El procedimiento de combustión transcurrió sin problemas a lo largo de la microesfera, que se quemó sin emitir ningún olor "químico". Las cenizas que quedaban al finalizar el procedimiento de combustión eran de color blanco puro y no contenían partículas sólidas restantes. El uso de microalgas como aglutinante parece ser una forma muy mejorada para aglutinar carbón vegetal para fines de barbacoa, calefacción, etc., ya que las microesferas no contienen sustancias químicas extrañas (como aglutinantes) y tienen un olor totalmente natural.

Se prevé que las mezclas de carbón vegetal y finos de carbón con microalgas puedan proporcionar un combustible que tenga propiedades de combustión ventajosas, en particular, propiedades de combustión limpia.

5 Por lo tanto, se ha descubierto que las microalgas se adsorben fuerte y rápidamente sobre la superficie de los finos de carbón y carbón vegetal y, por lo tanto, se dispone de un procedimiento altamente eficaz de eliminación de la biomasa de microalgas del agua en muchos sistemas de agua diferentes. Además, las microalgas adsorbidas en la superficie de los finos de carbón actúan como un eficaz agente aglutinante, de modo que los finos de carbón pueden aglomerarse de manera fácil y eficaz, especialmente en forma de briquetas o microesferas.

10 En circunstancias apropiadas, las microalgas problemáticas en los suministros de agua dulce para uso humano o animal pueden eliminarse con eficacia por adsorción sobre la superficie de los finos carbonosos. La calidad de los sistemas de agua dulce que contienen altos niveles de nutrientes y minerales puede mejorarse eliminando las microalgas que crecen en dichos sistemas de agua de manera continua, eliminando así los nutrientes y minerales problemáticos.

15 Se debe observar que el valor energético de los finos de carbón se incrementa en los aglomerados resultantes debido al valor energético significativamente mayor de la biomasa de microalgas en comparación con el valor energético del carbón. Esto se debe a las proporciones sustancialmente mayores de hidrógeno a carbono de la biomasa de microalgas de aproximadamente 2,1 a 1 en comparación con las del carbón de aproximadamente 0,7 a 1. En el caso de la producción de gas de síntesis, la mejora de las proporciones de hidrógeno a carbono de las mezclas de biomasa de microalgas y carbón pueden dar lugar a una mejora significativa de los rendimientos del gas de síntesis.

20 Cualquiera que sea la motivación, la invención pone a disposición tecnología complementaria para la mejora de los sistemas de agua contaminada, al mismo tiempo que mejora los residuos carbonosos y especialmente los finos de carbón que se recuperan de esta manera.

Numerosas permutaciones y combinaciones diferentes de procedimientos quedan dentro del alcance de la invención y la anterior exposición no pretende ser limitante en modo alguno.

25

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de recolección y eliminación de al menos una parte de las microalgas del agua, en el que las microalgas se cultivan en sistemas de fotobiorreactores comerciales, estando el procedimiento **caracterizado porque** comprende:
 - 5 poner en contacto (4) finos carbonosos con el agua en condiciones que permitan la adsorción de microalgas sobre partículas de finos carbonosos y en el que los finos carbonosos se cargan con microalgas adsorbidas en los mismos en una cantidad de entre el 1 % y el 25 % de microalgas en peso de los finos carbonosos; separar (6) los finos carbonosos junto con las microalgas adsorbidas en los mismos del agua; y someter los finos carbonosos junto con las microalgas adsorbidas en los mismos a un procedimiento de
 - 10 aglomeración (8) para la producción de aglomerados de la mezcla resultante como parte de un aprovechamiento de finos carbonosos; y en el que las microalgas sirven como aglutinante.
2. Un procedimiento según la reivindicación 1, en el que la cantidad de microalgas en el agua se selecciona de manera que las microalgas se adsorben sobre las partículas de los finos en una cantidad suficiente para producir
 - 15 aglomerados sin aglutinantes derivados del petróleo.
3. Un procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, en el que la aglomeración (8) conlleva la formación de briquetas o peletización.
4. Un procedimiento según una cualquiera de las anteriores reivindicaciones, en el que los finos carbonosos son finos de carbón residual.
5. Un procedimiento según una cualquiera de las anteriores reivindicaciones, que comprende una etapa de dimensionamiento (1) en la que los finos carbonosos se tratan previamente para producir intervalos de tamaños de partículas (2).
 - 20 6. Un procedimiento según una cualquiera de las anteriores reivindicaciones, en el que la puesta en contacto (4) de los finos carbonosos con microalgas que contienen agua se produce mediante la formación de una suspensión de los finos carbonosos en agua.
7. Un procedimiento según la reivindicación 6, en el que la suspensión se somete a floculación electroquímica durante o después de que las microalgas se hayan adsorbido sobre los finos carbonosos.
8. Un procedimiento según una cualquiera de las anteriores reivindicaciones, en el que los finos carbonosos se cargan con microalgas adsorbidas en los mismos en una cantidad de entre el 2 % y el 15 % en peso.
9. Un procedimiento según la reivindicación 8, en el que los finos carbonosos se cargan con microalgas adsorbidas en los mismos en una cantidad de entre el 5 y el 10 % en peso.
 - 30 10. Un procedimiento según una cualquiera de las anteriores reivindicaciones, en el que se añaden ingredientes adicionales a los finos carbonosos que contienen las microalgas adsorbidas en los mismos antes o durante el procedimiento de aglomeración (8).
11. El aglomerado obtenido mediante un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en el que las microalgas sirven como aglutinante de los finos carbonosos en los aglomerados producidos mediante el procedimiento.
 - 35

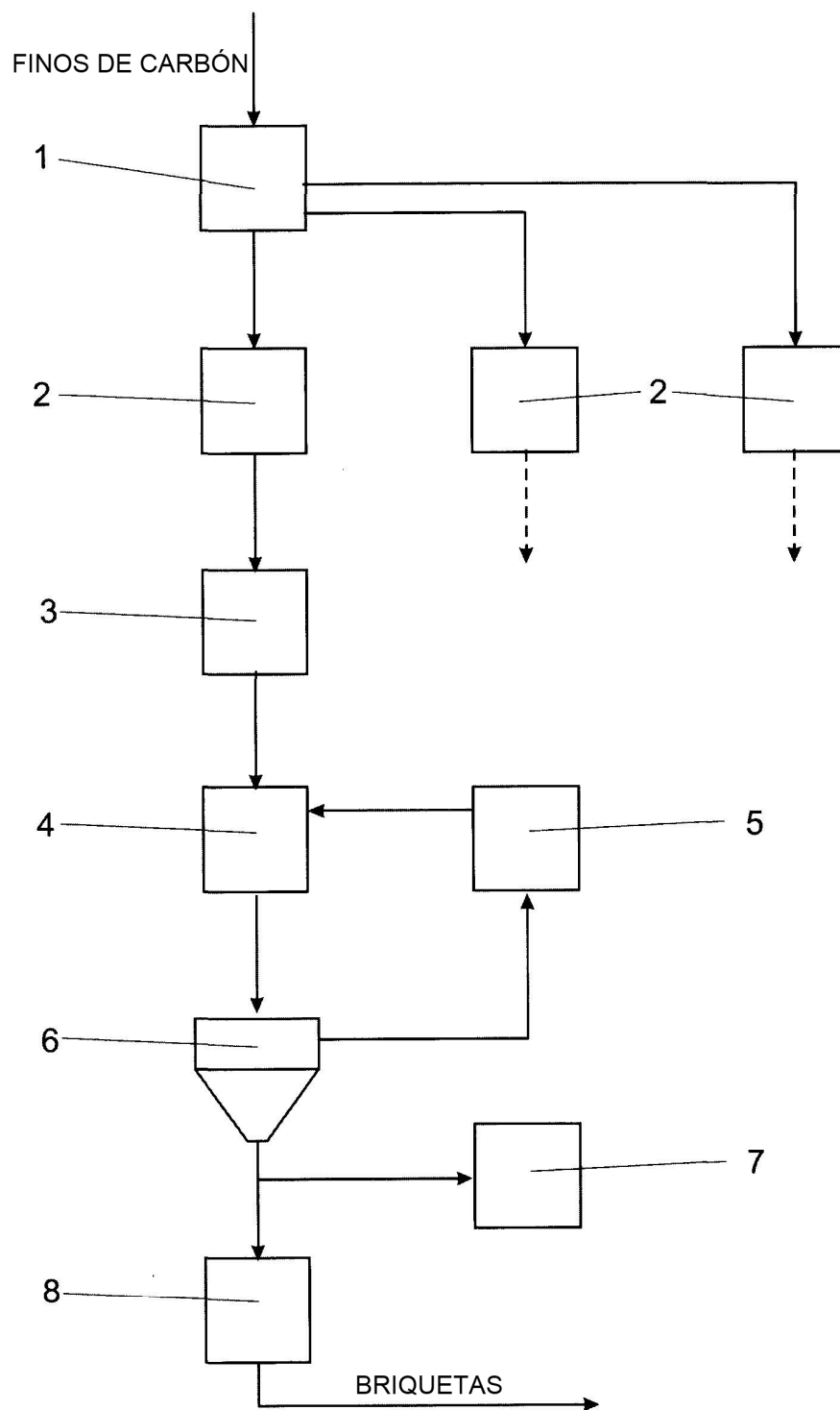


Figura 1