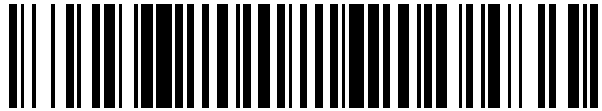


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 528 022**

51 Int. Cl.:

B01D 53/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.12.2011 E 11802946 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.11.2014 EP 2654925**

54 Título: **Proceso de depuración final de biogás**

30 Prioridad:

21.12.2010 FR 1060988

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
03.02.2015

73 Titular/es:

**L'AIR LIQUIDE SOCIÉTÉ ANONYME POUR
L'ETUDE ET L'EXPLOITATION DES PROCÉDÉS
GEORGES CLAUDE (100.0%)
75, Quai d'Orsay
75007 Paris, FR**

72 Inventor/es:

**BERNHARDT, JEAN-MARC;
BRIEND, PIERRE;
GRILLOT, DAVID;
RENOU, ELISE;
SAULQUIN, SIMON y
WEITTEN, OLIVIER**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 528 022 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

Proceso de depuración final de biogas

La presente invención se refiere a un proceso de depuración por adsorción de un flujo de alimentación rica en metano y que contiene al menos dióxido de carbono.

- 5 Se refiere, en particular, a la depuración final de biogas, con el fin de producir metano, preferiblemente líquido; en efecto, la licuefacción es un modo de acondicionamiento de metano que permite almacenarlo y transportarlo económicamente.

10 La fermentación anaerobia (sin oxígeno) de residuos orgánicos libera un gas constituido esencialmente de metano y dióxido de carbono, denominado biogas. Este proceso está en pleno desarrollo, tanto para limitar las emisiones de gas de efecto invernadero a la atmósfera como también para aprovechar el biogas así producido, que es una fuente de energía apreciable.

El biogas está destinado, en particular, a alimentar las turbinas eléctricas o a servir como carburante para vehículos.

A partir de la fermentación anaerobia, el biogas contiene CO₂ y CH₄, en proporciones respectivas que dependen de la naturaleza de las materias fermentadas; en general, el biogas producido contiene entre 55 y 65% de metano.

- 15 El biogas, una vez depurado de su dióxido de carbono, de su agua y de su sulfuro de hidrógeno H₂S puede valorizarse como metano, en particular como carburante.

20 Como se ha mencionado anteriormente, la licuefacción es un modo preferido de acondicionamiento del metano, que se destina a fines de almacenamiento o de transporte. Toda unidad de depuración de biogas que contiene CO₂, por lo tanto, requiere incluir en su proceso una purificación final de metano para eliminar, entre otros constituyentes, aquellos que son incompatibles con la licuefacción u otro tratamiento que requiera un paso a temperaturas criogénicas. Será conveniente, en particular, limitar la concentración de CO₂ a un contenido máximo en finos inferior a 100 ppm.

25 La depuración final de metano a partir de biogas con el fin de producir metano líquido recurre a diferentes procesos conocidos del estado de la técnica, que son la adsorción por modulación de presión (*pressure swing adsorption, en inglés, o PSA*), la adsorción por modulación de temperatura (*temperature swing adsorption, en inglés, o TSA*), o el lavado con aminas.

Estas técnicas habituales de adsorción recurren a la regeneración de adsorbentes que tienen grandes cantidades de gas. Sin embargo, los sitios de producción de biogas (digestor, descargas, ...), en general no disponen de grandes cantidades de gas propias (N₂, CH₄ puro) para la regeneración de los adsorbedores.

- 30 Por otro lado, cuando la cantidad de CO₂ en el biogas es significativa, (>1%), la exotermia de la adsorción calienta el adsorbente, degradando así su capacidad de adsorción y, por lo tanto, es esencial disponer de un enfriamiento eficaz; después de la regeneración del adsorbente, ocurre lo contrario, para la desorción de las impurezas hay que aportar una gran cantidad de calor.

35 La circulación en bucle cerrado con recalentamiento durante la fase de regeneración no es eficaz por que el gas en circulación se carga muy rápidamente de impurezas (CO₂) y distribuye las impurezas por la totalidad del lecho de adsorbente. El porcentaje residual de impurezas es entonces demasiado elevado para conseguir una calidad de gas compatible con la licuefacción (< 100 ppm). Es necesario un gas de lavado.

Para poder producir metano purificado trabajando con una instalación en continuo, se utiliza de forma conocida dos adsorbedores en paralelo, uno en fase de adsorción, mientras que el otro está en fase de desorción.

- 40 A partir del documento US2008 / 0289497 se conoce un sistema para purificar metano en lugar de licuarlo, y especialmente para eliminar el CO₂, utilizando tres adsorbentes. Mientras que uno está en fase de adsorción, el segundo está en fase de desorción, y el tercero se está enfriando; la presencia de tres adsorbedores permite transferencias de calor.

45 El documento FR-A-818151 divulga un proceso de adsorción con transferencias de calor durante la fase de adsorción y durante la fase de desorción.

50 Aunque el sistema anterior permite limitar el aporte de energía exterior, sin embargo requiere utilizar tres adsorbedores en paralelo, que generan costes complementarios en comparación con una instalación clásica que utiliza dos adsorbedores. Por lo tanto, el problema que surge es proponer una solución para depurar metano impuro, especialmente a partir de biogas, de manera que se produzca metano de pureza compatible con la licuefacción, limitando al mismo tiempo los costes, tanto en términos de inversión como en términos de operación – sin el tercer adsorbedor, el consumo de servicios, en particular de energía, se reduce.

Por metano impuro, (o flujo rico en metano), se entiende el metano con un contenido en CO₂ inferior al 5%,

preferiblemente inferior al 2%.

Por metano purificado (o metano de pureza compatible con la licuefacción), se entiende, según la invención el metano que presenta un contenido de dióxido de carbono inferior a 100 ppm, preferiblemente inferior a 50 ppm.

5 Según un objeto de la invención, se propone un proceso de depuración por adsorción de un flujo de alimentación rica en metano y que contiene al menos dióxido de carbono, implementando dos intercambiadores-adsorbedores (Ads1, Ads2) de tipo carcasa y tubos, que comprende al menos las siguientes etapas:

10 1) enviar dicho flujo de alimentación a un intercambiador-adsorbedor del tipo carcasa y tubos provisto de un adsorbente en los tubos, y de un fluido térmico refrigerante que circula por la carcasa de dicho intercambiador-adsorbedor para producir un flujo depurado empobrecido (al menos) en dióxido de carbono en comparación con el flujo de alimentación, después

2) hacer circular un fluido térmico caliente en la carcasa para desorber las impurezas retenidas por el adsorbente y regenerar este último,

15 en el que las etapas 1) y 2) se realizan alternativamente, en los dos intercambiadores-adsorbedores instalados en paralelo, enviándose el flujo de alimentación a uno de los intercambiadores-adsorbedores mientras que el segundo está en fase de regeneración, después al segundo mientras que el primero está en fase de regeneración, y que comprende, antes de la etapa 2), una etapa de recalentamiento progresivo del intercambiador-adsorbedor que se va a regenerar, y al final de la etapa 2) una etapa de enfriamiento progresivo del intercambiador-adsorbedor regenerado, comprendiendo estas etapas de ajuste progresivo de la temperatura de los intercambiadores-adsorbedores al menos intercambios de fluido térmico entre la carcasa del intercambiador-adsorbedor, al menos dos medios de almacenamiento (S1, S2) - de capacidad de almacenamiento comparable a la capacidad de la carcasa -, que almacenan de forma intermedia el fluido térmico a temperaturas variables, y un medio de almacenamiento / calentamiento (C) de una capacidad superior a la capacidad de la carcasa, capaz de asegurar un calentamiento adicional del fluido térmico para la realización de la etapa 2).

25 La tecnología propuesta para los dos intercambiadores-adsorbedores es del tipo intercambiador de carcasa y tubos que contiene el adsorbente en los tubos y un fluido térmico que circula por la carcasa. La ventaja es aprovechar, a través de la superficie de los tubos, una gran capacidad de intercambio de calor indispensable para la alternancia de los regímenes térmicos de funcionamiento del proceso.

30 La asociación de los dos intercambiadores-adsorbedores instalados en paralelo que funcionan el uno en fase de adsorción, mientras que el otro está en fase de regeneración, asegura la producción continua de gas depurado. A lo largo de toda la fase de adsorción según la etapa 1, un fluido térmico frío circula por la carcasa para conservar una temperatura baja en el adsorbente y conservar así sus propiedades adsorbentes. Cuando el adsorbente está saturado en impurezas, es necesario proceder a la regeneración del adsorbente. La regeneración se efectúa en caliente, la solución de la invención permite limitar el coste de esta regeneración. En efecto, la solución propuesta permite realizar la adsorción de las impurezas enfriando en continuo el adsorbente del intercambiador-adsorbedor en fase de adsorción, y realizar al mismo tiempo la regeneración del adsorbente del segundo intercambiador-adsorbedor, que comprende el calentamiento por etapas sucesivas del adsorbente - utilizando para ello juiciosamente las fuentes de calor disponibles a fin de minimizar el consumo de energía de la regeneración - hasta la regeneración del adsorbente, seguido del enfriamiento también por etapas sucesivas del adsorbedor. Este enfriamiento según la invención prepara el intercambiador-adsorbedor Ads2 para la siguiente etapa de adsorción, y prepara los diferentes medios de calentamiento y de almacenamiento para la etapa de regeneración aplicada en este momento a Ads1.

Un fluido térmico preferido es el agua.

Preferiblemente, el recalentamiento progresivo del intercambiador-adsorbedor Ads2, al comienzo de la etapa de regeneración comprende al menos las etapas de:

45 antes del recalentamiento:

(i) proporcionar:

- o fluido térmico frío en la carcasa del intercambiador-adsorbedor a una temperatura inferior a o del orden de la temperatura ambiente,
- o fluido térmico caliente en el medio de almacenamiento S1 a una temperatura superior a 110°C,
- 50 o fluido térmico templado en el medio de almacenamiento S2 a una temperatura comprendida entre 70°C y 110°C, preferiblemente entre 80°C y 100°C,
- o fluido térmico caliente en el medio de almacenamiento / calentamiento C a una temperatura superior a 115°C, preferiblemente del orden de 130°C,

(ii) hacer circular fluido térmico frío en la carcasa del intercambiador-adsorbedor Ads2 en fase en fase de adsorción según la etapa 1) para asegurar el mantenimiento del frío durante dicha etapa 1),

Después, recalentamiento progresivo por:

5 (iii) intercambio, al final de la etapa 1) del fluido térmico frío presente en la carcasa de Ads2 con el fluido templado contenido en el medio de almacenamiento S2; S2 contiene por tanto fluido frío,

(iv) recalentamiento del fluido contenido en la carcasa de Ads2 por intercambio de calor a través de un intercambiador 12 hasta una temperatura de fluido templado comprendida entre 80°C y 105°C, preferiblemente del orden de 100°C,

10 (v) intercambio del fluido térmico templado contenido en la carcasa de Ads2 después de la etapa (iv) con el fluido caliente contenido en el medio de almacenamiento S1,

(vi) recalentamiento del fluido térmico caliente presente en la carcasa de Ads2 por circulación de fluido entre la carcasa y el medio de almacenamiento / calentamiento (C) hasta el fin de la regeneración según la etapa 2).

15 Durante la fase de regeneración, un fluido térmico caliente - preferiblemente el agua sobrecalentada a una temperatura superior a 110°C, más preferiblemente del orden de 130°C - circula pues en la carcasa del adsorbedor en fase de regeneración para aportar el calor necesario para la desorción de las impurezas.

El fin de la fase de regeneración del adsorbente de Ads2 marca el fin de la circulación de fluido caliente entre Ads2 y el tanque C.

20 La utilización de un medio de calentamiento HX anexo para calentar moderadamente el fluido térmico en la carcasa después de la etapa (iv) resulta necesario para compensar la bajada de temperatura inducida por el recalentamiento del intercambiador-adsorbedor.

Preferiblemente, el enfriamiento progresivo del intercambiador-adsorbedor regenerado Ads2 después de la etapa 2) y antes de la adsorción según la etapa 1) comprende al menos las etapas de:

antes del enfriamiento:

(vii): proporcionar:

25 o fluido térmico caliente en la carcasa del intercambiador-adsorbedor Ads2, a una temperatura de fluido caliente superior a 110°C, preferiblemente entre 115°C y 130°C,

o fluido térmico en el medio de almacenamiento S1 a una temperatura del agua del orden de 100°C a 110°C

o fluido térmico frío en el medio de almacenamiento S2,

30 o fluido térmico caliente en el medio de almacenamiento / calentamiento (C) a una temperatura superior a 115°C, preferiblemente del orden de de 130°C,

y enfriamiento progresivo incluyendo

(viii) intercambiar el fluido térmico presente en la carcasa de Ads2 con el fluido térmico del medio de almacenamiento S1; S1 contiene, por tanto, fluido térmico caliente,

35 (ix) intercambiar el fluido templado contenido en Ads2 con el fluido frío contenido en el medio de almacenamiento S2,

(x) recalentar el fluido contenido en S2 por HX para reconstituir el almacenamiento templado según la etapa (i),

(xi) enfriamiento continuo de Ads2 por el fluido térmico frío.

40 Según la invención, el ajuste de la temperatura de los intercambiadores-adsorbedores entre las etapas de adsorción y de regeneración, es decir, el calentamiento del intercambiador para realizar la adsorción, y el enfriamiento del intercambiador para realizar la regeneración se efectúan de manera progresiva, por etapas sucesivas de intercambio de fluido entre las carcasas y al menos dos medios de almacenamiento de una capacidad de almacenamiento comparable a la capacidad de las carcasas, y un medio de almacenamiento / calentamiento (C) de una capacidad muy superior, preferiblemente al menos el doble de la capacidad de la carcasa, capaz de asegurar un calentamiento adicional del fluido térmico para la realización de la etapa 2). Los medios de almacenamiento almacenan de forma intermedia el fluido térmico (preferiblemente el agua) a temperaturas variables - uno de los medios de almacenamiento almacena alternativamente el agua fría y el agua templada (a una temperatura comprendida entre 80°C y 100°C) y el segundo almacenamiento almacena alternativamente el agua templada (a una temperatura comprendida entre 80°C y 100°C) y el agua caliente (a una temperatura entre 100°C y 130°C) -. El medio de

almacenamiento / calentamiento es preferiblemente un acumulador (calentador de agua) adicional, conectado al adsorbedor-intercambiador en fase de regeneración, que asegura el mantenimiento de la temperatura del agua caliente en la carcasa durante la etapa 2) de regeneración.

Según las variantes preferidas de la invención, esta puede referirse a un proceso en el que:

- 5 Durante la etapa de regeneración, las impurezas se retiran ventajosamente del adsorbente por bombeo a vacío, a una presión comprendida preferiblemente entre 100 a 200 mbar, de forma que se asocia una modulación de presión a la modulación de temperatura.

10 La adsorción se realiza preferiblemente a una presión comprendida entre 7 y 15 bar; para pasar del modo adsorción al modo regeneración debe despresurizarse el intercambiador-adsorbedor, para aumentar el impacto de la reducción de presión sobre la regeneración, puede inyectarse un gas inerte, en general nitrógeno, en el lado opuesto a la bomba de vacío para diluir la fracción de impurezas en el gas desorbido y reducir así su presión parcial.

Ventajosamente, la reducción de presión del intercambiador-adsorbedor se realiza al mismo tiempo que el enfriamiento, facilitando así el enfriamiento.

El fluido frío preferiblemente se retiene en el sistema de enfriamiento general del sitio.

- 15 El medio de almacenamiento / calentamiento C se calienta ventajosamente mediante una resistencia eléctrica de calentamiento.

El fluido térmico que sale de los diferentes medios de almacenamiento se pone en circulación mediante bombas de circulación y / o se arrastra con el fluido térmico que entra en dichos almacenamientos.

20 La fuente exterior que calienta el tanque de almacenamiento / calentamiento C puede ser una resistencia eléctrica integrada en el circuito para aportar el complemento de calor necesario para la regeneración durante un tiempo suficiente para asegurar el recalentamiento completo del adsorbente por conducción, compensar las pérdidas de calor en el gas desorbido y aportar el calor necesario para la desorción (transferencia de materia endotérmica).

De este modo, ventajosamente, una parte del calor necesario para la regeneración proviene de un depósito de fluido térmico equipado con una resistencia eléctrica de calentamiento.

25 En el caso de que el metano purificado esté licuado, se obtiene un aporte de energía complementario por intercambio de calor con el gas del ciclo del licuefactor en una etapa del intercambiador final del compresor que permitirá un aumento consecuente de la temperatura. Este aporte de calor se utiliza, entre otros, en la etapa (iv); el intercambiador y se identifica como el elemento **12**.

30 La invención se describirá ahora en referencia a un ejemplo de realización de la invención, y a las figuras adjuntas, en las que:

- la Figura 1 representa esquemáticamente una instalación de depuración de biogas según la invención,

- las Figuras 2a a 2g muestran esquemáticamente las etapas de calentamiento y de enfriamiento del intercambiador-adsorbedor Ads2 de la instalación de la Figura 1.

35 Los números en negrita en el texto a continuación representan los números de referencia de los elementos en las figuras; para una mejor comprensión del desarrollo del proceso, los elementos pueden identificarse también por una combinación de letras y cifras. La correspondencia entre los dos modos de identificación se especifica en el texto a continuación.

La instalación de la Figura 1 funciona de la siguiente manera:

40 - El intercambiador-adsorbedor Ads2 o Ads1 (respectivamente **1** o **4**), puesto que está en modo adsorción, se alimenta con gas impuro **2** y produce gas puro **3**; la regeneración del otro intercambiador-adsorbedor se efectúa durante la fase de adsorción del primero.

- Ads1 y Ads 2 pueden alimentarse:

- 45 o con nitrógeno gaseoso GN2 de la elución **5**, el flujo desorbido se bombea mediante la bomba de vacío **6**,
- o con agua a temperatura variable proveniente del recipiente S1 **8**, del recipiente S2 **9** y del medio de almacenamiento / calentamiento **10**,
- o con agua caliente **11** proveniente del intercambiador HX **12** que se intercambia con el gas GN2 caliente **13** comprimido en el compresor del ciclo de licuefacción **14** (el ciclo de licuefacción de metano no está representado),
- o con agua fría **15** proveniente del circuito de enfriamiento de la instalación,

- las bombas de recirculación de agua **17** y **18** permiten las transferencias de agua,

en otro caso, (no representado) un circuito permite la despresurización del adsorbedor-intercambiador al comienzo de la regeneración, y un circuito separado permite la represurización del gas de proceso del adsorbedor regenerado.

5 A continuación se describe un ejemplo de aplicación de la invención en relación con la Figura 1 y las Figuras 2a a 2g:

La adsorción se realiza por alternancia en los dos intercambiadores-adsorbedores **1** y **4** (de tipo carcasa y tubos, es obligatorio hacerles funcionar por circulación de agua a temperaturas controladas en la carcasa).

Se sabe que el proceso de regeneración según la invención limita el consumo de energía eléctrica de **10** (tanque C).

10 El principio propuesto consiste en una realización:

- el tanque C que almacena 2 m^3 de agua y recalienta eléctricamente el agua de 110°C a 130°C , aproximadamente;

- otra fuente de calor que es el gas **13** que sale de un compresor **14**. El gas **13** se utiliza en el intercambiador preenfriador **12** (HX) para recalentar el agua y obtener agua templada hasta 100°C ;

15 - el recipiente **8** de agua caliente (S1); este almacena 1 m^3 alternativamente de agua caliente (de 110°C a 120°C) o de agua templada ($\approx 100^\circ\text{C}$);

- el recipiente **9** de agua templada (S2), este almacena alternativamente el agua templada, que ha sido recalentada por HX a 100°C o el agua fría a aproximadamente 30° proveniente de Ads1 o Ads2 después de la adsorción;

20 A continuación se describen las etapas de ajuste progresivo de la temperatura para Ads2, que son similares que para Ads1.

La Figura 2a muestra esquemáticamente la etapa iii del proceso durante la cual Ads2 intercambia $0,9 \text{ m}^3$ de agua a 20°C contenida en la carcasa con $0,9 \text{ m}^3$ de agua a 100°C contenida en S2. Se agita allí desde la 1ª etapa de precalentamiento del adsorbedor por el agua templada de S2 (el agua inicialmente presente en S2 es el agua obtenida del ciclo de regeneración precedente, es decir, la procedente de Ads1). La cantidad de calor transferida a Ads2 contribuye esencialmente al recalentamiento de los materiales de construcción del intercambiador-adsorbedor, la transferencia de calor es muy eficaz por que la difusividad térmica del acero es muy elevada; el agua en el Ads2 está entonces a 50°C aproximadamente.

30 La Figura 2b muestra esquemáticamente la etapa iv del proceso durante la cual el agua circula en bucle entre Ads2 y HX (el agua contenida inicialmente en HX está a una temperatura de agua templada del orden de 100°C según la etapa i). El agua del Ads2 se transporta así a 90°C aproximadamente.

La Figura 2c muestra esquemáticamente la etapa v del proceso durante la cual el agua templada contenida en la carcasa del Ads2 (90°C) se intercambia con el agua caliente almacenada en S1 (el agua inicialmente contenida en **8** (S1) está a una temperatura de agua caliente del orden de 110°C según la etapa i).

35 La figura 2d muestra esquemáticamente la etapa vi del proceso durante la cual el agua caliente circula desde **10** (tanque C) hacia la carcasa de Ads2, simultáneamente al agua contenida inicialmente en Ads2; simultáneamente, el agua expulsada de Ads2 circula hasta C. Para asegurar un recalentamiento óptimo del agua en la carcasa, el volumen circulado es superior al volumen de la carcasa (según el ejemplo circulan $1,4 \text{ m}^3$ de agua a 130°C para un volumen de la carcasa del orden de $0,9 \text{ m}^3$).

40 El fin de la fase de regeneración del adsorbente de Ads2 es coincidente con el fin del recalentamiento de Ads2 por el tanque C.

Las siguientes etapas tienen como finalidad enfriar el agua contenida en la carcasa de Ads2 de forma que sea térmicamente operativa para la etapa de adsorción del siguiente ciclo.

45 La figura 2e muestra, pues, esquemáticamente la etapa vii del proceso durante la cual el agua caliente de Ads2 (a aproximadamente 120°C) se intercambia con el agua templada de S1 (a aproximadamente 100°C). Esta etapa permite, por tanto, enfriar el adsorbente conservando - en el almacenamiento S1 - el agua caliente que éste contiene para las necesidades internas del proceso.

50 La figura 2f muestra esquemáticamente la etapa viii del proceso durante la cual el agua templada de Ads 1 se intercambia con el agua fría de S2; permitiendo así proseguir el enfriamiento del adsorbente / intercambiador Ads2 conservando - en el almacenamiento S2 - el agua templada que éste contiene para las necesidades internas del proceso. En la etapa R6, para conservar la energía contenida en el agua templada, esta se intercambia con el agua

del Recipiente 2 que contiene el agua fría de la transferencia precedente.

Finalmente, la Figura 2g muestra esquemáticamente la etapa ix de enfriamiento final del Ads 2 que se obtiene por circulación de agua fría. Durante esta etapa, el agua del tanque S2 se recalienta por circulación en bucle en HX.

5 Al mismo tiempo que se desarrolla la fase de regeneración de **1** (Ads2) que utiliza los medios **8, 9, 10, 12** - la fase de regeneración que comprende las etapas de recalentamiento, regeneración y enfriamiento -, el adsorbedor **4** (Ads1) está en fase de adsorción. El fin de la regeneración del Ads2 coincide con el fin de la adsorción en Ads1; se procede entonces, según el proceso de la invención a la regeneración de Ads1 mientras que Ads1 está en fase de adsorción.

Se han realizado dos ensayos con fines de comparación, implementando los siguientes elementos:

- elementos comunes:

- 10 o 2 intercambiadores / adsorbedores de tipo carcasa / tubo, de una pasada, que presenta un volumen de carcasa de 0,88 m³ en la cual circula el agua;
- o 1 intercambiador preenfriador HX de tipo carcasa / tubo, de 2 pasadas, que presenta un volumen de carcasa de 0,3 m³ en la que circula el agua;
- o 1 recipiente S de almacenamiento de agua de un volumen de 1 m³;
- 15 o 1 un «acumulador» C para el almacenamiento y el calentamiento de un volumen de agua de 2 m³

- para el ensayo según la invención, se añade un segundo recipiente de almacenamiento de tipo S.

20 Los ensayos realizados han mostrado que la energía consumida para calentar a 130°C el agua del tanque C es de 68 kW cuando solo se utiliza un recipiente S, mientras que la adición de un recipiente intermedio complementario del mismo tipo S permite reducir el consumo a 23,3 kW (es decir, un factor de 3 aproximadamente).

La invención se ha descrito en el caso de que el fluido térmico sea agua, lo que ha permitido precisar ciertos datos, dominios de temperaturas durante las etapas de calentamiento y de enfriamiento en particular, pero puede preverse la utilización de otros fluidos, en función de las técnicas de adsorción y de regeneración realizadas, entendiéndose que el principio de la invención reside en:

- 25 - la utilización de dos intercambiadores-adsorbedores de tipo carcasa y tubos en alternancia,
- la utilización de un medio de almacenamiento templado / frío y de un medio de almacenamiento templado / caliente además del medio de almacenamiento / calentamiento C, para asegurar el calentamiento y el enfriamiento del adsorbedor en regeneración.

30 La invención utiliza juiciosamente la rapidez de la regeneración a alta temperatura comparativa en la adsorción, que da la posibilidad de proceder a las circulaciones de fluidos térmicos a diferentes temperaturas y a los calentamientos sucesivos de la invención.

Las ventajas de la invención son múltiples:

35 La utilización de dos intercambiadores de carcasa y tubos con un adsorbente en los tubos y un fluido térmico en el exterior a la que se recurre durante la adsorción y la regeneración, combinada con la utilización de 2 almacenamientos intermedios que almacenan juiciosamente el agua presente a temperaturas variables, así como numerosas ventajas, entre las cuales:

- la posibilidad de utilizar el agua como fluido portador de calor, estando el agua de enfriamiento en general ampliamente disponible en el sitio.

40 la limitación del consumo de energía eléctrica necesaria para la regeneración mediante los almacenamientos apropiados de fluido térmico (el agua templada y el agua caliente a dos temperaturas diferentes), también mediante la utilización de una etapa del intercambiador final de compresión del gas del ciclo del licuefactor de biogas.

REIVINDICACIONES

1. Proceso de depuración por adsorción de un flujo de alimentación rica en metano y que contiene al menos dióxido de carbono, implementado mediante dos intercambiadores-adsorbedores (Ads1, Ads2) de tipo carcasa y tubos, que comprende al menos las siguientes etapas:

5 1) enviar dicho flujo de alimentación a un intercambiador-adsorbedor del tipo carcasa y tubos provisto de un adsorbente en los tubos, y de un fluido térmico refrigerante que circula por la carcasa de dicho intercambiador-adsorbedor para producir un flujo depurado empobrecido (al menos) en dióxido de carbono en comparación con el flujo de alimentación, después

10 2) hacer circular un fluido térmico caliente en la carcasa para desorber las impurezas retenidas por el adsorbente y regenerar este último,

15 en el que las etapas 1) y 2) se realizan, alternativamente, en los dos intercambiadores-adsorbedores instalados en paralelo, enviándose el flujo de alimentación a uno de los intercambiadores-adsorbedores mientras que el segundo está en fase de regeneración, después al segundo mientras que el primero está en fase de regeneración, caracterizado por que comprende además, al comienzo de la etapa 2), una etapa de recalentamiento progresivo del intercambiador-adsorbedor que se va a regenerar y, al final de la etapa 2), una etapa de enfriamiento progresivo del intercambiador-adsorbedor regenerado, comprendiendo estas etapas de ajuste progresivo de la temperatura de los intercambiadores-adsorbedores al menos intercambios de fluido térmico entre la carcasa del intercambiador-adsorbedor, al menos dos medios de almacenamiento (S1, S2) - de capacidad de almacenamiento comparable a la capacidad de la carcasa -, que almacenan de forma intermedia el fluido térmico a temperaturas variables y un medio de almacenamiento / calentamiento (C) de una capacidad superior a la capacidad de la carcasa, capaz de asegurar un calentamiento adicional del fluido térmico para la realización de la etapa 2).

2. Proceso según la reivindicación 1, en el que el fluido térmico es agua.

3. Proceso según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que el recalentamiento progresivo del segundo intercambiador-adsorbedor (Ads2) al comienzo de la etapa de regeneración comprende al menos las etapas de:

25 antes del recalentamiento:

(i) proporcionar:

- o fluido térmico frío en la carcasa del intercambiador-adsorbedor a una temperatura inferior a o del orden de la temperatura ambiente,
- o fluido térmico caliente en el primer medio de almacenamiento (S1) a una temperatura superior a 110°C,
- 30 o fluido térmico templado en el segundo medio de almacenamiento (S2) a una temperatura comprendida entre 70°C y 110°C, preferiblemente entre 80°C y 100°C,
- o fluido térmico caliente en el medio de almacenamiento / calentamiento a una temperatura superior a 115°C, preferiblemente del orden de 130°C,

35 (ii) hacer circular fluido térmico frío en la carcasa del segundo intercambiador-adsorbedor (Ads2) en fase de adsorción según la etapa 1) para asegurar el mantenimiento del frío durante dicha etapa 1),

recalentamiento progresivo por:

(iii) intercambio, al final de la etapa 1) del fluido térmico frío presente en la carcasa del segundo intercambiador-adsorbedor (Ads2) con el fluido térmico templado contenido en el segundo medio de almacenamiento (S2); por tanto, el segundo medio de almacenamiento (S2) contiene entonces fluido térmico frío,

40 (iv) recalentamiento del fluido térmico contenido en la carcasa del segundo intercambiador-adsorbedor (Ads2) por intercambio de calor a través de un intercambiador (12) hasta una temperatura de fluido térmico templado comprendida entre 80°C y 105°C, preferiblemente del orden de 100°C,

(v) intercambio del fluido térmico templado contenido en la carcasa del segundo intercambiador-adsorbedor (Ads2) después de la etapa (iv) con el fluido térmico caliente contenido en el primer medio de almacenamiento (S1),

45 (vi) recalentamiento del fluido térmico caliente presente en la carcasa del segundo intercambiador-adsorbedor (Ads2) por circulación de fluido térmico entre la carcasa y el medio de almacenamiento / calentamiento (C) hasta el fin de la regeneración según la etapa 2).

4. Proceso según la reivindicación 3, en el que el enfriamiento progresivo del primer intercambiador-adsorbedor regenerado (Ads1), después de la etapa 2) y antes de la adsorción según la etapa 1) comprende al menos las etapas de:

50

antes del enfriamiento:

(vii) proporcionar:

- o fluido térmico caliente en la carcasa del segundo intercambiador-adsorbedor (Ads2) a una temperatura de fluido caliente superior a 110°C, preferiblemente entre 115°C y 130°C,
- 5 o fluido térmico en el primer medio de almacenamiento (S1) a una temperatura del agua del orden de 100°C a 110°C
- o fluido térmico frío en el segundo medio de almacenamiento (S2)
- o fluido térmico caliente en el medio de almacenamiento / calentamiento (C) a una temperatura superior a 115°C, preferiblemente del orden de 130°C,

10 y enfriamiento progresivo incluyendo

(viii) intercambiar el fluido térmico presente en la carcasa del segundo intercambiador-adsorbedor (Ads2) con el fluido térmico del primer medio de almacenamiento (S1); este (S1) contiene entonces agua caliente,

(ix) intercambiar el fluido templado contenido en el segundo intercambiador-adsorbedor (Ads2) con el fluido frío contenido en el segundo medio de almacenamiento (S2),

15 (x) recalentar el agua contenida en el segundo medio almacenamiento (S2) mediante un medio de calentamiento HX para reconstituir el almacenamiento de agua templada según la etapa (i),

(xi) enfriar continuamente el Ads2 mediante el fluido térmico frío.

5. Proceso según una de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el fluido frío se retiene en el sistema de enfriamiento general del sitio.

20 6. Proceso según una de las reivindicaciones precedentes caracterizado por que durante la etapa 2), las impurezas se retiran del adsorbente por bombeo a vacío de forma que se asocia una modulación de presión a la modulación de temperatura.

7. Proceso según la reivindicación 6, en el que se inyecta un gas inerte en el lado opuesto a la bomba de vacío para diluir la fracción de impurezas en el gas desorbido y reducir así su presión parcial.

25 8. Proceso según la reivindicación 6 o la reivindicación 7, en el que la adsorción se realiza a una presión comprendida entre 7 y 15 bares, y la reducción de presión del intercambiador-adsorbedor se realiza al mismo tiempo que el enfriamiento.

9. Proceso según una de las reivindicaciones 1 a 8, en el que el medio de almacenamiento / calentamiento (C) se calienta mediante una resistencia eléctrica de calentamiento.

30

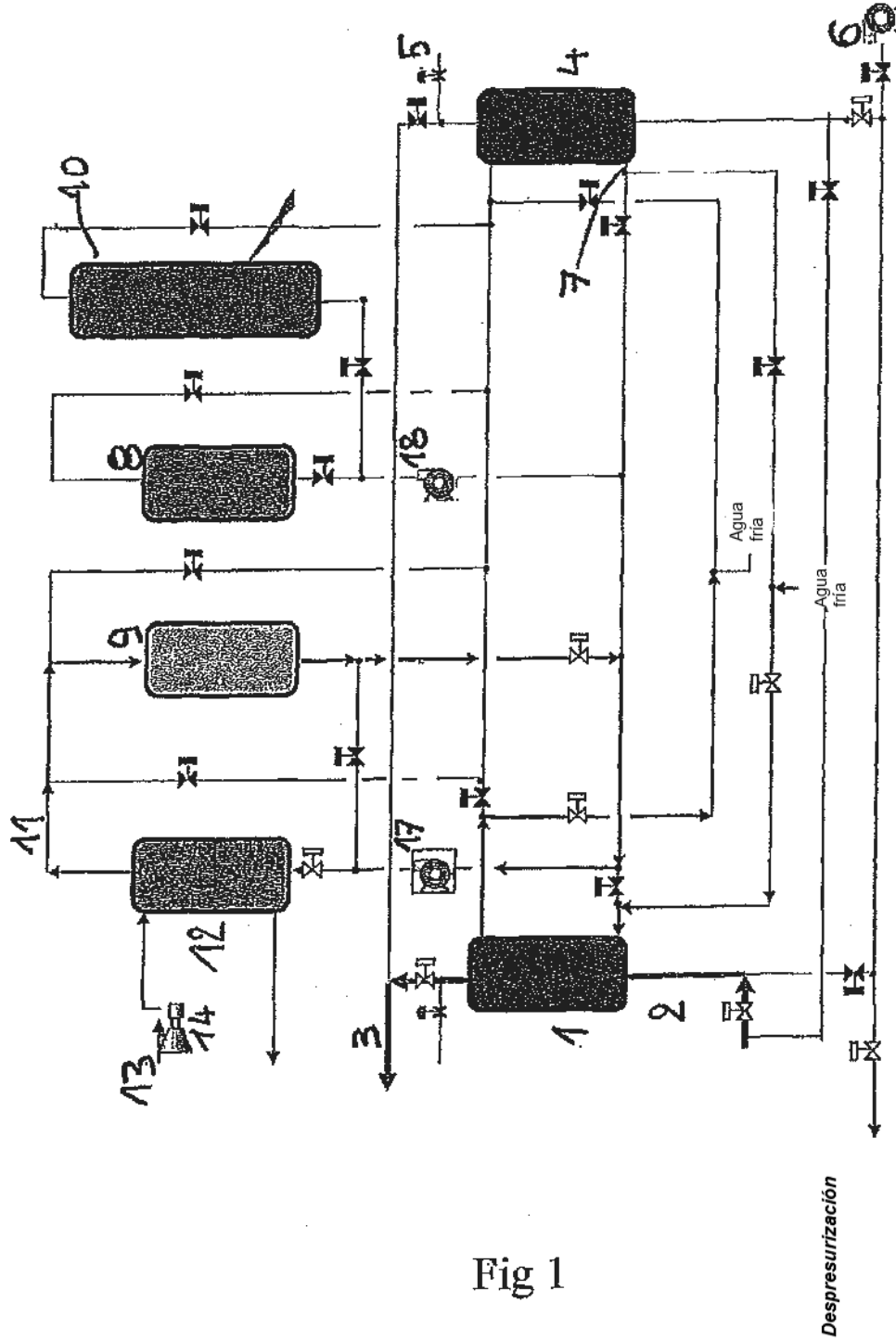


Fig 1

Fig 2a

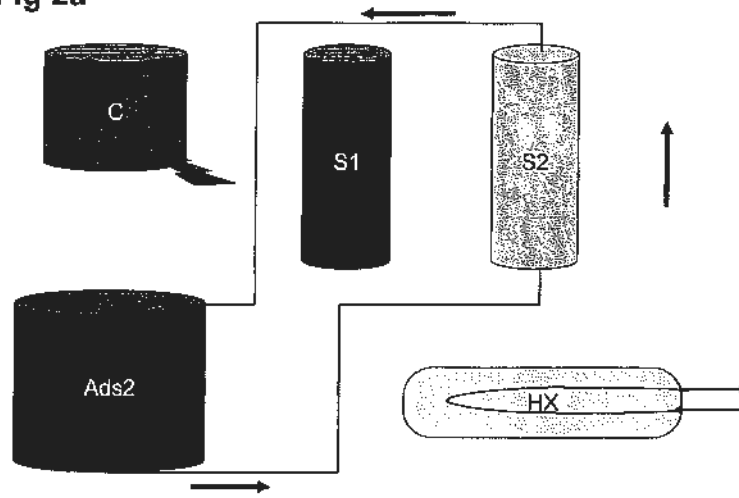


Fig 2b

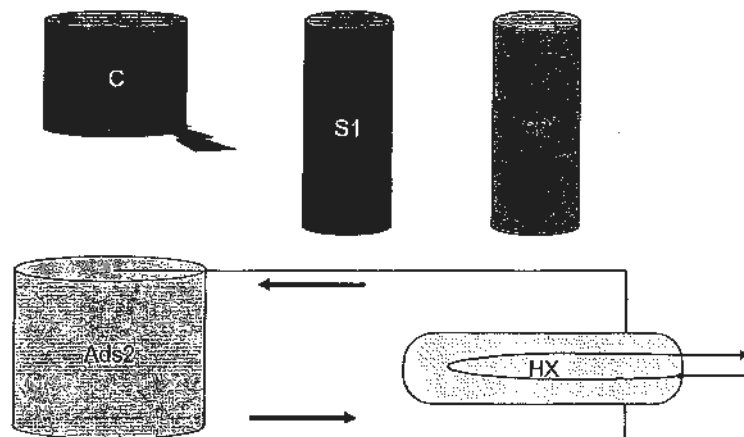


Fig 2c

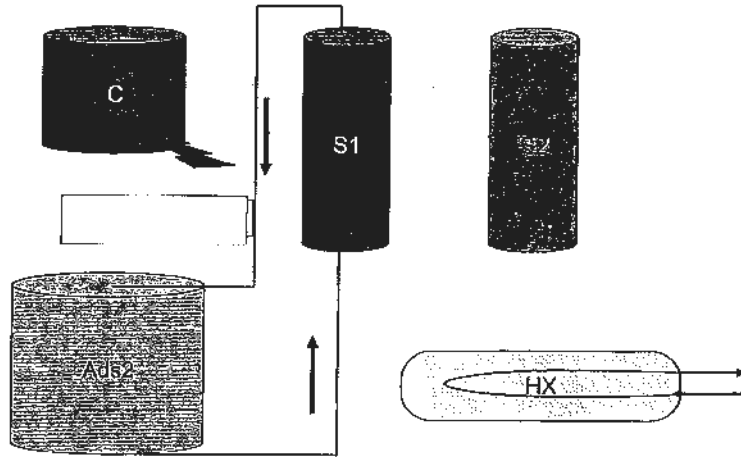


Fig2d

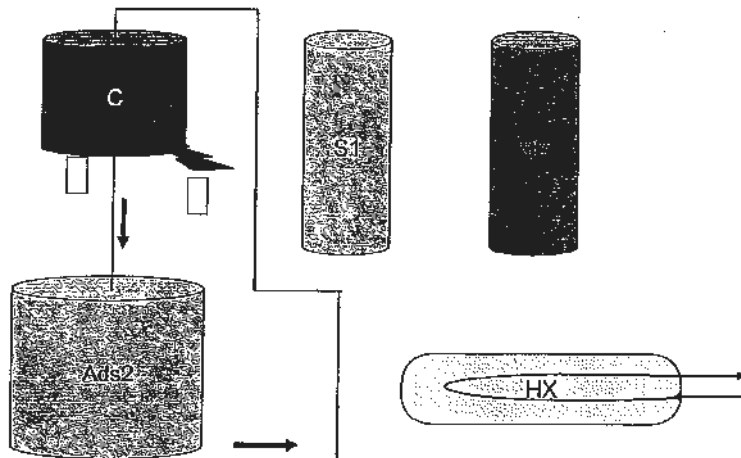


Fig2e

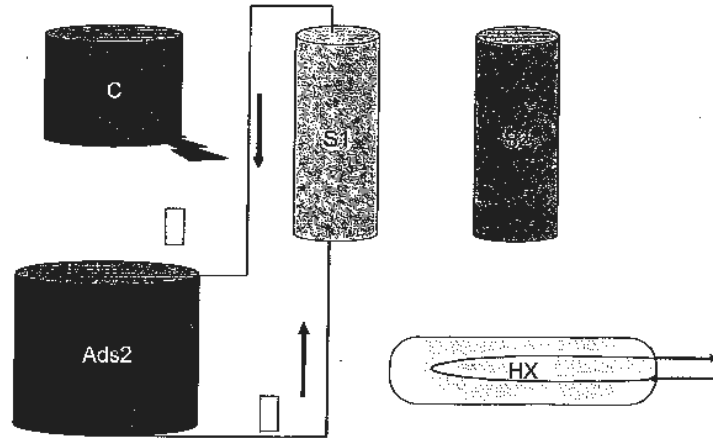


Fig2f

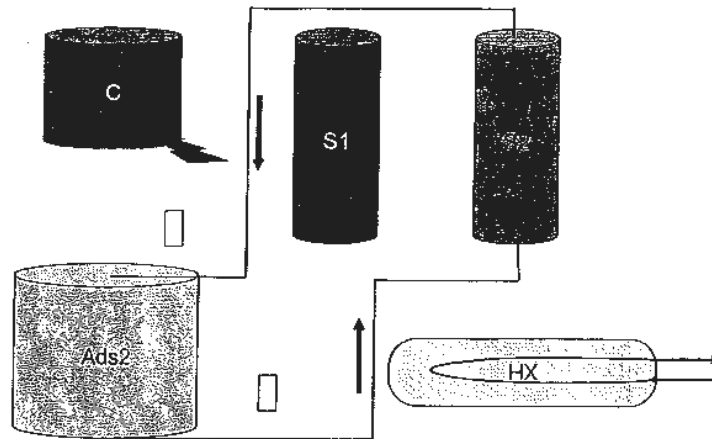


Fig2g

