



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 358 668**

51 Int. Cl.:

B01D 65/08 (2006.01)

B01D 65/02 (2006.01)

B01D 65/06 (2006.01)

C02F 3/06 (2006.01)

B01D 63/02 (2006.01)

C02F 1/44 (2006.01)

B01F 3/04 (2006.01)

B01F 13/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **03813834 .3**

96 Fecha de presentación : **18.12.2003**

97 Número de publicación de la solicitud: **1585590**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **19.10.2005**

54 Título: **Procedimiento para la limpieza y el mantenimiento de una superficie de membrana durante la filtración.**

30 Prioridad: **19.12.2002 US 435573 P**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
12.05.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
12.05.2011

73 Titular/es: **HYDRANAUTICS**
401 Jones Road
Oceanside, California 92054, US

72 Inventor/es: **Murkute, Pravin y**
Tvaruzek, P.

74 Agente: **Zuazo Araluze, Alexander**

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

Procedimientos para la limpieza y el mantenimiento de una superficie de membrana durante la filtración.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

- 5 La incrustación de las superficies de membrana durante la filtración con membrana provoca con frecuencia una disminución en la producción de agua filtrada. Por consiguiente, tradicionalmente se emplean diversos medios para mantener limpias las superficies de membrana y para reducir las tasas de incrustación. La mayoría de las técnicas de limpieza de membranas conocidas emplean el principio de aumentar el flujo transversal, es decir, el flujo en una dirección tangencial, del líquido que va a filtrarse respecto a la superficie de membrana que va a limpiarse. El aumento de flujo transversal provoca flujo turbulento y aumenta los esfuerzos cortantes a través de la superficie de membrana, desplazando de ese modo los sólidos acumulados sobre la superficie.
- 10 La eficacia de limpieza usando filtración de flujo transversal puede mejorarse adicionalmente si el flujo transversal consiste en una mezcla bifásica continua o cíclica de gas y líquido, con el gas dispersado en la fase líquida en forma de burbujas de gas cuyo tamaño oscila desde aproximadamente 0,1 mm hasta 10 mm. Por ejemplo, la aplicación de mezclas de gas-líquido bifásicas continuas se ilustra en el sistema de membrana sumergido descrito en la patente estadounidense n.º 5.639.373. El flujo bifásico provoca turbulencia adicional y agita mecánicamente la superficie de membrana, dando como resultado un aumento del esfuerzo cortante a través de la superficie de membrana debido al aumento de la velocidad relativa entre la superficie de membrana y el líquido que va a filtrarse. Como resultado, aumenta la eficacia de limpieza de la superficie de membrana.
- 15 Alternativamente, el flujo de gas-agua bifásico cíclico descrito en la patente estadounidense n.º 6.245.239 aumenta la eficacia de limpieza de las membranas permitiendo que el líquido que va a filtrarse se acelere o decelere cíclicamente, evitando por tanto zonas muertas en la masa de líquido, que son comunes en el flujo de gas-agua bifásico continuo. Las membranas pueden limpiarse también mediante la aplicación de impulsos de presión inyectados y ultrasonidos de baja frecuencia (Cheryan M.: Ultrafiltration and Microfiltration Handbook (1998) y Water Treatment Membrane Processes, Joel Mallevialle, Ed. (1996)). Todos estos procedimientos de limpieza son ventajosos porque pueden realizarse sin la necesidad de interrumpir el procedimiento de filtración con membrana.
- 20 Por el contrario, la limpieza de membranas usando retrolavado requiere que el procedimiento de filtración se interrumpa. El retrolavado implica bombear una corriente de permeado (líquido filtrado) a través de la pared de la membrana en sentido opuesto al sentido de flujo durante la filtración, desplazando de ese modo las partículas depositadas sobre la superficie de membrana. Para el retrolavado también puede usarse aire en lugar de permeado, tal como se describe por ejemplo en la patente estadounidense n.º 6.159.373 o el documento US-A-4.767.539.
- 25 El documento US 6.245.239 B1 enseña un sistema de aireación para agitar una membrana filtrante con el fin de eliminar partículas del lado externo (lado del sustrato) de la membrana. El sistema usa impulsos de gas, que se aplican al sustrato que va a filtrarse, siendo los impulsos de gas individuales preferiblemente de más de 10 segundos, seguido por intervalos sin impulsos de igual duración.
- 30 El documento US 2001/027951 A1 da a conocer un aireador para limpiar la superficie externa de una membrana filtrante con impulsos de gas repetidos que tienen dos velocidades de flujo diferentes simultáneamente con la filtración. Las velocidades de flujo se varían en ciclos repetidos, ciclos que son de entre 10 segundos y 60 segundos de duración.
- 35 Estos procedimientos conocidos para la limpieza y/o el mantenimiento de superficies de membrana limpias tienen varias desventajas. Por ejemplo, una desventaja de aumentar la turbulencia y el esfuerzo cortante a través de una superficie de membrana aumentando la velocidad relativa del líquido filtrado con respecto a la superficie de membrana es que se requieren cantidades significativas de energía. También supone un consumo significativo de potencia para generar la intensidad del campo ultrasónico requerida para llevar a cabo la limpieza con ultrasonidos de una superficie de membrana. Por consiguiente, tales procedimientos pueden no ser aplicables en casos en los que no pueden aplicarse velocidades relativas elevadas entre la superficie de membrana y el líquido que va a filtrarse.
- 40 Adicionalmente, los procedimientos de limpieza que usan flujo de gas/líquido continuo o cíclico bifásico, tal como se describe, por ejemplo, en el documento US 6.245.239 B1, utilizan normalmente cantidades significativas de aire para la aireación y por tanto tales procedimientos pueden no ser aplicables en casos en los que es necesario mantener el líquido que va a filtrarse en condiciones anaerobias. Adicionalmente, el pequeño tamaño de las burbujas de gas y su movimiento no lineal pueden provocar una formación de espuma no deseable. Las pequeñas burbujas de gas pueden quedar atrapadas en la matriz de partículas sólidas presentes en la corriente de alimentación, flotar, y separarse del grueso de la corriente de alimentación, dando como resultado una disolución de alimentación no homogénea.
- 45 Finalmente, la limpieza de una superficie de membrana mediante retrolavado con permeado o gas necesita la interrupción del procedimiento de filtración con membrana, dando como resultado por tanto un tiempo de parada y pérdida de productividad. El procedimiento de retrolavado es también adecuado sólo para ciertos tipos de membrana y configuraciones de membrana. Por ejemplo, las membranas de placas y bastidor no pueden someterse a retrolavado porque la presión de retrolavado puede separar la membrana del bastidor de soporte.
- 50
- 55

Por consiguiente, sigue existiendo una necesidad en la técnica de un procedimiento de limpieza y de mantenimiento de superficies de membrana mejorado y económico, que pueda realizarse durante la filtración y que sea tan eficaz como procedimientos de limpieza conocidos, pero aplicable a una variedad de diferentes configuraciones de membrana, incluyendo aquéllas que se mantienen en condiciones anaerobias.

5 BREVE SUMARIO DE LA INVENCION

Se proporciona un procedimiento de limpieza de una superficie de membrana o de mantenimiento de una superficie de membrana limpia durante un procedimiento de separación con membrana desde fuera hacia dentro tal como se define en la reivindicación 1.

- 10 El procedimiento puede comprender filtrar un líquido que contiene al menos un sólido en suspensión para producir un permeado y someter a retrolavado la superficie de membrana con el permeado además de aplicar impulsos de gas a presión que tienen una longitud de impulso individual de aproximadamente 0,1 a aproximadamente 10 segundos en las proximidades inmediatas de la superficie de membrana para formar un volumen aireado.

BREVE DESCRIPCION DE LAS VARIAS VISTAS DE LOS DIBUJOS

- 15 El sumario anterior, así como la siguiente descripción detallada de la invención, se entenderán mejor al leerse junto con los dibujos adjuntos. Para el fin de ilustrar la invención, en los dibujos se muestran realizaciones que se prefieren actualmente. Debe entenderse, sin embargo, que la invención no se limita a las disposiciones e instrumentalidades precisas mostradas. En los dibujos:

la figura 1 es una representación esquemática de un conjunto de membrana que tiene membranas verticales para llevar a cabo el procedimiento según la invención;

- 20 la figura 2 es una representación esquemática de un conjunto de membrana que tiene membranas horizontales para llevar a cabo el procedimiento según la invención;

la figura 3 es una representación esquemática de un aparato para llevar a cabo el procedimiento según la invención;

la figura 4 es un gráfico del flujo frente al tiempo para una membrana no limpiada;

la figura 5 es un gráfico del flujo frente al tiempo para una membrana limpiada usando un procedimiento de la invención;

- 25 la figura 6 es un gráfico del flujo frente al tiempo para una membrana limpiada usando un procedimiento de retrolavado de la técnica anterior; y

la figura 7 es un gráfico del flujo frente al tiempo para una membrana limpiada usando otro procedimiento de la invención.

DESCRIPCION DETALLADA DE LA INVENCION

- 30 Los procedimientos de la presente invención son particularmente aplicables, pero sin limitarse, a procedimientos de separación con membrana desde fuera hacia dentro para filtrar sólidos en suspensión de una fase líquida. Tales procedimientos de separación con membrana pueden incluir, por ejemplo, separación con membrana frontal, separación con membrana semifrontal, separaciones con corrientes de alimentación transversales (tangenciales) pero no turbulentas en las que las membranas se encuentran dentro de un recipiente presurizado cerrado, y procedimientos de separación en los que las membranas se sumergen en el líquido que va a filtrarse y se consigue un flujo de permeado a través de la membrana mediante la aplicación de una presión negativa (vacío) en el lado del permeado.

- 40 Según la presente invención, los procedimientos de limpieza de la superficie de membrana suponen eliminar la incrustación sobre una superficie externa de la membrana aplicando impulsos de gas en las proximidades inmediatas de la superficie de membrana externa para formar un volumen aireado. La expresión "volumen aireado" se refiere al volumen de líquido (sustrato) en el tanque o depósito en el que están situadas las membranas. Los impulsos de gas se aplican preferiblemente a presiones de aproximadamente 0,69 - 6,21 bar (de 10 a 90 libras por pulgada cuadrada manométrica (psig)) y a velocidades de flujo de aproximadamente 34 - 500 m³/h (de 20 a 300 pies cúbicos estándar por minuto (scfm)) por metro cuadrado de sección transversal de volumen aireado. Los impulsos de gas a presión resultantes generan una disipación de la energía de hasta aproximadamente 40 kJ/m³ de potencia en las proximidades inmediatas de la superficie de membrana.

- 45 Se prefiere que los impulsos de gas a presión se apliquen mediante al menos un distribuidor situado cerca de un extremo inferior del conjunto de membrana y orientado con un ángulo de aproximadamente 0 a 80° respecto a la dirección vertical de manera que los impulsos de gas se encuentren en un sentido de flujo ascendente. En una realización preferida, tal como se muestra en las figuras 1 y 2, el distribuidor de aire es un conjunto de tubos o colectores 2 paralelos que están ubicados en un plano horizontal debajo de las membranas 4 orientadas vertical u horizontalmente, tubos que tienen aberturas para el paso de aire. Cada fila de membranas 4 (si las membranas están orientadas verticalmente, figura 1) o columna de membranas 4 (si las membranas están orientadas horizontalmente, figura 2) tiene preferiblemente dos colectores 2 de aireación a cada lado de la misma. Un colector individual puede tener

- múltiples aberturas, cuyo número está determinado por el número de unidades de membrana individuales para las membranas orientadas verticalmente o por la longitud de la unidad de membrana para las membranas orientadas horizontalmente. Las aberturas en los colectores de aireación están situadas de modo que el flujo de gas es verticalmente ascendente y en el caso de las membranas orientadas verticalmente, el flujo se dirige preferiblemente con un ángulo de 0 a 80° respecto a la dirección vertical para garantizar la aireación de toda la longitud de la membrana orientada verticalmente. El distribuidor tiene preferiblemente aberturas 6 de aproximadamente 0,2 a 7 mm de diámetro.
- Los procedimientos de limpieza según la invención son eficaces para eliminar la incrustación porque los impulsos de gas a alta presión crean un flujo a alta velocidad periódico de una mezcla de gas-líquido bifásica a través de la membrana, lo que provoca la agitación violenta de las fibras o láminas de la membrana y por tanto retira los sólidos depositados sobre la superficie de membrana.
- La longitud de impulso individual de los impulsos de gas a presión es preferiblemente de aproximadamente 0,1 a aproximadamente 10 segundos de duración. En esta realización, los impulsos según la invención pueden inyectarse individualmente con un intervalo de tiempo de aproximadamente 10 a 1000 segundos entre los impulsos para una duración total de aproximadamente 0,1 a 1000 horas a lo largo de la vida total de la membrana. Posteriormente, los impulsos pueden inyectarse en grupos que comprenden aproximadamente de 2 a 100 impulsos con un intervalo entre los impulsos en cada grupo de aproximadamente el 50 al 300% de la longitud de impulso, para una duración total de aproximadamente 10 a 1000 segundos a lo largo de la vida total de la membrana. El procedimiento de limpieza consiste en aplicar de manera alterna una sucesión de ciclos de pulsación de aire a baja frecuencia y alta frecuencia, variando la frecuencia de los impulsos de gas para conseguir efectos de limpieza óptima con un consumo de gas mínimo. La sucesión de ciclos de pulsación de aire se aplica durante la vida o el tiempo de funcionamiento a lo largo del cual se usan las membranas para la filtración, que puede ser de aproximadamente uno a cinco años. El ciclo de limpieza a baja frecuencia puede tener una duración de aproximadamente 0,1 a 1000 horas y el ciclo de pulsación a alta frecuencia puede tener una duración de aproximadamente 10 a 1000 segundos.
- Usando tales parámetros de impulsos de gas a presión, el volumen de gas generado puede ser mayor que aproximadamente diez veces el volumen de líquido en la mezcla de gas-líquido multifásica formada por el gas en expansión. Una elevada razón de gas/líquido de este tipo, junto con la corta longitud de impulso, es deseable porque impide el desarrollo de una elevada superficie interfacial para la transferencia de masa y la resultante disolución significativa del gas en el líquido, así como evitar efectos de flotación, que pueden originar una disolución de alimentación no homogénea no deseable.
- La membrana que va a limpiarse o mantenerse mediante los procedimientos de la invención puede comprender una membrana de fibra hueca, lámina plana, lámina tubular o capilar. La membrana puede sumergirse en la fase líquida o encerrarse en un recipiente que contiene fases líquida y gaseosa con la superficie externa de la membrana en contacto con el líquido que contiene el sólido en suspensión. En este último caso, se prefiere que el nivel del líquido no llene completamente el recipiente y que el resto del recipiente se llene con la fase gaseosa.
- Aunque el procedimiento de limpieza usando impulsos de aire con o sin retrolavado con permeado, tal como se describe a continuación, puede realizarse durante un procedimiento de separación con membrana, también puede ser aplicable si es necesario interrumpir un procedimiento de filtración con membrana particular para la limpieza química de la superficie de membrana, también conocido como limpieza *in situ* o CIP (*clean-in-place*). Para una aplicación de este tipo, el procedimiento de aplicación de impulsos de gas a presión puede intensificar y acelerar significativamente el procedimiento de limpieza química de la superficie de membrana.
- La membrana puede mantenerse con su eje longitudinal en vertical, de modo que la superficie de la membrana sea paralela a un sentido de flujo de gas ascendente. Una configuración preferida de este tipo es ventajosa porque se expone toda la superficie de membrana uniformemente a la acción de limpieza de la pulsación de aire. En el caso de una membrana de fibra hueca, las fibras pueden mantenerse también ortogonales a la dirección de flujo de gas.
- En una realización, los procedimientos comprenden además poner en contacto la superficie de membrana con al menos un líquido de limpieza o de lavado de manera sustancialmente contemporánea con la aplicación de los impulsos de gas a presión. Tales líquidos pueden ser cualquier líquido de limpieza bien conocido por los expertos en la técnica para su uso en la limpieza de membranas incrustadas durante procedimientos de tratamiento de membrana. Por ejemplo, líquidos de limpieza o de lavado típicos son disoluciones de ácidos (por ejemplo, ácido cítrico), álcalis (por ejemplo, sosa cáustica), y agentes oxidantes (por ejemplo, cloro), de los que todos pueden usarse con jabones.
- Según otra realización de la invención, la aplicación de impulsos de gas a presión, tal como se describió anteriormente, puede usarse en combinación con un procedimiento de limpieza con retrolavado tradicional usando el permeado que resulta de la filtración con membrana. Tras la filtración de un líquido que contiene al menos un sólido en suspensión (y normalmente más de un sólido en suspensión) para producir un permeado, la superficie de membrana se somete a retrolavado con el permeado para limpiar la membrana. Las etapas de filtración y de retrolavado pueden denominarse conjuntamente "ciclo de filtración". Los impulsos de gas a presión, tal como se describió anteriormente, pueden aplicarse de manera sustancialmente simultánea con la etapa de filtración y/o de retrolavado en un ciclo de filtración.

La etapa de retrolavado con permeado se efectúa preferiblemente durante aproximadamente de 0,25 a aproximadamente 5 minutos al final de cada ciclo de filtración. Los flujos de retrolavado son preferiblemente de aproximadamente 20,4 - 136 l/m²h (de 12 a 80 gfd (galones por pie cuadrado de membrana al día)) y la presión de retrolavado es preferiblemente de aproximadamente 0,21 - 2,76 bar (de 3 a 40 psig). En una realización preferida, la duración de una etapa de filtración es aproximadamente de 10 a 1440 minutos.

Existen varios modos para mejorar el efecto de limpieza en el procedimiento de limpieza combinado. Por ejemplo, pueden añadirse uno o más productos químicos de limpieza, tal como se describió anteriormente, al permeado para someter a retrolavado la superficie de membrana. En una realización alternativa, el retrolavado con permeado puede aplicarse en forma de impulsos de flujo o presión para mejorar adicionalmente el efecto de limpieza. Si se emplea pulsación de flujo o presión de retrolavado, el intervalo entre impulsos es preferiblemente de aproximadamente 1 a 20 segundos, y la duración de los impulsos es preferiblemente de aproximadamente 1 a 5 segundos durante un periodo de pulsación total de aproximadamente 0,25 a 5 minutos. Los grupos de pulsación de aire pueden sincronizarse para coincidir con el periodo de retrolavado con permeado.

La limpieza conseguida mediante el procedimiento de combinación de aire y retrolavado es extremadamente eficaz, sorprendentemente más de lo que se esperaría de la combinación aditiva de los dos procedimientos de limpieza. Por consiguiente, un procedimiento combinado de este tipo es particularmente útil para limpiar sustratos con alta incrustación, que de otro modo no podrían tratarse mediante un procedimiento solo.

Usando los procedimientos según la invención, la limpieza de la membrana se efectúa mediante la agitación intensa provocada por la transferencia de energía desde el impulso de gas en expansión hasta el líquido y las membranas. Esta agitación da como resultado una aceleración rápida y repentina de las membranas y el líquido, lo que provoca velocidades relativas instantáneas elevadas entre la superficie de membrana y el líquido que va a filtrarse, consiguiendo esfuerzos cortantes elevados a través de las superficies de membrana, y una eliminación por lavado eficaz de los sólidos depositados sobre la superficie de membrana. En esta invención, la cantidad de energía transferida por un impulso de gas por unidad de tiempo y por unidad de área de sección transversal del volumen aireado es significativamente mayor que la de procedimientos de limpieza continuos/cíclicos utilizando un flujo de gas-líquido bifásico. La mayor energía resulta de la mayor presión de gas (0,69 - 5,52 bar; 10-80 psig) y velocidades de flujo de gas usadas en el procedimiento en comparación con los procedimientos de limpieza continuos/cíclicos, en los que la presión de gas usada normalmente sólo es suficiente para superar la columna de agua por encima de los difusores de gas y la caída de presión en los orificios del difusor. La mayor presión y la mayor velocidad de transferencia de energía resultante en la presente invención dan como resultado una limpieza más eficaz de la superficie de membrana.

En los procedimientos de limpieza conocidos que utilizan flujo de gas-líquido bifásico cíclico (tal como se describe en la patente estadounidense n.º 6.245.239), el tiempo de ciclo para el flujo de gas alto/bajo cíclico no supera los 120 segundos, y el ciclo de flujo bajo puede ser una condición sin gas. Por el contrario, en los presentes procedimientos, el flujo de gas puede apagarse durante más de 300 segundos. Por consiguiente, aunque la energía transferida por los impulsos de gas individuales sea mayor en los presentes procedimientos, la duración de los impulsos de gas es corta y los impulsos se usan con poca frecuencia, lo que da como resultado un coste energético significativamente inferior para el flujo de gas en comparación con procedimientos de limpieza que utilizan un flujo de gas-líquido bifásico continuo/cíclico.

Otra ventaja de los presentes procedimientos es que son aplicables para sistemas en los que es necesario mantener condiciones anaerobias en el líquido que va a filtrarse, tales como el tratamiento biológico anaerobio de aguas residuales. La elevada razón volumétrica de gas/líquido en el presente procedimiento, junto con la corta duración de impulso, impide el desarrollo de una elevada área interfacial para la transferencia de masa y reduce la disolución del gas en el líquido. Además, puesto que el consumo de gas es relativamente inferior que en procedimientos de limpieza tradicionales que utilizan un flujo de gas-líquido bifásico continuo o cíclico, pueden usarse gases alternativos tales como dióxido de carbono o nitrógeno, que normalmente son más caros que el aire. Los procedimientos más tradicionales, que usan gases alternativos tales como dióxido de carbono o nitrógeno, conllevarán un coste de funcionamiento significativamente mayor debido al mayor consumo de gas.

Una ventaja adicional de los procedimientos de limpieza de superficie de membrana según la invención es su flexibilidad tecnológica. Los procedimientos permiten la configuración y variación de una amplia gama de parámetros de procedimiento de limpieza sustancialmente diferentes, incluyendo la duración de impulso, el intervalo entre impulsos, el número de impulsos por grupo y la frecuencia de grupos, sin requerir cambios tecnológicos importantes.

Finalmente, los procedimientos de pulsación de aire proporcionan la opción de limpiar las superficies de membrana sin interrupción del procedimiento de filtración. Adicionalmente, para limpiar sustratos con alta incrustación, el procedimiento de pulsación de aire y retrolavado combinados es extremadamente eficaz.

La invención se describirá ahora en más detalle con respecto a los siguientes ejemplos específicos no limitativos:

EJEMPLO 1 (Comparativo)

Un recipiente de presión de 900 mm de longitud con 200 mm de diámetro interno (DI) contenía 9 haces de membranas de fibra hueca de polipropileno (HF PP) con un área superficial de membrana de 5,5 m² suspendidos con sus ejes

longitudinales en la dirección vertical. Cada haz contenía 1.400 hebras de fibras huecas con 0,28 mm de diámetro externo (DE). A una temperatura de 18°C, se separó mediante filtración una suspensión de hidróxido férrico ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) a una concentración de 1,6 kg de Fe/litro con el sustrato líquido circulando dentro del recipiente de presión a una velocidad de flujo de 0,7 litros/segundo con la dirección de flujo tangencial a las superficies de membrana. Se mantuvo una presión de 220 kPa dentro del recipiente de presión como la fuerza de impulsión para la filtración. Entonces se limpiaron las superficies de membrana usando impulsos de aire a presión (400 kPa), de 1 segundo de duración y a una frecuencia de 15 por hora. Este procedimiento de limpieza de membrana proporcionó un flujo de 130 litros/m²-hora-bar (lmh/bar) tras 10 horas de filtración. Sin limpieza de la superficie de membrana durante el transcurso de la filtración, el flujo tras 10 horas de filtración alcanzó sólo el 19% del valor anterior. En ambos casos, el permeado tenía un índice de densidad de sedimentos (SDI) de 2,5.

EJEMPLO 2

Se colocaron HF PP en haces que tenían las mismas características descritas en el ejemplo 1 en tres bastidores en un compartimento de 900 x 700 x 200 mm. El compartimento, que contenía 30 m² de membranas de HF, se sumergió en un tanque (que contenía lodo activado), que formaba parte de un sistema de tratamiento biológico para la limpieza de aguas residuales de edificios universitarios y de clínicas veterinarias. La concentración de lodo activado en el tanque alcanzó los 4 kg/metro cúbico, con un índice volumétrico de lodo medido de 120 ml/g. en este ejemplo, la fuerza de impulsión para la filtración con membrana fue la presión negativa (vacío) dentro de la fibra hueca (presión = -20 a -45 kPa). Los impulsos de aire a presión a 400 kPa, de 1,5 segundos de duración se dirigieron a la parte inferior de los haces de membranas a una frecuencia de 12 por hora. Se midió el flujo a 80 lmh/bar inmediatamente después de sumergir las membranas, que cayó hasta 35 lmh/bar tras 8 horas de funcionamiento, y permaneció en ese valor durante los cinco días siguientes. Se efectuó una limpieza intensiva tras cada 24 horas de funcionamiento mediante un grupo de 60 impulsos durante un periodo total de 3 minutos.

EJEMPLO 3

Se efectuaron estudios piloto a escala de laboratorio para la filtración de aguas residuales secundarias con un módulo de membrana que consistía en un único haz de fibras (polipropileno, 0,4 µm de tamaño de poro, 0,85 m², 705 mm de longitud, 20 mm de diámetro). Se rodeó el único haz de fibras por un tubo 14 de PVC transparente con 6,35 cm (2,5") de diámetro interno, tal como se muestra en la figura 3. Se incluyó el tubo de PVC para ayudar a contener y dirigir la energía del impulso de aire sobre el haz de fibras. Las aguas residuales contenían sólidos biológicos en suspensión a una concentración de 1200-1500 mg/l. Se sumergió el módulo de membrana en el tanque 12 de alimentación y se usó una bomba 10 de engranajes de desplazamiento positivo para aplicar un vacío dentro de las luces de las fibras. Se llevó a cabo retrolavado con permeado con una bomba centrífuga y se realizó durante un minuto cada treinta minutos a un flujo de 81,6 l/m²h (48 gfd).

El procedimiento se cambió entre los modos de permeación o de retrolavado usando una válvula de solenoide de tres vías. Se usó un PLC (controlador lógico programable) para controlar la duración del retrolavado, el intervalo del retrolavado y la frecuencia de pulsación de aire para el procedimiento de pulsación de aire. Estos parámetros podían modificarse usando la interfaz de PLC.

Se aplicaron impulsos de aire a una presión de 4,14 bar (60 psig) al haz de fibras sumergido con un flujo de aire instantáneo de 3,9 m³/h (2,3 scfm) por haz de fibras. Se emplearon modos de pulsación rápida y lenta de manera cíclica. En el modo de pulsación rápida, se aplicaron diez impulsos de aire cada cuatro segundos durante un periodo de cuatro segundos para una duración total de 80 segundos. En el modo de pulsación lenta, se aplicó un impulso de aire cada 5 minutos durante un periodo de 4 segundos para una duración total de 10 horas.

Los resultados de estas pruebas se muestran gráficamente en las figuras 4-6. Cada una es una representación gráfica del flujo frente al tiempo para el módulo de membrana descrito anteriormente limpiado en diferentes condiciones: sin limpieza, sólo pulsación de aire, o sólo retrolavado. Los datos para la membrana no lavada (sin pulsación de aire ni retrolavado) se representan gráficamente en la figura 4. La figura 5 representa los datos para la membrana limpiada usando sólo pulsación de aire como procedimiento de limpieza. Finalmente, la figura 6 muestra datos de cuando se usó retrolavado con permeado como procedimiento de limpieza.

A partir de estas representaciones gráficas, pueden determinarse las tasas de incrustación para cada conjunto de condiciones. Específicamente, la tasa de incrustación se define como la razón de disminución del flujo específico (eje Y) con el tiempo de funcionamiento (eje X). Por tanto una tasa de incrustación superior indica una mayor disminución en un flujo específico durante un tiempo de funcionamiento dado. Por ejemplo, cuando no se realizó limpieza (figura 4), la tasa de incrustación promedio para un flujo de 20,4 l/m²h (12 gfd) = disminución en el flujo específico/tiempo de funcionamiento = $(8,9-3,5)/(169-152) = 0,32 \text{ gfd/psig/hora}$ [$7,87 \text{ l/(m}^2\text{h.bar.h)}$]. En comparación, la tasa de incrustación promedio para un flujo de 18,7 l/m²h (11 gfd) para el procedimiento de limpieza por pulsación de aire (figura 5) era de 1,23 l/(m²h.bar.h) (0,05 gfd/psig/hora), y para el procedimiento de limpieza por retrolavado con permeado (figura 6), la tasa de incrustación promedio era de 179,6 l/(m²h bar.h) (7,3 gfd/psig/hora). Por tanto, puede observarse que la pulsación de aire reduce la tasa de incrustación respecto a la ausencia de limpieza para el retrolavado con permeado tradicional.

EJEMPLO 4

5 Se efectuaron pruebas usando el mismo sistema experimental que el ejemplo 3. Se limpió la membrana usando una combinación de pulsación de aire y retrolavado con permeado usando las mismas condiciones que en el ejemplo 3. Se realizó la pulsación de aire sólo durante la filtración. La figura 6 representa los datos de cuando sólo se usó retrolavado con permeado como procedimiento de limpieza, y los datos para el procedimiento de limpieza por pulsación de aire/retrolavado combinados se representan gráficamente en la figura 7.

10 Puede observarse que la tasa de incrustación para un flujo de 20,4 l/m²h (12 gfd) es significativamente inferior en el caso de pulsación de aire y retrolavado combinados en comparación con la observada para pulsación de aire o retrolavado solos. Además, la eficacia de limpieza observada en el procedimiento de pulsación de aire y retrolavado combinados es significativamente mayor que la que se habría esperado de los efectos aditivos de las eficacias de limpieza individuales para la pulsación de aire y el retrolavado con permeado.

Adicionalmente, la tasa de incrustación para un flujo de 40,8 l/m²h (24 gfd) es también significativamente inferior para el procedimiento de pulsación de aire y retrolavado combinados en comparación con el procedimiento de pulsación de aire solo.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de limpieza de una superficie de membrana o de mantenimiento de una superficie de membrana limpia durante un procedimiento de separación con membrana desde fuera hacia dentro, comprendiendo el procedimiento aplicar impulsos de gas a presión en las proximidades inmediatas de la superficie de membrana, en el que dichos impulsos de gas se aplican en el lado de una superficie externa de la membrana (4), estando dicha superficie externa de la membrana en contacto con un sustrato que va a filtrarse, para formar un volumen aireado de sustrato, mientras que simultáneamente se realiza un procedimiento de separación, en el que dichos impulsos de gas tienen una longitud de impulso individual de 0,1 a 10 segundos,
5 caracterizado por la etapa de
10 aplicar los impulsos de gas a presión alternando entre un modo de pulsación a alta frecuencia y un modo de pulsación a baja frecuencia.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que los impulsos de gas a presión se aplican alternando el modo de pulsación a baja frecuencia (a) y el modo de pulsación a alta frecuencia (b), que comprende respectivamente:
(a) inyectar los impulsos de gas a presión individualmente para una duración total de 0,1 a 1000 horas, siendo el intervalo entre los impulsos de 10 a 1000 segundos; y
15 (b) inyectar los impulsos de gas a presión en grupos que comprenden de 2 a 100 impulsos individuales para una duración total de 10 a 1000 segundos, siendo el intervalo entre los impulsos individuales en los grupos del 50 al 300% de una longitud de impulso.
3. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que los impulsos de gas a presión presentan una presión de 0,69 a 6,21 bar y una velocidad de flujo de 34 a 500 m³/h por metro cuadrado de una sección transversal del volumen aireado.
- 20 4. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la membrana (4) comprende al menos uno seleccionado del grupo que consiste en fibra hueca, lámina plana, lámina tubular y capilar.
5. Procedimiento según la reivindicación 1, comprendiendo el procedimiento mantener la membrana (4) con su eje longitudinal en vertical de manera que la superficie de membrana sea paralela a una dirección de flujo de gas procedente de los impulsos de gas a presión.
- 25 6. Procedimiento según la reivindicación 1, comprendiendo el procedimiento mantener la membrana (4) con su eje longitudinal en horizontal de manera que la superficie de membrana sea ortogonal a una dirección de flujo de gas procedente de los impulsos de gas a presión.
7. Procedimiento según la reivindicación 6, en el que la membrana (4) comprende al menos una fibra hueca ortogonal a la dirección de flujo de gas procedente de los impulsos de gas a presión.
- 30 8. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la aplicación de los impulsos de gas a presión a la superficie de membrana se lleva a cabo mediante al menos un distribuidor (2) que tiene aberturas (6) de 0,2 a 7 mm situadas en un extremo inferior de la membrana (4) y orientadas con un ángulo de 0 a 80° con respecto a una dirección vertical, de manera que el sentido de flujo de gas procedente de los impulsos de gas es ascendente.
- 35 9. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la membrana (4) se encuentra dentro de un recipiente (12) cerrado, presurizado, y el procedimiento de separación con membrana es uno seleccionado del grupo que consiste en una separación con membrana frontal, una separación con membrana semifrontal, y una separación en la que un líquido que va a filtrarse fluye tangencialmente a través de la superficie de la membrana (4).
10. Procedimiento según la reivindicación 9, en el que el líquido que va a filtrarse comprende un líquido de múltiples componentes que contiene al menos un sólido en suspensión.
- 40 11. Procedimiento según la reivindicación 1, realizándose el procedimiento en un recipiente (12) cerrado que comprende una fase líquida y una fase gaseosa.
12. Procedimiento según la reivindicación 1, que comprende además poner en contacto la membrana (4) con un líquido de limpieza o de lavado de manera contemporánea con la aplicación de los impulsos de gas a presión.
- 45 13. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que el procedimiento de separación con membrana comprende una etapa de filtrado de un líquido que contiene al menos un sólido en suspensión para producir un permeado, y una etapa de retrolavado de la superficie de membrana con el permeado.
14. Procedimiento según la reivindicación 13, comprendiendo el procedimiento aplicar los impulsos de gas a presión simultáneamente con al menos una de las etapas de filtración y retrolavado.

15. Procedimiento según la reivindicación 13, en el que la etapa de retrolavado comprende aplicar un flujo de retrolavado de 20,4 a 136 l/m²h y una presión de retrolavado de 0,21 a 2,76 bar.
16. Procedimiento según la reivindicación 13, en el que la duración de la etapa de retrolavado es de 0,25 a 5 minutos.
17. Procedimiento según la reivindicación 13, en el que la etapa de retrolavado se efectúa tras la etapa de filtración.
- 5 18. Procedimiento según la reivindicación 13, en el que la etapa de retrolavado se realiza a intervalos de 10 a 1440 minutos.
19. Procedimiento según la reivindicación 13, comprendiendo el procedimiento inyectar los impulsos de gas a presión en grupos simultáneamente con la etapa de retrolavado.
- 10 20. Procedimiento según la reivindicación 13, en el que la etapa de retrolavado comprende aplicar el permeado como impulsos de flujo o presión.
21. Procedimiento según la reivindicación 13, en el que la etapa de retrolavado comprende además añadir al menos un producto químico de limpieza al permeado para el retrolavado de la superficie de membrana.

Fig. 1

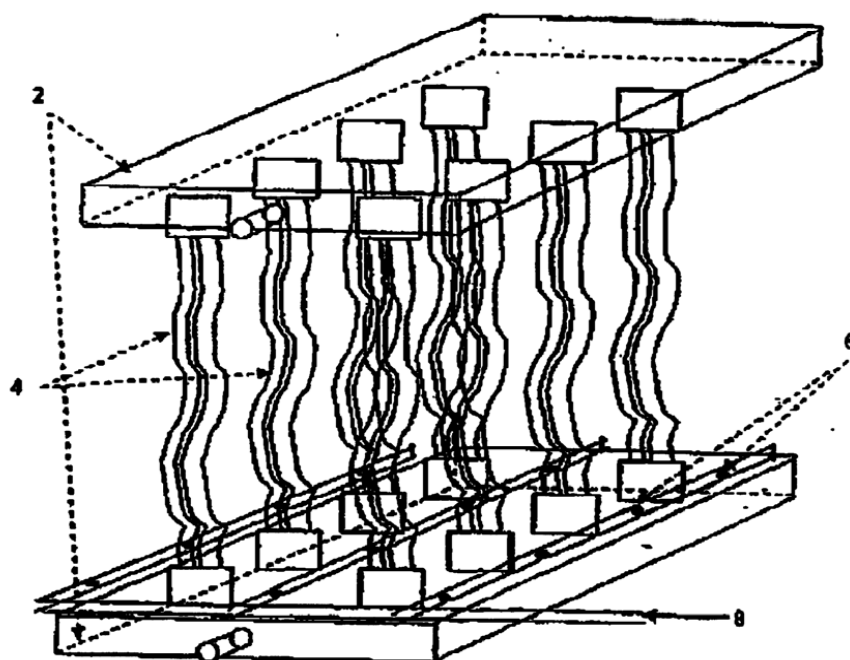


Fig. 2

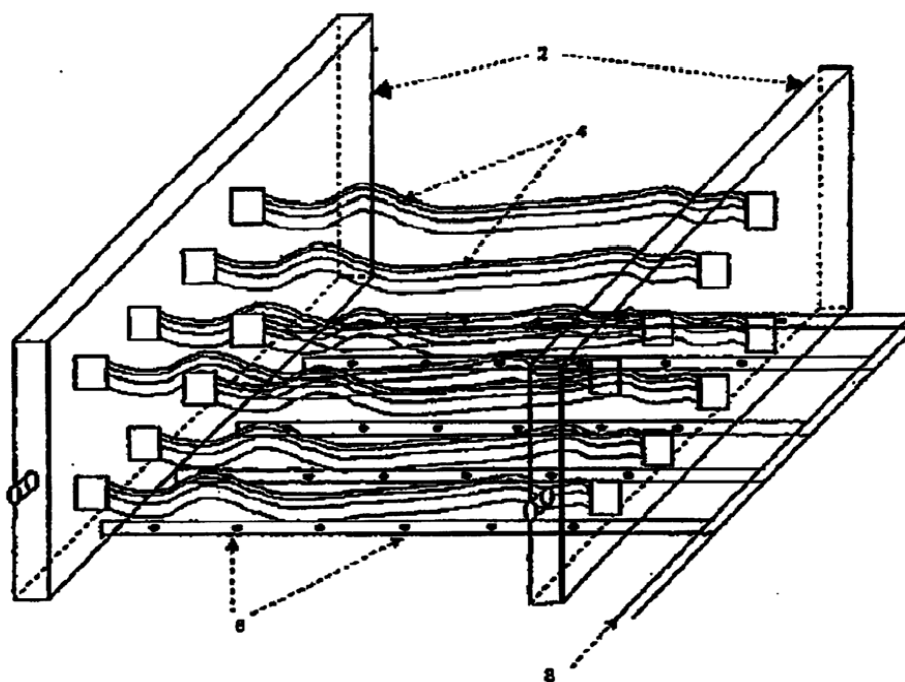


Fig 3

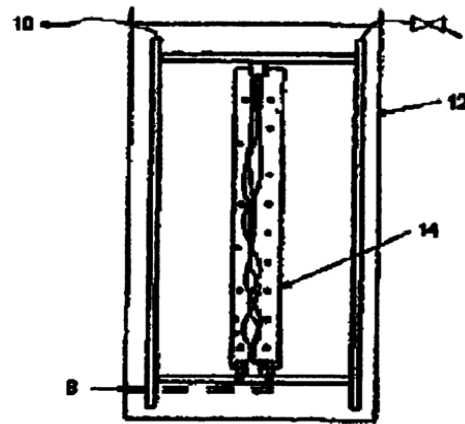


Fig. 4

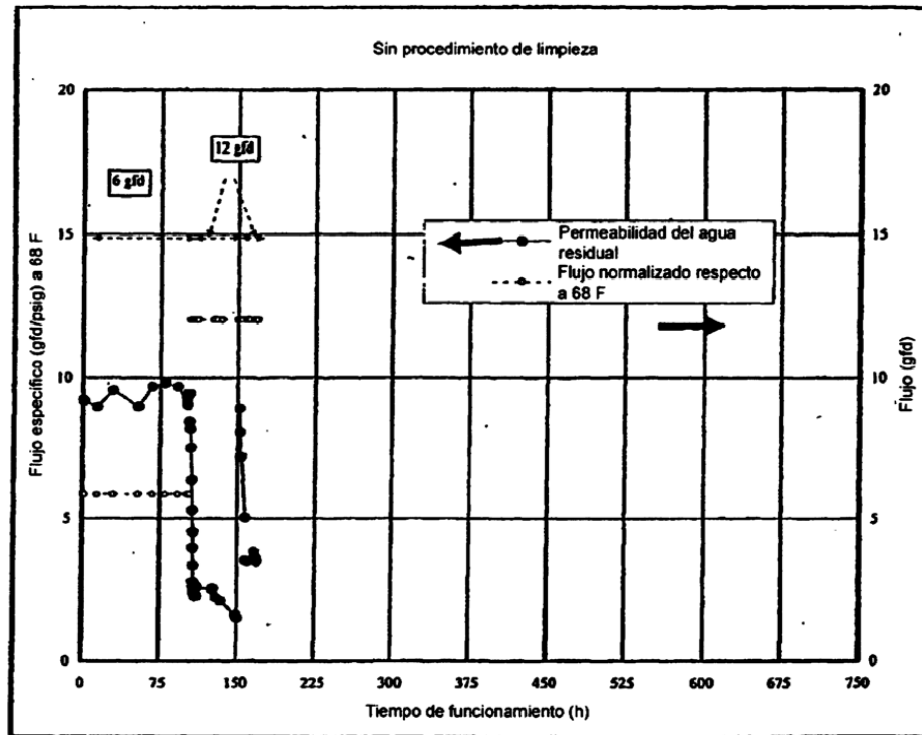


Fig. 5

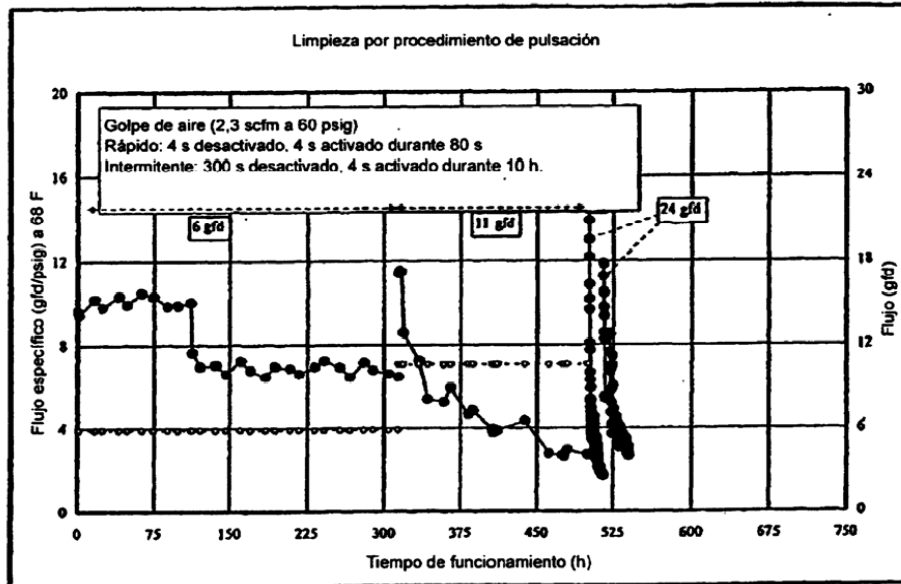


Fig. 6

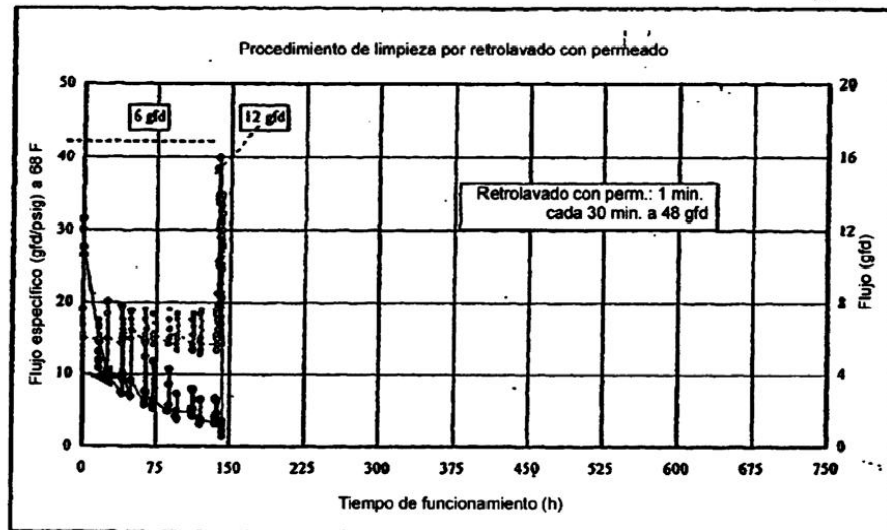


Fig. 7

