

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 746 099**

51 Int. Cl.:

B01D 53/22 (2006.01)

C10L 3/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.10.2013 PCT/EP2013/071039**

87 Fecha y número de publicación internacional: **22.05.2014 WO14075850**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.10.2013 E 13774181 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.07.2019 EP 2919888**

54 Título: **Control de la composición de gas de una instalación de separación de gas con membranas**

30 Prioridad:

14.11.2012 EP 12192571
15.05.2013 EP 13167835

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
04.03.2020

73 Titular/es:

EVONIK FIBRES GMBH (100.0%)
Gewerbepark 4
4861 Schörfling am Attersee , AT

72 Inventor/es:

UNGERANK, MARKUS y
ROEGL, HARALD

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 746 099 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

Control de la composición de gas de una instalación de separación de gas con membranas

La presente invención se refiere a un procedimiento para el control de una instalación de separación de gas, a una instalación controlada de este modo, así como a su uso para la separación de mezclas gaseosas, en particular en el tratamiento de biogás o gas natural.

Las membranas son conocidas porque con su ayuda se pueden separar gases de forma relativamente fácil entre sí en un proceso a presión. En este caso, los gases son separados uno de otro con una baja complejidad, pero la mayoría de las veces también con una baja pureza de los productos. Ante todo, cuando en el caso de una mezcla gaseosa, los dos componentes de una mezcla binaria deben ser aislados de la forma más pura posible, se requiere de una mayor complejidad en el caso de la disposición técnica de las membranas y del control del proceso que en el caso de una conexión mono-etapa simple, en la que, por ejemplo, solo tiene que ser preparado el componente retenido en una determinada pureza, pero el permeado puede ser desechado (p. ej., preparación de nitrógeno a partir de aire). Esta complejidad incrementada se mantiene, por ejemplo, en la separación de dióxido de carbono y metano (p. ej., en el caso de gas natural o biogás), en donde el metano ha de encontrarse en primer lugar como material valioso en la medida de lo posible en el gas producto, con el fin de alcanzar así un valor añadido máximo y debe estar en la concentración mínima posible en el gas de escape, dado que el metano es un gas nocivo para el clima y no ha de pasar a la atmósfera. También en el caso de la separación de gas de síntesis en monóxido de carbono e hidrógeno, existe un planteamiento similar del problema.

En el caso de una separación clásica de una mezcla gaseosa binaria con una membrana, la fuerza impulsora de la separación es una diferencia de la presión parcial de los distintos componentes entre el lado de retenido y el lado de permeado de las membranas. En este caso, a un nivel de presión determinado en el lado de retenido puede conducirse una determinada cantidad de mezcla gaseosa a través de la membrana, con el fin de obtener una concentración determinada de los componentes más lentos en el gas de retenido. Si entonces se modifica la composición del gas de alimentación, entonces también se modifica la composición del gas de retenido y del gas de permeado. La misma variación la experimenta el sistema cuando se modifica la cantidad de gas de alimentación. Normalmente, las modificaciones de concentración en el gas de retenido y/o en el gas de permeado se toman como magnitud de control y, con ello, se ajusta la cantidad de gas de alimentación o la presión de retenido de modo que se establezca de nuevo la concentración deseada en el permeado y/o el retenido. Ejemplos de controles de este tipo se encuentran, p. ej., en los documentos EP 1 324 815, US 4.806.132 y US 5.281.253.

Como ya se ha mencionado previamente, para el aislamiento de productos finales lo más puros posible se utilizan a menudo conexiones de membrana multi-etapa. Ejemplos de ello se pueden encontrar en el documento WO 2012/000727, el documento US 6.565.626 y el documento US 6.168.649.

El ajuste de las concentraciones en las corrientes de producto puede tener lugar en el caso de una conexión mono-etapa o, de manera escalonada en el retenido, de dos etapas o tres etapas no sin la influencia de ambas concentraciones entre sí. Por ejemplo, si se modifica la presión de retenido en la corriente de producto de retenido (= presión principal o presión de trabajo del sistema), entonces no solo se modifica la composición de retenido, sino también la de permeado. Algo análogo se cumple en la modificación de la cantidad de gas de alimentación.

El uso de una conexión de tres etapas tal como se da a conocer ya en la solicitud WO 2012/000727 A1, permite purificar metano en la separación de una mezcla de metano y CO₂ con un rendimiento superior a 99%, en donde las purezas de los gases de retenido y los gases de permeado sobrepasan claramente el 97%. En el caso de este procedimiento se separa por lo tanto una mezcla gaseosa a base de al menos dos componentes en una conexión de tres etapas, de modo que dos componentes pueden ser aislados de manera relativamente pura, cuando en el caso de la mezcla gaseosa se trate de una mezcla binaria. Sin embargo, si en el caso de este procedimiento se modifica la composición del gas bruto o se ha de preparar una cantidad mayor o menor de gas bruto, entonces se modifican claramente en cada caso la composición del gas de retenido y del gas de permeado, lo cual no se desea. La conexión de una instalación de separación de gases de este tipo, p. ej., a una instalación de biogás es, por lo tanto, problemática. Si se contrarrestan, a saber, variaciones en la corriente de alimentación mediante una modificación de la presión principal (= presión de trabajo o bien presión en la corriente de producto de retenido o bien presión del gas del producto de retenido) entonces se modifica también el caudal volumétrico de retenido. Esto no se desea en muchos casos, dado que el gas es alimentado en estos casos a una tubería de transporte, y ésta requiere una presión mínima y, a menudo, también un volumen mínimo y/o máximo. Por lo tanto, en el estado de la técnica, p. ej., el documento EP 1 324 815, se propone en parte incorporar en la corriente de producto otro compresor que regule la presión para la tubería de transporte. Esto es energéticamente desfavorable, complejo desde un punto de vista técnico de regulación y, por lo tanto, comercialmente poco interesante. Además, en el caso de una conexión de tres

etapas – tal como se ha explicado arriba – con el ajuste de la presión principal no es posible influir sobre la calidad de permeado independientemente de la calidad de retenido.

5 Por lo tanto, sigue existiendo una gran demanda de instalaciones para la separación de mezclas gaseosas o bien para el control de las mismas que puedan ser conectadas a fuentes de gas con una composición, presiones y cantidades del gas bruto variables, y que puedan proporcionar al mismo tiempo al menos dos productos en una elevada pureza, con calidad constante y con una presión constante del gas producto.

10 Misión de la presente invención era, por lo tanto, proporcionar un procedimiento para el control de una instalación de separación de gas o bien una instalación de separación de gas controlada de este modo que no presente los inconvenientes de los procedimientos o bien instalaciones del estado de la técnica o que solo lo haga en una medida reducida.

15 Una misión especial consistía en proporcionar un procedimiento o bien una instalación que puedan proporcionar al mismo tiempo al menos dos productos con una elevada pureza. Una misión muy especial consistía en proporcionar un procedimiento o bien una instalación que pueda proporcionar al menos dos productos con una elevada pureza al mismo tiempo, también cuando se modifiquen la composición y/o la presión y/o la cantidad del gas bruto. Esta instalación o este procedimiento deben permitir también particularmente proporcionar calidades constantes, es decir, en estrechos intervalos de oscilaciones, preferiblemente en un funcionamiento continuo.

20 El procedimiento o bien la instalación de acuerdo con la invención debe ser particularmente flexible en una misión especial y las calidades de retenido y de permeado deben ser controlables independientemente una de otra. En una misión muy especial, debe ser posible modificar la capacidad de la instalación, p. ej., adaptarla a modificaciones de la corriente del gas bruto, sin tener que conectar o desconectar superficies de membrana y/o modificar la presión principal (presión de la corriente de gas producto de retenido), de modo que se obtienen corrientes de gas producto que, sin una recompresión adicional, sean adecuadas como alimentación, preferiblemente continua, para una tubería de transporte de gas.

25 El control de acuerdo con la invención debe poder ser integrado preferiblemente de manera sencilla y eventualmente en instalaciones existentes.

Otros problemas no mencionados explícitamente resultan de la relación conjunta de la presente descripción, los ejemplos, las reivindicaciones y los dibujos.

Los problemas de acuerdo con la invención se resuelven mediante un dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1 y 17 o bien un procedimiento según la reivindicación 8.

30 El procedimiento de acuerdo con la invención o bien el dispositivo de acuerdo con la invención se caracterizan porque se trata de una conexión de membrana que comprende al menos la etapa de separación de la corriente de alimentación (1), la etapa de separación de retenido (2) y la etapa de separación de permeado (3), en donde la segunda corriente de permeado (9a + 9b) de la etapa de separación de retenido (2) y la tercera corriente de retenido (10a + 10b) de la etapa de separación de permeado (3) son devueltas y mezcladas con la corriente de gas bruto.
35 Mediante el control de los flujos de las dos corrientes (9a) y (10a) y, con ello, de la presión de permeado de la etapa de separación de retenido (2) y de la presión de retenido de la etapa de separación de permeado (3) se consiguió, de manera sorprendente, resolver los problemas planteados. Con ello, los autores de la invención han conseguido proporcionar un procedimiento o bien una instalación, en los que las purezas y los rendimientos de las corrientes de producto de la etapa de separación de retenido (2) y de la etapa de separación de permeado (3) puedan ser reguladas independientemente una de otra. Se pueden alcanzar rendimientos muy elevados, simultáneamente con muy buenas purezas, también en el caso de oscilaciones en la corriente de gas bruto.
40

Además, con el procedimiento de acuerdo con la invención es posible mantener constante la presión principal (presión de retenido de la etapa de separación de retenido (2)), de modo que la instalación de acuerdo con la invención puede ser conectada sin dispositivos de compresión adicionales a una tubería de transporte de gas.

45 La instalación de acuerdo con la invención se adecua particularmente bien para el tratamiento de corrientes de gas bruto de instalaciones de biogás. En instalaciones de este tipo se modifican muy a menudo la cantidad resultante de gas bruto y la composición del gas bruto. El control de acuerdo con la invención compensa sin problemas las oscilaciones.

50 La regulación de acuerdo con la invención es sencilla y puede integrarse en instalaciones existentes para la separación de gas.

5 El procedimiento de acuerdo con la invención es también flexible, debido a que pueden utilizarse varios tipos diferentes de sensores solos o en conjunto. Pueden utilizarse composiciones de corrientes igualmente para la regulación de las presiones en las etapas de separación (2) y (3), como los flujos de corrientes de materiales que son aportados a estas etapas de separación. En particular, en el caso de utilizar sensores de flujo se proporciona, por consiguiente, tras una calibración, un procedimiento favorable, rápido, exacto y sencillo.

Objeto de la presente invención son, por lo tanto, dispositivos de acuerdo con las reivindicaciones 1 y 17 o bien un procedimiento según la reivindicación 8. Formas de realización preferidas se protegen en las reivindicaciones dependientes.

10 La presente invención se describe seguidamente en detalle. Previamente se definen algunos términos y expresiones importantes.

El cociente de las permeancias de los gases individuales proporciona la **selectividad** de la membrana para la separación en relación con los dos gases y, por consiguiente, indican lo bien que la membrana puede separar una mezcla gaseosa en relación con los dos componentes. Como **permeado** se designa toda la corriente que resulta en el lado de presión baja de la membrana, módulos de membrana o etapas de separación de la membrana.

15 Como **gas de permeado** se designa el componente/los componentes que en cada caso se acumulan en la membrana, en el módulo de la membrana o en la etapa de separación de la membrana en la **corriente de permeado** con respecto a la corriente de entrada respectiva.

Como **retenido** se designa toda la corriente que resulta en el lado de alta presión de la membrana, módulos de la membrana o etapas de separación de la membrana, que no atraviesa la membrana.

20 Como **gas de retenido** se designa o designan el componente/los componentes acumulados en la membrana, en el módulo de la membrana o en la etapa de separación de la membrana en la **corriente de retenido** con respecto a la corriente de entrada respectiva.

25 **Gas bruto** o bien **mezcla gaseosa bruta** o bien **corriente de gas bruto** (17) designa una mezcla gaseosa a base de al menos dos gases o bien una corriente de esta mezcla gaseosa que debe ser separada mediante el procedimiento de acuerdo con la invención o bien el dispositivo de acuerdo con la invención.

30 **Corriente de alimentación (5)** designa una corriente gaseosa que es aportada a la etapa de separación de la corriente de alimentación (1). Esta corriente puede corresponder, al comienzo de la realización del procedimiento, a la corriente de gas bruto (17) o bien a la corriente de gas bruto comprimida mediante un compresor. Después del retorno de la segunda corriente de permeado (9b) o bien de la tercera corriente de retenido (10b), la corriente de alimentación (5) se compone de los gases de la corriente de gas bruto (17), de la segunda corriente de permeado (9b) y de la tercera corriente de retenido (10b). La corriente de alimentación (5) puede generarse en este caso debido a que las corrientes (9b) y (10b) son mezcladas ambas con la corriente de gas bruto (17) no comprimida, o ambas con la corriente de gas bruto comprimida, o una con la corriente de gas bruto no comprimida y la otra con la corriente de gas bruto comprimida, o en la que las corrientes (9b) y/o (10b) en el compresor se mezclan con la corriente de gas bruto (17). Combinaciones de las variantes precedentemente descritas están abarcadas por la presente invención.

40 **Etapas de separación de la corriente de alimentación (1)** designa una etapa de separación de membrana para la separación de la corriente de alimentación (5) en una primera corriente de permeado y una primera corriente de retenido (6) o bien (7). **Etapas de separación de retenido (2)** designa una etapa de separación de membrana que puede estar constituida de la misma manera o de manera diferente a la etapa de separación de la corriente de alimentación (1) para la separación de la primera corriente de retenido (7) en una segunda corriente de permeado y una segunda corriente de retenido (9a + 9b) o bien (8).

45 **Etapas de separación de permeado (3)** designa una etapa de separación de membrana que puede estar constituida de la misma manera o diferente que la etapa de separación de la corriente de alimentación (1) o bien que la etapa de separación de retenido (2), para la separación de la primera corriente de permeado (6) en una tercera corriente de permeado y una tercera corriente de retenido (11) o bien (10a + 10b).

50 Con ayuda de las formas de realización preferidas y especiales del procedimiento de acuerdo con la invención que se describen en lo que sigue, así como de las realizaciones preferidas y particularmente adecuadas, así como de los dibujos y las descripciones de los dibujos se explica con mayor detalle la invención, únicamente a modo de ejemplo, es decir, la misma no se limita a estos ejemplos de realización y aplicación ni a las respectivas combinaciones de características dentro de ejemplos de realización individuales.

Características individuales que se indican y/o representan en relación con ejemplos de realización concretos no se limitan a estos ejemplos de realización ni a la combinación con las restantes características de estos ejemplos de realización, sino que pueden combinarse en el marco de las posibilidades técnicas, con cualesquiera otras variantes, aún cuando no se hayan tratado de manera separada en el presente documento.

5 Símbolos de referencia iguales en las distintas figuras y representaciones de los dibujos designan componentes iguales o similares o de acción igual o similar. Con ayuda de las representaciones en el dibujo resultan también
 10 claras aquellas características que no están provistas de símbolos de referencia, independientemente de que dichas características se describan o no posteriormente. Por otro lado, características que están contenidas en la presente descripción, pero que no se visualizan o representan en el dibujo, son comprensibles sin más para un experto en la materia.

La presente invención se refiere a un dispositivo para la separación de gases que comprende como etapas de separación de membrana al menos la etapa de separación de la corriente de alimentación (1), la etapa de separación de retenido (2) y la etapa de separación de permeado (3), así como al menos un compresor (4) y/o al menos una, preferiblemente una o dos bombas de vacío,
 15 en donde

la etapa de separación de la corriente de alimentación (1) separa una corriente de alimentación (5) consistente en al menos dos componentes, en una primera corriente de permeado (6) y una primera corriente de retenido (7),

20 la etapa de separación de retenido (2) caracteriza la primera corriente de retenido (7) en una segunda corriente de permeado (9a + 9b), en donde (9a) designa la corriente parcial delante del dispositivo de control (18) y detrás de la etapa de separación de retenido (2), y (9b) caracteriza la corriente parcial detrás del dispositivo de control (18) y la corriente parcial (9b) es aportada a la corriente de alimentación (5) y divide a una segunda corriente de retenido (8) la cual es retirada como producto o se continúa elaborando,

25 la etapa de separación de permeado (3) divide a la primera corriente de permeado (6) en una tercera corriente de retenido (10a + 10b), en donde (10a) designa la corriente parcial delante del dispositivo de control (19) y detrás de la etapa de separación de permeado (3), y (10b) designa la corriente parcial detrás del dispositivo de control (19), y la corriente parcial (10b) es aportada a la corriente de alimentación (5), y en una tercera corriente de permeado (11) que se retira o se continúa elaborando o se desecha como producto.
 30

El dispositivo de acuerdo con la invención se caracteriza porque

- la segunda corriente de permeado (9a + 9b) comprende al menos un dispositivo de control de permeado (18) con el que se puede aumentar o reducir la presión de permeado de la etapa de separación de retenido (2) y que, con ayuda de valores de medición de uno o varios dispositivos de medición (20a) es controlada en la primera corriente de retenido (7) y/o de uno o varios dispositivos de medición (20b) es controlada en la segunda corriente de retenido (8),
 35 y
- la tercera corriente de retenido (10a + 10b) comprende al menos un dispositivo de control de retenido (19) con el que se puede aumentar o disminuir la presión de retenido de la etapa de separación de permeado (3) y que puede ser controlada con ayuda de valores de medición de uno o varios dispositivos de medición (21a) en la primera corriente de permeado (6) y/o de uno o varios dispositivos de medición (21b) en la tercera corriente de permeado (11).
 40

El procedimiento de acuerdo con la invención o bien el dispositivo de acuerdo con la invención se caracteriza porque está configurado de modo que también en el caso de composiciones o cantidades o presiones oscilantes de la corriente de gas bruto (17), la cual es aportada a la corriente de alimentación (5) junto con la segunda corriente de permeado (9b) y la tercera corriente de retenido (10b), mediante el control de acuerdo con la invención se puede garantizar un rendimiento y una calidad constantes de las dos corrientes de gas producto (8) y (11). En este caso, se ha de enfatizar particularmente que las purezas de las corrientes de gas producto (8) y (11) se pueden regular independientemente una de otra, es decir, se consiguió – a diferencia de los procedimientos del estado de la técnica – desacoplar la regulación de la pureza y el rendimiento de las dos corrientes de producto. Responsables de ello son los dispositivos de control (18) y (19) utilizados de acuerdo con la invención que están dispuestos en las corrientes de retorno (9a + 9b) y (10a + 10b).
 45
 50

Por “dispositivos de control” se han de entender en el marco de la presente invención aparatos, piezas componentes, instalaciones o partes de instalaciones que posibilitan un aumento o una reducción de la presión en las corrientes de retorno (9a) y (10a). Una lista no excluyente de posibles dispositivos de control comprende: válvulas de reducción de la presión o aumento de la presión, dispositivos de expansión del gas, bombas de vacío, ventiladores, condensadores, en particular compresores.
 55

Los dispositivos de control (18) y (19) se regulan con ayuda de valores de medición que se determinan mediante los dispositivos de medición (20a), (20b), (21a) y (21b). En una primera forma de realización preferida de la presente invención, los dispositivos de medición (20b) y (21b) determinan como parámetros de las corrientes de producto (8) y (11) el contenido de uno o de varios componentes en las corrientes gaseosas. La determinación de los parámetros con los dispositivos de medición (20b) y (21b) de las corrientes de gas producto (8) y/u (11) puede tener lugar en línea o fuera de línea, en función del dispositivo de medición utilizado. Preferiblemente, tiene lugar una medición en línea, ya que con ello la regulación puede tener lugar de una forma más rápida. Dispositivos de medición adecuados son conocidos por el experto en la materia. Sin embargo, se trata preferiblemente de aparatos de medición de gas que pueden medir la composición de las corrientes gaseosas para uno o varios componentes, en particular aparatos de medición en línea que miden directamente en la corriente gaseosa (p. ej., mediante absorción infrarroja o velocidad de ultrasonido, densidad, efecto Coriolis) y aparatos de medición externos según los mismos principios de medición que toman una muestra de la corriente y la miden de forma continua o no continua. Estos tienen la ventaja de que la composición puede ser determinada de forma muy rápida y se encuentra inmediatamente a disposición como magnitud de entrada en la regulación.

Si se produce una oscilación en la composición del gas bruto o una modificación de la cantidad o de la presión de la corriente de gas bruto (17) y/o de la corriente de alimentación (5), entonces se modifican sin control antagonista también las propiedades, p. ej., las composiciones de las corrientes de producto (8) y (11). Mediante los dispositivos de medición (20b) y (21b) se registran variaciones correspondientes y se inicia un control antagonista con ayuda de los dispositivos de control (18) y (19), de modo que la instalación de acuerdo con la invención puede ser regulada de forma que las propiedades, en particular las composiciones de las corrientes de gas producto (8) y (11) se encuentren de nuevo en un intervalo/corredor predeterminado. La instalación de acuerdo con la invención permite en este caso regular al mismo tiempo ambas corrientes de gas producto (8) y (11), pero también mantener solo a una de las dos corrientes en el corredor predeterminado.

En esta primera forma de realización preferida de la presente invención son objeto de la invención, por lo tanto, procedimientos en los que el control de la instalación de acuerdo con la invención tiene lugar según las siguientes alternativas:

- i. la concentración de un componente B que permea con mayor dificultad, eventualmente también determinada mediante un parámetro que se correlaciona con ello, de la segunda corriente de retenido (8) cae por debajo de un valor nominal predeterminado, la presión de la segunda corriente de permeado (9a) se reduce, por lo tanto, mediante el dispositivo de control de permeado (18) hasta que dicho parámetro, en particular la concentración deseada, se encuentra de nuevo en el intervalo nominal,
- ii. la concentración de un componente B que permea con mayor dificultad, eventualmente también determinada mediante un parámetro que se correlaciona con ello, de la segunda corriente de retenido (8) aumenta por encima de un valor nominal predeterminado, la presión de la segunda corriente de permeado (9a) se aumenta, por lo tanto, mediante el dispositivo de control del permeado (18) hasta que dicho parámetro, en particular la concentración deseada, se encuentra de nuevo en el intervalo nominal,
- iii. la concentración de un componente B que permea con mayor dificultad, eventualmente también determinada mediante un parámetro que se correlaciona con ello, de la tercera corriente de permeado (11) cae por debajo de un valor nominal predeterminado, la presión de la tercera corriente de retenido (10a) se aumenta, por lo tanto, mediante el dispositivo de control del retenido (19) hasta que dicho parámetro, preferiblemente la concentración deseada, se encuentra de nuevo en el intervalo nominal,
- iv. la concentración de un componente B que permea con mayor dificultad, eventualmente también determinada mediante un parámetro que se correlaciona con ello, de la tercera corriente de permeado (11) aumenta por encima de un valor nominal predeterminado, la presión de la tercera corriente de retenido (10a) se reduce, por lo tanto, mediante el dispositivo de control de retenido (19) hasta que el parámetro, en particular la concentración deseada, se encuentra de nuevo en el intervalo nominal.

En una segunda forma de realización preferida, el dispositivo de acuerdo con la invención comprende los dispositivos de medición (20a) y (21a). Los dispositivos de medición (20a) y (21a) determinan parámetros de la primera corriente de retenido (7) o bien la primera corriente de permeado (6), tales como, p. ej., el caudal volumétrico. En esta forma de realización no se analizan, por lo tanto, las propiedades de las corrientes de producto (8) y (11), sino propiedades de las corrientes gaseosas que son aportadas a la segunda o bien a la tercera etapa de separación de membrana.

Si se produce una oscilación en la composición o una modificación de la cantidad o de la presión de la corriente de gas bruto (17) o de la corriente de alimentación (5), entonces esto repercute, sin control antagonista, sobre las propiedades, p. ej., la composición o bien las cantidades y las presiones de la primera corriente de permeado (6) o bien de la primera corriente de retenido (7). Los dispositivos de medición (20a) y (21a) registran variaciones correspondientes. Mediante una calibración de la instalación, estas propiedades de la primera corriente de permeado (6) se pueden correlacionar con las de la tercera corriente de permeado (11) (segunda corriente de producto) y las de la primera corriente de retenido (7) se pueden correlacionar con las de la segunda corriente de retenido (8) (primera corriente de producto). Por consiguiente, también con los dispositivos de medición (20a) y (21a) se pueden regular las propiedades, en particular la composición y el rendimiento de las dos corrientes de gas producto (8) y (11). Esto tiene lugar de nuevo con ayuda de los dispositivos de control (18) y (19). El control de las composiciones de las corrientes de gas producto (8) y (11) está también desacoplado en esta forma de realización y puede regularse de manera independiente entre sí. Por propiedades de la segunda corriente de retenido (8) (primera corriente de producto) y de la tercera corriente de permeado (11) (segunda corriente de producto) se entienden en este caso parámetros que pueden medirse en la corriente respectiva y que deben mantenerse o incorporarse en un intervalo determinado mediante la instalación de acuerdo con la invención. De manera particularmente preferida, se trata de la composición y/o de la presión y/o de la cantidad o bien del caudal de las corrientes de gas producto respectivas, ya que estos parámetros deben encontrarse en determinados intervalos límites para la alimentación del gas producto a una tubería. Estas propiedades o bien parámetros se designan en el marco de la presente invención también como propiedades correlacionadas con el caudal respectivo de la primera corriente de retenido (7) o de la primera corriente de permeado (6).

Como ya se ha explicado, en esta forma de realización de la presente invención debe tener lugar primeramente de una sola vez una calibración de la instalación. Este gasto adicional se compensa, sin embargo, debido a que después de la calibración puede tener lugar una simple medición del caudal de las corrientes (6) y (7), lo cual es más rápido y económico que, p. ej., controlar de forma continua la composición de las corrientes de gas producto (8) y (11).

En lo que sigue se explican los principios básicos de la calibración en el ejemplo de una instalación de biogás con una conexión de tres etapas de acuerdo con la invención. La calibración del dispositivo de acuerdo con la invención puede tener lugar como sigue:

Primeramente se establecen las concentraciones nominales del componente B que permea más lentamente en la tercera corriente de permeado (11) y en la segunda corriente de retenido (8). A continuación, se varía, p. ej., la composición de la corriente de gas bruto (17) y, con ayuda de los dispositivos de medición (20a) y (21a) se determinan las variaciones de los parámetros objetivo, en esta calibración a modo de ejemplo del caudal, de la primera corriente de retenido (7) y de la primera corriente de permeado (8). Paralelamente, con ayuda de los dispositivos de medición (20b) y (21b) se determinan, p. ej., mediante sensores de gas, las variaciones de las composiciones de la tercera corriente de permeado (11) y de la segunda corriente de retenido (8). Adicionalmente, se mide la presión de permeado de la etapa de separación de retenido (2) y la presión de retenido de la etapa de separación de permeado (3). Con ayuda de los dispositivos de control (18) o bien (19) se pueden modificar dichas presiones de permeado o bien de retenido hasta que se haya alcanzado de nuevo la concentración nominal del componente B en la tercera corriente de permeado (11) y en la segunda corriente de retenido (8). Se pueden registrar entonces los caudales medidos de la primera corriente de retenido (7) frente a la presión de permeado de la etapa de separación de retenido (2) y los caudales de la primera corriente de permeado (6) frente a la presión de retenido de la etapa de separación de permeado (3). En la Figura 2 se puede observar a modo de ejemplo la forma en que debe ajustarse la presión en el permeado de la etapa de separación de retenido (2), con el fin de mantener constante la concentración del componente B que permea con mayor dificultad en la corriente de retenido (8). Se ha de mencionar que la composición del gas de la corriente del gas bruto determina aquí un desplazamiento paralelo de las curvas. Esto se puede ver también en la Fig. 2, en donde se indica el transcurso de la curva de la presión de permeado necesaria de la etapa de separación de retenido (2) en función del caudal de la primera corriente de retenido (7) para tres composiciones de gas bruto diferentes (45, 55 y 65 % del componente B). Como se observa, para cada una de las composiciones del gas bruto resulta una curva separada propia.

Si el objetivo de la separación es únicamente garantizar una calidad mínima del componente B que permea peor en la segunda corriente de retenido (8), entonces para la simplificación del procedimiento de acuerdo con la invención se puede renunciar a la determinación de diferentes curvas para diferentes concentraciones de los componentes que peor permean del gas bruto y trabajar solo con la curva de trabajo con la concentración más elevada de componente a más fácilmente permeable. Alternativamente, solo se puede trabajar con la curva de trabajo con la concentración más baja de componente B que permea peor. Si se aumenta la concentración del componente B que permea peor en el gas bruto, entonces debería realmente aumentarse la presión en el permeado de la etapa 2 con el fin de mantener constante la concentración del componente B que permea peor en el gas de retenido de la etapa 2. Si la presión no se adapta, entonces aumenta la concentración de componente B en el retenido de la etapa 2, sin

embargo utilizando las rectas de calibración con la concentración más baja de componente B en el gas bruto, dicha concentración se encuentra siempre por encima del valor nominal mínimo definido. Mientras que en el caso de la corriente de retenido (8) resultan varias curvas en el caso de diferentes composiciones de gas bruto, entonces los datos, en las presiones de retenido de la etapa de separación de permeado (3) se encuentran, en función del caudal de la primera corriente de permeado (6), en una curva (véase para ello, como ejemplo, la Figura 3).

Utilizando las funciones matemáticas derivadas para las curvas obtenidas, entonces solo mediante la medición de los caudales por medio de los dispositivos de medición (20a) y/o (21a) es posible, también sin una medición más compleja de concentraciones en las corrientes de producto por medio de los dispositivos de medición (20b) y (21b), garantizar un control rápido de la instalación, aun cuando se modifique la composición del gas bruto o cuando se tenga que preparar más gas bruto.

Para la preparación de una cantidad variable de gas bruto, es ventajoso que el control (dispositivo de control) del compresor reciba una señal de un medidor del nivel de la instalación de biogás (p. ej., saco de gas o presión en el fermentador) o de un sensor en la corriente de gas bruto (17). El compresor puede controlarse entonces también de modo que se mantenga el nivel nominal de biogás bruto. La instalación se regula entonces por sí misma según el mecanismo de regulación arriba descrito. Detalles con respecto a esta forma de realización preferida se encuentran más adelante.

Como dispositivos de medición (20a) y/o (21a) se utilizan caudalímetros (masa o volumen). La determinación de los parámetros mediante los dispositivos de medición (20a) y (21a) puede tener lugar en línea o fuera de línea. Preferiblemente, tiene lugar una medición en línea. Dispositivos de medición adecuados son conocidos por el experto en la materia.

Objeto de la presente invención en esta forma de realización son, por lo tanto, procedimientos en los que el control de la instalación de acuerdo con la invención tiene lugar preferiblemente según una o varias de las siguientes alternativas:

- v. el caudal de la primera corriente de retenido (7), eventualmente también determinada mediante un parámetro que se correlaciona con él, aumenta por encima de un valor nominal predeterminado, la presión de la segunda corriente de permeado (9a) se reduce, por lo tanto, mediante el dispositivo de control de permeado (18) hasta que se haya alcanzado la presión necesaria de acuerdo con la curva de calibración y, por consiguiente, la propiedad deseada de la segunda corriente de retenido (8), preferiblemente la composición de la segunda corriente de retenido (8) se encuentre de nuevo en el intervalo nominal.
- vi. el caudal de la primera corriente de retenido (7), eventualmente también determinada mediante un parámetro que se correlaciona con él, disminuye por debajo de un valor nominal predeterminado, la presión de la segunda corriente de permeado (9a) aumenta, por lo tanto, mediante el dispositivo de control de permeado (18) hasta que se haya alcanzado la presión necesaria de acuerdo con la curva de calibración y, por consiguiente, la propiedad deseada de la segunda corriente de retenido (8), preferiblemente la composición de la segunda corriente de retenido (8) se encuentre de nuevo en el intervalo nominal.
- vii. el caudal de la primera corriente de permeado (6), eventualmente también determinada mediante un parámetro que se correlaciona con él, aumenta por encima de un valor nominal predeterminado, la presión de la tercera corriente de retenido (10a) aumenta, por lo tanto, mediante el dispositivo de control de retenido (19) hasta que se haya alcanzado la presión necesaria de acuerdo con la curva de calibración y, por consiguiente, la propiedad deseada de la tercera corriente de permeado (11), preferiblemente la composición de la tercera corriente del permeado (11) se encuentre de nuevo en el intervalo nominal.
- viii. el caudal de la primera corriente de permeado (6), eventualmente también determinada mediante un parámetro que se correlaciona con él, disminuye por debajo de un valor nominal predeterminado, la presión de la tercera corriente de retenido (10a) disminuye, por lo tanto, mediante el dispositivo de control de retenido (19) hasta que se haya alcanzado la presión necesaria de acuerdo con la curva de calibración y, por consiguiente, la propiedad deseada de la tercera corriente de permeado (11), preferiblemente la composición de la tercera corriente del permeado (11) se encuentre de nuevo en el intervalo nominal.

Una gran ventaja de la instalación de acuerdo con la invención y del procedimiento de acuerdo con la invención se encuentra en la capacidad altamente variable de la instalación, es decir, la posibilidad de controlar de manera variable el rendimiento de la instalación y poder adaptarlo a las necesidades del gas producto. Esto puede tener lugar, como ya se ha mencionado, sin la conexión o bien desconexión de superficies de membrana. En una forma de realización preferida de la presente invención, para ello el rendimiento de la instalación de acuerdo con la invención se aumenta o reduce mediante una modificación del volumen de transporte del compresor (4) y se actúa en contra

de una modificación provocada por ello de la concentración del componente B que permea con mayor dificultad en la segunda corriente de retenido (8) de acuerdo con las alternativas i o bien ii del procedimiento y de una modificación provocada con ello de la concentración del componente B que permea con mayor dificultad en la tercera corriente de permeado (11) de acuerdo con las alternativas iii o bien iv del procedimiento y/o de una modificación provocada por ello del flujo de la primera corriente de retenido (7) de acuerdo con las alternativas v o vi del procedimiento y/o de una modificación provocada con ello del flujo de la primera corriente de permeado (6) de acuerdo con las alternativas vii o bien viii del procedimiento.

Los procedimientos i a viii precedentemente descritos pueden combinarse entre sí o bien pueden emplearse formas mixtas. Por dispositivo de medición (20a), (20b), (21a) o (21b) se entienden aparatos de medición individuales, sistemas de aparatos, etc., pero también combinaciones o conexiones de varios aparatos, sistemas de aparatos, etc. Los dispositivos de medición (20a), (20b), (21a) o (21b) pueden combinarse de manera flexible entre sí en las distintas alternativas del procedimiento. Así, p. ej., un dispositivo de medición (20a) se puede utilizar junto con un dispositivo de medición (20b) con el fin de regular el dispositivo de control de permeado (18). En este caso, se tendría un dispositivo de medición de apoyo que posibilita controlar y afianzar mutuamente los sistemas de medición. Con ello se puede establecer, p. ej., cuándo un dispositivo de medición está roto. Formas de ejecución correspondientes de la presente invención se pueden encontrar fácilmente por un experto en la materia con ayuda de la descripción y los Ejemplos de la presente invención y están abarcadas por la invención.

En función del dispositivo de medición y/o control utilizado, así como de su número, puede ser ventajoso intercalar entre el dispositivo de medición y el dispositivo de control al menos un dispositivo de tratamiento de datos (no mostrado en las figuras) preferiblemente al menos una computadora. Con ello el dispositivo de acuerdo con la invención o bien el procedimiento de acuerdo con la invención se pueden regular fácilmente de forma centralizada y se puede hacer un protocolo y coordinar los distintos valores de medición o bien etapas de regulación. Soluciones técnicas correspondientes se pueden obtener en el mercado o bien son conocidas por el experto en la materia y quedan abarcadas por el alcance la presente invención.

En el procedimiento de acuerdo con la invención se utilizan en la primera corriente de retenido (7) y/o en la primera corriente de permeado (6) caudalímetros como dispositivos de medición (20a) y/o (21a).

Preferiblemente, en la segunda corriente de retenido (8) y/o en la tercera corriente de permeado (11) se utilizan un dispositivo de medición (20b) y/o (21b) en línea o fuera de línea para la determinación de la composición de la mezcla gaseosa respectiva. Junto al control de las corrientes de materiales (9a + 9b) y (10a + 10b) mediante los dispositivos de control (18) y (19), como se ha descrito precedentemente, la presente invención abarca también formas de realización en las que se realizan además otros controles o bien regulaciones en el dispositivo o bien en el procedimiento.

En una forma de realización preferida adicional, el dispositivo de acuerdo con la invención abarca un dispositivo de control (24) (no mostrado en las figuras) que regula la potencia del compresor (4), preferiblemente su número de revoluciones y, con ello, su volumen de transporte. Un ejemplo de ello sería un transformador de la frecuencia.

Mediante el dispositivo de control se adapta preferiblemente la potencia del compresor a la cantidad a separar de gas bruto (p. ej., la producción de biogás en el fermentador) o a la cantidad a producir de gas producto (p. ej., corriente de metano en la corriente de retenido (8)). La modificación de la cantidad de producción en el gas bruto (p. ej., biogás bruto procedente de una instalación de biogás) puede leerse, por ejemplo, en una indicación del nivel de un acumulador intermedio de gas bruto o en la presión del gas bruto en un fermentador. Si el nivel o la presión aumentan en el fermentador, entonces se puede aumentar la capacidad de separación de la instalación de separación de membrana mediante el aumento del número de revoluciones del compresor. Por consiguiente, la presión en el fermentador o el nivel en el acumulador intermedio se pueden mantener constantes o se pueden reducir. Si a diferencia de ello disminuye el nivel en el depósito intermedio o la presión en el fermentador, entonces mediante la reducción del número de revoluciones del compresor se puede reducir la capacidad de separación de la instalación de separación de membrana y, por consiguiente, mantener constante o reducir el nivel en el depósito intermedio o la presión en el fermentador. En el caso de modificar el caudal de alimentación (5), que resulta mediante una modificación del número de revoluciones del compresor, resultaría una modificación de la composición de la corriente de retenido (8) y de la corriente de permeado (11). Una gran ventaja de la presente invención estriba en que esta modificación puede impedirse mediante mecanismos de regulación descritos más arriba en esta invención. Con este control de acuerdo con la invención de la instalación para la capacidad y la calidad de los gases producto es entonces posible controlar independientemente entre sí la capacidad de separación de la instalación y la composición de las corrientes de gas producto (8) y (11). Por lo tanto, también se puede modificar la capacidad de la instalación en un marco determinado con ayuda de los dispositivos de control (18) y (19) con ayuda del dispositivo de control del compresor, sin que se modifiquen las calidades de producto en las corrientes (8) y (11) o que se

tuviera que adaptar la presión de retenido en las etapas de separación (1) y (2) y sin que tuvieran que conectarse o desconectarse superficies de la membrana.

5 Esta flexibilidad de la capacidad puede limitarse a un intervalo determinado del número de revoluciones del compresor y, con ello, del volumen de transporte de gas bruto que se determina por el diseño de la instalación, en particular en relación con la presión en las etapas de separación, las relaciones de área de las membranas en las distintas etapas de separación (1), (2) y (3) y, ante todo, en relación con los dispositivos de control (18) y (19) y de su anchura de banda en el ajuste de la presión en las corrientes gaseosas (9a) y (10a) respectivas. Por ejemplo, cuando la presión posible mínima en la corriente de permeado (9a) asciende 0,3 bara, este es entonces el parámetro limitante para el caudal de gas de alimentación (5). Un aumento adicional del caudal del gas de alimentación (5) significaría que la concentración del componente B más lento en la corriente de retenido (8) disminuiría por debajo del valor nominal y, por consiguiente, ya no se podría mantener el punto de funcionamiento deseado de la instalación. Esto mismo es válido para el caso de que la presión en el permeado (9a) ya no pudiera aumentarse más que, por ejemplo, la presión ambiente. Esta presión limita entonces la disminución del caudal de alimentación (5), dado que en el caso de una disminución ulterior del caudal de alimentación (5) el contenido del componente B que permea con mayor dificultad en el retenido (8) aumentaría por encima del valor nominal.

20 Por "dispositivo de control" se entiende en este caso la unidad de control del compresor que regula la potencia del compresor, preferiblemente su número de revoluciones. Este dispositivo de control puede ejecutarse de modo que elabora datos de medición de sensores en la corriente de gas producto (17) y/o en depósitos o dispositivos de producción antepuestos. Por ejemplo, la señal del dispositivo de medición puede controlar entonces un transformador de la frecuencia de un compresor. Compresores y dispositivos de control o bien de mando correspondientes, se pueden adquirir en el mercado y son conocidos por el experto en la materia.

25 Con la forma de realización precedentemente descrita, es decir, la regulación y la adaptación de la potencia del compresor, se puede asegurar que la capacidad de separación de la instalación de separación de membrana se adapte a las necesidades de la producción del gas bruto y/o las cantidades necesarias de gases producto (8) y (11). Oscilaciones en la composición del gas de las corrientes (8) y (11) que resultan de la cantidad de gas bruto (17) a elaborar de manera diferente y de su composición, son compensadas por los dispositivos de control (18) y (19).

30 En otra forma de realización preferida, el dispositivo de acuerdo con la invención está configurado de modo que cantidades variables de gas retornado procedente de la segunda corriente de permeado (9b) y de la tercera corriente de retenido (10b) son compensadas preferiblemente de forma automática con una regulación de la cantidad de gas bruto aportada procedente de la corriente de gas bruto (17). De manera particularmente preferida, esto tiene lugar sin que con ello se modifique el número de revoluciones del compresor. Esto permite el uso de compresores más sencillos y económicos, no regulables.

35 Como dispositivos de medición (22) y (23) pueden utilizarse en esta forma de realización, en este caso, sensores de gas, caudalímetros de volumen o de masa o medidores de presión en la segunda corriente de permeado (9b) y/o la tercera corriente de retenido (10b). El control de la cantidad aportada de gas bruto tiene lugar preferiblemente mediante un dispositivo de control de la corriente de gas bruto (25) en la corriente de gas bruto. El dispositivo de control de la corriente de gas bruto debe estar en condiciones de reemplazar la cantidad que falta (= diferencia entre la cantidad aspirada del compresor y suma de las corrientes retornadas (9b) y (10b)). Esto sucede, por ejemplo, mediante la realización del dispositivo de control de la corriente de gas bruto como medición de la presión en el lado de aspiración del compresor (4). Un dispositivo dosificador controlado por esta medición de la presión (p. ej., una válvula regulable análoga o un ventilador o una unidad de condensación) puede mantener entonces constante la presión a lo largo de cantidades aportadas diferentes de gas bruto (17). Si el gas bruto se encuentra bajo una presión que corresponde a las especificaciones de la presión de aspiración del compresor, entonces la cantidad de gas bruto requerida adicionalmente a las corrientes de retorno (9b) y (10b) puede ser aspirada también directamente del compresor sin un dispositivo de control del gas bruto adicional (17). También en este caso, puede intercalarse un dispositivo de tratamiento de datos entre los dispositivos de medición (22) y (23), así como del dispositivo de control de la corriente de gas bruto (25).

50 Básicamente, en el caso de los dispositivos de tratamiento de datos precedentemente mencionados se puede tratar de dispositivos diferentes, es decir, en el procedimiento de acuerdo con la invención pueden utilizarse varios dispositivos de tratamiento de datos. Estos dispositivos de tratamiento de datos pueden estar opcionalmente enlazados entre sí. Preferiblemente, sin embargo, se utiliza solo un dispositivo de tratamiento de datos central con el que se vigilan y regulan de forma centralizada todas las etapas de medición y de control.

55 El dispositivo de acuerdo con la invención, véase a modo de ejemplo la Figura 1, contiene, como se ha dicho precedentemente, un encadenamiento de al menos tres etapas de separación de membrana. Cada una de las etapas se compone de uno o varios módulos de separación de gas físicos que están conectados en paralelo y/o en

serie dentro de una etapa. Como fuerza impulsora para la separación de gas en los módulos se genera una diferencia de la presión parcial entre el lado de retenido y el lado de permeado en las respectivas etapas de separación de membrana. La diferencia de presión parcial se genera mediante un compresor (4), el cual está dispuesto en el lado de alimentación de la etapa de separación de la corriente de alimentación (1) y eventualmente mediante al menos una, preferiblemente una o dos bombas de vacío (no representadas en la Figura 1) detrás de la etapa de separación de la corriente de alimentación (1), preferiblemente en el lado de permeado de la etapa de separación de retenido (2) en la segunda corriente de permeado (9a + 9b) y/o en el lado de permeado de la etapa de separación de permeado (3) en la tercera corriente de permeado (11). Eventualmente, puede ser ventajoso generar o bien potenciar en una o varias de las etapas de separación de membrana la diferencia de presión parcial mediante una corriente de gas de arrastre del lado de permeado.

En una forma de ejecución preferida de la presente invención, un compresor (4) lleva a la mezcla de gas bruto o bien a la mezcla gaseosa procedente de la corriente de gas bruto (17) y de la segunda corriente de permeado (9b) y de la tercera corriente de retenido (10b) a la presión deseada en el intervalo de 5 a 100 bares, pero preferiblemente a una presión de 9 a 75 bares. Si la corriente de gas bruto (17) presentara ya la presión requerida, entonces el compresor (4) ya solo debe llevar a la segunda corriente de permeado (9b) y a la tercera corriente de retenido (10b) a la presión deseada en el intervalo de 5 a 100 bares, pero preferiblemente a una presión de 9 a 75 bares. La corriente de alimentación (5) obtenida se introduce en la etapa de separación de la corriente de alimentación (1). En la etapa de separación de la corriente de alimentación (1) se obtiene una separación previa de la mezcla de gases brutos en componentes que permean más fácilmente (gas de permeado), los cuales acceden en una gran parte al permeado de la primera etapa y componentes que permean menos rápidamente (gas de retenido) que son retenidos predominantemente por la membrana y que se acumulan en el retenido. En una forma de realización preferida, el procedimiento de acuerdo con la invención o bien el dispositivo de acuerdo con la invención se caracterizan porque está configurado de modo que se aumenta la concentración de al menos un gas de permeado de la etapa de separación de la corriente de alimentación (1), después del retorno de la segunda corriente de permeado (9b) y de la tercera corriente de retenido (10b) en la corriente de alimentación (5), preferiblemente en al menos 2%, de manera particularmente preferida en al menos 3% y de manera muy particularmente preferida en un 3 a 40%, en cada caso en comparación con la concentración en la corriente de gas bruto (17). El aumento puede depender de la composición de la corriente de gas bruto (17) y es particularmente acusado en el caso de bajas concentraciones de un gas de permeado (10 a 20%). Preferiblemente, el aumento de la concentración de uno de los gases de permeado oscila entre 2 y 15%, de manera particularmente preferida entre 3 y 8% cuando el contenido del gas de permeado en la corriente de gas bruto (17) oscila entre 30 y 70%. Se ha demostrado que el rendimiento de todo el proceso en gas de retenido aumenta y, con ello, disminuye la pérdida de gas de retenido cuando la concentración del gas de permeado se aumenta en la etapa de separación de la corriente de alimentación (1). En el caso de un corte de separación de etapas igual (= relación de la corriente de permeado a corriente de alimentación de la etapa considerada) accede claramente menos gas de permeado al permeado de la etapa de separación de la corriente de alimentación (1) cuando se aumenta la concentración de al menos uno de los componentes A que permea más fácilmente en la etapa de separación de la corriente de alimentación (1) o de un gas de permeado A en la corriente de alimentación (5). Análogamente, se comprobó una disminución cuando se reduce la concentración del componente A o de un gas de permeado A en la corriente de alimentación (5) a purificar. Así, el corte de separación de la etapa para una concentración de 50% de un componente A o de un gas de permeado A en la corriente de alimentación (5) a purificar oscila entre 10 y 60%, preferiblemente entre 15 y 55% y de manera particularmente preferida entre 20 y 50%. En una forma de realización particularmente preferida de la presente invención, el procedimiento de acuerdo con la invención o bien el dispositivo de acuerdo con la invención está configurado por lo tanto de modo que el contenido de gas o gases de permeado de la etapa de separación de la corriente de alimentación (1) en la corriente de alimentación (5) es mayor que o igual a 40% en vol., preferiblemente mayor que 50% en vol., y de manera muy particularmente preferida mayor que 55% en vol. referido al volumen de la corriente de alimentación (5) después del retorno de la segunda corriente de permeado (9b) y de la tercera corriente de retenido (10b). Mediante este aumento de la concentración de los gases de permeado en la corriente de alimentación (5) se aumenta, como ya se ha explicado, la eficiencia de la etapa de separación de la corriente de alimentación (1), lo cual tiene de nuevo como consecuencia que accede menos gas de retenido B a la primera corriente de permeado (6). Esto aumenta de nuevo la eficiencia de la etapa de separación de permeado (3) y procura que también aquí acceda menos gas de retenido indeseado en la tercera corriente de permeado (10a + b). En particular, en el caso de la separación de gases brutos con contenido en metano, esto conduce a la ventaja de que pudieron reducirse claramente las emisiones indeseadas del metano nocivo para el clima.

En general, se puede decir que en la etapa de separación de la alimentación (1), preferiblemente 20 a 100%, de manera particularmente preferida 40 a 70% del componente A que permea más fácilmente, es decir, del gas de permeado A, pasa de la corriente de alimentación (5) al permeado.

El retenido de la etapa de separación de la corriente de alimentación (1) se aporta, opcionalmente mediante reducción de la presión, a través de una válvula reductora de la presión (12) opcionalmente presente o con aumento

- de la presión, mediante la primera corriente de retenido (7) de la etapa de separación de retenido (2) en la que tiene lugar la purificación fina. En el lado de retenido de la etapa de separación de retenido (2), es decir, en la segunda corriente de retenido (8), se encuentra preferiblemente una válvula reductora de la presión (13) (no mostrada en la Figura 1), mediante la cual se puede mantener y de forma constante la presión principal en el sistema (presión de trabajo de las etapas de separación (1) y (2) = presión de retenido de las etapas (1) y (2)). El contenido de los componentes B que permean con mayor dificultad, es decir, de un gas de retenido B, se aumenta adicionalmente en la etapa de separación de retenido (2), de modo que el contenido en componente B o de un gas de retenido B en la segunda corriente de retenido (8) asciende a más de 90%, preferiblemente a más de 95% y de manera particularmente preferida a más de 97%. En una variante particularmente preferida, el procedimiento de acuerdo con la invención o bien el dispositivo de acuerdo con la invención se caracteriza, por consiguiente, porque al menos 95%, preferiblemente al menos 97%, de manera particularmente preferida al menos 99% y de manera muy particularmente preferida al menos 99,5% del componente de retenido de la etapa de separación de la corriente de alimentación (1) introducido en el dispositivo con la corriente de gas bruto (17) son expulsados a través de la segunda corriente de retenido (8).
- 15 El corte de separación de etapa de la etapa de separación de retenido (2) asciende, en el caso de una concentración del componente A o de un gas de permeado A de 50% en el primera corriente de retenido (7) entre 10 y 60%, preferiblemente entre 20 y 50%.
- El permeado de la etapa de separación de retenido (2), mediante la segunda corriente de permeado (9b), de manera particularmente preferida sin que previamente sean aportadas partes de la corriente de permeado (9a o 9b) detrás de la etapa de separación de la corriente de alimentación (1) a la primera corriente de retenido (7), de manera muy particularmente preferida es devuelto por completo, es aportado a la corriente de alimentación (5) y es elaborado de nuevo. Esto puede tener lugar – tal como ya se ha explicado previamente en la definición de la expresión “corriente de alimentación” – en función de que se utilice un compresor (4) o incluso un compresor (4) multi-etapa, de manera diferente. En el caso de un compresor (4) mono-etapa, la segunda corriente de permeado (9b) se aporta preferiblemente al lado de aspiración del compresor (4).
- El permeado de la etapa de separación de la corriente de alimentación (1), fuertemente enriquecido con el componente A o un gas de permeado A, se aporta mediante la primera corriente de permeado (6) a la etapa de separación de permeado (3). Es necesario impedir, mediante el dispositivo de control de retenido (19) en la corriente de retenido de la etapa de separación de permeado (3), es decir, la tercera corriente de retenido (10a + b)) que la presión de retenido de la etapa de separación de permeado (3) caiga a la presión ambiente. De este modo puede conservarse la fuerza impulsora para la etapa de separación de permeado (3). La etapa de separación de permeado (3) produce un permeado con un contenido de componente A que permea mejor o de un gas de permeado A mayor que 95%, preferiblemente mayor que 97% y de manera particularmente preferida mayor que 99% que es expulsado del dispositivo a través de la tercera corriente de permeado (11). En una forma de realización particularmente preferida, el dispositivo de acuerdo con la invención está configurado de modo que se expulsa a través de la tercera corriente de permeado (11) como máximo 5%, preferiblemente como máximo 3%, de manera particularmente preferida, como máximo 1% y de manera muy particularmente preferida como máximo 0,5% del componente B de la etapa de separación de la corriente de alimentación (1) que permea más lentamente introducido con la corriente de gas bruto (17) en el dispositivo.
- 40 El corte de separación de etapa de la etapa de separación de permeado (3) oscila preferiblemente entre 50 y 95% y de manera particularmente preferida entre 70 y 93%.
- La tercera corriente de retenido (10b) se retorna, se aporta a la corriente de alimentación (5) y se elabora de nuevo. Esto puede tener lugar de manera diferente y puede depender, p. ej., de si se utiliza un compresor (4) o incluso un compresor (4) multi-etapa. En el caso de un compresor (4) mono-etapa, la tercera corriente de retenido (10b) es aportada preferiblemente al lado de aspiración del compresor (4) cuando la presión de aspiración del compresor es menor que la presión de retenido de la etapa de separación (3). Si se utiliza un compresor multi-etapa, entonces se prefiere que la tercera corriente de retenido (10b) sea introducida en el compresor entre dos etapas de compactación, cuando la presión de la etapa del compresor en el caso de la etapa respectiva sea menor que la presión de retenido de la etapa de separación (3).
- 50 El procedimiento de acuerdo con la invención o bien el dispositivo de acuerdo con la invención se caracteriza, en una forma de realización preferida adicional, particularmente debido a que está configurado de modo que el volumen de gas aportado en la segunda corriente de permeado (9b) y en la tercera corriente de retenido (10b) ascienda en suma a menos de 60% en vol., preferiblemente de 10 a 50% en vol., de manera muy particularmente preferid a 20 hasta 40% en vol. del volumen de la corriente de gas bruto (17). El control de la cantidad de las corrientes de gas de retenido a retornar depende de las purezas requeridas en las corrientes de gas producto (8) y (11). Cuanto menores sean las purezas requeridas, tanto menores serán las corrientes de retorno (9b) y (10b). Las corrientes de retorno se

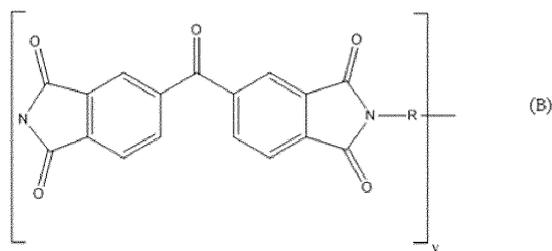
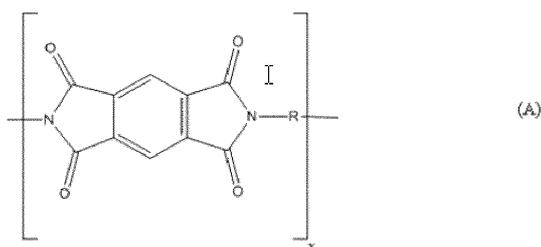
5 ven influenciadas de manera muy particular mediante el tipo y la selectividad de los módulos de membrana empleados en las etapas de separación de membrana (1) a (3). Módulos de membrana con una selectividad incrementada determinan en este caso una clara disminución de las corrientes de retorno (9b) y (10b). También la presión principal en el sistema (= presión en las etapas de separación (1) y (2)) influyen sobre la cantidad de gases retornados. Cuanto mayor sea la presión en el sistema, tanto menor serán las cantidades retornadas. Un factor de influencia adicional son las relaciones en la superficie de membrana en las distintas etapas. Superficies grandes en la etapa de separación (3) reducen, por ejemplo, el flujo de retorno, superficies mayores en la etapa de separación (2) aumentan, por el contrario, las corrientes de retorno. Con ello, el procedimiento o bien el dispositivo de acuerdo con la invención se caracteriza porque a pesar de corrientes de retorno muy bajas se garantiza el aumento, explicado con mayor detalle arriba, de la concentración del componente de permeado en la corriente de alimentación (5). Esto aumenta claramente la eficiencia de todo el procedimiento.

15 Como ya ha explicado, es particularmente ventajoso que se emplee un compresor (4) multi-etapa. En este caso, puede renunciarse, a saber, a una expansión completa de retenido de la etapa de separación de permeado (3), dado que el retenido de la etapa de separación de permeado (3) puede ser alimentado entre dos etapas del compresor (4). Dado que la etapa de separación de retenido (2), en el caso de la expansión a la presión de alimentación sería hecho funcionar por norma general en el intervalo limitante de la selectividad, puede ser conveniente expandir la segunda corriente de permeado (9a) únicamente a un nivel de presión mayor de una unidad de aumento de la presión multi-etapa, es decir de un compresor (4) multi-etapa, ya que con ello se reducen los costes de funcionamiento de la unidad de compresión sin empeorar claramente el resultado de separación. En una forma de realización particularmente preferida de la presente invención se utiliza, por lo tanto, un compresor (4) multi-etapa, y las corrientes de gas (9b) y (10b) se aportan a este compresor en cada caso entre dos etapas de compresión.

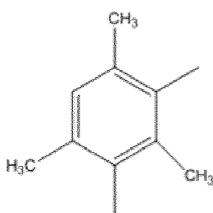
25 En una forma de realización preferida, la caída de presión a través de la corriente de alimentación (1) se limita a 1 y 30 bares, preferiblemente a 2 y 20 bares y, de manera particularmente preferida, entre 3 y 10 bares. Al mismo tiempo o alternativamente se garantiza preferiblemente que la caída de presión se limite a través de la etapa de separación de la corriente de alimentación (1) y de la etapa de separación de retenido (2) a 1 y 100 bares, preferiblemente entre 5 y 80 bares y de manera particularmente preferida entre 10 y 70 bares.

30 El dispositivo de acuerdo con la invención o bien el procedimiento de acuerdo con la invención puede realizarse, en principio, con todas las membranas que estén en condiciones de separar mezclas gaseosas binarias o mezclas de múltiples gases. Como materiales de la membrana pasan a emplearse preferiblemente, pero no de forma exclusiva, materiales sintéticos. Como materiales sintéticos en la capa de separación activa entran en consideración, de manera particularmente preferida, poliimidas, poliamidas, polisulfonas, acetatos de celulosa y derivados, poli(óxidos de fenileno), polisiloxanos, polímeros con una microporosidad intrínseca, membranas de matriz mixta, membranas de transporte facilitado, poli(óxidos de etileno), poli(óxidos de propileno), membranas de material sintético o zeolitas o mezclas de los mismos.

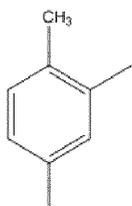
35 Membranas particularmente preferidas presentan como materiales para la capa de separación activa o bien como material para la membrana completa una poliimida de la fórmula general



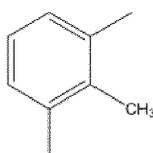
40



(L1)

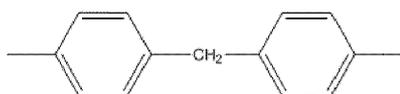


(L2)



(L3)

5



(L4)

con $0 \leq x \leq 0,5$ y $1 \geq y \geq 0,5$ y R corresponde a uno o varios radicales R iguales o diferentes, elegidos del grupo consistente en los radicales L1, L2, L3 y L4.

- 10 De manera particularmente preferida, se trata de un polímero con $x = 0$, $y = 1$ y R consistente en 64% en moles de L2, en 16% en moles de L3 y en 20% en moles de L4. Este polímero se puede obtener bajo el nombre P84 o P84 tipo 70 (números CAS 9046-51-9) de la razón social Evonik Fibres GmbH. Especialmente se prefiere un polímero con la composición $x = 0,4$, $y = 0,6$ y R consistente en 80% en moles de L2, 20% en moles de L3. Este polímero se puede adquirir bajo el nombre P84HT o P84HT325 (números CAS 134119-41-8) de la razón social Evonik Fibres GmbH. Asimismo de manera preferida, pueden utilizarse mezclas de dichas poliimidas.
- 15

Membranas producidas a partir de poliimidas preferidas se pueden adquirir de la razón social Evonik Fibres GmbH bajo el nombre Sepuran. Un procedimiento para la preparación de estas membranas preferidas se da a conocer en el documento WO 2011/009919 A1. Todas las membranas dadas a conocer en este documento pueden emplearse de manera preferida en el procedimiento de acuerdo con la invención. Para evitar puras repeticiones se hace con ello referencia completa al contenido de esta solicitud de patente. Se encontró que con estas membranas se pueden alcanzar los mejores resultados de separación.

20

Las membranas se utilizan preferiblemente en forma de membranas de fibras huecas y/o membranas planas. Las membranas se conforman en módulos que luego pasan a emplearse en la misión de separación. Como módulos pueden pasar a emplearse todos los módulos de separación de gases conocidos en la técnica, tales como, por ejemplo, pero no de forma exclusiva, módulos de separación de gases de fibras huecas, módulos de separación de gases enrollados en espiral, módulos de separación de gases de almohadilla o módulos de separación de gases de haces de tubos.

25

Los módulos de membrana de separación de gases tienen, de acuerdo con la invención, una selectividad de gases mixtos de los componentes A (CO_2) y B (CH_4) (= relación de la corriente de materiales A a la corriente de materiales B sobre la membrana) de al menos 30, preferiblemente al menos 35, de manera particularmente preferida al menos 40, de manera muy particularmente preferida al menos 45 y de manera especialmente preferida de al menos 45 a 80. Membranas selectivas mayores tienen la ventaja de que la separación es más efectiva y tiene que retornarse menos permeado de la etapa de separación de retenido (2) o bien menos retenido de la etapa de separación de permeado (3). Con ello debe comprimirse doblemente menos gas, particularmente en el caso de utilizar un compresor (4) mono-etapa, lo cual conlleva rentables ventajas durante el funcionamiento de la instalación. En el caso de módulos de membrana muy selectivos, con una selectividad de 45, debe comprimirse doblemente solo

30

35

aprox. el 35% del gas incorporado como gas bruto en la etapa de separación de la corriente de alimentación (1), con un módulo de membrana con una selectividad de solo 10 puede ser que la compresión doble ascienda hasta el 300%. Los datos 35% o bien 300% se refieren a ensayos en los que se añadió una mezcla gaseosa con cantidades equimolares de componentes A y B (= alimentación), estando contenido 98,5% de componente B en el gas de retenido de la etapa (2) y 99% de componente B en la corriente de permeado de la etapa (3).

Es evidente que el proceso de acuerdo con la invención con membranas más selectivas puede llevarse a cabo de forma esencialmente más rentable y pueden reducirse el tamaño necesario del compresor y la energía requerida.

El procedimiento de acuerdo con la invención / el dispositivo de acuerdo con la invención tiene, en particular, las ventajas de que es un puro procedimiento de membrana y que se contenta sin una purificación adicional de las corrientes de permeado y/o retenido (11) o bien (8) para muchas aplicaciones. Por ejemplo, en el caso de la purificación de biogás o gas natural (= separación de dióxido de carbono a partir de metano) ya no se necesita absorción alterna de presión o lavado con aminas para la purificación fina de retenido, de modo que éste puede ser alimentado a la red de gas natural. Además, con el procedimiento de acuerdo con la invención / el dispositivo de acuerdo con la invención puede producirse al mismo tiempo una corriente de retenido (8) pura y una corriente de permeado (11) pura en el caso de la purificación de biogás y gas natural. Por lo tanto, sin grandes pérdidas de metano y sin un gran perjuicio del medio ambiente se pueden desprender a la atmósfera, sin que el gas tenga que ser tratado todavía adicionalmente mediante una combustión posterior catalítica o térmica o un aprovechamiento en una central calefactora de bloques. Por lo tanto, se suprime la inversión en partes de la instalación adicionales, lo cual conduce a un proceso de purificación más rentable para biogás y gas natural.

El dispositivo de acuerdo con la invención se describe a grandes trazos en el documento WO 2012/000727. Por lo tanto, el objeto del documento WO 2012/000727 se incluye en todo su alcance en la descripción de la presente invención.

En el documento WO 2012/000727 no se da a conocer control alguno que permitiera compensar oscilaciones de la composición o de la presión o del flujo de la corriente de gas bruto. El documento WO 2012/000727 da a conocer únicamente la variación de la potencia del compresor e intervalos generales de la presión que deben mantenerse con el fin de obtener buenos rendimientos y purezas de los gases de producto. Con la presente invención se da a conocer por vez primera un concepto de control y regulación de una conexión de membrana de acuerdo con el documento WO 2012/000727 que permite conectar directamente esta instalación de purificación también a instalaciones de biogás con corrientes de alimentación variables. Por lo tanto, se puede renunciar a dispositivos previos especiales que proporcionen una corriente de gas bruto casi constante. Por lo tanto, la presente invención representa un perfeccionamiento importante de la instalación y del procedimiento del documento WO 2012/000727. Esto es válido particularmente, dado que mediante los dispositivos de control (18) y (19) y su regulación de acuerdo con la invención se puede garantizar una calidad del gas de las corrientes (8) y (11) constante o también alterna en virtud de requisitos cambiantes, también cuando se modifique la cantidad a elaborar de gas bruto (17) y/o la cantidad a producir de gases de producto (8) y/u (11) y/o la composición del gas bruto. En este caso, es ventajoso que para el ajuste de las calidades de gas requeridas en las corrientes (8) y (11) no se tenga que modificar la presión principal en el sistema (= presión de trabajo en las etapas de separación (1) y (2)) y las superficies de membranas en las etapas de separación (1) a (3).

Una ventaja adicional se ha de considerar también en que el procedimiento de acuerdo con la invención / el dispositivo de acuerdo con la invención se contenta con una complejidad de aparatos y energética claramente menor que los procedimientos conocidos del estado de la técnica.

El dispositivo de acuerdo con la invención o bien el procedimiento de acuerdo con la invención puede emplearse particularmente para la separación de mezclas gaseosas con al menos dos gases, en donde de manera muy particularmente preferida, como mezcla gaseosa se separa una mezcla de predominantemente, pero no de forma exclusiva, dióxido de carbono y metano, o de predominantemente, pero no de forma exclusiva, de hidrógeno y metano, o de predominantemente, pero no de forma exclusiva, monóxido de carbono e hidrógeno o biogás bruto o gas natural bruto. Los siguientes Ejemplos han de explicar y describir con mayor detalle la presente invención, pero sin limitarla de modo alguno.

Estructura general del ensayo

Se realizaron ensayos en una instalación de separación de membrana que utiliza una conexión de tres etapas basándose en la Figura 1.

- composición de gas bruto 54% de metano. 46% de CO₂ (= biogás de una instalación de biogás)
- uso de 3 piezas de módulos de ensayo de 2" de Sepuran Green (en cada caso 1 módulo por etapa)

- presión principal en el sistema (= presión de la etapa de retenido (2)) ascendió a 17 bara
- presión del aire 950 mbara
- presión de permeado de la etapa de separación de permeado (3) se encontraba en 1000 mbara

Ejemplo 1:

- 5 El objetivo de este ensayo era encontrar una línea de calibración que permita, mediante la modificación de la presión de permeado de la etapa de separación de retenido (2) mantener constante la calidad del gas producto en la corriente de retenido (8) y mediante modificación de la presión de retenido de la etapa de separación de permeado (3) mantener constante la calidad del gas de escape en la corriente de permeado (11), cuando se modifica la cantidad de alimentación en la corriente de alimentación (5) o bien el número de revoluciones del compresor.
- 10 Para este fin, en el caso de una conexión de 3 etapas en funcionamiento de acuerdo con la estructura de ensayo general, se aumentó la potencia del compresor en etapas. Se intentó entonces, mediante modificación de las presiones de permeado de la etapa de separación de retenido (2) y de retenido de la etapa de separación de permeado (3) mantener constantes la concentración del gas de escape (11) y del gas de producto (8) en un estrecho margen. Mediante el aumento de la potencia del compresor de inicialmente 60% a 75% al final aumenta el caudal de
- 15 alimentación (5) de 3,83 m³/h a 5,23 m³/h o en un 36%. En este intervalo se reduce la presión de permeado de la etapa de separación de retenido (2) de 951 mbara a 241 mbara y la presión de retenido de la etapa de separación de permeado (3) aumenta de 3,6 bara a 4,43 bara. La concentración del gas producto (8) oscila en el caso de todas estas potencias del compresor entre 95,23 y 95,75% de metano, la concentración del gas de escape en metano oscila entre 0,5 y 0,62%. Ambos valores están regulados en el marco de la exactitud de medición en un estrecho
- 20 intervalo. Datos detallados de este ensayo se encuentran en la siguiente Tabla 1.

Tabla 1:

Potencia del compresor [%]	Flujo corriente de alimentación (5) [m ³ /h]	Presión corriente de perm. (9a) [mbara]	Presión corriente de ret. (10a) [bara]	c(CH ₄) corriente de ret. (8) [%]	c(CH ₄) corriente de perm. (11) [%]	Flujo corriente de ret. (8) [m ³ /h]	Flujo corriente de perm. (9a) [m ³ /h]	Flujo corriente de perm. (6) [m ³ /h]	Flujo corriente de perm. (11) [m ³ /h]	Flujo corriente de ret. (7) calculado [m ³ /h]
60	3,83	951	3,6	95,75	0,5	1,665	0,622	1,641	1,28	2,287
62,5	4,1	760	3,8	95,68	0,62	1,807	0,756	1,669	1,372	2,563
65	4,3	660	3,9	95,54	0,58	1,907	0,838	1,715	1,427	2,745
67,5	4,53	560	4,03	95,23	0,62	2	0,94	1,76	1,5	2,94
70	4,77	460	4,16	95,52	0,55	2,086	1,044	1,828	1,57	3,13
72,5	5,01	320	4,29	95,43	0,55	2,175	1,16	1,894	1,646	3,335
75	5,23	241	4,43	95,34	0,62	2,267	1,28	1,925	1,697	3,547

Además, se midieron los caudales de la segunda corriente de retenido (8) de la primera corriente de permeado (6), de la tercera corriente de permeado (11) (= gas de escape) y de la segunda corriente de permeado (9a). A partir de la suma de los valores de los caudales de la segunda corriente de retenido (8) y de la segunda corriente de permeado (9a) se pueden determinar los caudales de la primera corriente de retenido (7).

5 Mediante la aplicación de la presión de permeado de la etapa de separación de retenido (2) en función del caudal de la primera corriente de retenido (7) se puede determinar entonces una curva de calibración con el fin de mantener constante la concentración de gas producto cuando se modifique la cantidad de alimentación de la etapa de separación de retenido (2), p. ej., mediante una modificación del número de revoluciones del compresor o mediante una modificación en la composición del gas bruto (véase la Figura 4).

10 Como se puede deducir de la Figura 4, se obtienen puntos de medición con una composición lineal de buena correlación. Esta relación puede utilizarse entonces con el fin de emplear un control de la instalación de acuerdo con la invención. Este control determina, después de la determinación de un valor de flujo de la primera corriente de retenido (7) medido mediante un caudalómetro (20a), mediante el cálculo de la presión de permeado según la ecuación lineal en la Figura 4, la presión de permeado necesaria en la etapa de separación de retenido (2) con el fin
15 de mantener constante la concentración de gas producto. Esta presión se ajusta entonces de manera correspondiente con un dispositivo de control (18) en la segunda corriente de permeado.

Análogamente, mediante el registro de la presión de retenido de la etapa de separación de permeado (3) en función de la cantidad de la primera corriente de permeado (6) se obtiene también una curva de calibrado con el fin de mantener constante la concentración de gas de escape en la corriente de permeado (11) cuando se modifica la
20 cantidad de alimentación en la etapa de separación de permeado (3), es decir, la primera corriente de permeado (6), p. ej., mediante una modificación del número de revoluciones del compresor o mediante una modificación en la composición del gas bruto (véase la Figura 5).

En la Figura 5 se obtienen también puntos de medición con una composición lineal de buena correlación. Esta relación puede aprovecharse entonces análogamente al modo de proceder arriba descrito para la etapa de separación de retenido (2), con el fin de ser empleada en un control de la instalación de acuerdo con la invención. En este caso, primeramente se determina el valor de flujo de la primera corriente de permeado (6), medida mediante un caudalómetro (21a) y, a partir de la ecuación lineal en la Figura 5, se determina la presión de retenido necesaria en la etapa de separación de permeado (3) y mediante el dispositivo de control (19) se ajusta en la tercera corriente de retenido (10), con el fin de mantener constante la concentración de gas de escape en la corriente de permeado
30 (11).

Ejemplo 2:

Se ha de verificar si mediante una modificación de la presión de retenido de la etapa de separación de permeado (3) mediante el dispositivo de control (19) en la tercera corriente de retenido (10) se alcanza una modificación de la concentración de metano en el gas de escape de la instalación (tercera corriente de permeado (11)) y se puede
35 obtener una curva de calibración. Si en el caso de una medición de la concentración del gas de escape se manifestara una modificación, entonces podría adaptarse el contenido de metano en el gas de escape mediante la ayuda de esta relación de calibración.

Para este fin, con un número de revoluciones constante del compresor se modificó la presión de retenido de la etapa de separación de permeado (3) mediante un dispositivo de control (19) en la tercera corriente de retenido (10) y se midió la concentración de metano que se modifica en este caso en la tercera corriente de permeado (11) (gas de escape). También se registraron los caudales de la instalación. Los valores están representados en la Tabla 2.
40

Tabla 2:

Potencia del compresor [%]	Flujo corriente de alimentación (5) [m ³ /h]	Presión corriente de perm. (10a) (bara)	Presión corriente de perm. (9a) (mbara)	c(CH4) corriente de perm. (11) [%]	Flujo corriente de ret. (8) [m ³ /h]	Flujo corriente de perm. (9a) [m ³ /h]	Flujo corriente de perm. (6) [m ³ /h]	Flujo corriente de perm. (11) [m ³ /h]	Flujo corriente de ret. (7) calculado [m ³ /h]	Compresión doble
60	3,3	3,5	950	0,99	1,494	0,47	1,37	1,166	1,964	24,1%
60	3,3	3,4	950	0,94	1,482	0,456	1,399	1,147	1,938	25,5%
60	3,3	3,3	950	0,88	1,462	0,44	1,434	1,122	1,902	27,7%
60	3,3	3,2	950	0,82	1,44	0,427	1,464	1,09	1,867	30,4%
60	3,3	3,1	950	0,76	1,406	0,409	1,509	1,062	1,815	33,7%
60	3,3	3	950	0,69	1,375	0,394	1,555	1,027	1,769	37,4%
60	3,3	2,9	950	0,63	1,347	0,38	1,596	0,986	1,727	41,4%
60	3,3	2,8	950	0,56	1,283	0,36	1,663	0,955	1,643	47,5%
60	3,3	2,7	950	0,5	1,247	0,345	1,713	0,911	1,592	52,9%
60	3,3	2,6	950	0,44	1,177	0,33	1,789	0,868	1,507	61,4%

5 Como muestra la Tabla 2, la concentración de metano aumenta en la corriente de gas de escape (11) mediante el aumento de la presión de retenido en la etapa de separación de permeado (3). Esto se puede ver gráficamente en la Figura 6. La dependencia es en este caso lineal con muy buena correlación. Esta curva puede utilizarse como curva de calibración para un control. Mediante el empleo de la concentración de metano deseada en la ecuación en la Figura 6, puede determinarse la presión de retenido requerida para ello.

Es de señalar de manera interesante que se representa gráficamente en la Figura 7 la tasa de compresión doble fuertemente creciente en el caso de una presión de retenido decreciente de la etapa de separación de permeado (3) y, con ello, de una concentración de metano decreciente en el gas de escape.

10 **Ejemplo 3:**

Mediante una modificación de la presión de permeado de la etapa de separación de retenido (2) mediante un dispositivo de control (18) en la segunda corriente de permeado (9a) se puede alcanzar una modificación de la concentración de metano en el gas de producto de la instalación (= segunda corriente de retenido (8)). Si en el caso de una medición de la concentración del gas producto se manifestara una modificación, entonces mediante ayuda de esta relación de calibración se puede adaptar el contenido de metano en el gas producto.

Para este fin, en el caso de un número de revoluciones del compresor constante se modificó la presión de permeado de la etapa de separación de retenido (2) y se midió la concentración de metano que se modifica en este caso en el gas producto. Los valores se representan en la Tabla 3.

Tabla 3:

Presión de permeado etapa 2 [bara]	c(CH ₄) en la corriente de retenido (8) [%]
1,005	96,44
0,95	96,77
0,9	97,03
0,85	97,23
0,8	97,48
0,75	97,68
0,7	97,93
0,65	98,14
0,6	98,34
0,55	98,55
0,5	98,80
0,445	99,07
0,4	99,28
0,35	99,47
0,3	99,59
0,284	99,66

20 Como se puede ver, la concentración de metano aumenta en el gas producto (8) mediante la reducción de la presión de permeado en la etapa de separación de retenido (2). Esto se puede ver gráficamente en la Figura 8. La dependencia es en este caso lineal con muy buena correlación. Esta curva puede utilizarse como curva de calibración para una dispersión.

25 Mediante el empleo de la concentración de metano deseada en la ecuación, en el diagrama 5 puede determinarse la presión de permeado requerida para ello.

Descripción de las Figuras

- Fig. 1: Conexión de acuerdo con la invención a modo de ejemplo con los dispositivos de medición (20a) y (20b), (21a) y (21b), (22) y (23), así como los dispositivos de control (18) y (19). El dispositivo de control en la corriente de gas bruto (17), así como los dispositivos de control y de tratamiento de datos, no se muestran. A partir de la relación global de la descripción, se deduce sin embargo claramente su disposición y aplicación. En la Figura 1 se muestra una disposición de acuerdo con la invención con el retorno de las corrientes (9b) y (10b) al lado de aspiración del compresor. Disposiciones alternativas explicadas en la descripción que antecede, tales como, p. ej., el retorno de una o varias de las corrientes (9b) o (10b) en una etapa de compresión elevada del compresor (4) o sin los dispositivos de medición (22) y (23) o solo con una parte de los dispositivos de medición (20a) y (20b) y (21a) y (21b) se pueden deducir fácilmente como modificación de la Figura 1 por un experto en la materia y, por lo tanto, no se muestran por separado. La Figura 1 sirve únicamente para la explicación de la presente invención y no limita de modo alguno su alcance de protección.
- Fig. 2: Se muestra la presión de permeado necesaria de la etapa de separación de retenido (2) en función del caudal de la primera corriente de retenido (7) para alcanzar una calidad de retenido de 98,3% del componente B en la segunda corriente de retenido (8) y de 0,7% del componente B en la tercera corriente de permeado (11). La relación superficial elegida de las membranas en las etapas de separación de membrana era como sigue: etapa 1: etapa 2: etapa 3 = 2:2:3. Se presentan tres curvas para diferentes concentraciones del componente B (en este caso, CH₄) de 45, 55 y 65% en la corriente de gas bruto (17).
- Fig. 3: Se muestra la presión necesaria de retenido de la etapa de separación de permeado (3) en función del caudal de la primera corriente de permeado (6) para alcanzar una calidad de retenido de 98,3% del componente B en la segunda corriente de retenido (8) y de 0,7% del componente B en la tercera corriente de permeado (11). La relación superficial elegida de las membranas en las etapas de separación de membrana era como sigue: etapa 1: etapa 2: etapa 3 = 2:2:3. Se representan tres curvas para diferentes concentraciones del componente B (en esta caso, CH₄) de 45, 55 y 65% en la corriente de gas bruto (17) que se prolongan una dentro de otra.
- Fig. 4: Dependencia de la presión de permeado de la etapa de separación de retenido (2) de la cantidad de gas de alimentación de la etapa de separación de retenido (2) para mantener constante la calidad del gas producto.
- Fig. 5: Dependencia de la presión de retenido de la etapa de separación de permeado (3) de la cantidad de gas de alimentación de la etapa de separación de permeado (3) para mantener constante la calidad del gas de escape.
- Fig. 6: Dependencia de la concentración de metano en el gas de escape (11) de la presión de retenido de la etapa de separación de permeado (3).
- Fig. 7: Dependencia de la tasa de reciclaje del contenido de metano en el permeado (11) de la etapa de separación de permeado (3).
- Fig. 8: Dependencia de la concentración de metano en el gas producto (8) de la presión de permeado de la etapa de separación de retenido (2).

Lista de símbolos de referencia:

- 1: etapa de separación de la corriente de alimentación
 2: etapa de separación de retenido
 3: etapa de separación de permeado
 4: compresor mono-etapa o multi-etapa
 5: corriente de alimentación
 6: primera corriente de permeado
 7: primera corriente de retenido
 8: segunda corriente de retenido
 9: segunda corriente de permeado consistente en las corrientes parciales 9a, entre el dispositivo de control 18 y la etapa de separación de retenido 2, y 9b aguas abajo del dispositivo de control 18
 10: tercera corriente de retenido consistente en las corrientes parciales 10a, entre el dispositivo de control 19 y la etapa de separación de permeado 3, y 10b aguas abajo del control de control 19
 11: tercera corriente de permeado

ES 2 746 099 T3

- 12: válvula reductora de la presión opcional en la primera corriente de retenido 7 (no representada en las figuras)
- 13: válvula reductora de la presión opcional en la segunda corriente de retenido 8 (no representada en las figuras)
- 5 14: válvula reductora de la presión opcional en la tercera corriente de retenido 10 (no representada en las figuras)
- 15: bomba de vacío (no representada en los dibujos)
- 16: cámara de mezcladura (no representada en los dibujos)
- 17: corriente de gas bruto
- 10 18: dispositivo de control de permeado en la 2ª corriente de permeado (en la memoria descriptiva, designado también simplemente como dispositivo de control 18)
- 19: dispositivo de control de retenido en la 3ª corriente de retenido (en la memoria descriptiva, designado también simplemente como dispositivo de control 19)
- 15 20a: 1^{er} dispositivo medidor de retenido para el análisis de la 1ª corriente de retenido (en la memoria descriptiva designado también simplemente como dispositivo de medición 20a)
- 20b: 2º dispositivo medidor de retenido para el análisis de la 2ª corriente de retenido (en la memoria descriptiva designado también simplemente como dispositivo de medición 20b)
- 21a: 1^{er} dispositivo medidor de permeado para el análisis de la 1ª corriente de permeado (en la memoria descriptiva designado también simplemente como dispositivo de medición 21a)
- 20 21b: 2º dispositivo medidor de permeado para el análisis de la 3ª corriente de permeado (en la memoria descriptiva designado también simplemente como dispositivo de medición 21b)
- 22: 3^{er} dispositivo medidor de permeado para el análisis de la 2ª corriente de permeado (en la memoria descriptiva designado también simplemente como dispositivo de medición 22)
- 23: 3^{er} dispositivo medidor de retenido para el análisis de la 3ª corriente de retenido (en la memoria descriptiva designado también simplemente como dispositivo de medición 23)
- 25 24: dispositivo de control del compresor (no reproducido en las figuras)
- 25: dispositivo de control del gas bruto para el control de la corriente de gas bruto (17) (no reproducido en las figuras)

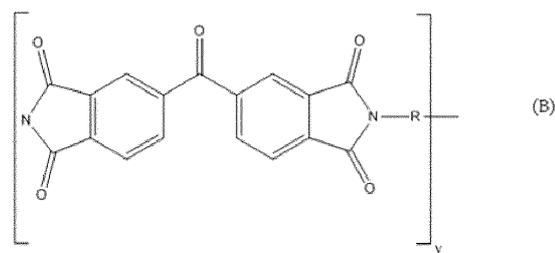
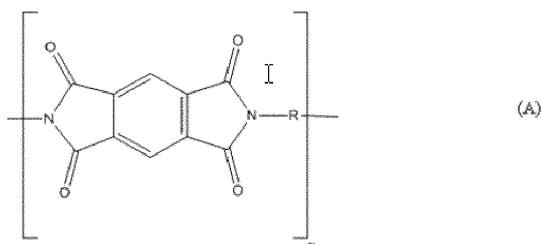
REIVINDICACIONES

1. Dispositivo para la separación de gases que comprende como etapas de separación de membrana al menos la etapa de separación de la corriente de alimentación (1), la etapa de separación de retenido (2) y la etapa de separación de permeado (3), así como al menos un compresor (4) dispuesto en el lado de alimentación de la etapa de separación de la corriente de alimentación (1) y/o al menos una, preferiblemente una o dos bombas de vacío, dispuestas preferiblemente en el lado de permeado de la etapa de separación de retenido (2) en la segunda corriente de permeado (9a + 9b) y/o en el lado de permeado de la etapa de separación de permeado (3) en la tercera corriente de permeado (11), en donde
- la etapa de separación de la corriente de alimentación (1) separa una corriente de alimentación (5) consistente en al menos dos componentes, en una primera corriente de permeado (6) y una primera corriente de retenido (7),
- la etapa de separación de retenido (2) divide la primera corriente de retenido (7) en una segunda corriente de permeado (9a + 9b) y divide una segunda corriente de retenido (8), la cual es retirada como producto o se continúa elaborando, y la segunda corriente de permeado es aportada a la corriente de alimentación (5),
- la etapa de separación de permeado (3) divide a la primera corriente de permeado (6) en una tercera corriente de retenido (10a + 10b) y en una tercera corriente de permeado (11), la cual se retira o se continúa elaborando o se desecha como producto, y la tercera corriente de retenido se aporta a la corriente de alimentación (5),
- caracterizado por que
- la segunda corriente de permeado (9a + 9b) comprende al menos un dispositivo de control de permeado (18) con el que se puede aumentar o reducir la presión de permeado de la etapa de separación de retenido (2) y que, con ayuda de valores de medición de uno o varios dispositivos de medición (20a) es controlada en la primera corriente de retenido (7) y/o de uno o varios dispositivos de medición (20b) es controlada en la segunda corriente de retenido (8), para la determinación de la composición de la mezcla gaseosa respectiva, y la segunda corriente de permeado (9b) es aportada a la corriente de alimentación (5) detrás del dispositivo de control de permeado (18)
 - y
 - la tercera corriente de retenido (10a + 10b) comprende al menos un dispositivo de control de retenido (19) con el que se puede aumentar o disminuir la presión de retenido de la etapa de separación de permeado (3) y que puede ser controlada con ayuda de valores de medición de uno o varios dispositivos de medición (21a) en la primera corriente de permeado (6) y/o de uno o varios dispositivos de medición (21b) en la tercera corriente de permeado (11), para la determinación de la composición de la respectiva mezcla gaseosa.
2. Dispositivo según la reivindicación 1, caracterizado por que la primera corriente de permeado (6) no se somete a recompresión y/o al menos una de las etapas de separación de membrana (1) a (3) comprende más de un módulo de membrana de separación de gases que están conectados en paralelo y/o en serie, y/o el/los módulo(s) de membrana de separación de gases se compone(n) de membranas de fibras huecas y/o de membranas planas.
3. Dispositivo según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que la segunda corriente de permeado (9b) y la tercera corriente de retenido (10b) son conducidas al lado de aspiración del compresor (4) y/o por que se utiliza un compresor (4) multi-etapa, en donde preferiblemente la segunda corriente de permeado (9b) y/o la tercera corriente de retenido (10b) es/son introducida(s) en el compresor (4) entre dos etapas de compactación, y/o por que el compresor (4) está dispuesto en el dispositivo de tal modo que genera una caída de presión en la corriente de alimentación (1).
4. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que el dispositivo comprende un dispositivo de control (24) que adapta la potencia del compresor (4), preferiblemente su número de revoluciones, a las variaciones de la segunda corriente de permeado (9b) y/o de la tercera corriente de retenido (10b) y/o de la corriente de gas bruto (17), en donde la corriente de gas bruto representa una corriente a base de al menos dos gases la cual es aportada al dispositivo de acuerdo con la invención para ser separados allí y que es aportada a la corriente de alimentación (5) junto con la segunda corriente de permeado (9b) y la corriente de retenido (10b), y/o por que el dispositivo está configurado de manera que cantidades variables de gas retornado de la segunda corriente de permeado (9b) y/o de la tercera corriente de retenido (10b) son compensadas preferiblemente de forma automática con una regulación de la cantidad aportada de gas bruto, preferiblemente a través del dispositivo de control del gas bruto (25), preferiblemente sin modificar el número de revoluciones del compresor (4).

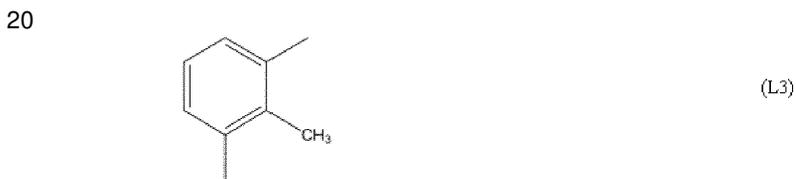
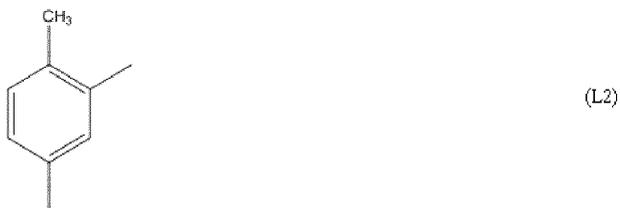
5. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que en la segunda corriente de retenido (8) y/o en la tercera corriente de permeado (11) se utiliza un dispositivo de medición (20b) y/o (21b) en línea o fuera de línea para la determinación de la composición de la mezcla gaseosa respectiva.

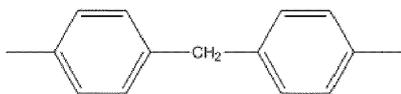
5 6. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que como materiales para la capa de separación activa de las membranas se utilizan materiales sintéticos amorfos o parcialmente cristalinos, tales como, por ejemplo, pero no de forma exclusiva, poliimididas, poliamidas, polisulfonas, acetatos de celulosa y derivados, poli(óxidos de fenileno), polisiloxanos, polímeros con una microporosidad intrínseca, membranas de matriz mixta, membranas de transporte facilitado, poli(óxidos de etileno), poli(óxidos de propileno) o mezclas de los mismos.

10 7. Dispositivo según la reivindicación 6, caracterizado por que como material para la capa de separación activa de las membranas se utiliza una poliimida de la fórmula general



15 con $0 \leq x \leq 0,5$ y $1 \geq y \geq 0,5$ y R corresponde a uno o varios radicales R iguales o diferentes, elegidos del grupo consistente en los radicales L1, L2, L3 y L4





(L4)

preferiblemente una poliimida con el N° CAS 9046-51-9 y/o una poliimida con el N° CAS 134119-41-8.

8. Procedimiento para el control de una instalación de separación de gases según una de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado por que

- i. cuando la concentración de un componente B que permea con mayor dificultad, eventualmente también determinada mediante un parámetro que se correlaciona con ello, de la segunda corriente de retenido (8) cae por debajo de un valor nominal predeterminado, la presión de la segunda corriente de permeado (9a) se reduce, por lo tanto, mediante el dispositivo de control de permeado (18) hasta que dicha concentración o bien parámetro se encuentre de nuevo en el intervalo nominal,
- ii. cuando la concentración de un componente B que permea con mayor dificultad, eventualmente también determinada mediante un parámetro que se correlaciona con ello, de la segunda corriente de retenido (8) aumenta por encima de un valor nominal predeterminado, la presión de la segunda corriente de permeado (9a) se aumenta mediante el dispositivo de control del permeado (18) hasta que dicha concentración o bien parámetro se encuentre de nuevo en el intervalo nominal,

y

- iii. cuando la concentración de un componente B que permea con mayor dificultad, eventualmente también determinada mediante un parámetro que se correlaciona con ello, de la tercera corriente de permeado (11) cae por debajo de un valor nominal predeterminado, la presión de la tercera corriente de retenido (10a) se aumenta mediante el dispositivo de control del retenido (19) hasta que dicha concentración o bien parámetro se encuentre de nuevo en el intervalo nominal,

- iv. cuando la concentración de un componente B que permea con mayor dificultad, eventualmente también determinada mediante un parámetro que se correlaciona con ello, de la tercera corriente de permeado (11) aumenta por encima de un valor nominal predeterminado, la presión de la tercera corriente de retenido (10a) se reduce mediante el dispositivo de control de retenido (19) hasta que dicha concentración o bien parámetro se encuentre de nuevo en el intervalo nominal.

9. Procedimiento según la reivindicación 8, caracterizado por que la determinación de la concentración tiene lugar en línea y/o fuera de línea.

10. Procedimiento para el control de una instalación de separación de gases según una de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado por que

- v. cuando el caudal de la primera corriente de retenido (7) aumenta, la presión de la segunda corriente de permeado (9a) se reduce por medio del dispositivo de control de permeado (18) hasta que una propiedad, correlacionada con ayuda de una curva de calibración con el caudal de la primera corriente de retenido (7), de la segunda corriente de retenido (8), preferiblemente la composición de la segunda corriente de retenido (8) se encuentre de nuevo en el intervalo nominal,

- vi. cuando desciende el caudal de la primera corriente de retenido (7), la presión de la segunda corriente de permeado (9a) aumenta por medio del dispositivo de control de permeado (18) hasta que una propiedad, correlacionada con ayuda de una curva de calibración con el caudal de la primera corriente de retenido (7), de la segunda corriente de retenido (8), preferiblemente la composición de la segunda corriente de retenido (8) se encuentre de nuevo en el intervalo nominal,

y/o

- vii. cuando aumenta el caudal de la primera corriente de permeado (6), la presión de la tercera corriente de retenido (10a) aumenta por medio del dispositivo de control de retenido (19) hasta que una propiedad, correlacionada con ayuda de una curva de calibración con el caudal de la primera corriente de permeado (6), de la tercera corriente de permeado (11), preferiblemente la composición de la tercera corriente de permeado (11), se encuentre de nuevo en el intervalo nominal,

- viii. cuando disminuye el caudal de la primera corriente de permeado (6), la presión de la tercera corriente de retenido (10a) aumenta por medio del dispositivo de control de retenido (19) hasta que una propiedad, correlacionada con ayuda de una curva de calibración con el caudal de la primera corriente de permeado (6), de la tercera corriente de permeado (11), preferiblemente la composición de la tercera corriente de permeado (11), se encuentre de nuevo en el intervalo nominal.

11. Procedimiento según la reivindicación 10, caracterizado por que la regulación tiene lugar según una curva de calibración que contiene una correlación entre el flujo y la presión para el mantenimiento de una concentración en otra corriente gaseosa.

- 5 12. Procedimiento según una de las reivindicaciones 8 a 11, caracterizado por que la caída de presión a través de la corriente de alimentación (1) se limita a 1 hasta 30 bares, preferiblemente a 2 hasta 20 bares y, de manera particularmente preferida, a 3 y 10 bares, y/o por que la caída de presión se ajusta a través de la etapa de separación de la corriente de alimentación (1) y de la etapa de separación de retenido (2) a 1 hasta 100 bares, preferiblemente a 5 hasta 80 bares y de manera particularmente preferida a 10 hasta 70 bares.
- 10 13. Procedimiento según una de las reivindicaciones 8 a 12, caracterizado por que como fuerza impulsora para la misión de separación pasa a emplearse una diferencia de la presión parcial entre el lado de retenido y el lado de permeado en las respectivas etapas de separación de membrana, en donde la diferencia de presión parcial se genera mediante un compresor (4), el cual está dispuesto en el lado de alimentación de la etapa de separación de la corriente de alimentación (1) y eventualmente mediante al menos una, preferiblemente una o dos bombas de vacío en la segunda y/o tercera corriente de permeado (9a + 9b) y/u (11) y/o mediante una corriente de gas de arrastre del lado de permeado, y/o por que la presión del permeado de la etapa de separación de la corriente de alimentación (1) es igual o está incrementada con respecto a la presión del entorno, de modo que existe todavía una diferencia de presión parcial entre el retenido y el permeado de la etapa de separación de permeado (3) y, con ello, se da una fuerza impulsora para el caso de que el permeado de la etapa de separación de permeado (3) esté a la presión del entorno o se aplique una depresión.
- 15 14. Procedimiento según una de las reivindicaciones 8 a 13, caracterizado por que mediante un dispositivo de control (24) se adapta la potencia del compresor (4), preferiblemente su número de revoluciones, a las modificaciones de la segunda corriente de permeado (9b) y/o de la tercera corriente de retenido (10b) y/o de la corriente de gas bruto (17), o por que se compensan cantidades variables de gas retornado de la segunda corriente de permeado (9b) y/o de la tercera corriente de retenido (10b), preferiblemente de forma automática, con una regulación de la cantidad aportada de gas bruto, preferiblemente a través del dispositivo de control de gas bruto (25), preferiblemente sin modificar el número de revoluciones del compresor, o por que la potencia de la instalación de acuerdo con la invención se aumenta o reduce mediante una modificación del volumen de transporte del compresor (4), se contrarresta una modificación, provocada por ella, de la concentración del componente B que permea con mayor dificultad en la segunda corriente de retenido (8) de acuerdo con las alternativas i o bien ii del procedimiento, y/o en donde se contrarresta una modificación, provocada por ella, de la concentración del componente B que permea con mayor dificultad en la tercera corriente de permeado (11) de acuerdo con las alternativas iii o bien iv del procedimiento, y/o se contrarresta una modificación, provocada por ella, del flujo de la primera corriente de retenido (7) de acuerdo con las alternativas v o bien vi del procedimiento, y/o se contrarresta una modificación, provocada por ella, del flujo de la primera corriente de permeado (6) de acuerdo con las alternativas vii o bien viii del procedimiento.
- 20 25 30 15. Procedimiento según una de las reivindicaciones 8 a 14, caracterizado por que se lleva a cabo en el marco del funcionamiento de una instalación de biogás, preferiblemente determinado a través de la presión del fermentador o del nivel de un acumulador intermedio, se controla el número de revoluciones del compresor y, con ello, el volumen de transporte del compresor (4), con el fin de modificar o mantener constante el nivel en el fermentador y/o el acumulador intermedio, por que como mezcla gaseosa se utiliza una mezcla de predominantemente, pero no de forma exclusiva, dióxido de carbono y metano o, predominantemente, pero no de forma exclusiva hidrógeno y metano o, predominantemente, pero no de forma exclusiva monóxido de carbono e hidrógeno o biogás bruto o gas natural bruto.
- 35 40 45 50 16. Procedimiento según una de las reivindicaciones 8 a 15, caracterizado por que al menos en la etapa de separación de la corriente de alimentación (1), pero preferiblemente en las tres etapas de separación de membrana (1) a (3), se utilizan módulos de membrana de separación de gases con una selectividad de gases mixtos CO₂/CH₄ de al menos 30, preferiblemente al menos 35, de manera particularmente preferida al menos 40 y de manera muy particularmente preferida al menos 45, y/o por que el volumen de gas retornado en la segunda corriente de permeado (9b) y en la tercera corriente de retenido (10b) asciende en suma a menos de 60% en vol. del volumen de la corriente de gas bruto (17), y/o por que se aumenta la concentración de al menos un gas de permeado de la etapa de separación de la corriente de alimentación (1) tras el retorno de la segunda corriente de permeado (9b) y de la tercera corriente de retenido (10b) en la corriente de alimentación (5), preferiblemente en al menos 2%, de manera particularmente preferida en al menos 3% y de manera particularmente preferida en un 3 a 40%, en cada caso en comparación con la concentración en la corriente de gas bruto (17).
17. Instalación de biogás que comprende un dispositivo según una de las reivindicaciones 1 a 7.

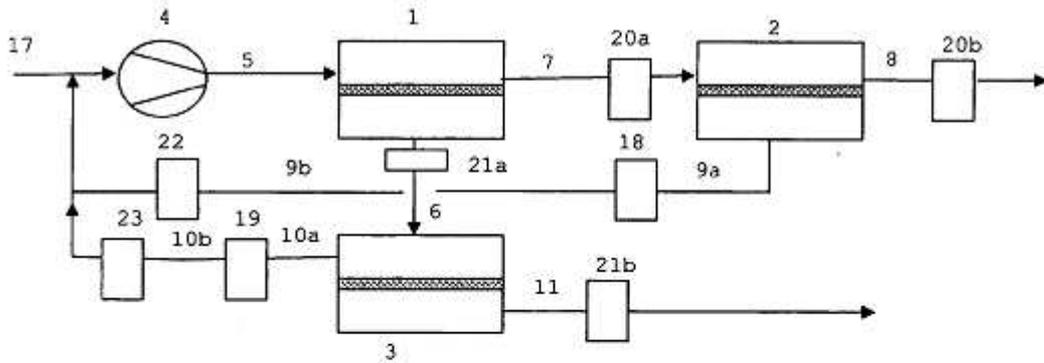


Figura 1

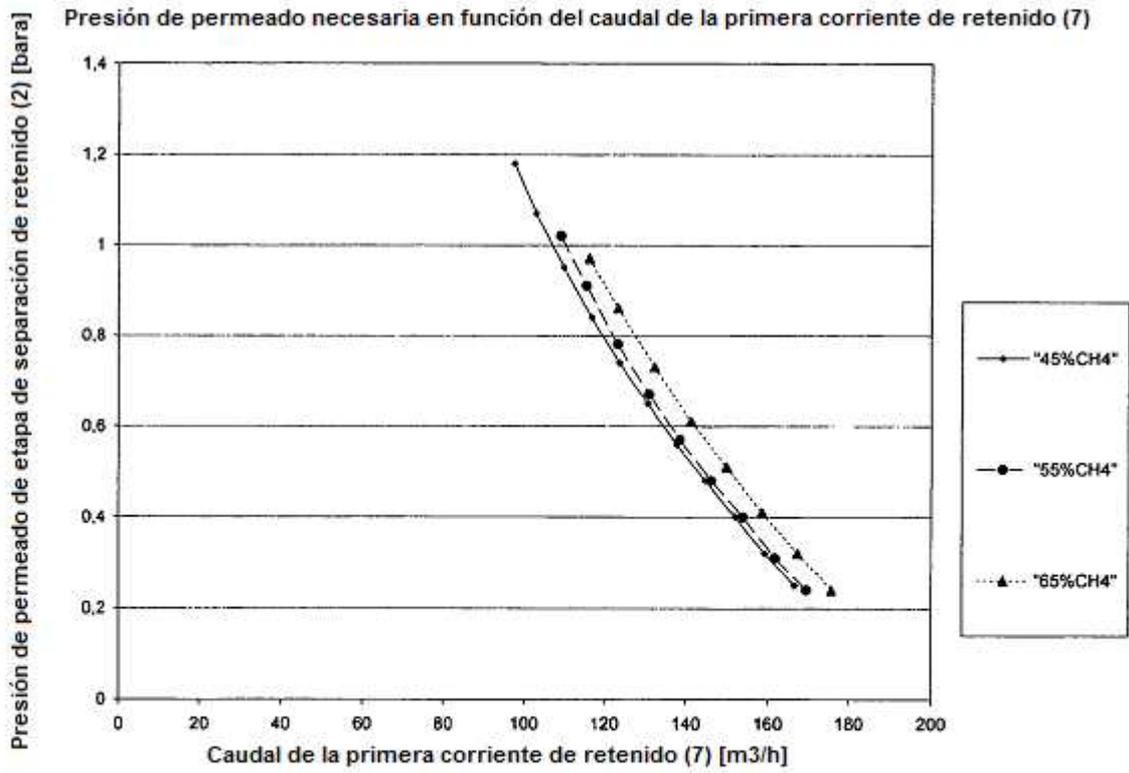


Figura 2

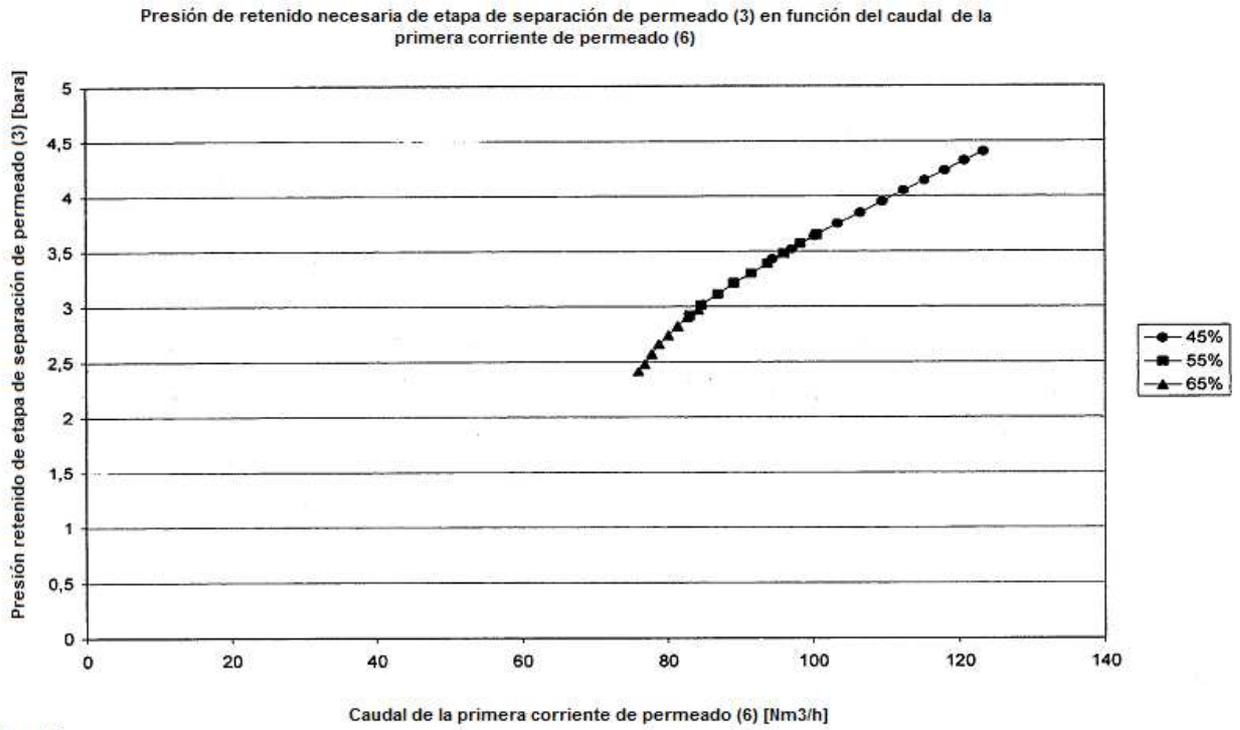


Figura 3

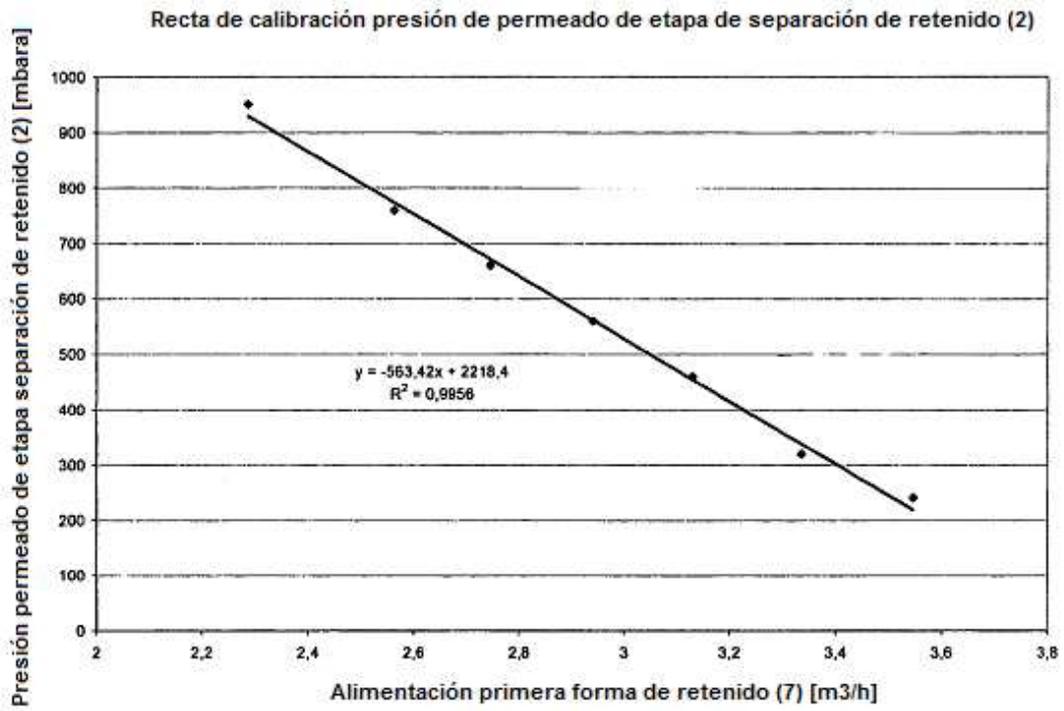


Figura 4

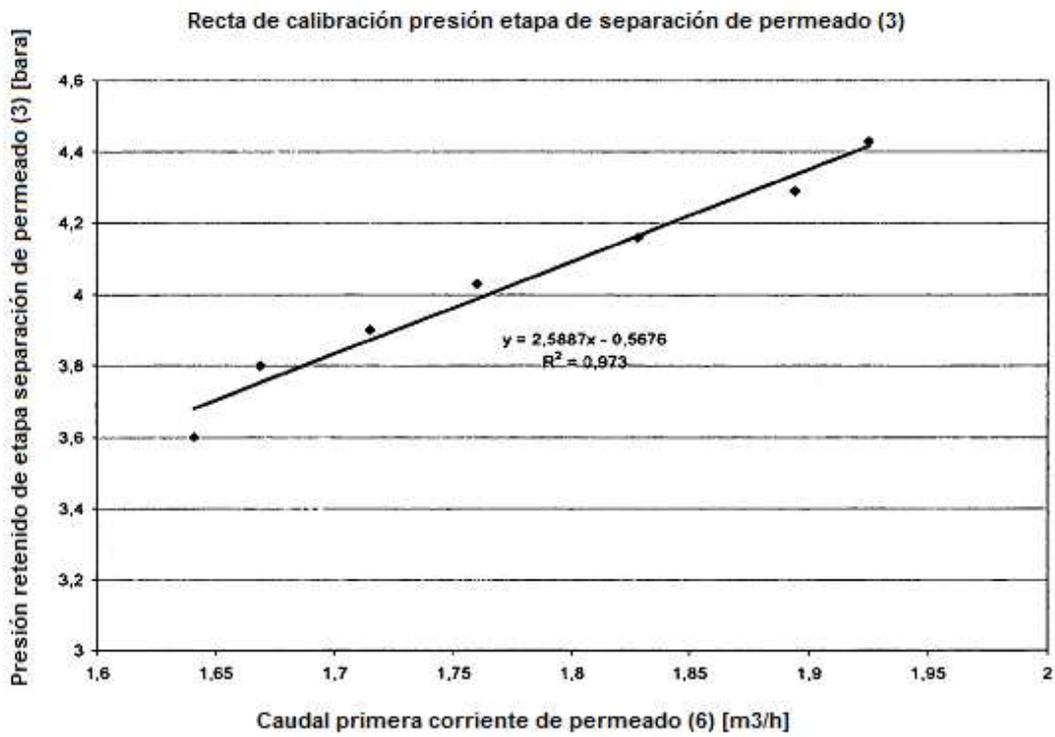


Figura 5

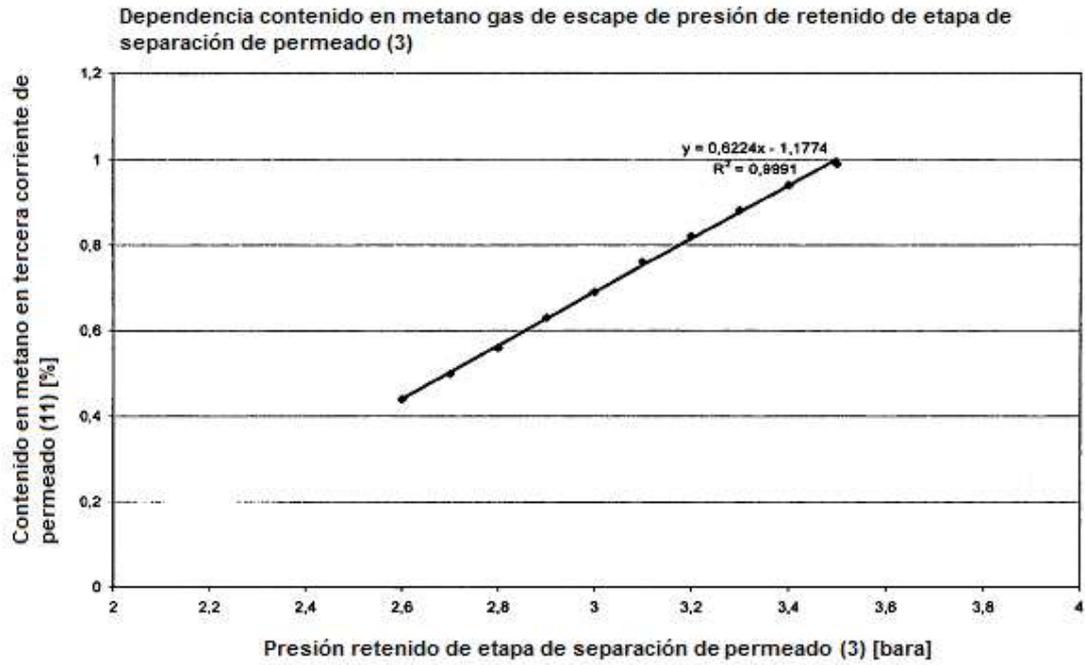


Figura 6

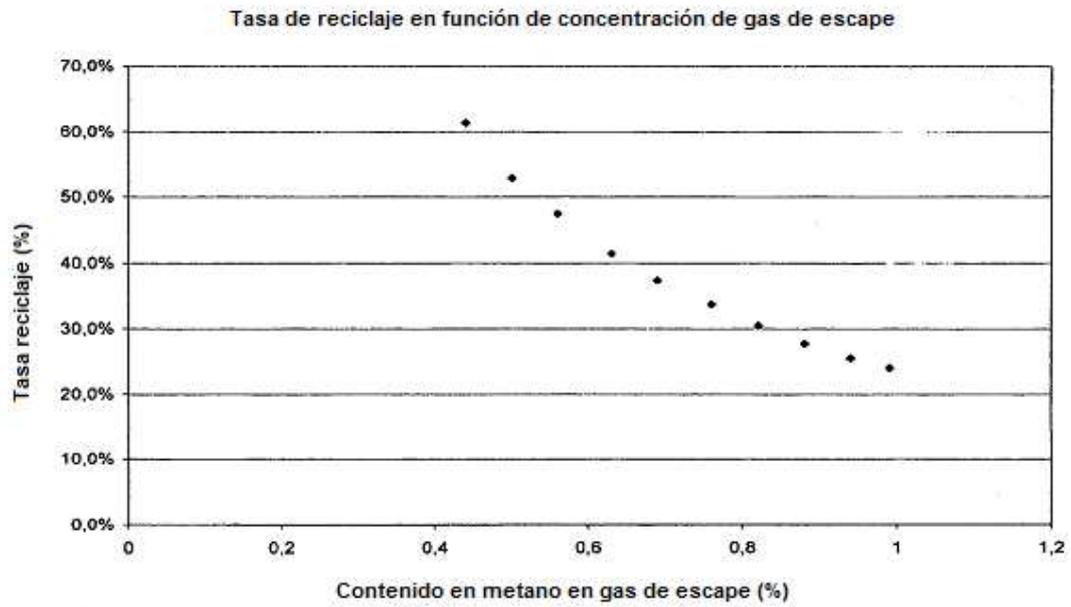


Figura 7

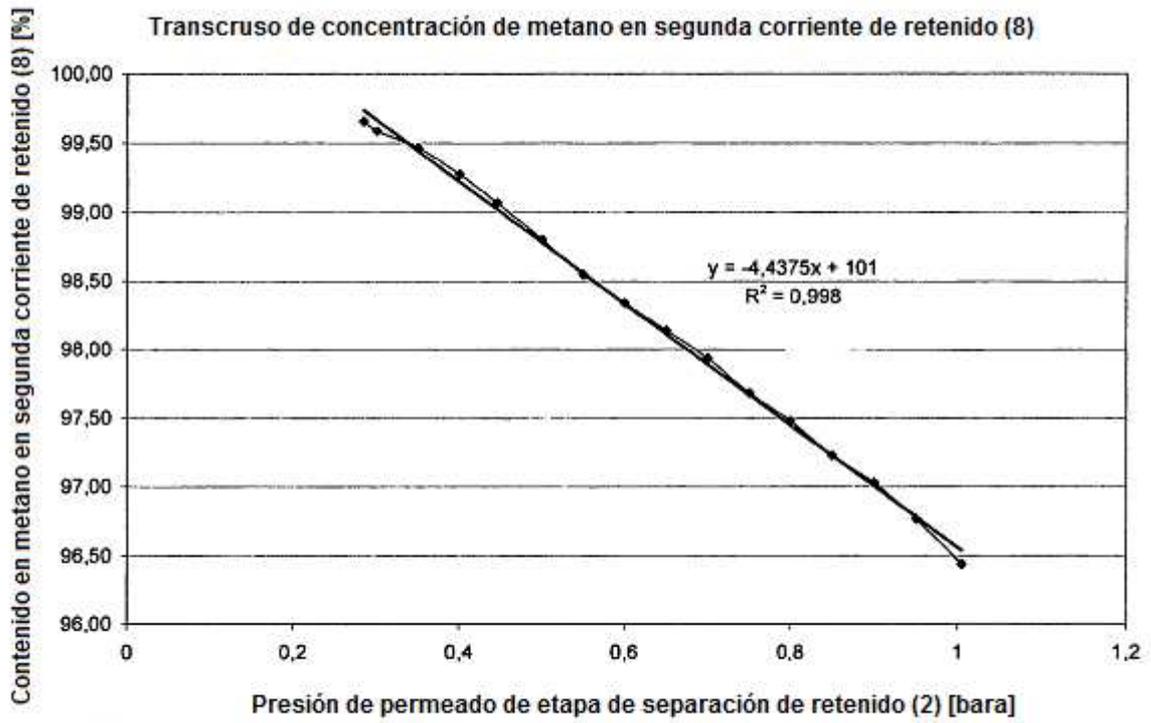


Figura 8