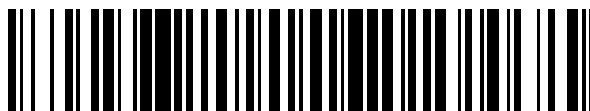


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 617 179**

51 Int. Cl.:

C12P 1/00 (2006.01)
C12P 5/02 (2006.01)
C12P 39/00 (2006.01)
C12N 1/12 (2006.01)
C10G 1/02 (2006.01)
C10L 1/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.06.2010 PCT/ES2010/070423**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.12.2011 WO2011161273**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.06.2010 E 10737346 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.11.2016 EP 2586870**

54 Título: **Procedimiento para la producción de un biocrudo a partir de microalgas**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
15.06.2017

73 Titular/es:
STROIAZZO-MOUGIN, BERNARD A. J. (100.0%)
C/ Josep Poveda Verdú 4F
03560 El Campello (Alicante), ES

72 Inventor/es:
STROIAZZO-MOUGIN, BERNARD A. J.

74 Agente/Representante:
SALVA FERRER, Joan

ES 2 617 179 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

Procedimiento para la producción de un biocrudo a partir de microalgas

5 **CAMPO TÉCNICO:**

La presente invención se refiere a un procedimiento de obtención de un biocrudo a partir de gases de efecto invernadero, procedimiento que es ventajosamente industrial y se lleva a cabo en continuo. Mediante el procedimiento se consigue capturar, convertir y revalorizar el CO₂, así como otros gases de efecto invernadero (NO_x,
10 CH₄..) de manera eficiente y de manera que se consigue un balance neto negativo, o en otras palabras, este procedimiento permite capturar más CO₂ del que se genera, lo cual hace que sea beneficioso y sostenible para el medio ambiente.

De esta manera, se obtiene un biocrudo de alta densidad energética, apto para ser usado en cualquier motor de
15 combustión, turbinas o calderas. Este biocrudo se caracteriza principalmente por su similitud con respecto a los crudos actuales (amalgama de componentes químicos, hidrocarburos, que tras una etapa de refinado dan a lugar a distintos tipos de combustible refinado, tales como: gasolina, diesel, queroseno..).

Además, también se describe la utilización del biocrudo en motores de combustión.

20

ESTADO DE LA TÉCNICA

El calentamiento global se refiere al aumento del promedio de la temperatura de la atmósfera terrestre y de los océanos, ocasionando el cambio climático. Este incremento se ha acentuado en las últimas décadas del siglo XX y
25 la primera del XXI como consecuencia de la actividad humana, que de alguna manera, como consecuencia de las emisiones industriales (emisiones de gases de efecto invernadero, tales como NO_x, CO₂, CH₄, etc) junto con la tala de bosques, ha desequilibrado el equilibrio existente en la naturaleza. Este fenómeno es conocido como efecto invernadero.

30 Los gases de invernadero absorben los fotones infrarrojos emitidos por el suelo calentado por el sol. La energía de esos fotones no basta para causar reacciones químicas, para romper enlaces covalentes, sino que simplemente aumentan la energía de rotación y de vibración de las moléculas implicadas. El exceso de energía es a continuación transferido a otras moléculas por las colisiones moleculares en forma de energía cinética, es decir de calor, aumentando la temperatura del aire. De la misma forma, la atmósfera se enfría emitiendo energía infrarroja cuando
35 se producen las correspondientes transiciones de estado vibracional y rotacional en las moléculas hacia niveles menores de energía. Todas estas transiciones requieren cambios en el momento dipolar de las moléculas (es decir, modificaciones en la separación de cargas eléctricas en sus enlaces polares) lo que deja fuera de este papel a los dos gases principales en la composición del aire, a saber nitrógeno (N₂) y oxígeno, cuyas moléculas, por estar formadas por dos átomos iguales, carecen de cualquier momento dipolar.

40

La "teoría antropogénica" predice que el calentamiento global continuará si se continúan emitiendo las emisiones de gases de efecto invernadero. El ser humano es hoy uno de los agentes climáticos de mayor importancia. Su influencia comenzó con la deforestación de bosques para convertirlos en tierras de cultivo y pastoreo, pero en la actualidad su influencia es mucho mayor al producir la emisión abundante de gases que producen un efecto
45 invernadero, es decir, CO₂ de fábricas y medios de transporte y metano de granjas de ganadería intensiva y arrozales.

Actualmente, tanto las emisiones de gases como la deforestación se han incrementado hasta tal nivel que parece difícil que se reduzcan a corto y medio plazo, por las implicaciones técnicas y económicas de las actividades
50 involucradas.

A finales del siglo XVII el hombre empezó a utilizar combustibles fósiles que la Tierra había acumulado en el subsuelo durante su historia geológica. La quema de petróleo, carbón y gas natural ha causado últimamente un aumento del CO₂ en la atmósfera hasta 1,4 ppm al año y produce el consiguiente aumento de la temperatura. Se
55 estima que, desde que el hombre mide la temperatura hace unos 150 años (dentro de la época industrial), ésta ha aumentado en 0,5°C y se prevé un aumento de 1°C en el 2020 y de 2°C en el 2050.

Existen numerosos efectos potenciales del calentamiento global que, según las teorías del calentamiento global, afectarán hipotéticamente el medio ambiente y la vida humana. El principal efecto es el incremento progresivo de las
60 temperaturas promedio. Esto, a su vez, conduce a una serie de cambios, tales como el aumento del nivel del mar, cambios en los ecosistemas agrícolas, expansión de las enfermedades tropicales, y aumento de la intensidad de los fenómenos naturales. Algunos de estos fenómenos se están produciendo en la actualidad, pero es difícil precisar una relación directa con el calentamiento global.

65 Es por ello que el I Protocolo de Kyoto promueve una reducción de emisiones contaminantes, tales como los gases de efecto invernadero (principalmente CO₂).

De forma similar, debido a que una de las mayores fuentes de emisiones de CO₂ es la combustión del petróleo y derivados, se han ido desarrollando distintos sistemas y procedimientos para minimizar este problema.

- 5 Uno de éstos es el desarrollo de biocrudos (biodiesel) a partir de cultivos extensivos de plantas superiores, pero que a fecha de hoy han demostrado su baja efectividad; además, para poder generar una cantidad significativa de biocrudos, son requeridas grandes extensiones de terreno; muchas veces estos cultivos vienen acompañados de una tala previa de los bosques existentes y en muchos casos también de la quema con las consecuentes emisiones.
- 10 Posteriormente, los grupos de investigación desarrollaron nuevos sistemas y procedimientos que hacen uso de las microalgas como captadoras del CO₂, para posteriormente transformarlas en biocrudos (biodiesel), mediante reactores abiertos al exterior, lo cual suponía un gran inconveniente debido a la contaminación que se generaba en los medios de cultivo (además son más difíciles de controlar, no pueden evacuar el O₂, menor producción por ha..).
- 15 Debido a este gran problema, se diseñaron sistemas cerrados que trabajaban en horizontal y así se eliminaba la posible contaminación externa. Sin embargo, el principal problema con éstos era que, al ser sistemas horizontales y trabajar con grandes áreas de cultivo, el poder moverlos o tratarlos supone un gran aporte energético al sistema, que, en definitiva, generaba grandes emisiones de contaminación y balances energéticos desfavorables.
- 20 Posteriormente y en la actualidad se están desarrollando procedimientos que subsanan todos los problemas anteriormente mencionados y que generan biocrudos (biodiesel). Sin embargo, éstos aún suponen un balance neto desfavorable puesto que al final del mismo se seguían emitiendo grandes cantidades de CO₂ a la atmósfera.

- Los sistemas descritos hasta ahora son sistemas que, con sus limitaciones, realmente pueden llegar a proporcionar
- 25 biocrudos (en este caso biodiesel) basándose en la captura de CO₂. Sin embargo, a causa de su bajo rendimiento por hectárea, la producción por m³ (y por lo tanto peores proporciones de captación de CO₂), la complejidad de operación y su capacidad de producir únicamente un combustible (dado que el aportar únicamente biodiesel no soluciona el problema de la escasez del petróleo en un futuro), son razones que hacen necesaria una nueva vía que consiga solucionar cada uno de estos puntos, y en particular una vía que capture más cantidad de CO₂ del que
- 30 posteriormente se emita o lo que es lo mismo, se necesitan nuevos procedimientos sostenibles mediante los cuales se consiga un balance neto negativo de emisiones de CO₂ a la atmósfera negativo.

- El documento de patente WO 2008/134836 A2 (OURO FINO PARTIPACOES E EMPREENDIMIENTOS LTDA, 13 de noviembre de 2008) da a conocer un procedimiento para obtener un biocrudo a partir de un gas que comprende
- 35 CO₂, que comprende las etapas de:
- a. suministrar el gas que comprende CO₂ a un reactor que contiene un cultivo que comprende al menos una especie de microalga que es capaz de la fotosíntesis,
 - b. fotosíntesis por la especie de microalga utilizando el CO₂ suministrado para producir biomasa,
 - c. descomposición termoquímica de la biomasa de microalga a una presión entre 0 y 20 MPa y una temperatura
 - 40 entre 120 y 400°C a efectos de obtener un biocrudo mezclado con agua y gases,
 - d. separación del biocrudo obtenido.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

- 45 La presente invención se refiere a un procedimiento de obtención de un biocrudo a partir de gases de efecto invernadero, que es ventajosamente industrial y en continuo. Mediante dicho procedimiento es posible capturar, convertir y revalorizar el CO₂ entre otros gases de efecto invernadero (NO_x, CH₄...) de manera eficiente, de tal manera que se consigue un balance neto negativo, o lo que es lo mismo, mediante este procedimiento se captura más CO₂ del que se genera, lo cual hace que sea beneficioso y sostenible para el medio ambiente.
- 50 De esta manera, se obtiene un biocrudo de alta densidad energética apto para ser usado directamente en cualquier motor de combustión, turbina o caldera que funcione con fuel-oil. Este biocrudo tiene como principal característica la similitud con respecto a los crudos utilizados actuales (amalgama de componentes químicos, hidrocarburos, que tras una etapa de refinado permite obtener diferentes tipos de combustible gasolina, diesel, queroseno, etc...).
- 55 Por lo tanto, un primer aspecto de la presente invención se refiere a un procedimiento para la obtención de un biocrudo basado en un gas que comprende CO₂, procedimiento que incluye las etapas de:
- a. suministro del gas que comprende CO₂ a un reactor que contiene un cultivo que incluye al menos una especie de microalga capaz de realizar la fotosíntesis;
 - 60 b. proceso de la fotosíntesis llevado a cabo por parte de la especie de microalga basándose en el CO₂ suministrado para producir una biomasa;
 - c. fermentación anaeróbica de la biomasa obtenida;
 - d. descomposición termoquímica de la biomasa fermentada a una presión entre 0 y 20 MPa y a una temperatura entre 200 y 420°C para obtener un biocrudo mezclado con agua y gases, y
 - 65 e. separación del biocrudo obtenido,

caracterizado porque, tras la etapa de realización de la fotosíntesis, se libera del reactor entre un 5 y un 100% del cultivo, que posteriormente se separa en una fracción sólida que contiene biomasa, la cual será posteriormente sometida a la etapa de fermentación anaeróbica, y una fracción líquida que contiene carbonatos y/o bicarbonatos, los cuales se separan de la parte líquida, para posteriormente retornar la fracción líquida al reactor, al menos
5 parcialmente, y sustancialmente exenta de carbonatos y/o bicarbonatos.

De manera general, el procedimiento de la invención comprende las etapas de:

- tratamiento biológico de los gases de efecto invernadero;
- tratamiento mecánico del medio de cultivo;
- 10 - tratamiento mecano-químico de las fases acuosas; y
- tratamiento mecano-químico de la biomasa;

Etapa de tratamiento biológico de los gases de efecto invernadero:

- 15 Según una primera realización preferida, la etapa de tratamiento biológico de los gases de efecto invernadero comprende las siguientes subetapas:
- suministro de un gas que incluye CO₂ a un reactor que contiene un cultivo que comprende al menos una especie de microalga que es capaz de realizar la fotosíntesis; y
 - captura y conversión biológica del CO₂ mediante la realización del proceso de la fotosíntesis llevado a cabo por la
20 especie de microalga para producir una biomasa.

Según otra realización preferida, la subetapa de suministro de un gas que contiene CO₂ tal como, por ejemplo, los gases de efecto invernadero, comprende un suministro endógeno y/o exógeno de gases de efecto invernadero a un reactor de tipo fotosintético en el cual hay presente al menos una especie de microalga capaz de realizar la
25 fotosíntesis.

En este mismo sentido, a lo largo de la presente memoria descriptiva, "gases de efecto invernadero" se considerará cualquier gas que incluya CO₂ y potencialmente otros componentes, tales como NO_x, CH₄ u otros, en cualquier combinación. Sin embargo, lo único realmente necesario para el procedimiento de la invención es que el gas incluya
30 al menos CO₂. De esta manera, estos gases que son tan perjudiciales para el medio ambiente pasan a formar parte de los nutrientes añadidos al reactor para la "alimentación" de las microalgas presentes en el mismo.

Además, los gases de efecto invernadero añadidos de manera exógena provienen normalmente de la atmósfera o de cualquier industria y los aditivos de manera endógena provienen de los gases generados en el procedimiento
35 desarrollado en la presente invención.

Basándose en la composición de estos gases, una posible opción es someterlos a un tratamiento previo antes de su introducción.

- 40 Según otra realización preferida, opcionalmente se puede llevar a cabo un pretratamiento de los gases de efecto invernadero mediante la eliminación de SO_x, NO_x y humedad y adecuando la temperatura a aproximadamente 30-40°C. Una vez llevada a cabo la etapa de pretratamiento (si procede) se introducen estos gases en el cultivo.

Según otra realización preferida, la subetapa de captura y conversión biológica del CO₂ comprende la realización del
45 proceso de la fotosíntesis llevada a cabo por parte de las microalgas. Además, en realizaciones más preferidas de la invención se somete al reactor que las contiene a la exposición continua de luz, ya sea natural o artificial y la adición al medio de cultivo tanto nutrientes como opcionalmente antibióticos y fungicidas.

De esta manera, las microalgas presentes en el reactor, debido al suministro de un gas que incluye al menos CO₂,
50 capturan el carbono presente en el dióxido de carbono y otros nutrientes, lo asimilan y lo transforman en moléculas biológicas de interés, tales como hidratos de carbono, grasas y proteínas.

Además, para que las microalgas capturen los gases de efecto invernadero procedentes de la etapa anterior, ventajosamente se somete al medio de cultivo en el reactor a un régimen turbulento. De esta manera, se asegura
55 que todo el cultivo de microalgas pueda capturar dichos gases y obtener la luz necesaria para llevar a cabo la fotosíntesis. Además, el generar un medio turbulento presenta la ventaja de prevenir la formación de "fouling", es decir, la acumulación indeseada de microorganismos en la superficie de los fotobioreactores. Esta generación de turbulencias puede realizarse de cualquier modo apto para este fin, aunque en realizaciones preferidas de la invención se realiza insuflando al reactor aire, N₂, CO₂, CO, NO_x, y gases resultantes de una combustión o cualquier
60 combinación de los mismos.

Además, las microalgas presentes en el reactor se seleccionan del grupo formado por: Clorofíceas, Bacilariofíceas, Dinofíceas, Criptofíceas, Crisofíceas, Haptofíceas, Prasinofíceas, Rafidofíceas, Estigmatofíceas o cualquier combinación de las mismas.

65

Etapa de tratamiento mecánico del medio de cultivo

Según otra realización preferida, la etapa de tratamiento mecánico del medio de cultivo comprende las subetapas de:

- vaciado o extracción al menos parcial del cultivo del reactor;

- 5 - separación del cultivo desalojado en una fracción sólida que contiene biomasa y una fracción líquida que contiene carbonatos y/o bicarbonatos;

Según otra realización preferida, en la subetapa de vaciado se desaloja al menos entre un 5 y un 100% del medio de cultivo, preferiblemente entre un 5 y un 50% y aún más preferiblemente el 10% del medio de cultivo, de manera que

- 10 el resto se mantiene en el reactor para que se siga capturando y convirtiendo el CO₂ de manera continua mediante las microalgas como medio biológico para realizar tal fin. Es importante destacar que este % de extracción es repuesto, de un modo preferiblemente rápido, con agua sustancialmente sin algas y sin carbonatos o con una concentración muy baja de éstos, procedente de las etapas de separación que más adelante se detallarán; la cantidad de algas presentes en el agua que se vuelve a añadir dependerá de la eficiencia de separación de cada
- 15 procedimiento en concreto.

Según otra realización preferida, la subetapa de separación del cultivo desalojado en una fracción sólida que contiene biomasa y una fracción líquida que contiene carbonatos y/o bicarbonatos comprende, al menos, una etapa de extracción mecánica seleccionada entre filtración, centrifugación, floculación, electrocoagulación, ultrasonidos,

20 evaporación, decantación o cualquier combinación de las mismas. De esta manera, es posible separar la fase acuosa de la biomasa.

Según otra realización preferida opcional, tras la etapa de vaciado se llevará a cabo una etapa de acidificación del cultivo o medio desalojado o extraído del reactor. En esta subetapa opcional, el medio de cultivo desalojado o

25 extraído se acumula en un tanque de acumulación, en donde se adiciona al menos un agente acidificante hasta alcanzar un pH entre 3,5 y 8, preferentemente entre 6 y 8. El agente acidificante se selecciona del grupo formado por CO₂ (este CO₂ puede ser de botella o industrial), mezcla de CO₂ y aire, ácidos fuertes o débiles o cualquier combinación de los mismos. Preferiblemente, el agente acidificante es una mezcla de CO₂ con aire. De esta manera, es posible asegurar que el medio proveniente del reactor, el cual es rico en CO₂ y bicarbonato, no precipite

30 (mediante la no formación de carbonatos) y así se evitan fenómenos, tales como adherencia y fouling.

Tratamiento mecano-químico de la fase acuosa:

Según otra realización preferida, la etapa de tratamiento químico de la fase acuosa incluye las siguientes subetapas:

- 35 - conversión química del CO₂ que está presente en la fracción líquida resultante de la extracción al menos parcial del cultivo del reactor en forma de carbonatos y/o bicarbonatos en disolución, en sus correspondientes formas carbonatadas precipitadas mediante la adición de un álcali, y
- recirculación al menos parcial de la fase líquida, ya sustancialmente exenta de carbonatos y/o bicarbonatos en disolución, al reactor.

40

Por lo tanto, según otra realización preferida, la subetapa de conversión química del CO₂ incluye transportar el agua resultante de la separación de la biomasa de la subetapa acuosa a un tanque de aclarado, en donde se acumula la fase acuosa que comprende agua, nutrientes en disolución, CO₂, carbonato y bicarbonato, todos ellos disueltos. Una vez que la fase acuosa se encuentra en el tanque de aclarado, se añade al menos un medio básico para provocar la

45 precipitación en forma de carbonatos de las especies que se encuentran en equilibrio (CO₂, bicarbonato y carbonato). De esta manera, es posible eliminar aún más el CO₂, puesto que es transformado en sales carbonatadas útiles en distintas industrias y ya no es un contaminante.

- Una vez que el agua está libre de CO₂, precipitado en forma de carbonato y bicarbonato, se lleva a cabo la subetapa
- 50 de recirculación del agua al reactor en donde está presente el medio de cultivo.

De esta manera, en este punto del procedimiento, se ha llevado a cabo una doble eliminación o conversión del CO₂; la captura o fijación biológica llevada a cabo por las microalgas presentes en el medio de cultivo, y una conversión o transformación química como consecuencia de esta precipitación. Al hacer esto, el agua de cultivo está más libre de

55 CO₂, bicarbonato y carbonato y es capaz de capturar más CO₂ hasta el límite de solubilidad. Durante el siguiente ciclo se repite el procedimiento y acaba con la precipitación de gran parte de este CO₂ que se ha introducido. Si no se procede a esta precipitación forzada, gran parte del CO₂ se quedará disuelto en la fase acuosa que se devuelve mediante el cultivo.

- 60 Por lo tanto, a la hora de introducir CO₂ de nuevo al cultivo, la capacidad de disolución será menor, pues ya tiene CO₂ en disolución.

Etapa de tratamiento mecano-químico de la biomasa:

- 65 Según otra realización preferida, la etapa de tratamiento mecano-químico comprende las siguientes subetapas:
- fermentación anaeróbica de la biomasa obtenida en la fotosíntesis llevada a cabo por las microalgas;

- separación de la biomasa fermentada del agua del cultivo;
- transformación termoquímica de la biomasa fermentada mediante descomposición termoquímica a una temperatura entre 200 y 420°C y una presión entre 0 y 20 MPa para obtener un biocrudo mezclado con agua y gases, y

5 - separación del biocrudo obtenido.

Según otra realización preferida, la biomasa procedente de la sub-etapa de separación de la biomasa de la fase acuosa es sometida a una subetapa de fermentación anaeróbica que tiene lugar en un fermentador. Durante dicha fermentación, a una temperatura entre 10 y 165°C y preferentemente entre 30 y 75°C, se introduce la biomasa con una concentración en sólidos que oscila entre 1 a 50% en sólidos, y preferentemente entre 5 y 12%.

Durante la fermentación anaeróbica, la biomasa es transformada por diferentes comunidades microbianas presentes en el fermentador (bacterias anaeróbicas) perdiendo O y N en forma de H₂O, CO₂ y NH₃ y enriqueciéndose en H y C. El producto que se obtiene tras esta etapa es similar al kerógeno (un precursor del petróleo). Junto con la fermentación anaeróbica se genera un proceso de metagénesis que da lugar a la formación de metano, como consecuencia de la fragmentación de las cadenas; este metano se utilizará como fuente de energía térmica.

Según otra realización preferida opcional, previamente a la subetapa de fermentación anaeróbica la biomasa pasa por una etapa de homogeneización o cavitación en donde las algas se someten a una presión de entre 1 bar y 2500 bares, y preferiblemente entre 250-1200 bares, para producir la fragmentación de éstas. Según una realización preferida, la etapa de homogeneización o cavitación se repite entre 1 y 5 veces, preferiblemente 1 vez. Posteriormente, tras la subetapa de fermentación anaeróbica, el producto resultante se hace pasar por una subetapa de separación de la biomasa fermentada del agua mediante una técnica seleccionada entre filtración, centrifugación, floculación, electrocoagulación, ultrasonidos, evaporación, decantación o cualquier combinación de las mismas. De acuerdo con este tratamiento se obtiene una biomasa con una concentración en sólidos comprendida entre el 14 y el 40% en sólidos, preferiblemente entre el 20 y el 25%.

Tras la etapa de separación de la biomasa fermentada del agua, se llevará a cabo una etapa de transformación termoquímica en la cual se somete a la biomasa a altas presiones y temperaturas, teniendo como consecuencia la generación de hidrocarburos.

Esta etapa consiste en una descomposición química de materia orgánica, causada por el calentamiento moderado a altas presiones o presión atmosférica, aunque preferiblemente a altas presiones. La principal ventaja de trabajar a altas presiones (del orden de 10-20 MPa o presión atmosférica) y temperaturas moderadas (de entre 200 y 420°C, preferiblemente de entre 240 y 340°C) es que la materia prima de partida no requiere ser secada, siendo posible introducir la materia prima al reactor termoquímico con una humedad de hasta el 95%, preferentemente entre 80 y 60% lo cual tiene la evidente ventaja de evitar la necesidad de secar (ahorro de energía térmica). En esta etapa se obtiene un biocrudo.

Finalmente, se lleva a cabo preferiblemente una subetapa de eliminación de agua que acompaña al biocrudo, utilizando al menos un método seleccionado del grupo formado por decantación, floculación, coalescencia, centrifugación, evaporadores, secadores o cualquier combinación de los mismos, y así se obtiene un biocrudo que puede ser usado en motores de combustión interna, calderas o turbinas que trabajan con fueloil sin necesidad de ser refinado.

Opcionalmente, según una realización preferida, tras la subetapa de eliminación de agua se somete al biocrudo obtenido a una subetapa de homogeneización o cavitación, en donde las algas se someten a una presión de entre 1 bar y 2500 bares, preferiblemente entre 250 y 1200 bares para producir la fragmentación de éstas. Según una realización preferida, la etapa de homogeneización o cavitación se repite entre 1 y 5 veces, preferiblemente 1 vez.

De esta manera se produce lo siguiente:

- Rotura de las cadenas largas de hidrocarburos para obtener hidrocarburos ligeros, incrementar el número de alquenos, elevar el índice de cetano, reducir la temperatura de cristalización y disminuir la cantidad de emisiones nocivas.
- Mezcla de dos fluidos que están entremezclados (biocrudo y agua).

Opcionalmente, según otra realización preferida, tras la subetapa de eliminación de agua o tras la etapa de homogeneización, se llevará a cabo una subetapa de refinado del biocrudo obtenido. La etapa de refinado será equivalente al refinado convencional existente en la refinería con la salvedad de que el contenido en azufre y metales pesados es inferior o inexistente.

Basándose en el objetivo fijado, es decir, basándose en las partes que se quieran obtener (gasolina, diesel, queroseno, plásticos,...) la estructura de la refinería puede ser diferente. Por lo tanto, en función de esto la planta incluirá también al menos una de las siguientes etapas:

- destilación atmosférica (topping),
- destilación al vacío,
- gas plant,

- hidrot ratamiento de nafta,
- reformado cataltico.
- hidro craqueo
- craqueo cataltico fluidizado (FCC Fluid Catalytic Cracking),
- 5 - Viscorreducci3n (visbreaking),
- Isomerizaci3n,
- Alquilaci3n,
- Craqueo con vapor (steam cracking),
- Soplado de bit6menes,
- 10 - Coquizaci3n (coking).

Finalmente, mediante el procedimiento descrito en la presente invenci3n se ha pasado de una concentraci3n de C desde la mol6cula de CO₂ (27% de C) hasta el producto final (65-95% en C, preferentemente entre 75-90%).

- 15 La descripci3n tambi3n se refiere a un biocrudo obtenido a trav3s del procedimiento anteriormente descrito, cuyas caracteristicas son las que a continuaci3n se presentan:

Tabla 1

Densidad (kg/m ³)	800-1200
Viscosidad cinemática (50°C) (mm ² /s)	2-100
Punto de inflamaci3n (°C)	35-200
Contenido de cenizas (% m/m)	0-3
PCI (MJ/kg)	29-45
Aluminio (mg/kg)	< 1
Silice (mg/kg)	< 1
Vanadio (mg/kg)	< 1
Sodio (mg/kg)	< 1
Calcio (mg/kg)	< 1
Magnesio (mg/kg)	< 1
F3sforo (mg/kg)	< 1

20

La descripci3n tambi3n se refiere al uso directo del biocrudo obtenido en motores de combusti3n interna, turbinas o calderas que trabajen con fuel oil.

- 25 La descripci3n tambi3n se refiere al uso de un gas que incluye CO₂, tal como el gas procedente de industrias cementeras, para la obtenci3n de un biocrudo utilizando el procedimiento de la invenci3n.

A lo largo de la descripci3n y las reivindicaciones, la palabra "comprende" y sus variantes no pretenden excluir otras caracteristicas t6cnicas, aditivos, componentes o etapas.

30

BREVE DESCRIPCI3N DE LAS FIGURAS

Figura 1 - muestra un diagrama de bloques del procedimiento de la presente invenci3n. En el mismo se ilustran cada una de las etapas en el procedimiento.

- 35 Figura 2 - muestra un diagrama que representa la conversi3n energ6tica del CO₂, de acuerdo a un balance neto negativo.

Figura 3 - muestra el balance de emisiones de CO₂ del ejemplo 2 en un procedimiento de conversi3n energ6tica del CO₂ de acuerdo a un balance neto negativo.

Figura 4 - se refiere al balance de emisiones de CO₂ del ejemplo 3 en un procedimiento de conversi3n energ6tica del CO₂, de acuerdo a un balance neto negativo.

40

Figura 5 - se refiere al fraccionamiento del biocrudo en distintas fracciones

EJEMPLOS DE UNA REALIZACI3N

- 45 En esta memoria descriptiva los s6mbolos y convenciones usados en estos procedimientos, diagramas y ejemplos son consistentes con los usados en el Sistema Internacional y la bibliograf6a cient6fica contempor6nea, por ejemplo, el Journal of Medicinal Chemistry. Salvo que se indique lo contrario, todos los materiales b6sicos se obtuvieron de proveedores comerciales y se usaron sin purificaci3n adicional. Espec6ficamente, es posible usar las siguientes abreviaturas a lo largo de toda la memoria descriptiva: g (gramos); mg (miligramos); kg (kilogramos); μg (microgramos); l (litros); ml (mililitros); μl (microlitros); mmol (milimoles); mol (moles); °C (grados Celsius); Hz (hertzio); MHz (megahertzio); δ (desplazamiento qu6mico); s (singlete); d (doblete); t (triplete); q (cuartete); m (multiplete); RMN (resonancia magn6tica nuclear); M (molar); Et₃N (trietilamina); DMF (dimetilformamida); DMSO (dimetilsulf3xido); ACN (acetonitrilo); PBS (soluci3n salina tamponada con fosfato); NCV (valor calor6fico neto).
- 50

Ejemplo nº 1: Conversión energética del CO₂ obteniendo un balance neto negativo.

El punto de partida del presente procedimiento son los gases de emisión resultantes de la combustión de una 5 cementera y opcionalmente los gases resultantes de la combustión del propio producto obtenido (del biocrudo).

A continuación, en la Tabla 2, se presenta un ejemplo de los gases emitidos por la cementera:

Tabla 2

10

Temperatura	420	°C
Presión	1	bar
Densidad	0,79	kg/m ³
Flujo másico	2.000	kg/h
Calor específico	0,25	kcal/kg
Flujo volumétrico	2.531,64	m ³ /h
CO ₂	12	%V
N ₂	61	%V
O ₂	1,9	%V
H ₂ O	20,7	%V
CH ₄	2.500	ppm
NO _x	90	ppm
SO _x	50	ppm
CO	1,65	ppm

De acuerdo con la composición del gas de la cementera, se consideró que el único tratamiento que se le debía llevar a cabo era la eliminación de SO_x y la disminución de la temperatura. Para ello se instaló una columna de absorción en contracorriente con NaOH (disolución acuosa al 10% en NaOH). Es importante destacar que en el procedimiento 15 de la invención, además de la reducción en el balance neto de CO₂, se obtiene también una reducción en la concentración de NO_x (95% NO y el resto NO₂) en el producto final, como consecuencia de la disolución en agua del NO y NO₂ (particularmente éste último). Tras este tratamiento, se introduce un gas con la siguiente composición (Tabla 3).

20

Tabla 3

Temperatura	40	°C
Presión	1,98	bar
Densidad	2,22	kg/m ³
Flujo másico	1.760	kg/h
Calor específico	0,24	kcal/kg
Flujo volumétrico	792,79	m ³ /h
CO ₂	13,5	%V
N ₂	63	%V
O ₂	2,1	%V
H ₂ O	3,2	%V
CH ₄	2.300	ppm
NO _x	62	ppm
SO _x	2	ppm
CO	0	ppm

Además de los gases resultantes de las emisiones de la cementera, tal y como se ha comentado con anterioridad, se introducen al cultivo de nuevo los gases resultantes de la combustión del biocrudo obtenido en el proceso; a 25 continuación se presenta la composición de este gas a la salida del sistema de tratamiento, (utilizando un depurador únicamente para atemperar; en este caso no hay SO_x y, por lo tanto, no se introduce NaOH):

Tabla 4

Temperatura	40	°C
Presión	1,98	bar
Flujo másico CO ₂	78	kg/h
CO ₂	14,9	%V
N ₂	58	%V
O ₂	2,7	%V
H ₂ O	1,1	%V

ES 2 617 179 T3

CH ₄	1.100	ppm
NO _x	120	ppm
SO _x	0	ppm
CO	0	ppm

El diagrama general se representa en la Figura 2. Los gases se mezclan en un tanque diseñado para este uso y sistema específico. En este tanque de mezcla, además de mezclar estas dos corrientes, se mezcla una tercera corriente de aire para adecuar la mezcla final a la concentración de CO₂ deseada; en este caso concreto la media se encuentra en 13,5% en CO₂. Para llevar a cabo la mezcla se mide la concentración de CO₂ de las dos primeras corrientes y se activa una electroválvula para dejar pasar más o menos aire y regular de esta forma la concentración final. Esta mezcla, por tanto, es la que se introduce en los reactores (reactores fotosintéticos continuamente agitados que permiten el paso de luz y por ello están contruidos de un material transparente) que contienen un cultivo monoespecífico de microalgas (*Nannochloris sp*).

Para poder realizar el estudio de la captación de CO₂ por parte del sistema, se mide en continuo la composición de CO₂ a la entrada y a la salida. De acuerdo con estos datos es posible determinar la cantidad de CO₂ capturado por el sistema (fijación biológica + fijación química); junto con el peso seco del cultivo y es posible determinar cuánto CO₂ se ha fijado biológicamente por parte del alga de acuerdo a su comportamiento fotosintético y cuánto ha fijado el sistema. A continuación, la Tabla 5 muestra los resultados del seguimiento de CO₂:

Tabla 5

Tiempo	t (min)	% CO ₂ entrada	X CO ₂ entrada (l CO ₂ /l gas)	ENTRADA DE FLUJO DE GAS (l/min)	% CO ₂ salida
0:00:00	10	0	600	1,16	-128,76
0:10:00	10	0	600	1,1	-122,1
1:00:00	50	0	600	0,94	-521,7
2:00:00	60	0	600	0,62	-412,92
3:00:00	60	0	600	0,36	-239,76
4:00:00	60	0	600	0,19	-126,54
5:00:00	60	0	600	0,08	-53,28
6:00:00	60	0	600	0	0
7:00:00	60	0	600	0	0
8:00:00	60	0	600	0	0
9:00:00	60	13,49	600	0,13	889,76
10:00:00	60	13,51	600	1	8331,66
11:00:00	60	13,51	600	2,25	7499,16
12:00:00	60	13,51	600	3,2	6866,46
13:00:00	60	13,5	600	3,69	6533,46
14:00:00	60	13,5	600	3,86	6420,24
15:00:00	60	13,5	600	3,89	6400,26
16:00:00	60	13,5	600	3,87	6413,58
17:00:00	60	13,5	600	3,89	6400,26
18:00:00	60	13,52	600	4,2	6207,12
19:00:00	60	13,5	600	5,1	5594,4
20:00:00	60	0	600	4	-2664
21:00:00	60	0	600	2,2	-1465,2
22:00:00	60	0	600	1,45	-965,7
23:00:00	60	0	600	1,3	-865,8
23:50:00	50	0	600	1,18	-654,9

De acuerdo con esta Tabla, la producción será de 681,11 kg/día de biocrudo para una planta con un volumen total de 735 m³. Para obtener esta producción basándose en la eficiencia de captura de CO₂ del 69% calculada a partir de la tabla anterior, será necesario alimentar los fotobioreactores con 342,49 kg/h de CO₂; 264,44 kg de CO₂/h proceden de la cementera y el resto 78 kg CO₂/h proceden de la retroalimentación resultante de las emisiones de la combustión del propio biocrudo introducido.

Para llevar a cabo el proceso de obtención de esta biomasa, en primer lugar se procede a la extracción de 367,64 m³ al día (50% del cultivo). Antes de pasar a la siguiente etapa de centrifugación (1ª etapa de extracción), debe pasar por una etapa de acidificación que tiene lugar en un tanque de 500 m³. El fundamento de esta etapa de acidificación es la siguiente:

El cultivo extraído, como consecuencia del burbujeo continuo de gases de escape, tiene un contenido de CO₂, bicarbonato y carbonato muy elevado en solución. Cuando se deja de burbujear este CO₂, el pH de la disolución tiende a subir desplazando el equilibrio hacia la formación de carbonatos. Si se forma mucho carbonato, sobrepasará el punto de solubilidad y éste comenzará a precipitar. Esta precipitación podría producir problemas de *fouling*, que a su vez podría conducir a la contaminación y provocar más complicaciones en la decantación de agua. Por lo tanto, puesto que la separación mecánica (1ª etapa de separación) no es capaz de procesar de una vez todo el volumen extraído, durante este período de almacenamiento se debe añadir un ácido. Específicamente, en este caso, se añadió una disolución de H₂SO₄ (1 M) con el objetivo de mantener el pH siempre por debajo de 7,5.

10 Una vez llevado a cabo el vaciado de 367,64 m³ de cultivo, se procede a la separación mecánica del agua de la biomasa. Para este objetivo se utiliza una centrifugación y de esta manera se obtiene un volumen de 1,89 m³/día a una concentración del 15% en sólidos.

Además de la fracción concentrada (15% en sólidos), se obtiene una fracción acuosa (permeada) que representaba un volumen total de 3.657 m³/día. Esta agua, debido al hecho de que formaba parte del cultivo, se carga con CO₂, bicarbonato y carbonato. Para liberar esta carga del agua, se alcalinizó con NaOH hasta llegar a pH 9 con el objetivo de desplazar el equilibrio hacia la formación de carbonato y, de este modo, sobrepasar el límite de solubilidad del carbonato y hacerlo precipitar. De este modo, se captura químicamente el CO₂, obteniendo un agua con bajo contenido de CO₂, bicarbonato y carbonato. Esta agua con un bajo contenido de estos elementos se introduce al sistema de nuevo (en los fotobiorreactores) con una capacidad de captación renovada del CO₂. Si se introdujera esta agua sin una etapa previa de captura química, la capacidad de asimilación de CO₂ por parte del agua sería mínima pues estaría cerca de la saturación.

El concentrado, con un 15% en sólidos resultante de la centrifugación, pasa a una etapa de fermentación anaeróbica a 38°C. Durante la fermentación anaeróbica, la biomasa es transformada por las diferentes comunidades microbianas presentes (bacterias anaerobias) perdiendo O y N en forma de H₂O, CO₂ y NH₃ y enriqueciéndose en H y C. A medida que la fermentación va avanzando, se observa cómo el contenido en N y O va cayendo a medida que aumenta en H y en C. Al mismo tiempo se va generando metano como consecuencia de la fragmentación de estas moléculas, proporcionando energía que se utiliza como fuente de energía térmica para la siguiente etapa termoquímica. De acuerdo con la fragmentación de los 54,57 kg/h de biomasa seca que potencialmente podrían pasar a la siguiente etapa, únicamente pasan a la siguiente etapa 45,48 kg/día como consecuencia de la fragmentación y descomposición.

Posteriormente, tras la etapa de fermentación anaeróbica el producto resultante se somete a centrifugación, una vez más, esta vez hasta obtener el 23% en sólidos; este producto, producido a una velocidad de producción de 967 kg/día, a pesar de que es un producto pastoso pero a su vez bombeable, pasa a la siguiente etapa de transformación termoquímica. El agua más clara resultante del proceso (1,6 m³/día), se carga de amoníaco y se devuelve de nuevo a los fotobiorreactores, con la carga de amoníaco sirviendo de aporte extra de nutrientes a los microorganismos.

La transformación termoquímica tiene lugar en un reactor a 270°C y 22 MPa en un proceso en continuo suministrado a una velocidad de 40,32 kg/h, siendo la producción de biocrudo (con una transformación del 62,20% con respecto a la biomasa seca base) de 28,38 kg/h de biocrudo con un 3% en agua tras una etapa de decantación posterior al reactor. Además de obtener biocrudo, del proceso termoquímico se obtiene una fracción gas (principalmente CH₄, CO₂ y CO), que se combustiona con el objetivo de obtener energía térmica para esta etapa en concreto.

El producto final tiene un PCI aproximado de 9.300 kcal/kg, que permite obtener una energía eléctrica de 138 kW tras combustionar en un motor de combustión interna cuya eficiencia de transformación de energía térmica a eléctrica es del 45%. El CO₂ resultante de la combustión se vuelve a introducir al sistema.

En la figura 3 se muestra el balance de emisiones de CO₂.

De acuerdo con el balance, tras obtener la energía eléctrica, después de introducir 264,44 kg/h de CO₂ únicamente se emiten 113,98 kg/h de CO₂, lo cual supone un balance neto negativo de -150,47 kg CO₂/h. Como resultado, en el presente proceso no sólo no se emite CO₂, sino que se capta más CO₂ del que se emite, de acuerdo con el siguiente balance:

Tabla 6

Introducido	264,44	kg CO ₂ /h
Emitido	113,98	kg CO ₂ /h
Balance	-150,47	kg CO₂/h

Ejemplo No. 2. Valorización energética del CO₂

ES 2 617 179 T3

El punto de partida son los gases de emisión resultantes de la combustión de una cementera con las emisiones contenidas en la siguiente tabla:

Tabla 7

5

Temperatura	150	°C
Presión	1	bar
Densidad	0,77	kg/m ³
Flujo másico	43.914	kg/h
Calor específico	0,25	kcal/kg
Flujo volumétrico	57.377	m ³ /h
CO ₂	6	%V
N ₂	67,6	%V
O ₂	2,1	%V
H ₂ O	20,7	%V
CH ₄	9.000	ppm
NO _x	50	ppm
SO _x	50	ppm
CO	2,69	ppm

Dadas las características del gas emitido por la cementera, se consideró que el único tratamiento necesario era la eliminación de SO_x y la disminución de la temperatura. Para ello se instaló una columna de absorción en contracorriente con NaOH. Es importante destacar que, en el procedimiento de la invención, además de la reducción en el balance neto de CO₂, se obtiene también una reducción en la concentración final de NO_x (95% NO y resto NO₂) como consecuencia de la disolución en agua del NO y NO₂ (sobre todo éste último).

De acuerdo a este tratamiento se introduce el siguiente gas en los reactores fotosintéticos (reactores fotosintéticos continuamente agitados que favorecen el paso de luz y están contruidos de un material transparente para dejar pasar la luz) y que contienen un cultivo pluriespecífico de microalgas (*Nannochloris sp*, *Tetraselmis chuii* e *Isocriasis Galbana*).

Tabla 8

20

Temperatura	40	°C
Presión	1,98	bar
Densidad	2,22	kg/m ³
Flujo másico	38.716	kg/h
Calor específico	0,24	kcal/kg
Flujo volumétrico	17.473	m ³ /h
CO ₂	7,37	%V
N ₂	85,95	%V
O ₂	2,95	%V
H ₂ O	3,69	%V
CH ₄	10.502	ppm
NO _x	23,2	ppm
SO _x	1	ppm
CO	0	ppm

De acuerdo con la composición de estos gases y la eficiencia de captura de CO₂ por parte del sistema, se obtiene una producción de 4.017 kg/día de biomasa, cuya transformación en bio-oil permite obtener 1.607,13 kg/día de biocrudo, en una planta de 230 reactores fotosintéticos para un volumen total de planta de 4.020 m³.

25

Para llevar a cabo el proceso de obtención de esta biomasa, en primer lugar se procede a la extracción de 1.005 m³ al día (25% del cultivo). Antes de pasar a la siguiente etapa de centrifugación (1ª etapa de extracción), debe pasar por una etapa de acidificación que tiene lugar en un tanque con capacidad de 1.500 m³. El fundamento de esta etapa de acidificación es la siguiente:

30

Como consecuencia del burbujeo continuo de gases de escape, el cultivo extraído tiene un contenido de CO₂, bicarbonato y carbonato muy elevado en solución. Cuando se deja de burbujear este CO₂, el pH de la disolución tiende a subir desplazando el equilibrio hacia la formación de carbonatos. Si se forma mucho carbonato, sobrepasará el punto de solubilidad y éste comenzará a precipitar. Esta precipitación podría producir problemas de *fouling*, que a su vez podría conducir a la contaminación junto con problemas en la decantación de agua. Por lo tanto, puesto que la separación mecánica (1ª etapa de separación) no es capaz de procesar de una vez todo el

35

volumen extraído, durante este período de almacenamiento se debe añadir un ácido. Específicamente, se añade una disolución de HCl (1 M) con el objetivo de mantener el pH siempre por debajo de 7.

De esta manera, cuando se han vaciado 1005 m³ de cultivo el agua se separa mecánicamente de la biomasa. Esto se realiza a través de una centrifugación, obteniendo así un volumen de 36 m³ de cultivo ceconcentrado, sin embargo, aún es líquido; siendo la concentración alcanzada del 10% en sólidos.

Además de la fracción concentrada del 10% en sólidos, se obtiene una fracción acuosa (permeada) que representa un total de 9.680 m³/día. Esta agua, debido al hecho de que formaba parte del cultivo, se carga con CO₂, bicarbonato y carbonato. Para liberar esta carga del agua, se alcalinizó con NaOH hasta llegar a pH 9 con el objetivo de desplazar el equilibrio hacia la formación de carbonato y, de este modo, sobrepasar el límite de solubilidad del carbonato y hacerlo precipitar. De este modo, se captura químicamente el CO₂, obteniendo un agua con bajo contenido de CO₂, bicarbonato y carbonato. Esta agua con un bajo contenido de estos elementos se introduce al sistema de nuevo (en los fotobioreactores) con una capacidad de captación renovada del CO₂. Si se introdujera esta agua sin una etapa previa de captura química, la capacidad de asimilación de CO₂ por parte del agua sería mínima pues estaría cerca de la saturación.

El concentrado, con un 10% en sólidos (36 m³/día) resultante de la centrifugación, pasa a una etapa de cavitación que consiste en dos etapas, cada una a 750 bar; y de esta manera, las células se fragmentan, lo cual facilita la siguiente fase de fermentación anaeróbica. Esta fermentación anaeróbica se lleva a cabo a 40°C y, de esta manera, la biomasa es transformada por las diferentes comunidades microbianas presentes (bacterias anaerobias) perdiendo O y N en forma de H₂O, CO₂ y NH₃ y enriqueciéndose en H y C. A medida que la fermentación va avanzando, se observa cómo el contenido en N y O va cayendo a medida que aumenta en H y en C. Al mismo tiempo se va generando metano como consecuencia de la fragmentación de estas moléculas, proporcionando energía que se utiliza como fuente de energía térmica para la siguiente etapa termoquímica. Como resultado de esta fragmentación, de los 4.017 kg de biomasa seca que potencialmente podrían pasar a la siguiente etapa, únicamente pasan a la siguiente etapa 2.800 kg/día como consecuencia de la fragmentación y descomposición.

Posteriormente, tras la etapa de fermentación anaeróbica, el producto resultante se somete a centrifugación, una vez más, esta vez hasta obtener el 23% en sólidos; este producto, con una producción de 10,7 m³/día que es ya un producto pastoso, pero a su vez bombeable, pasa a la siguiente etapa de transformación termoquímica. El agua resultante de esta separación (19,8 m³/día), cargado de amoníaco, se devuelve de nuevo a los fotobioreactores una vez más, con la carga de amoníaco sirviendo de aporte extra de nutrientes a los microorganismos.

La transformación termoquímica tiene lugar en un reactor a 300°C y 15 MPa en un proceso en continuo suministrado a una velocidad de 485,24 kg/h de un concentrado al 23%, siendo la producción de biocrudo (con una transformación del 60% con respecto a la biomasa seca base) de 1.607,13 kg/día de biocrudo con un 7% en agua tras una etapa de decantación posterior al reactor.

El producto final tiene un PCI aproximado de 8.100 kcal/kg se combustiona en una turbina obteniendo 284 kW de energía instalada con una eficacia de conversión de energía térmica a electricidad del 45%.

Según todo lo anterior, en la figura 4 se muestra el balance de CO₂.

De acuerdo con este diagrama se introducen 24.724,98 kg/día de CO₂ y se emiten: 441,96 + 8.653,74 + 4.419,61 = 13.515,31 kg/día. Por lo tanto, el balance neto es: -11.209,67 kg CO₂/día, siendo más el CO₂ que se capta que el que se emite.

Ejemplo No. 3. Biocrudo basado en CO₂ de cementera

El punto de partida son los gases de emisión resultantes de la combustión de una cementera con las emisiones contenidas en la siguiente tabla:

Tabla 9

Temperatura	170	°C
Presión	1	bar
Densidad	0,81	kg/m ³
Flujo másico	22.000	kg/h
Calor específico	0,25	kcal/kg
Flujo volumétrico	27.160,49	m ³ /h
CO ₂	7	%V
N ₂	66,8	%V
O ₂	1,9	%V
H ₂ O	17,3	%V

CH ₄	8.000	ppm
NO _x	40	ppm
SO _x	70	ppm
CO	3,69	ppm

Dadas las características de los gases, se consideró que el único tratamiento que precisaba era la eliminación de SO_x y la disminución de la temperatura. Para ello se instaló una columna de absorción en contracorriente con NaOH.

5

Tras este tratamiento, se introdujeron los siguientes gases en las columnas fotosintéticas:

Tabla 10

Temperatura	40	°C
Presión	1,98	bar
Densidad	2,22	kg/m ³
Flujo másico	19.360	kg/h
Calor específico	0,24	kcal/kg
Flujo volumétrico	8.720,72	m ³ /h
CO ₂	7,5	%V
N ₂	87	%V
O ₂	2,1	%V
H ₂ O	3,32	%V
CH ₄	9.600	ppm
NO _x	45	ppm
SO _x	1	ppm
CO	0	ppm

10

Los gases indicados en la anterior tabla, resultantes del tratamiento, se introducen en los reactores (reactores fotosintéticos continuamente agitados que favorecen el paso de luz y que están contruidos de un material transparente para dejar pasar la luz) y contienen un cultivo monoespecifico de microalgas (*Isocrisis galbana*). Como consecuencia de este procedimiento se obtiene una producción de 170 kg/h de biomasa para una planta de 2.041 m³.

15

Para llevar a cabo la obtención de esta biomasa, en primer lugar se procede a la extracción de 714 m³ por día (35% del cultivo). Este cultivo extraído pasa a un tanque de decantación con capacidad máxima de 1.000 m³, en el que se somete a una etapa de separación del alga (primera etapa de extracción) mediante un proceso de coagulación-floculación. Se coagula con aluminio, neutralizando de esta forma la carga de las microalgas, y se floclula con un polielectrolito polimérico (ZETAG). De esta forma, tras 10 minutos de decantación, la biomasa se queda en la base del tanque, obteniendo un producto con una concentración del 15% en sólidos, que descarga hacia la siguiente etapa de fermentación.

20

Además de la fracción concentrada (15% en sólidos), se obtiene una fracción acuosa (sobrenadante en el tanque de decantación) que supone un volumen total de 7.026 m³/día. Este agua, debido a que formaba parte del cultivo, está cargada de CO₂, bicarbonato y carbonato. Para liberar al agua de esta carga, ésta se alcaliniza con KOH hasta llegar a pH 9 con el objetivo de desplazar el equilibrio hacia la formación de carbonato y sobrepasar de esta forma el límite de solubilidad del carbonato y hacerlo precipitar. De esta forma se procede a la captura química del CO₂, obteniendo un agua pobre en CO₂, bicarbonato y carbonato. Este agua pobre en estos elementos se introduce al sistema de nuevo (a los fotobioreactores) con una capacidad de captura renovada en lo que a CO₂ se refiere. Si se introdujera esta agua sin proceder a una etapa previa de captura química, la capacidad de asimilación de CO₂ por parte del agua sería mínima pues estaría cerca de la saturación.

30

El concentrado, con un 15% en sólidos (11,56 m³/día) resultante de la centrifugación, pasa a una etapa de fermentación anaeróbica a 33°C. Durante la fermentación anaeróbica la biomasa es transformada por las diferentes comunidades microbianas presentes (bacterias anaerobias) perdiendo O y N en forma de H₂O, CO₂ y NH₃ y enriqueciéndose en H y C. A medida que la fermentación va avanzando, se observa cómo el contenido en N y O va cayendo a medida que aumenta en H y en C. Al mismo tiempo se va generando metano como consecuencia de la fragmentación de estas moléculas, que se utiliza como fuente de energía térmica para la siguiente etapa termoquímica. Según esta fragmentación, de los 2.040,65 kg de biomasa seca por día que potencialmente podrían pasar a la siguiente etapa, únicamente pasan a la siguiente etapa 1.360 kg/día como consecuencia de dicha fragmentación y descomposición.

40

La tabla 9 que se presenta a continuación muestra la evolución del C, N, O e H de acuerdo al proceso de fermentación:

45

Tabla 11

	Antes de la fermentación (%)	Después de la fermentación (%)
C	50,3	60
N	7,3	2
O	26,82	17,7
H	7,58	12,3

- 5 A continuación, tras la etapa de fermentación anaeróbica, el producto resultante se somete a un proceso de filtración en prensa con el objeto de aumentar el contenido en sólidos. La torta que se obtiene después de esta etapa es un producto húmedo con una concentración en sólidos del 30%. Este producto, en una producción de 4.534,77 kg/día, tiene una textura pastosa, pero a su vez bombeable y pasa a la siguiente etapa de transformación termoquímica. El agua resultante más clara (11,47 m³/día), se cargada de amoníaco y se devuelve de nuevo a los fotobioreactores; la carga de amoníaco sirve de aporte extra de nutrientes a los microorganismos.
- 10 La transformación termoquímica tiene lugar en un reactor a 320°C y 20 MPa en un proceso en continuo cuya alimentación se lleva a cabo a 189 kg/h, siendo la producción de bio-oil (de acuerdo a una transformación del 52% respecto a la biomasa seca básica) de 29,47 kg/h de bio-oil con un 5% en agua tras una etapa de decantación posterior al reactor.
- 15 El producto final tiene un PCI aproximado de 8.400 kcal/kg, que, tras pasar por una etapa de eliminación del agua mediante evaporación a vacío, se refina con el objetivo de obtener distintas fracciones tal y como se representa en la figura siguiente con la descripción del proceso siguiente: el biocrudo es precalentado, pasando posteriormente a un horno en donde el biocrudo es parcialmente vaporizado. A continuación el biocrudo pasa a la columna de destilación
- 20 o rectificación y se separa en distintas fracciones en función de la temperatura de ebullición. Los porcentajes son los siguientes:
- 5,6 %--> Gases
 - 11 %--> nafta ligera
 - 23,8 %--> nafta pesada
 - 25 - 18 %--> queroseno
 - 29,6 %--> Diésel
 - 12 %--> Gasóleo pesado

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para obtener un biocrudo a partir de un gas que comprende CO₂, que comprende las etapas de:
 - a. suministro del gas que comprende CO₂ a un reactor que contiene un cultivo que incluye al menos una especie de microalga capaz de realizar la fotosíntesis;
 - b. proceso de la fotosíntesis llevado a cabo por parte de la especie de microalga utilizando el CO₂ suministrado para producir una biomasa;
 - c. fermentación anaeróbica de la biomasa obtenida;
 - d. descomposición termoquímica de la biomasa fermentada a una presión entre 0 y 20 MPa y a una temperatura entre 200 y 420°C para obtener un biocrudo mezclado con agua y gases, y
 - e. separación del biocrudo obtenido,

caracterizado porque, tras la etapa de realización de la fotosíntesis, se extrae del reactor entre un 5 y un 100% del cultivo, que posteriormente se separa en una fracción sólida que contiene biomasa, cuya fracción sólida será posteriormente sometida a la etapa de fermentación anaeróbica, y una fracción líquida que contiene carbonatos y/o bicarbonatos, los cuales se separan de la parte líquida, y cuya fracción líquida se devuelve, al menos parcialmente, al reactor, sustancialmente exenta de carbonatos y bicarbonatos.
2. Procedimiento, según la reivindicación 1, en el que en la etapa de extracción al menos parcial del reactor se extrae entre el 5 y el 50% de cultivo.
3. Procedimiento, según la reivindicación 2, en el que en la etapa de extracción al menos parcial del reactor se extrae aproximadamente el 10% de cultivo.
4. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que previamente la etapa de fotosíntesis se lleva a cabo en un régimen turbulento y expuesta a luz natural y/o artificial.
5. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que tras la etapa de extracción al menos parcial del cultivo del reactor, el cultivo extraído se acidifica hasta un pH entre 3,5 y 8.
6. Procedimiento, según la reivindicación 5, en el que la acidificación se lleva a cabo mediante la adición al cultivo de al menos un agente acidificante selecciona del grupo que consiste en CO₂, mezcla de CO₂ y aire, ácidos fuertes o débiles o cualquier combinación de los mismos.
7. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que, tras la etapa de extracción al menos parcial de cultivo del reactor, la separación de la fracción sólida que contiene biomasa y la fracción líquida que contiene carbonatos y/o bicarbonatos se lleva a cabo mediante al menos una técnica seleccionada del grupo que consiste en filtración, centrifugación, floculación, electrocoagulación, ultrasonidos, evaporación, decantación o cualquier combinación de las mismas.
8. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la separación de carbonatos y/o bicarbonatos de la fracción líquida resultante de la extracción al menos parcial del cultivo del reactor se lleva a cabo mediante precipitación de las sales carbonatadas correspondientes originadas por la adición de al menos un álcali.
9. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa de fermentación anaeróbica comprende la fermentación anaeróbica de una biomasa en la que la concentración en sólidos es del 1 al 50% y se realiza a una temperatura de entre 10 y 165°C.
10. Procedimiento, según la reivindicación 9, en el que la biomasa tiene una concentración en sólidos del 5 al 12% y la fermentación anaeróbica se realiza a una temperatura de entre 30 y 75°C.
11. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que, previamente o posteriormente a la etapa de fermentación anaeróbica, se lleva a cabo una subetapa de homogenización o cavitación de la biomasa en la que la biomasa se somete a una presión de entre 250 bar y 1.200 bar.
12. Procedimiento, según la reivindicación 11, que se repite ente 1 y 5 veces.
13. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que, tras la etapa de fermentación anaeróbica y antes de la etapa de descomposición termoquímica, se separa de la biomasa resultante de la fermentación anaeróbica una fracción acuosa que contiene sales de amonio, cuya fracción acuosa se devuelve a continuación de nuevo al reactor.
14. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que microalga que lleva a cabo la fotosíntesis se selecciona del grupo que consiste en Clorofíceas, Bacilariofíceas, Dinofíceas, Criptofíceas, Crisofíceas, Haptofíceas, Prasinofíceas, Rafidofíceas, Estigmatofíceas o cualquier combinación de las mismas.

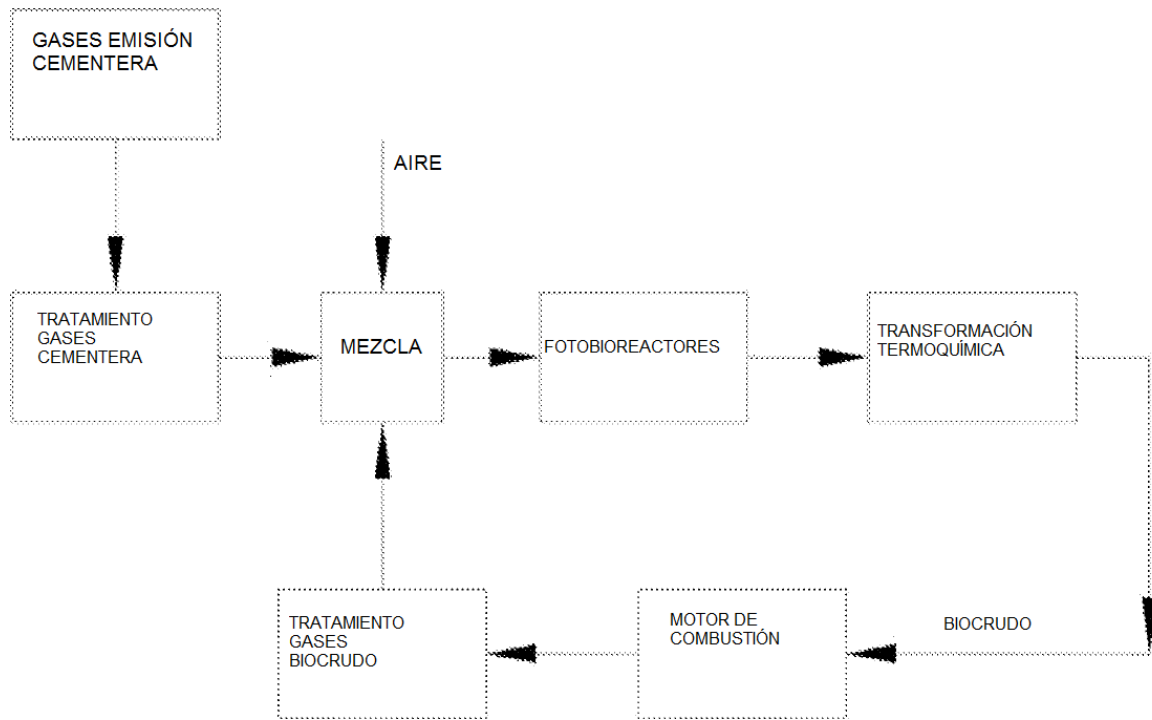


Figura 1

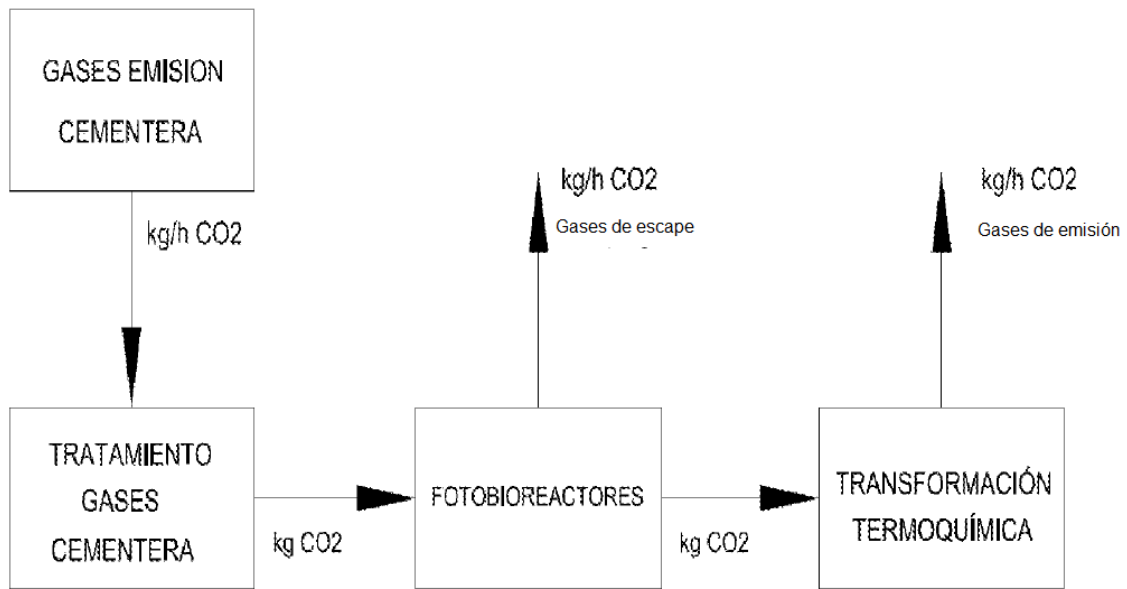


Figura 2

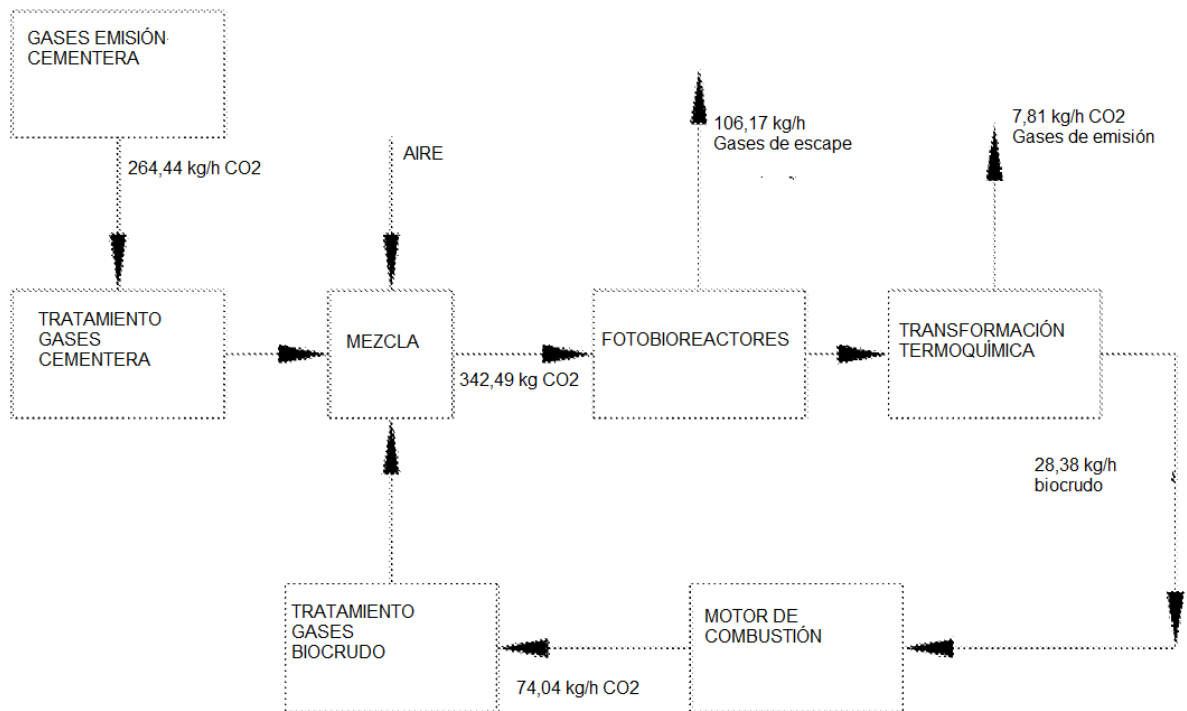


Figura 3

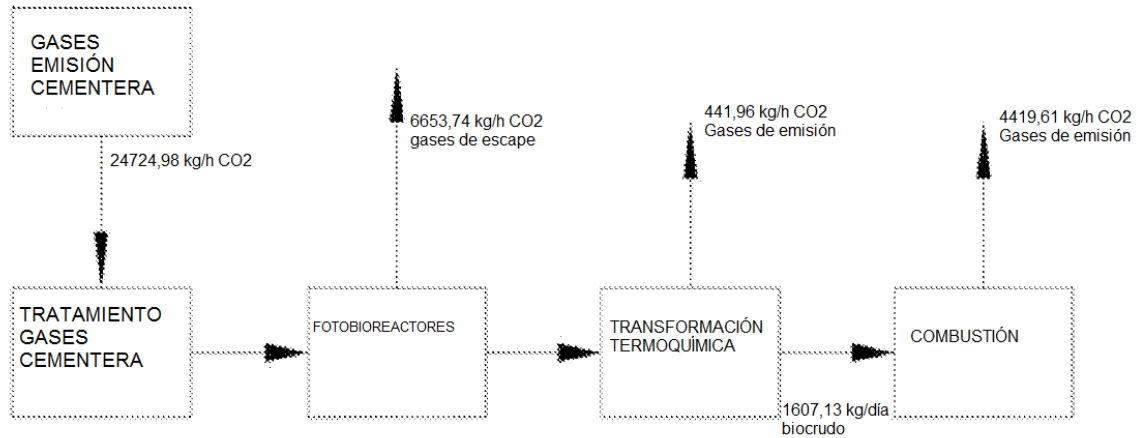


Figura 4

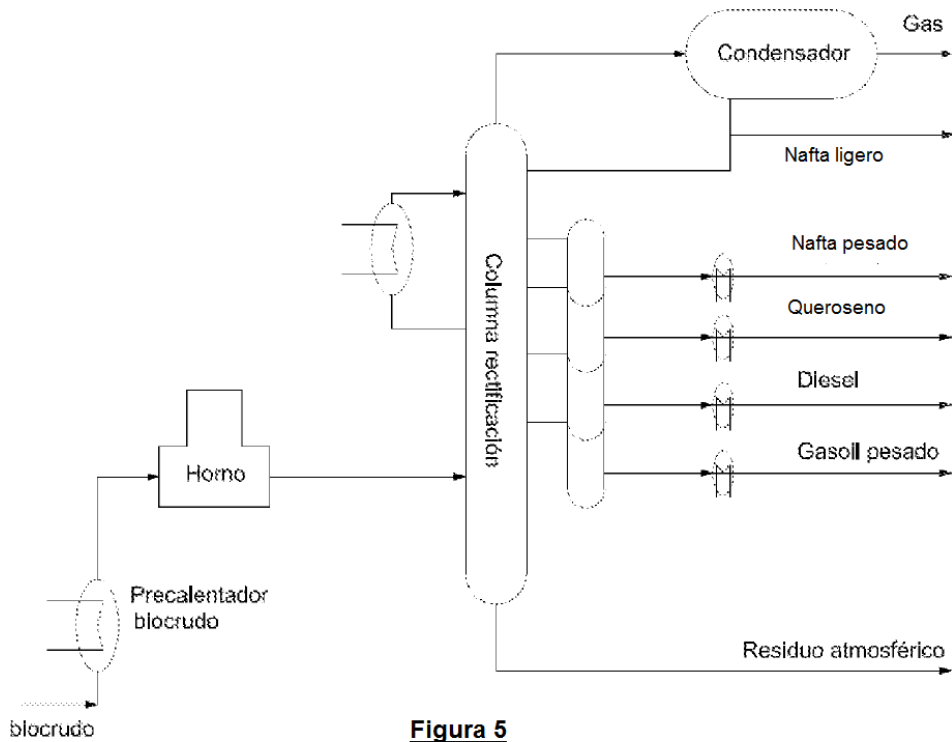


Figura 5