

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 691 637**

51 Int. Cl.:

**B01D 61/14** (2006.01)

**B01D 61/22** (2006.01)

**B01D 65/02** (2006.01)

**E21B 43/26** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.05.2013 PCT/GB2013/051239**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.11.2013 WO13171476**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.05.2013 E 13723915 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.07.2018 EP 2849873**

54 Título: **Filtración de contaminantes de un fluido**

30 Prioridad:

**15.05.2012 GB 201208527**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**28.11.2018**

73 Titular/es:

**AQUA DYNAMICS PROCESS TECHNOLOGY  
LIMITED (100.0%)  
5 Manchester Square  
London W1U 3PD, GB**

72 Inventor/es:

**SWEENEY, CHRISTOPHER WILLIAM**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

ES 2 691 637 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

Filtración de contaminantes de un fluido

La presente invención se refiere a un procedimiento de filtración de contaminantes de un fluido. La presente invención también se refiere a una planta de filtración que comprende, al menos, un módulo de filtro para la filtración de contaminantes de un fluido. En particular, pero no exclusivamente, la presente invención se refiere a un procedimiento de filtración de contaminantes de un fluido, en el cual, un fluido que comprende contaminantes se dirige hacia una cámara de filtro que comprende, al menos, un elemento de filtro; y a una planta de filtración que comprende un módulo de filtro que comprende dicha cámara de filtro.

Se han desarrollado varios tipos de sistemas de filtración para la filtración de contaminantes de un fluido. Los sistemas para la filtración de materiales de hidrocarburos del agua son de particular interés en la industria de exploración y producción de gas y petróleo, en la que frecuentemente es necesario limpiar un volumen de agua que comprende materiales de hidrocarburos, tales como petróleo. Por ejemplo, las formaciones rocosas subterráneas que comprenden depósitos de petróleo típicamente comprenden también grandes volúmenes de agua que se producen junto con el petróleo extraído. Ésta se debe separar del petróleo en el fluido que se extrae a la superficie y el agua debe estar lo suficientemente limpia de contaminantes de petróleo antes de que se pueda verter de nuevo al medio ambiente. El petróleo está normalmente presente en forma de pequeñas gotas suspendidas en el agua. Los sólidos tales como pequeños granos de arena, están también típicamente presentes en el agua producida y deben ser tratados por el sistema de filtración.

El tratamiento de agua producida de la producción de petróleo se ha convertido en un importante problema, cada vez mayor en los últimos años, tras la introducción de nuevas regulaciones e implementación de la legislación existente. En particular, se espera que los operarios del Reino Unido reduzcan el nivel de materiales de hidrocarburos en el agua producida hasta 30 mg/l y que cumplan los límites de vertido total anual de petróleo en aguas, regulado por las Convenciones de Oslo y París para la protección del medio ambiente marino del noreste Atlántico (OSPAR). A menudo, los límites de carga anual pueden únicamente ser alcanzados si la concentración de hidrocarburos se reduce por debajo de 10 a 15 mg/l. En otras partes del mundo, estos niveles de 10 a 15 mg/l están ya establecidos.

Frecuentemente, es también necesario filtrar pequeños volúmenes de agua del petróleo producido, antes de que se pueda procesar el petróleo. Esto puede ser retirar cualquier gota de agua suspendida que esté presente en el petróleo de forma natural y/o cualquier agua que ha entrado en el pozo de sondeo y que se ha extraído con el petróleo producido. Además, algunas partículas sólidas tales como arena típicamente están también presentes en el petróleo producido y se deben eliminar.

Se han desarrollado varios procedimientos y sistemas diferentes para eliminar el petróleo disperso en el agua producida. Éstos, incluyen hidrociclones, separadores de placas, técnicas de flotación inducida por gas, centrifugas, sistemas de adsorbentes sólidos y procedimientos de filtración en línea. Los sistemas de hidrociclón y centrifuga son más complejos y costosos de manipular y operar que los otros sistemas disponibles.

En un hidrociclón, se emplea el principio del ciclón, mediante el cual, distintos componentes con diferente densidad se separan en un vórtice que se genera mediante un inyector de altos caudales dirigido hacia una cámara de vórtice.

Los separadores de placas emplean un principio de separación por gravedad acelerada.

En la flotación por gas, el petróleo se separa del agua mediante el uso de burbujas de gas que se elevan a través del agua; se puede añadir el gas o pueden ser burbujas de aire que se inducen dentro del agua.

En las centrifugas, los componentes de distinta densidad se separan mediante fuerzas centrífugas que se generan en un depósito rotado mecánicamente.

Un ejemplo de un sistema de adsorbente sólido es uno en el que el agua de alimentación que comprende gotas de petróleo y finos (partículas sólidas de pequeñas dimensiones) se hace pasar a través de un depósito relleno de material sólido que adsorbe o retiene físicamente el petróleo/los finos. El material puede ser un polvo, gránulos (como en los sistemas de carbón activo) u otros materiales tales como cáscaras de frutos secos trituradas. El filtrado (el agua tratada) pasa a través del depósito y el petróleo/los finos que se retiran se retienen en el lecho sólido. Dicho lecho normalmente está diseñado para ser desechable, pero en algunos casos se puede regenerar mediante un sistema de retroenjuague (*backflushing*).

Un ejemplo del procedimiento de filtración en línea consiste en dirigir el agua de alimentación contaminada con petróleo hacia un filtro. El filtrado (el agua tratada) pasa a través del filtro y las gotas de petróleo y los finos se retienen dentro del filtro. El filtro puede operar usando un principio de exclusión, en el que el tamaño de poro es más pequeño que el tamaño de las gotas de petróleo y los finos; o usando una capa de ensuciamientos. Se usan varios tipos de materiales para los filtros, incluyendo tela tejida, membranas poliméricas, malla metálica y también membranas cerámicas. A veces, los filtros se pueden regenerar mediante enjuague a contracorriente con agua o fluidos limpiadores, pero normalmente están pensados para ser desechables y, como consecuencia, se rechazan

cuando los filtros están “llenos” y el caudal se reduce.

La principal desventaja de todos estos sistemas y procedimientos es que no pueden alcanzar -o no pueden alcanzarlo de una manera económica o ambientalmente sostenible- los niveles finales de petróleo tan bajos como los 10 a 15 mg/l requeridos y, de hecho, a menudo no pueden ni siquiera llegar a niveles por debajo de aproximadamente 20 a 30 mg/l, especialmente cuando los tamaños de las gotas están a nivel micrométrico o submicrométrico.

Otro sistema que ha sido desarrollado para su uso en estas circunstancias es el procedimiento de microfiltración de flujo cruzado (*crossflow*). Éste ofrece un mejor rendimiento, pero tiene sus propias desventajas inherentes.

Los sistemas de flujo cruzado normalmente hacen uso de elementos de filtro de polímero cerámica conocidos como membrana, que se aloja en una cámara de filtro. Una corriente transversal se dirige a cada membrana de filtro a través de cada membrana de filtro, y se usa para retirar el petróleo y los finos recogidos por las membranas del filtro, en una corriente continua de fluido conocida como una corriente de “concentrado”. Un objetivo primario de la corriente de flujo cruzado es prevenir la formación de una “capa de ensuciamiento” de contaminantes sobre la superficie de la membrana del filtro, que podría alterar el rendimiento de la membrana. Como consecuencia, la velocidad del flujo transversal en los sistemas de microfiltración de flujo cruzado se ha mantenido, convencionalmente, relativamente alta con el fin de prevenir la formación de una capa de suciedad. De este modo, la filtración es exclusivamente mediante exclusión por tamaño, determinando las dimensiones mínimas de gotas de contaminante/finos que se pueden excluir mediante el tamaño de poro de los canales en la membrana del filtro. Así, sólo se recolectan los contaminantes que tienen tamaños mayores a los tamaños de poro de la membrana. Existen una serie de desventajas para sistemas de flujo cruzado. En primer lugar, cuando están presentes pequeñas gotas/partículas, es necesario un tamaño de poro relativamente pequeño (normalmente 0,2 a 4 micrómetros, dependiendo del nivel de petróleo final deseado). Esto provoca una reducción significativa del “flujo” a través de la membrana del filtro (el volumen de fluido que fluye a través de una unidad de área de filtro por unidad de tiempo), con aumentos resultantes en la presión de la bomba y, por consiguiente, de energía; así como desgaste en los componentes del sistema, teniendo todo ello un impacto en el coste. De hecho, aunque los sistemas de microfiltración de flujo cruzado pueden alcanzar los niveles de concentración requeridos, no son una opción atractiva para aplicaciones de alto rendimiento, como son los tratamientos de agua producida en los yacimientos petrolíferos. Esto se debe a que la inversión y el coste de operación son muy elevados, y son considerablemente mayores incluso que los costes de los hidrociclones y las centrífugas. La superficie ocupada por una planta de microfiltración de flujo cruzado es también bastante grande y puede hacerla no viable en ambientes de alta mar, como en una plataforma petrolífera, donde el espacio escasea.

Adicionalmente, se ha descubierto que a pesar de la velocidad transversal de los sistemas de microfiltración de flujo cruzado, puede formarse una capa de ensuciamiento, que afecta al rendimiento rápidamente y de forma indeseable. Cuando se detecta que se ha formado una capa de ensuciamiento (el flujo disminuye y/o la contrapresión aumenta) se sabe que se ha de detener el procedimiento de filtración e intenta eliminar la capa de ensuciamiento dirigiendo un “contra-pulso” de fluido en dirección inversa a través de la membrana. Esto conlleva un bombeo intermitente del filtrado o de aire en sentido contrario a través de la membrana por un periodo de tiempo corto, comprendido, normalmente, entre 1 y 5 segundos. Una vez que se considere que la capa de ensuciamiento se ha eliminado, se continúa con la filtración en dirección hacia adelante o directa. Es frecuente, sin embargo, que los pequeños tamaños de poro requeridos en estos sistemas de flujo cruzado puedan resultar en un bloqueo permanente e irreparable de los poros de la membrana, en particular, por depósito de los finos. Esto requiere que el módulo que comprende la membrana sea desconectado y se reemplace la membrana, reduciéndose la eficacia del procedimiento e incrementándose los costes.

La patente de EE.UU. N.º US-5690829 desvela un procedimiento para la producción de agua pura, en la que el agua no tratada o, de manera análoga, el agua de alimentación se introduce en un dispositivo de tratamiento que tiene, al menos, una membrana semipermeable; en conjunto con la cual pasa a través de la membrana una cantidad parcial del agua no tratada como agua pura bajo la fuerza impulsora de una diferencia de presión. La restante cantidad de agua no tratada que fluye a través de la membrana sale del dispositivo como concentrado. El procedimiento desvelado buscaba contrarrestar la suciedad excesiva de la membrana y lograr la mayor vida útil de la membrana, haciendo que el paso del caudal de agua no tratada a través de la membrana se invirtiera a intervalos de tiempo. El documento también desvelaba un dispositivo de tratamiento para la producción de agua pura, con, al menos, una membrana semipermeable. El dispositivo de tratamiento tiene, al menos, dos aperturas del dispositivo que alimentan su área de agua no tratada o de alimentación, una de las cuales se usa como entrada para alimentar el agua no tratada o de alimentación hasta la membrana y la otra, siendo proporcionada como una salida de agua para el concentrado. Se proporciona al menos una salida de agua pura en su área de agua pura y las aperturas del dispositivo que conducen hasta el área de agua no tratada o de alimentación están provistas de un dispositivo de inversión del caudal para que, a intervalos de tiempo, se usen alternativamente como entradas o salidas de agua.

La publicación de la patente de Estados Unidos N.º US-2005/0230311 desvela un procedimiento de filtración de flujo cruzado para bebidas, en particular, para cerveza. El sistema de filtración incluye un módulo de filtro con una membrana, un lado de “no filtrado” y uno de filtrado, una primera línea de alimentación al módulo asociada con una primera conexión, una primera línea de retención asociada con una segunda conexión, una segunda línea de

alimentación asociada con una tercera conexión, una segunda línea de retención asociada a una cuarta conexión y una línea de flujo de filtrado. El líquido de alimentación es dirigido hacia el módulo a través de la primera conexión. El líquido de alimentación fluye transversalmente a través de la membrana y hacia la línea de flujo de filtrado, partiendo del lado de no filtrado hacia el lado de filtrado. También tiene lugar el paso de un flujo cruzado de líquido de alimentación de manera tangencial a través de la membrana, proveniente de la primera conexión hacia la segunda y hasta la primera línea de retención para su recirculación mediante una bomba. Los retroenjuagues duran entre 100 y 700 milisegundos. Cuando el retroenjuague se ha completado, el flujo de filtración a través de la membrana se reanuda, con el flujo en la misma dirección que anteriormente, del lado de no filtrado hasta el lado de filtrado. Junto con el retroenjuague, la dirección de flujo cruzado tangencial se puede invertir durante un corto periodo de tiempo, con sólo direccionar el líquido de alimentación desde la tercera conexión hasta la cuarta conexión, con el propósito de mejorar la eficacia del retroenjuague en la eliminación de la capa de ensuciamiento en el lado de no filtrado.

Se apreciará que los sistemas y procedimientos anteriores puedan tener aplicación en otras industrias y, de hecho, para la filtración de otros tipos de contaminantes de diferentes tipos de fluidos. En realidad, los contaminantes pueden ser cualquiera dentro de un amplio rango de diferentes materiales. De manera similar, el fluido del cual debe filtrarse el contaminante puede también ser de una amplia variedad de fluidos y puede, típicamente, ser una disolución/mezcla acuosa, agua, un material de hidrocarburo como el petróleo o algún otro disolvente. Sin embargo, en cada caso, sin embargo, se pueden encontrar desventajas o problemas similares a los mencionados anteriormente.

Está dentro de los objetos de, al menos, una realización de la presente invención el prevenir o mitigar al menos una de las desventajas anteriores.

De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un procedimiento de filtración de contaminantes de un fluido, comprendiendo el procedimiento las etapas de:

dirigir una corriente de alimentación de un fluido que comprende contaminantes hacia una cámara de filtro que comprende, al menos, un elemento de filtro;  
disponer al menos parte del fluido de la corriente de alimentación hacia la cámara de filtro para que fluya en una de las siguientes:

- A. una dirección de flujo directa, en la que el fluido pasa en una primera dirección a través de una pared del elemento de filtro; y
- B. una dirección de flujo inversa, en la que el fluido pasa en una segunda y opuesta dirección a través de la pared del elemento de filtro

dirigir el filtrado hacia fuera de la cámara y hacia la línea de flujo de filtrado para su recogida;  
posteriormente, disponer el fluido de la corriente de alimentación hacia la cámara de filtro para que fluya a través de dicho elemento de filtro en la otra de las direcciones de flujo directa e inversa, para eliminar el material contaminante de la superficie de la pared del elemento de filtro;  
después de la eliminación de dicho material contaminante por el flujo del fluido en la otra de las direcciones de flujo directo e inverso, continuar direccionando el fluido de alimentación a través de la pared del elemento de filtro en dicha otra dirección para filtrar los contaminantes del fluido durante el flujo en la mencionada otra dirección; y  
después de la eliminación de dicho material contaminante, dirigir el filtrado resultante del flujo a través de la pared del elemento de filtro en dicha otra dirección fuera de la cámara y hacia la línea de flujo de filtrado para su recogida.

Los flujos en las direcciones directa e inversa pueden ser de la misma duración o de duraciones diferentes. La tasa de flujo en las direcciones directa e inversa puede ser la misma o puede ser diferente.

En oposición a los procedimientos y sistemas de flujo cruzado previos, el procedimiento del primer aspecto de esta invención implica la filtración activa de contaminantes del fluido de la corriente de alimentación en la otra de dichas direcciones de flujo. Así, por ejemplo, cuando la filtración se da inicialmente en la dirección de flujo directo, el flujo se cambia a la dirección de flujo inverso y se mantiene en la dirección inversa, filtrándose los contaminantes del fluido durante dicho flujo inverso. Esto ofrece ventajas que incluyen la reducción del tiempo de inactividad y la mejora de la eficacia.

El procedimiento puede incluir la etapa adicional de monitorizar, al menos, un parámetro y, opcionalmente, de detectar un cambio predeterminado en, al menos, un parámetro; pasando a la etapa de dirigir el fluido de la corriente de alimentación para que fluya a través de la pared del elemento de filtro en la otra de las direcciones de flujo directa e inversa. El salto a la etapa de disponer el fluido de la corriente de alimentación para que fluya a través de la pared del elemento de filtro en la otra de las direcciones de flujo directa e inversa puede realizarse después de un periodo o intervalo de tiempo predeterminado. La etapa de disponer el fluido de la corriente de alimentación para que fluya a través de la pared del filtro en la otra de las direcciones de flujo directa e inversa puede tener lugar en la primera de las situaciones que ocurra de: detección del cambio predeterminado en, al menos, un parámetro; y finalización del periodo de tiempo predeterminado. Así, por ejemplo, cuando la filtración se da inicialmente en la dirección de flujo

directo, el flujo puede cambiarse a la dirección de flujo inverso al detectar dicho cambio en, al menos, un parámetro; y/o al expirar el periodo de tiempo predeterminado. Este parámetro puede ser el "flujo superficial" a través del filtro, es decir, la tasa de flujo por unidad de área a través del filtro. Dicho flujo superficial disminuirá a medida que el material contaminante se acumule en la superficie de la pared del elemento filtrante. El fluido de la corriente de alimentación puede disponerse para que fluya en la otra dirección tras detectarse que el flujo superficial alcanza un nivel umbral predeterminado. El parámetro puede ser la concentración de contaminantes en el filtrado. Un aumento en la concentración de contaminantes puede ser indicativo de un deterioro en el funcionamiento, lo que requeriría un cambio en la dirección del flujo para limpiar la superficie de la pared del elemento de filtro. El procedimiento puede incluir monitorizar la concentración de contaminantes en el filtrado durante el flujo en la otra dirección y detectar que la concentración de contaminantes ha descendido a un nivel deseado, dirigiendo el filtrado a la línea de flujo de filtrado para su recogida. El contaminante puede ser o puede componerse de una amplia gama de diferentes materiales, pero, particularmente, puede componerse de material de hidrocarburo, puede tratarse de petróleo o aceites y puede estar presente en el fluido de la corriente de alimentación en forma de pequeñas gotas suspendidas. El contaminante puede ser o puede comprender agua. El contaminante puede ser o puede comprender materiales rocosos granulares, tales como arena. El contaminante puede ser sustancias químicas que se añaden al agua por diversos motivos de procedimiento. Por ejemplo, se pueden agregar productos químicos poliméricos al agua producida en yacimientos petrolíferos para mejorar la recuperación del petróleo y se pueden agregar materiales cerámicos a fluidos de "seguimiento" en procedimientos de gas de esquisto. En el presente documento, se entenderá que las referencias hechas a un contaminante o contaminantes presentes en el fluido se refieren a un material o materiales presentes en el fluido y que se desean eliminar. El contaminante es un material diferente al del fluido. El contaminante puede ser o puede componerse de un fluido y/o material sólido. El fluido del que debe filtrarse el contaminante también puede tratarse de una amplia gama de fluidos diferentes y, típicamente, puede ser una disolución/mezcla acuosa, agua, un hidrocarburo como petróleo o algún otro disolvente.

Se describe un segundo procedimiento de filtración de contaminantes de un fluido, componiéndose dicho procedimiento por las etapas:

dirigir una corriente de alimentación de un fluido que comprende contaminantes hacia una cámara de filtro que comprende, al menos, un elemento de filtro;  
 disponer parte del fluido de la corriente de alimentación a la cámara de filtro para que fluya a través de la pared de dicho elemento de filtro y dirigir el filtrado fuera de la cámara y hacia la línea de flujo de filtrado para su recogida; y  
 disponer el fluido restante de la corriente de alimentación hacia la cámara de filtro para que fluya en una corriente de purga de flujo cruzado a través del mencionado elemento de filtro y hacia la línea de flujo de purga;  
 en la que la velocidad del fluido que fluye a través de dicho elemento de filtro en la corriente de purga de flujo cruzado no es superior a 4 m/s, aproximadamente, para promover la formación de una capa de ensuciamiento del material contaminante sobre una superficie del elemento de filtro, de modo que la filtración de material contaminante adicional se logra por medio de una combinación del elemento de filtro y de la capa de ensuciamiento.

A diferencia de los procedimientos y sistemas de flujo cruzado previos, el segundo procedimiento implica dirigir un fluido en una corriente de purga de flujo cruzado a través del elemento de filtro con una velocidad no superior a 4 m/s, aproximadamente, para promover la formación de una capa de ensuciamiento. Los inventores han reconocido que la formación de una capa de ensuciamiento puede ser beneficiosa para la filtración eficaz de los contaminantes. En los procedimientos y sistemas anteriores, se enseña específicamente que la formación de una capa de ensuciamiento es perjudicial y, por lo tanto, la velocidad del flujo de purga se mantiene relativamente alta (y superior a 4 m/s) para impedir la formación de la capa de ensuciamiento.

Se desvela un tercer procedimiento de filtración de contaminantes de un fluido comprendiendo dicho procedimiento las etapas de:

dirigir una corriente de alimentación de un fluido que comprende contaminantes hacia una cámara de filtro que comprende, al menos, un elemento de filtro;  
 disponer parte del fluido de la corriente de alimentación a la cámara de filtro para que fluya a través de la pared de dicho elemento de filtro y  
 dirigir el filtrado fuera de la cámara y hacia la línea de flujo de filtrado para su recogida; y  
 disponer el fluido restante de la corriente de alimentación hacia la cámara de filtro para que fluya en una corriente de purga de flujo cruzado a través de dicho elemento de filtro y hacia una línea de flujo de purga;  
 en la que el volumen del fluido de la corriente de alimentación que se dispone a fluir en la corriente de purga de flujo cruzado a través de dicho elemento de filtro es, al menos, de aproximadamente el 5 % del volumen total del fluido en la corriente de alimentación.

A diferencia de los procedimientos y sistemas de flujo cruzado previos, el tercer procedimiento implica dirigir, al menos, aproximadamente el 5 % del volumen total del fluido en la corriente de alimentación en una corriente de purga de flujo cruzado a través del elemento de filtro. En los procedimientos y sistemas anteriores, se desea específicamente que la cantidad de fluido en la corriente de purga se mantenga en la menor proporción posible del volumen total de fluido en la corriente de alimentación (menos del 5 % y típicamente alrededor del 1 %), para

maximizar el flujo a través del elemento de filtro y, por lo tanto, el rendimiento. En el presente procedimiento, la dirección de una proporción relativamente mayor del fluido de la corriente de alimentación a lo largo de la corriente de purga de flujo cruzado proporciona una mayor libertad para "afinar" el tercer procedimiento con los requisitos particulares de éste; lo que no ocurriría si se tratara de los procedimientos y sistemas anteriores.

- 5 Se desvela un cuarto procedimiento de filtración de contaminantes de un fluido, comprendiendo el procedimiento las etapas de:

dirigir una corriente de alimentación de un fluido que comprende contaminantes hacia una cámara de filtro que comprende, al menos, un elemento de filtro;

- 10 disponer parte del fluido de la corriente de alimentación hacia la cámara de filtro para que fluya a través de la pared de dicho elemento de filtro y

dirigir el filtrado fuera de la cámara y hacia la línea de flujo de filtrado para su recogida; y

disponer el fluido restante de la corriente de alimentación hacia la cámara de filtro para que fluya en una corriente de purga de flujo cruzado a través del mencionado elemento de filtro y hacia una línea de flujo de purga;

- 15 en la que el fluido de la corriente de purga de flujo cruzado está dispuesto para fluir con un perfil de flujo laminar, para promover la formación de una capa límite de suciedad del material contaminante sobre una superficie de dicho elemento de filtro, de modo que la filtración de material contaminante adicional se logra por medio de una combinación del elemento filtrante y la capa límite.

A diferencia de los procedimientos y sistemas de flujo cruzado previos, el cuarto procedimiento implica dirigir un fluido en una corriente de purga de flujo cruzado en la cual el fluido está dispuesto para fluir con un perfil de flujo laminar, para promover la formación de una capa de ensuciamiento. Los inventores han reconocido que la formación de una capa de ensuciamiento puede ser beneficiosa para la filtración eficaz de contaminantes. En los procedimientos y sistemas anteriores, se enseña específicamente que la formación de una capa de ensuciamiento es perjudicial y, por lo tanto, el fluido en la corriente de purga se hace fluir con un perfil de flujo turbulento para impedir la formación de la capa de ensuciamiento.

- 25 Se desvela un quinto procedimiento de filtración, que se trata de un procedimiento de filtración de contaminantes de un fluido acuoso, comprendiendo dicho procedimiento las etapas de:

dirigir una corriente de alimentación de un fluido acuoso que comprende contaminantes hacia una cámara de filtro que comprende, al menos, un elemento de filtro;

- 30 disponer parte del fluido de la corriente de alimentación a la cámara de filtro para que fluya a través de la pared de dicho elemento de filtro y

dirigir el filtrado fuera de la cámara y hacia la línea de flujo de filtrado para su recogida; y

disponer el fluido restante de la corriente de alimentación hacia la cámara de filtro para que fluya en una corriente de purga de flujo cruzado a través del mencionado elemento de filtro y hacia una línea de flujo de purga;

- 35 en la que el fluido se dispone para fluir en la corriente de purga de flujo cruzado, de tal forma que tiene un número de Reynolds de no más de aproximadamente 2500, para promover la formación de una capa de ensuciamiento del material contaminante sobre una superficie de dicho elemento de filtro, de modo que la filtración de material contaminante adicional se logra por medio de una combinación del elemento de filtro y la capa de ensuciamiento.

A diferencia de los procedimientos y sistemas de flujo cruzado previos, el quinto procedimiento implica dirigir un fluido en una corriente de purga de flujo cruzado en la cual el fluido está dispuesto para fluir con un número de Reynolds de no más de aproximadamente 2500, para promover la formación de una capa de ensuciamiento. Los inventores han reconocido que la formación de una capa de ensuciamiento puede ser beneficiosa para la filtración eficaz de contaminantes. En los procedimientos y sistemas anteriores, se enseña específicamente que la formación de una capa de ensuciamiento es perjudicial y, por lo tanto, el número de Reynolds del fluido en la corriente de purga se elige para que sea significativamente superior a 2500 para, así, impedir la formación de la capa límite.

- 45 Se desvela un sexto procedimiento de filtración de contaminantes de un fluido, comprendiendo dicho procedimiento las etapas de:

dirigir una corriente de alimentación de un fluido que comprende contaminantes hacia una cámara de filtro que comprende, al menos, un elemento de filtro que tiene una pluralidad de poros para filtrar contaminantes de un

- 50 fluido de una corriente de alimentación, siendo el tamaño de poro no menor de 4 micrómetros, aproximadamente; disponer parte del fluido de la corriente de alimentación a la cámara de filtro para que fluya a través de la pared de dicho elemento de filtro y

dirigir el filtrado fuera de la cámara y hacia la línea de flujo de filtrado para su recogida; y

disponer el fluido restante de la corriente de alimentación hacia la cámara de filtro para que fluya en una corriente de purga de flujo cruzado a través del mencionado elemento de filtro y hacia una línea de flujo de purga; y

- 55 supervisar uno o más parámetros de la corriente de purga de flujo cruzado para promover la formación de una capa de ensuciamiento en una superficie de dicho elemento de filtro, de manera que la filtración de material contaminante se puede lograr por medio de una combinación del elemento de filtro y la capa de ensuciamiento.

A diferencia de los procedimientos y sistemas de flujo cruzado previos, el sexto procedimiento implica dirigir el fluido de la corriente de alimentación a una cámara de filtro que comprende un elemento de filtro con una pluralidad de poros y un tamaño de poro no inferior a aproximadamente 4 micrómetros. En los procedimientos y sistemas anteriores, se requiere un tamaño de poro relativamente pequeño cuando se desean filtrar pequeñas gotas o partículas. Los tamaños típicos de poro pueden ser de 0,2 a 1,2 micrómetros. La filtración es por exclusión de tamaño y los contaminantes separados (gotas/finos) tienen tamaños mayores que el tamaño de poro del elemento de filtro. Se enseña específicamente que debe evitarse la formación de una capa de ensuciamiento, basándose en que esto bloquea los poros relativamente pequeños y empeora rápidamente el rendimiento. De hecho, se ha encontrado que los poros pueden quedar irreversiblemente bloqueados, tal como se discutió anteriormente. Los inventores han reconocido que la formación de una capa de ensuciamiento, en un procedimiento que implica una corriente de purga de flujo cruzado a través de un elemento de filtro, puede ser beneficiosa para la filtración eficaz de contaminantes. En consecuencia, los inventores han reconocido que se puede aumentar el tamaño de poro del elemento de filtro, con los consiguientes beneficios en términos de mayor flujo superficial y, en consecuencia, de producción, lo que conduce a una mayor eficiencia y ahorro en costes. Un beneficio adicional del aumento del tamaño de poro es que ayuda a prevenir la ensuciamiento irreversible de los elementos de filtro (membranas), lo que puede ocurrir debido a la penetración en los poros de las partículas sólidas que tienen tamaños comparables a ellos. Otro beneficio es el mayor flujo superficial que resulta del uso de un elemento de filtro que tiene poros más grandes que los empleados en los procedimientos anteriores.

Los procedimientos de uno cualquiera del primer aspecto de la invención o los procedimientos del segundo al sexto definidos anteriormente, pueden compartir una o más características con otros procedimientos desvelados en el presente documento.

De este modo, uno cualquiera de los procedimientos segundo a sexto puede comprender la disposición dicha parte del fluido de la corriente de alimentación a la cámara de filtro para que fluya en una de:

- A. una dirección de flujo directa en la que el fluido pasa en una primera dirección a través de una pared del elemento de filtro; y
- B. una dirección de flujo inverso en la que el fluido pasa en una segunda dirección opuesta a través de la pared del elemento de filtro;

dirigir el filtrado fuera de la cámara hacia la línea de filtración para su recogida; posteriormente, disponer el fluido de la corriente de alimentación hacia la cámara de filtro para que fluya a través de dicho elemento de filtro en la otra de las direcciones de flujo directa e inversa, para eliminar el material contaminante de la superficie de la pared del filtro; después de la eliminación de dicho material contaminante por el flujo del fluido en la otra de las direcciones de flujo directo e inverso, continuar direccionando el fluido de alimentación a través de dicho elemento de filtro en dicha otra dirección para filtrar los contaminantes del fluido durante el flujo en dicha otra dirección; y después de la eliminación de dicho material contaminante, dirigir el filtrado resultante del flujo a través de dicho elemento de filtro en dicha otra dirección de flujo fuera de la cámara y hacia la línea de filtración para su recogida.

El procedimiento puede incluir la etapa adicional de monitorizar, al menos, un parámetro y, opcionalmente, de detectar un cambio predeterminado en, al menos, un parámetro; pasando a la etapa de disponer el fluido de la corriente de alimentación para que fluya a través del elemento de filtro en la otra de las direcciones de flujo directa e inversa. El paso a la etapa de disponer el fluido de la corriente de alimentación para que fluya a través del elemento de filtro en la otra de las direcciones de flujo directa e inversa se puede realizar después de un periodo o intervalo de tiempo predeterminado. La etapa de dirigir el fluido de la corriente de alimentación para que fluya a través del elemento de filtro en la otra de las direcciones de flujo directa e inversa puede tener lugar en la primera de las situaciones que ocurra de: detección del cambio predeterminado en el parámetro y finalización del periodo de tiempo predeterminado.

El procedimiento del primer aspecto de la invención puede ser un procedimiento de filtración en línea en el que todo el fluido de la corriente de alimentación se dirige a través de la pared del elemento o elementos de filtro. Sin embargo, el procedimiento del primer aspecto de la invención puede comprender disponer, al menos, parte del fluido de la corriente de alimentación hacia la cámara de filtro, para que fluya en una de las direcciones de flujo directa e inversa; y dirigir el fluido resultante de la corriente de alimentación hacia la cámara de filtro para que fluya en una corriente de purga de flujo cruzado a través del elemento de filtro y hacia la línea de flujo de purga. El fluido que fluye a través del elemento de filtro en la corriente de purga de flujo cruzado puede disponerse para fluir con una velocidad no superior a 4 m/s, aproximadamente, para promover la formación de una capa de ensuciamiento del material contaminante sobre una superficie del elemento de filtro, de modo que la filtración del material contaminante adicional se consiga por medio de una combinación del elemento de filtro y la capa de ensuciamiento. Un volumen del fluido de la corriente de alimentación que está dispuesto para fluir en la corriente de purga de flujo cruzado a través del filtro puede ser, al menos, del 5%, aproximadamente, del volumen total del fluido en la corriente de alimentación. El fluido en la corriente de purga de flujo cruzado puede disponerse para fluir con un perfil de flujo laminar para promover la formación de una capa de ensuciamiento del material contaminante sobre una superficie del elemento de filtro, de modo que la filtración del material contaminante adicional se logra mediante una combinación del elemento de filtro y la capa de ensuciamiento. El fluido de la corriente de alimentación puede ser

acuoso y el fluido en la corriente de purga de flujo cruzado puede disponerse para fluir en la corriente de purga de manera que tenga un número de Reynolds inferior a aproximadamente 2500, para promover la formación de una capa de suciedad del material contaminante sobre una superficie del elemento de filtro, de modo que la filtración del material contaminante adicional se logra mediante una combinación del elemento de filtro y la capa de ensuciamiento. La etapa de dirigir la corriente de alimentación de un fluido que comprende contaminantes a la cámara de filtro puede incluir dirigir la corriente de alimentación a una cámara de filtro que contenga un elemento de filtro con una pluralidad de poros para filtrar contaminantes del fluido de alimentación, siendo el tamaño de poro no inferior a 4 micrómetros, aproximadamente; y supervisar uno o más parámetros de la corriente de purga de flujo cruzado para promover la formación de una capa de suciedad del material contaminante sobre una superficie del elemento de filtro, de modo que la filtración del material contaminante adicional se logra mediante una combinación del elemento de filtro y la capa de ensuciamiento.

Cualquiera de los procedimientos segundo a sexto puede incluir una o más de las siguientes características, según corresponda. El fluido de la corriente de alimentación puede ser acuoso y el fluido en la corriente de purga de flujo cruzado puede disponerse para que fluya de tal manera que tenga un número de Reynolds inferior a aproximadamente 2500, para promover la formación de una capa de ensuciamiento del material contaminante sobre una superficie del filtro, de modo que la filtración del material contaminante adicional se logra mediante una combinación del elemento de filtro y la capa de ensuciamiento. El fluido en la corriente de purga de flujo cruzado puede disponerse para que fluya con un perfil de flujo laminar para promover la formación de una capa de ensuciamiento del material contaminante sobre una superficie del elemento de filtro, de modo que la filtración del material contaminante adicional se logra mediante una combinación del elemento de filtro y la capa de ensuciamiento. El volumen del fluido de la corriente de alimentación que se dirige para que fluya en la corriente de purga de flujo cruzado a través del elemento de filtro puede ser, al menos, el 5%, aproximadamente, del volumen total del fluido en la corriente de alimentación. La velocidad del fluido que fluye a través del filtro en la corriente de purga de flujo cruzado puede ser no superior a aproximadamente 4 m/s, para promover la formación de una capa de ensuciamiento del material contaminante sobre una superficie del elemento de filtro, de modo que la filtración del material contaminante adicional se logra mediante una combinación del elemento filtrante y la capa de ensuciamiento. La etapa de dirigir la corriente de alimentación de un fluido que comprende contaminantes a la cámara de filtro puede consistir en dirigir la corriente de alimentación a una cámara de filtro que comprende un elemento de filtro con una pluralidad de poros para filtrar contaminantes del fluido de alimentación, siendo el tamaño de poro no menor a 4 micrómetros; y supervisar uno o más parámetros de la corriente de purga de flujo cruzado para promover la formación de una capa de ensuciamiento del material contaminante sobre una superficie del elemento de filtro, de modo que la filtración del material contaminante adicional se logra mediante una combinación del elemento de filtro y la capa de ensuciamiento.

Otras características opcionales de cualquiera de los procedimientos del primer aspecto de la presente invención, así como de los procedimientos segundo a sexto desvelados en el presente documento, se muestran a continuación.

El procedimiento puede emplear, al menos, un elemento de filtro que es hueco. El procedimiento puede consistir en disponer, al menos, parte del fluido de la corriente de alimentación hacia la cámara de filtro, para que fluya en:

- A. una dirección de flujo directa en la que el fluido pasa en una primera dirección a través de la pared del elemento de filtro desde el interior del elemento hasta el exterior de él; y
- B. una dirección de flujo inverso en la que el fluido pasa en una segunda y opuesta dirección a través de la pared del elemento de filtro desde el exterior del elemento hasta el interior de él.

El procedimiento puede emplear, al menos, un elemento de filtro que, generalmente, tiene forma de placa plana y tiene una primera superficie opuesta a la segunda superficie. El procedimiento puede consistir en disponer el fluido de la corriente de alimentación hacia la cámara de filtro, para que fluya en:

- A. una dirección de flujo directa en la que el fluido pasa en una primera dirección a través de la pared del elemento de filtro desde la primera a la segunda superficie; y
- B. una dirección de flujo inverso en la que el fluido pasa en una segunda y opuesta dirección a través de la pared del elemento de filtro desde la segunda a la primera superficie.

El procedimiento puede emplear, al menos, un elemento de filtro que tenga otras formas o configuraciones deseadas.

Cuando el flujo a través del elemento de filtro se da en la dirección de flujo directa, se forma una capa de ensuciamiento de material contaminante sobre la superficie central o interior, o la primera superficie, del elemento de filtro. El fluido puede disponerse para que fluya en la dirección de flujo inverso para eliminar parte de la capa de suciedad formada en dicha superficie del elemento de filtro. Cuando el flujo a través del filtro está en la dirección de flujo inverso, se forma una capa de ensuciamiento de material contaminante sobre la superficie externa, o la segunda y opuesta superficie del elemento de filtro. El fluido se puede disponer para que fluya en la dirección de flujo directo para eliminar parte de la capa de ensuciamiento formada en dicha superficie del elemento de filtro. El procedimiento puede incluir la etapa adicional de, posterior a la eliminación de dicho material contaminante y filtración en la otra de las direcciones de flujo directo e inverso, dirigir el fluido de alimentación hacia la cámara de

5 filtro para que fluya de nuevo a través del elemento de filtro en la dirección de flujo directo o inverso que se seleccionó inicialmente, para eliminar el material contaminante de la superficie de la pared del elemento que ha resultado perjudicada como consecuencia del flujo del fluido en la otra de las direcciones de flujo hacia adelante y hacia atrás. El flujo puede continuar en esta dirección y, después de la eliminación de dicho material contaminante, el filtrado resultante de dicho flujo puede dirigirse fuera de la cámara y hacia la línea de filtración para su recogida. El procedimiento puede consistir en cambiar secuencialmente la dirección de flujo del fluido de la corriente de alimentación entre las direcciones de flujo directo e inverso, según proceda, en respuesta a la detección de un cambio predeterminado en el parámetro medido y/o la finalización del periodo de tiempo predeterminado discutido anteriormente.

10 El elemento de filtro hueco puede ser tubular y, generalmente, puede ser un filtro tubular cilíndrico. El filtro puede delimitar un espacio central vacío, conducto o canal central que se extiende a lo largo de la longitud del mismo. Durante el flujo del fluido en la dirección de flujo directa, el fluido puede pasar desde el vacío central hacia fuera a través de la pared del elemento de filtro hacia el exterior del elemento y puede fluir en la dirección radial, principalmente. Un espacio entre la superficie interna de la cámara de filtro y la superficie externa del elemento de filtro puede quedar definido entre ellos, con lo que el fluido que pasa a través de la pared del elemento de filtro puede entrar en este espacio. Generalmente, la cámara de filtro puede ser cilíndrica. Durante el flujo en la dirección de flujo inversa, el fluido puede pasar internamente desde el citado espacio a través de la pared del elemento de filtro hacia el hueco central y puede fluir en una dirección radial, principalmente. Cuando la parte del fluido de alimentación dirigida hacia la cámara de filtro y a través de la pared del elemento de filtro fluye en la dirección de flujo directa, la parte del fluido que fluye en la corriente de purga de flujo cruzado puede fluir a través del vacío central del elemento de filtro. Cuando la parte del fluido de alimentación dirigida hacia la cámara de filtro y a través de la pared del elemento de filtro fluye en la dirección de flujo inversa, la parte del fluido que fluye en la corriente de purga de flujo cruzado puede fluir en la dirección a través del espacio definido entre la superficie interna de la cámara de filtro y a lo largo de la superficie externa del elemento del filtro.

25 Después de completar, al menos, un ciclo de flujo del fluido de alimentación en las direcciones directa e inversa y en el caso de que el cambio predeterminado en el parámetro medido ocurra dentro de un periodo de tiempo reducido (lo que podría indicar un deterioro en el rendimiento de filtración), el procedimiento puede incluir la etapa de limpiar el elemento de filtro. El deterioro puede deberse al material contaminante que queda después de la inversión del flujo y que puede bloquear al menos algunos de los poros. La etapa de limpieza del elemento de filtro puede consistir en dirigir un fluido de limpieza a la cámara de filtro y disponer el fluido en la dirección de flujo directa o inversa. Puede ser beneficioso si se selecciona una dirección del fluido de limpieza opuesta a la dirección de flujo que el fluido tenía cuando se detectó la alteración en el rendimiento. Sin embargo, el fluido de limpieza puede fluir en la misma dirección que dicho fluido. El uso de un fluido de limpieza puede evitar una mayor acumulación de contaminantes sobre la superficie o en el interior del elemento de filtro. El fluido de limpieza puede dirigirse a través de la pared del elemento de filtro en la dirección de flujo directa e inversa seleccionada, durante un periodo de tiempo predeterminado mientras se monitoriza el al menos un parámetro; y puede, posteriormente, dirigir el fluido en la otra de las direcciones de flujo directo e inverso durante un periodo de tiempo predeterminado, mientras se monitoriza el parámetro. Se pueden realizar otras inversiones de flujo durante el procedimiento de limpieza. Cuando se determina que el rendimiento del elemento de filtro ha vuelto a un nivel aceptable, el procedimiento puede incluir la etapa de redirigir el fluido de alimentación hacia la cámara de filtro y dirigir el fluido a través de la pared del elemento de filtro en una dirección de flujo seleccionada, directa o inversa.

45 El procedimiento puede consistir en dirigir la corriente de alimentación del fluido a una cámara de filtro que comprende una pluralidad de elementos de filtro. La provisión de una pluralidad de elementos de filtro puede proporcionar un mayor flujo superficial de filtrado para una cámara de tamaño dado. El procedimiento puede consistir en dirigir, al menos, parte del fluido de la corriente de alimentación hacia los elementos de filtro para que fluya en una de las direcciones de flujo directa e inversa. El procedimiento puede combinar el flujo de filtrado de cada elemento de filtro y dirigir el flujo combinado fuera de la cámara y hacia la línea de flujo de filtrado.

50 El procedimiento puede comprender dirigir la corriente de alimentación del fluido hacia una pluralidad de cámaras de filtro, opcionalmente desde una fuente común, en la que cada cámara de filtro comprende una pluralidad de elementos de filtro. Esto puede permitir que, al menos, una de las cámaras de filtro se desconecte, por ejemplo, para fines de limpieza o mantenimiento, continuando durante este procedimiento la filtración a través de, al menos, una de las cámaras de filtración adicionales. El procedimiento puede comprender dirigir las corrientes de alimentación del fluido a módulos de filtración, definiendo o comprendiendo cada módulo una cámara de filtro. El procedimiento puede incluir desconectar, al menos, uno de los módulos/cámaras de filtro para el ciclo de inversión del flujo, continuando la filtración durante este procedimiento a través de, al menos, una cámara de filtro adicional. De esta manera, los ciclos de inversión de flujo a través de todas las cámaras se pueden llevar a cabo de forma secuencial.

60 El al menos un parámetro que se mide se puede seleccionar del grupo que comprende el flujo superficial a través del elemento de filtro; una caída de presión a través del elemento de filtro y/o una proporción o concentración de contaminantes que permanecen en el filtrado. Un flujo operativo a través del elemento de filtro puede estar típicamente en el intervalo de 800 a 4000 l/m<sup>2</sup>/h, aproximadamente; los flujos típicos en los procedimientos previos de filtración de flujo cruzado son de alrededor de 200 a 400 l/m<sup>2</sup>/h. La referencia a un flujo operativo se debe considerar como el flujo superficial a través del elemento de filtro durante un periodo en el procedimiento en el que

- se produce la filtración, el filtrado se dirige a la línea de flujo de filtrado y la concentración de contaminantes dentro del filtrado se encuentra dentro de la memoria descriptiva (y, por lo tanto, dentro de niveles aceptables, que pueden estar alrededor de 1 mg/l a 10 mg/l, aproximadamente, pero que podrían ser incluso más bajos o incluso caer por debajo de 1 mg/l, aproximadamente). En la puesta en marcha, el flujo puede ser mayor, con un valor de hasta 9000 l/m<sup>2</sup>/h. A medida que los contaminantes se acumulan y forman una capa de ensuciamiento en la superficie del elemento de filtro, el flujo se puede reducir a un nivel operativo suficiente para llevar a cabo una filtración efectiva de contaminantes del fluido de la corriente de alimentación (medida mediante la determinación de la proporción de contaminantes en el filtrado), a la vez que proporciona un rendimiento suficiente. Cuando se determina que la proporción de contaminantes en el filtrado ha alcanzado un nivel aceptable, el filtrado puede dirigirse a la línea de flujo de filtrado para su recogida. Cuando el flujo superficial ha bajado a un nivel inferior, que se encuentre dentro del rango anterior (esto es indicativo de que la capa de suciedad está creciendo hasta un espesor suficiente como para restringir excesivamente el rendimiento y/o de que los poros del filtro se están bloqueando), el fluido de la corriente de alimentación dirigido hacia la cámara de filtro se puede disponer para que fluya en la otra de las direcciones de flujo directa e inversa.
- El volumen del fluido de la corriente de alimentación que se dispone para que fluya en la corriente de purga de flujo cruzado puede ser de, al menos, el 10 %, aproximadamente; y puede ser de, al menos, el 15 %, aproximadamente, del volumen total del fluido en la corriente de alimentación. El volumen puede ser no más del 10 %, aproximadamente; puede ser no mayor del 15 %, aproximadamente; y puede ser no mayor del 20 %, aproximadamente, del volumen total del fluido en la corriente de alimentación. El volumen de la corriente de purga puede ajustarse a las propiedades particulares de la corriente de alimentación, como pueden ser la concentración y las propiedades físicas/químicas del petróleo y los sólidos dispersos y la viscosidad de la corriente de alimentación. El caudal de flujo de purga también puede ajustarse para optimizar varios parámetros, incluida la calidad requerida del filtrado, el caudal del procedimiento general, la frecuencia de los ciclos de inversión de flujo y la frecuencia de las operaciones de limpieza.
- En la dirección de flujo directa, para elementos de filtro huecos, la velocidad del fluido que fluye en la corriente de purga de flujo cruzado puede definirse como: el caudal de alimentación del fluido de alimentación en la cámara de filtro (m<sup>3</sup>/s) dividido por el área de sección transversal del hueco central del filtro o la suma de las áreas transversales de los huecos centrales de los diversos elementos filtrantes (m<sup>2</sup>). Cuando hay multiplicidad de cámaras de filtración, la velocidad de flujo del fluido en las corrientes de purga de flujo cruzado puede ser igual al caudal de flujo de alimentación combinado del fluido de la corriente de alimentación en todas las cámaras de filtración (m<sup>3</sup>/s) dividido entre la suma de las áreas de sección transversal de los huecos centrales de todos los elementos filtrantes (m<sup>2</sup>). En la dirección de flujo inverso, la velocidad de flujo del fluido en la corriente de purga de flujo cruzado se puede definir como: el caudal de alimentación del fluido en la corriente de alimentación que va a la cámara de filtro (m<sup>3</sup>/s) dividido entre el área de la sección transversal del espacio definido entre la superficie interna del módulo de filtro que defina la cámara de filtro y la superficie externa del elemento o los elementos de filtro (m<sup>2</sup>). Cuando haya multiplicidad de cámaras de filtración, la velocidad del fluido que fluye en las corrientes de purga de flujo cruzado puede ser igual al caudal de alimentación combinado del fluido en la corriente de alimentación en todas las cámaras de filtración (m<sup>3</sup>/s) dividido entre la suma de las áreas transversales definidas entre las superficies internas de las cámaras de filtración y las superficies externas de los elementos de filtro (m<sup>2</sup>).
- Para los elementos de filtro de placa plana, la velocidad del fluido que fluye en la corriente de purga de flujo cruzado se puede definir como: el caudal de alimentación del fluido de la corriente de alimentación en la cámara de filtro (m<sup>3</sup>/s) dividido entre el área de sección transversal de paso de la corriente de purga (m<sup>2</sup>). El paso de flujo puede estar limitado por un módulo que defina la cámara de filtro y uno o más elementos de filtro. Cuando haya una pluralidad de cámaras de filtración, la velocidad del fluido que fluye en las corrientes de purga de flujo cruzado puede ser igual al caudal de alimentación combinado del fluido en la corriente de alimentación en todas las cámaras de filtración (m<sup>3</sup>/s) dividido entre la suma de las áreas de sección transversal de todos los pasos de flujo de la corriente de purga.
- En mecánica de fluidos, el número de Reynolds proporciona una indicación de la relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas. Para un fluido acuoso/agua, un número de Reynolds de no más de aproximadamente 2500 puede dar como resultado un flujo laminar y, en el contexto de la presente invención, la promoción de la formación de una capa de ensuciamiento en una superficie de la pared del filtro. Para otros fluidos, tales como los fluidos que comprenden hidrocarburos (por ejemplo, petróleo) que comprenden contaminantes como pequeños volúmenes de agua, diferentes números de Reynolds pueden ser indicativos de flujo laminar. Del mismo modo, diferentes números de Reynolds pueden ser indicativos de flujo laminar en el caso de otros fluidos distintos, por ejemplo, disolventes orgánicos.
- El elemento de filtro puede ser microporoso. El tamaño de poro de los poros en el elemento de filtro podrá ser: no menor de aproximadamente 4 micrómetros, no menor de aproximadamente 10 micrómetros, no menor de aproximadamente 15 micrómetros, no menor de aproximadamente 20 micrómetros y no menor de aproximadamente 30 micrómetros. El tamaño de poro puede ser no mayor de alrededor de 15 micrómetros. El tamaño de poro puede ser no mayor de alrededor de 20 micrómetros. En la presente invención, es posible filtrar contaminantes de aproximadamente 0,1 micrómetros y mayores cuando el elemento de filtro tenga tamaños de poros de 4 micrómetros, aproximadamente; y 1 micrómetro y mayores cuando el elemento de filtro tenga poros de tamaño de

alrededor de 15 micrómetros o más. Los poros en el elemento de filtro pueden tener forma de túneles que se extiendan entre las superficies internas y externas del filtro. Generalmente, los poros tendrán sección transversal circular y serán cilíndricos. Los poros pueden ser vías a través de la membrana donde el tamaño de poro se define en términos de la partícula más grande que puede pasar a través de la membrana. Por lo tanto y de manera general, los expertos en la técnica entenderán que la referencia a un "tamaño" de poro se refiere al diámetro o área de sección transversal del poro.

También se desvela un módulo de filtro para una planta de filtración, estando diseñado dicho módulo para la filtración de un fluido y que consta de:

una cámara de filtro que comprende, al menos, un elemento de filtro, con dicho filtro dispuesto para filtrar contaminantes de una corriente de alimentación de un fluido dirigido hacia la cámara de filtro y a través de una pared del elemento de filtro;  
 en el que el filtro tiene una pluralidad de poros para filtrar contaminantes del fluido de la corriente de alimentación; y  
 en el que el tamaño de poro no es menor a 4 micrómetros, aproximadamente.

De acuerdo con el segundo aspecto de la presente invención, se proporciona una planta de filtración para filtrar contaminantes de un fluido. La planta comprende:

al menos un módulo de filtro que comprende una cámara de filtro que comprende, al menos, un elemento de filtro, con dicho filtro dispuesto para filtrar contaminantes desde una corriente de alimentación de un fluido dirigido a la cámara de filtro y a través de una pared del elemento de filtro;  
 en el que la planta de filtración en uso se dispone:

para dirigir parte del fluido de la corriente de alimentación hacia la cámara de filtro para que fluya en uno de:

A. una dirección de flujo directa, en la que el fluido pasa en una primera dirección a través de la pared del elemento de filtro; y  
 B. una dirección inversa, en la que el fluido pasa en una segunda y opuesta dirección a través de la pared del elemento de filtro;

para dirigir el filtrado fuera de la cámara hacia la línea de flujo de filtrado para su recogida;  
 para dirigir posteriormente dicho fluido de la corriente de alimentación a que fluya a través de dicho elemento de filtro en la otra de las direcciones de flujo directa e inversa, para eliminar el material contaminante de la superficie de la pared del elemento;

para, después de eliminar dicho material contaminante mediante el flujo del fluido en la otra de las direcciones directa e inversa, continuar dirigiendo el fluido de la corriente de alimentación a través de la pared del elemento de filtro en dicha otra dirección para filtrar contaminantes del fluido durante el flujo en dicha otra dirección; y

para, después de la eliminación de dicho material contaminante, dirigir el filtrado resultante del flujo a través de la pared del elemento de filtro en dicha otra dirección fuera de la cámara y hacia la línea de flujo de filtrado para su recogida.

Opcionalmente, el elemento de filtro tendrá una pluralidad de poros para filtrar contaminantes de un fluido en la corriente de alimentación, en el que el tamaño de poro no será inferior a 4 micrómetros, aproximadamente.

El elemento de filtro puede ser microporoso. El tamaño de poro en el elemento de filtro puede ser: no inferior a 4 micrómetros, aproximadamente; no inferior a 10 micrómetros, aproximadamente; y no inferior a 15 micrómetros, aproximadamente. El tamaño de poro puede: no ser mayor de 15 micrómetros, aproximadamente; no ser mayor de 20 micrómetros, aproximadamente. El tamaño de poro puede ser mayor que los tamaños de las gotas de petróleo y los finos que se eliminan. Por ejemplo, la presente invención puede facilitar la eliminación de gotas y finos que tengan tamaños de alrededor de 0,1 micrómetro y mayores cuando el filtro tenga tamaños de poros de aproximadamente 4 micrómetros; o tamaños de alrededor de 1 micrómetro con filtros con tamaños de poros de en torno a 15 micrómetros. Los poros en el elemento de filtro tendrán forma de túneles que se extiendan entre las superficies internas y externas del elemento de filtro. Generalmente, los poros tendrán sección transversal circular y serán cilíndricos. Por lo tanto y de manera general, los expertos en la técnica entenderán que la referencia a un "tamaño" de poro se refiere al diámetro o área de sección transversal de los poros.

Otras características del módulo desvelado anteriormente y/o la planta del segundo aspecto de la presente invención, pueden derivarse de o con respecto al procedimiento del primer aspecto de la invención, o cualquiera de los procedimientos del segundo al sexto definidos anteriormente.

Los procedimientos para filtrar contaminantes de un fluido se desvelan en el presente documento (véase, por ejemplo, el primer aspecto anteriormente) en el que, tras el flujo del fluido de alimentación en una de las mencionadas direcciones de flujo directa e inversa, se hace fluir el fluido de la corriente de alimentación a través de dicho elemento de filtro en la otra de dichas direcciones de flujo directa e inversa, para eliminar el material contaminante de la superficie de la pared del elemento de filtro. Se entenderá, sin embargo, que está dentro del

rango de posibilidades de la invención que, tras el flujo en la dirección directa/inversa seleccionada, se emplee, al menos inicialmente, un fluido distinto al fluido de alimentación, que fluya en la otra dirección para eliminar el material contaminante. Por ejemplo, inicialmente puede usarse un fluido de limpieza y luego cambiarse al fluido de alimentación cuando se ha determinado o estimado que la pared del elemento de filtro se ha limpiado adecuadamente mediante el flujo en dicha otra dirección.

La naturaleza y el alcance de la presente invención se describirán ahora, a modo de ejemplo únicamente, con referencia a las figuras adjuntas, en las que:

La Figura 1 es una ilustración esquemática de la planta de filtración de acuerdo con una realización de la presente invención, teniendo la planta de filtración una utilidad en un procedimiento para filtrar contaminantes de un fluido que también es de acuerdo con una realización de la presente invención;

La Figura 2 es una vista esquemática de la sección longitudinal transversal de un módulo de filtro, de acuerdo con una realización de la presente invención, con el módulo de filtro formando parte de la planta de filtración ilustrada en la Figura 1.

La Figura 3 es una vista en planta del módulo de filtro mostrado en la Figura 2, con una de las tapas de los extremos del módulo quitada;

Las Figuras 4 y 5 son vistas del módulo de filtro mostrado en la Figura 2, que ilustran diferentes direcciones de flujo del fluido a través del módulo, en el procedimiento de filtración de contaminantes de la invención;

La Figura 6 es un diagrama de bloques que ilustra las trayectorias de flujo y el funcionamiento de una planta de filtración de acuerdo con otra realización de la presente invención;

Las Figuras 7, 8 y 9 son las vistas de alzado, planta y perfil, respectivamente, de parte de una planta de filtración según otra realización de la presente invención;

Las Figuras 10 y 11 son vistas esquemáticas de la sección transversal longitudinal de un módulo de filtro según otra realización de la presente invención, con el módulo de filtro formando parte de una planta de filtración como la ilustrada en la Figura 1, con los diagramas ilustrando diferentes direcciones de flujo del fluido a través del módulo, para el procedimiento de filtración de contaminantes de la invención;

Las Figuras 12 y 13 son gráficos que ilustran los resultados de las pruebas de la planta mostrada en la Figura 1; y

La Figura 14 es un gráfico que ilustra los resultados de un ensayo de la planta mostrada en la Figura 6.

Volviendo, en primer lugar, a la Figura 1, se muestra una ilustración esquemática de una planta de filtración de acuerdo con una realización de la presente invención, estando la planta designada, de manera general, con la referencia numérica de 10. La planta de filtración 10 tiene su utilidad en un procedimiento de filtración de contaminantes de un fluido de acuerdo con la presente invención. La planta de filtración 10 mostrada en la Figura 1 es una planta piloto a escala de laboratorio construida para probar los principios subyacentes de la presente invención. La planta 10 comprende, al menos, un módulo de filtro, 12, y en la realización ilustrada en la Figura 1, comprende dos de dichos módulos, 12a y 12b. Como se comprenderá tras la revisión del resto de esta descripción, la planta de filtración 10 o el procedimiento pueden emplear cualquier número deseado o adecuado de módulos de filtración. Todos los módulos de filtración 12 son de construcción y operación similares y estos componentes análogos comparten las mismas referencias numéricas, con el correspondiente sufijo "a", "b", etc. En la realización de la Figura 1, sólo se describirá en detalle el módulo de filtro 12a.

El módulo de filtro 12a se muestra mejor en la vista de sección transversal longitudinal de la Figura 2; y en la vista en planta de la Figura 3, que muestra el módulo con su tapa 16 retirada. El módulo de filtro 12a comprende al menos un elemento de filtro y, en la representación ilustrada, consta de diecinueve de estos elementos de filtro 18a. En esta realización, los elementos de filtro 18a son huecos, pero se pueden emplear otras formas o configuraciones. Cada elemento de filtro 18a está dispuesto para filtrar contaminantes de una corriente de alimentación de un fluido dirigido a una cámara de filtro, 14a, definida por el módulo de filtro 12a. La Figura 4 ilustra el módulo de filtro 12a con el fluido de alimentación entrando en la cámara de filtro 14a, como indica la flecha 20, pasando el fluido en una dirección de flujo directa a través del módulo de filtro 12a. En la dirección de flujo directa, el fluido de la corriente de alimentación pasa a través de la pared 22a de cada elemento de filtro hueco 18a desde su interior 24a hasta su exterior. El fluido de alimentación también puede dirigirse a través del módulo de filtro 12a en una dirección de flujo inverso, como se muestra en la Figura 5. En la dirección de flujo inverso, el fluido de alimentación entra al módulo de filtro 12a en la dirección que marca la flecha 20 y pasa a través de las paredes 22a de cada elemento de filtro 18a desde el exterior de cada elemento hasta el interior 24a.

Los materiales contaminantes se filtran del fluido de la corriente de alimentación a medida que pasa a través de las paredes 22a de los elementos de filtro huecos 18a y el filtrado resultante se dirige hacia fuera de la cámara de filtro 14a y hacia la línea de flujo de filtrado 26 (Figura 1) para su posterior recogida en el tanque de producto 28. Como

puede verse en la Figura 1, los distintos módulos de filtración 12a, 12b están dispuestos para que el filtrado que sale de los módulos se dirija hacia una línea común de filtrado 26 y, así, al tanque de producto 28 o a un tanque de material rechazado o "fuera-de-especificaciones" 29 (dependiendo de la concentración de contaminantes en el filtrado). El fluido de la corriente de alimentación que entra al módulo de filtro 12a comprende contaminantes que, como se ha descrito anteriormente, pueden o no contener un amplio rango de diferentes materiales. En particular, el fluido de la corriente de alimentación puede ser agua y el material contaminante contener hidrocarburos, que pueden ser petróleo, presentes en el fluido de la corriente de alimentación en forma de pequeñas gotas en suspensión. Los contaminantes pueden, además, contener material rocoso granular, de tipo arena. Asimismo, el fluido de la corriente de alimentación puede ser hidrocarburos u otro material tipo petróleo y el contaminante puede ser o contener agua. Las referencias en el presente documento a un contaminante o contaminantes presentes en el fluido de la corriente de alimentación se refieren a un material o materiales presentes en el fluido y que se desean eliminar. El contaminante puede ser un material diferente al del fluido y puede ser o contener un material fluido y/o sólido.

En un aspecto de la presente invención, el procedimiento de filtración de contaminantes del fluido de la corriente de alimentación comprende las siguientes etapas. El fluido de la corriente de alimentación que comprende los contaminantes se dirige a la cámara de filtro 14a para que fluya en una de las direcciones de flujo directa e inversa, descritas anteriormente. El filtrado se dirige a la línea de flujo de filtrado 26 para su recogida. Posteriormente, el flujo del fluido de la corriente de alimentación se conmuta, de modo que el fluido dirigido hacia la cámara de filtro 14a fluye a través de los elementos de filtro 18a en la otra de las direcciones de flujo hacia adelante y hacia atrás. De esta manera, el material contaminante que se ha acumulado sobre una superficie de las paredes 22a de los elementos de filtro 18a se elimina durante el flujo en dicha otra dirección. Después de la eliminación del material contaminante por el flujo en dicha otra dirección, el fluido de la corriente de alimentación continúa dirigiéndose a través de los elementos de filtro 18a en dicha otra dirección. En consecuencia, los contaminantes en el fluido de la corriente de alimentación son filtrados por los elementos de filtro huecos 18a durante el flujo en dicha otra dirección. El filtrado resultante se dirige a la línea de flujo de filtrado 26 para su posterior recogida en el tanque de producto 28. A diferencia de los procedimientos anteriores, el procedimiento de este aspecto de la invención implica la filtración activa de contaminantes del fluido de alimentación cuando el fluido fluye a través de los elementos de filtro 18a en la dirección opuesta.

Con más detalle, y haciendo particular referencia a las Figuras. 4 y 5, el procedimiento de la presente invención procede de la siguiente manera. El fluido de la corriente de alimentación se dirigirá inicialmente a la cámara de filtro 14a para que fluya en la dirección de flujo directo, pasando a través de las paredes 22a de los elementos de filtro 18a desde el interior 24a hacia el exterior de los mismos. El filtrado se dirige fuera de la cámara 14a y luego a la línea de flujo de filtrado 26 para su recogida. El flujo desde otros módulos de filtración, en particular el módulo 14b, también estará dispuesto, generalmente, en la dirección de flujo directo en el arranque, aunque esto puede variar con el tiempo. En la dirección de flujo directo, una "capa de ensuciamiento" de material contaminante se acumula en las superficies internas 30a de las paredes del elemento de filtro 22a. Como se explicará a continuación, se desea específicamente promover la formación de dicha capa de ensuciamiento, que ofrece ventajas sobre los procedimientos anteriores. Sin embargo, la capa de ensuciamiento se acumulará eventualmente hasta un punto en el que el flujo (el caudal de fluido a través del módulo de filtro 12a por unidad de volumen) se reduce a un nivel que es insuficiente para que continúe la filtración eficaz. Los parámetros del procedimiento se miden durante el procedimiento de filtración y, cuando se detecta un cambio en un parámetro medido indicativo de la acumulación de capa de ensuciamiento en ese punto, el flujo de fluido de alimentación se cambia a la dirección inversa de la Figura 5.

Como se describió anteriormente, en la dirección de flujo inverso, el fluido de alimentación que entra en la cámara de filtro 14a pasa a través de las paredes 22a de los elementos de filtro 18a desde el exterior de los elementos al interior 24a. El paso del fluido de la corriente de alimentación a través de los elementos de filtro 18a en esta dirección elimina, al menos, parte (típicamente la mayoría) del material contaminante que se ha adherido a las superficies internas 30a de las paredes del elemento de filtro 22a. Después de la eliminación de dicho material contaminante por medio del flujo del fluido en la dirección inversa, el fluido de la corriente de alimentación continúa dirigiéndose a través de los elementos de filtro 18 en la dirección inversa. En consecuencia, no es necesario revertir el flujo en la dirección directa después de la eliminación de los contaminantes. El flujo del fluido de la corriente de alimentación en la dirección inversa puede continuar, formándose una capa de ensuciamiento en las superficies externas 32a de las paredes del elemento de filtro 22a. Como se describirá con más detalle a continuación, cuando la capa de ensuciamiento se ha acumulado hasta un nivel suficiente como para realizar una filtración adecuada, el filtrado resultante del flujo en dicha dirección inversa pasa a la línea 26 de flujo de filtrado para su recogida. Por supuesto, el flujo puede comenzar en la dirección inversa y cambiarse a directa si se desea. Además, el flujo se puede cambiar entre las direcciones directa e inversa, según corresponda, el número de veces deseado. Sujeto a los requisitos de limpieza que se discutirán a continuación, el único tiempo de inactividad significativo es el periodo en el que se produce la eliminación de los contaminantes, tras el cambio de direcciones de flujo, en el que el filtrado que comprende los contaminantes eliminados se recoge para su posterior eliminación y/o redirección a un tanque de alimentación 34 (Figura 1) que comprende el fluido de la corriente de alimentación 36.

La conmutación del flujo se lleva a cabo, típicamente, basándose en la medición del flujo superficial a través del módulo de filtro 14a, utilizando un caudalímetro 37. Cuando el flujo superficial se reduce a un nivel predeterminado, el flujo puede invertirse. Sin embargo, de manera adicional o como una alternativa a la conmutación basada en la

medición del flujo superficial a través del módulo de filtro 12a, la conmutación del flujo puede realizarse basándose en la monitorización de uno o más parámetros diferentes. Por ejemplo, la contrapresión del fluido de la corriente de alimentación en la línea de flujo 38 que se extiende desde el tanque de alimentación 34 al módulo de filtro 12a se puede supervisar utilizando un manómetro 40. Un aumento en la contrapresión es indicativo de una capa de ensuciamiento que se forma en las respectivas superficies internas o externas 30a/32a de los elementos de filtro 18a (dependiendo de la dirección de flujo). Un aumento de la contrapresión hasta un cierto nivel umbral es indicativo de que la capa de ensuciamiento está creciendo hasta un cierto nivel en el que se requiere la conmutación del flujo. La presión en la línea de flujo de filtrado 26 puede supervisarse de manera similar, usando un manómetro 42. Una reducción de la presión de la línea de flujo de filtrado 26 a un nivel umbral también puede indicar que la capa de ensuciamiento se ha acumulado en tal medida que se requiere el cambio de flujo. La concentración de contaminantes en el filtrado también es un parámetro importante que se puede usar para dicho cambio. Un aumento en la proporción de contaminantes remanentes en el filtrado puede ser indicativo de que se requiere la conmutación del flujo.

El procedimiento puede incluir la desconexión de uno de los módulos de filtración 12a, 12b a efectos del ciclo de inversión de flujo, con la filtración a través de, al menos, otro módulo de filtro adicional que continúa durante este procedimiento. De esta forma, los ciclos de inversión de flujo a través de todos los módulos se pueden llevar a cabo de forma secuencial.

Como se explicó anteriormente, después de la conmutación hay un periodo en el que el filtrado que sale de la cámara 14a lleva el material contaminante retirado de los elementos de filtro 18a. Este filtrado se denomina "fuera de especificaciones" y se dirige fuera del filtrado al tanque fuera de especificaciones 29. El filtrado fuera de las especificaciones puede dirigirse nuevamente al tanque de alimentación 34. La línea 35 (Figura 1) proporciona una ruta para dirigir el fluido de purga de flujo cruzado desde ambos módulos 18a y 18b de vuelta al tanque 34.

El flujo que está dentro de las especificaciones se dirige hacia el tanque 28. Con este fin, la línea de flujo de filtrado 26 se divide en líneas de flujo dentro y fuera de las especificaciones 44 y 46 y el flujo a través de estas líneas está supervisado por las respectivas válvulas 48 y 50. El grado de contaminantes (en este caso hidrocarburos, típicamente petróleo) se supervisa usando un monitor de petróleo 52. Las válvulas 48 y 50 se activan en respuesta a la lectura del monitor de petróleo. Cuando la proporción de contaminantes de petróleo en el filtrado 27 de la línea de flujo 26, medida por el monitor de petróleo 52 ha caído dentro del rango de las especificaciones requerido, las válvulas 48 y 50 pueden activarse para dirigir el filtrado 27 a la línea dentro de las especificaciones 44 y, en consecuencia, al tanque de producto 28.

Otra opción para cambiar la dirección de flujo del fluido de alimentación 36 se basa en una temporización. El intervalo de tiempo entre la conmutación puede determinarse teniendo en cuenta diversos parámetros, incluida la proporción de contaminantes en el fluido de la corriente de alimentación 36; los constituyentes de los contaminantes; el tamaño promedio de los materiales contaminantes (tamaño medio de gota para líquidos y tamaño de partícula para partículas sólidas); dimensiones y flujo anticipado a través del módulo de filtro 12a; presión de entrada y/o velocidad de flujo del fluido en la corriente de alimentación 36; o una combinación de uno o más de estos u otros parámetros requeridos. Además, la conmutación puede llevarse a cabo basándose en el primero que ocurra de: la expiración de un intervalo de tiempo predeterminado o un cambio predeterminado en un parámetro medido, que se puede seleccionar del grupo anterior. Como se mencionó anteriormente, el nivel de contaminante puede ser un parámetro importante para cambiar la dirección del flujo.

La estructura del módulo de filtro 12a y su uso en el procedimiento del primer aspecto de la invención se describirá con más detalle a continuación.

Refiriéndose de nuevo a las Figuras 2 a 5, el módulo de filtro 12a comprende una carcasa 54a que define la cámara de filtro 14a. Cada uno de los veinte elementos de filtro 18a está posicionado dentro de la cámara de filtro 14a y están soportados por las tapas superior e inferior 56a y 58a. Los elementos de filtro 18a son alargados y esencialmente se disponen en paralelo a un eje principal 60a del módulo de filtro 12a. La Figura 3 muestra los extremos superiores 62a de los elementos de filtro 18a, que sobresalen de un plano de la tapa superior 56a; y los extremos inferiores 64a, que sobresalen de la tapa inferior 58a. En los elementos de membrana cilíndricos y abiertos que se muestran en las Figuras 2 a 5, se usa un sistema de juntas tóricas (no representadas) de material adecuado para evitar fugas entre los elementos de filtro y las tapas 56a, 58a. Los elementos de filtro huecos 18a son típicamente membranas porosas de un material conveniente, en particular, un material cerámico. Sin embargo, otros materiales pueden ser adecuados. Por ejemplo, los elementos de filtro 18a pueden ser de material plástico, que podría ser un material polimérico. Una ventaja del uso de un material cerámico para las membranas 18a es que, en el caso de que los poros de los elementos de filtro se obstruyan con depósitos de hidrocarburo, dichos filtros pueden retirarse del módulo 14a y colocarse en un horno para ser calentados y quemar los depósitos de hidrocarburos. El módulo de filtro 12a tiene dos entradas 66a y 68a y dos salidas 70a y 72a. La cámara de filtro 14a está dividida en cavidades extremas 74a y 76a y una parte central principal 78a. La entrada 66a se abre hacia la cavidad 76a y la salida 70a se abre hacia cavidad. La entrada 68a y la salida 72a ambas se abren hacia la parte central principal 78a. Como se describirá a continuación, en funcionamiento, el flujo del fluido hacia el interior y el exterior de los módulos de filtración a través de las respectivas entradas 66a/68a y desde las respectivas salidas 70a/72a, se supervisa utilizando las válvulas convenientes.

La Figura 4 muestra el módulo de filtro 12a con el fluido en dirección de flujo directa. El fluido de la corriente de alimentación 36, que comprende contaminantes, se bombea al módulo de filtro 12a a través de la entrada 66a, tal como se indica por la flecha 20 en la Figura 4. La segunda entrada 68a permanece cerrada. El flujo principal del fluido que sale del módulo de filtro 12a se produce a través de la salida 72a, con un volumen de purga de flujo cruzado más pequeño, que sale del módulo a través de la salida 70a. Las válvulas supervisan la proporción de flujo a través de las salidas 72a y 70a y, en la dirección de flujo directo, generalmente, al menos, el 90 % del flujo del fluido se produce a través de la salida 72a. El fluido de alimentación 36 entra en la cavidad 76a de la cámara de filtro 14a y fluye hacia los huecos centrales 24a de los elementos de filtro huecos 18a. Como la proporción de fluido en la corriente de purga es, como máximo, en torno al 10 % del volumen del fluido que entra en el módulo de filtro, la mayoría (como mínimo alrededor del 90 %) del fluido fluye radialmente hacia afuera, a través de las paredes 22a de los elementos de filtro 18a.

Durante el paso a través de las paredes del filtro 22a, los materiales contaminantes se filtran del fluido de la corriente de alimentación 20. Inicialmente, y hasta que se acumule una capa de ensuciamiento de contaminantes en las superficies internas 30a de los elementos de filtro 18a, la filtración estará determinada por el tamaño de poro del material que forma los elementos de filtro 18a. En otras palabras, la dimensión mínima de contaminantes que se filtrarán estará determinada por el tamaño de poro. Este filtrado inicial se dirigirá hacia la línea 46 fuera de las especificaciones. Sin embargo, a medida que se acumula la capa de ensuciamiento, los contaminantes de dimensiones más pequeñas se filtrarán y se dirigirán a la línea dentro de las especificaciones 44. El filtrado fluye hacia la parte central principal 78a de la cámara de filtro, que se denomina generalmente "anillo". Éste es el espacio comprendido entre los distintos elementos de filtro 18a y entre los elementos de filtro 18a y la carcasa 54a. El filtrado que sale de los distintos elementos de filtro 18a se combina, así, en el anillo 78a y sale del módulo de filtro 12a a través de la salida 72a. Por otra parte, la corriente de purga de flujo cruzado pasa a través de los huecos centrales 24a de los elementos de filtro 18a y fluye desde los extremos superiores 62a de los elementos de filtro a la cavidad superior de la cámara 74a. Las corrientes de purga de los diversos elementos de filtro 18a se combinan, así, y pasan del módulo de filtro 12a a través de la salida 70a.

El flujo del fluido a través del módulo 12a en la dirección de flujo inverso se ilustra en la Figura 5. En este caso, el fluido de la corriente de alimentación 36 se dirige al módulo de filtro 12a a través de la entrada 68a, como se indica por la flecha 20 y la entrada 66a permanece cerrada. Las válvulas que supervisan el flujo a través de las salidas 70a y 72a están dispuestas de manera que el flujo primario del fluido (al menos alrededor del 90%) desde el módulo de filtro 12a se produce a través de la salida 70a, mientras que el flujo cruzado de purga (hasta alrededor del 10%) se produce a través de la salida 72a. El fluido de la corriente de alimentación 20 se dirige, así, al anillo 78a y, como el flujo primario pasa a través de la salida 70a, el fluido de la corriente de alimentación fluye a través de las paredes 22a de los diversos elementos de filtro 18a y hacia los huecos centrales 24a. Como ocurría en el caso de la dirección de flujo directa, la filtración inicial está determinada por el tamaño de poro de los elementos de filtro, hasta el momento en que se acumula una capa de ensuciamiento de contaminantes en las superficies externas 32a de los elementos de filtro 18a. El filtrado fluye a través de los huecos centrales 24a y hacia la cavidad de la cámara 74a, donde el filtrado se combina y fluye fuera del módulo de filtro 12a a través de la salida 70a. El fluido de la corriente de purga de flujo cruzado pasa a través del anillo 78a y sale del módulo de filtro 12a a través de la salida 72a. El flujo del fluido se conmuta entre las direcciones de flujo directa e inversa cuando sea necesario, tal como se describirá con más detalle a continuación.

En previos procedimientos y sistemas de flujo cruzado del tipo descrito anteriormente, ha sido un objetivo específico evitar la formación de una capa de ensuciamiento en los elementos de filtro. En consecuencia, en los procedimientos/sistemas anteriores, una corriente de purga de flujo cruzado típicamente se dirigía a través de los elementos de filtro a una velocidad relativamente alta. En la presente invención, los inventores han reconocido que la formación de una capa de ensuciamiento puede ser beneficiosa para la filtración eficaz de los contaminantes. En particular, el tamaño de poro de los elementos de filtro 18a puede hacerse relativamente grande, de hecho, puede ser más grande que las dimensiones de las gotitas/partículas que se desean filtrar desde la corriente de alimentación. Esto proporciona un flujo superficial relativamente superior a través del módulo de filtro 12a. La formación de una capa de suciedad también dará como resultado una filtración eficaz de pequeñas gotas/partículas desde el fluido de alimentación 36, cuya dimensión es más pequeña que el tamaño de poro de los elementos de filtro 18a. En un aspecto de la presente invención, se promueve la formación de una capa de ensuciamiento dirigiendo el fluido en la corriente de purga de flujo cruzado a una velocidad no superior a 4 m/s, aproximadamente. Esto se aplica particularmente a los fluidos acuosos. Además de los factores específicos que se cuantifican (velocidad, número de Reynolds, etc.), se pueden usar condiciones generales de flujo (incluida la velocidad y el nivel de turbulencia) para promover la formación de la capa de suciedad e inhibir la eliminación de dicha capa de ensuciamiento. De manera similar, en los procedimientos y sistemas anteriores, se deseaba específicamente que el fluido en la corriente de purga de flujo cruzado fluyera con un perfil de flujo turbulento, para inhibir la formación de la capa de ensuciamiento. Los inventores han reconocido que es beneficioso disponer la corriente de purga de flujo cruzado a través de los elementos de filtro 18a para que fluya con un perfil de flujo laminar, ya que esto promueve la formación de una capa de ensuciamiento. Al menos para fluidos acuosos, esto puede lograrse disponiendo el fluido en la corriente de purga de flujo cruzado de manera que tenga un número de Reynolds de no más de 2500, aproximadamente.

Además, en los procedimientos y sistemas anteriores, se deseaba específicamente mantener la corriente de purga

de flujo cruzado a la menor proporción posible del volumen total de fluido en la corriente de alimentación (menos del 5 %, y típicamente alrededor del 1 %). El objetivo de esto era maximizar el flujo a través del elemento de filtro y, por lo tanto, el rendimiento. Los inventores han reconocido que la dirección de una proporción relativamente mayor de fluido de alimentación 36 hacia la corriente de purga de flujo cruzado a través de los elementos de filtro 18a, típicamente en torno al 5 % del volumen total de fluido en la corriente de alimentación, es beneficiosa. En particular, esto proporciona mayor libertad para "ajustar" el procedimiento de filtración y satisfacer los requisitos particulares del procedimiento, lo que no sería posible en los casos de los procedimientos y sistemas anteriores. Por ejemplo, esto puede proporcionar una mayor capacidad de ajuste del procedimiento para tener en cuenta las variaciones en las propiedades del fluido, las dimensiones y el flujo a través del módulo de filtro 12a y/o las propiedades de los contaminantes tales como la viscosidad y el tamaño de partícula.

Además, en los procedimientos y sistemas anteriores, se han utilizado filtros con tamaños de poro relativamente pequeños, típicamente en el intervalo de 0,2 a 4 micrómetros y a menudo de 0,2 micrómetros. La filtración tenía lugar por exclusión de tamaño y las gotas/partículas separadas tenían tamaños mayores que el tamaño de poro de los elementos de filtro. Además, y como se discutió anteriormente, se instruyó específicamente a que se evitara la formación de una capa de ensuciamiento. Los inventores han reconocido que la formación de una capa de ensuciamiento permite emplear elementos de filtro 18a con mayores tamaños de poro, lo que conduce a un mayor flujo superficial a través del módulo de filtro 12a. Se ha identificado que un tamaño de poro adecuado, no menor de aproximadamente 4 micrómetros, es particularmente beneficioso. El procedimiento que emplea dichos elementos de filtro 18a implica supervisar uno o más parámetros de la corriente de purga de flujo cruzado a través de los elementos de filtro 18a para promover la formación de la capa de ensuciamiento. De esta manera, la filtración del material contaminante se logra mediante una combinación del propio elemento de filtro (determinado por el tamaño de poro) y la capa de ensuciamiento.

Volviendo ahora a la Figura 6, donde se muestra un diagrama de bloques que ilustra el funcionamiento de una planta de filtración 100 de acuerdo con otra realización de la presente invención. La planta de filtración 100 es una planta de demostración, construida y operada de acuerdo con los principios descritos anteriormente y en relación con la planta piloto 10 de la Figura 1 y basándose en los resultados de pruebas derivados de la planta piloto 10 (que se analizará a continuación). Los componentes similares entre la planta de demostración 100 y la planta piloto 10 de las Figuras 1 a 5 comparten los mismos números de referencia, incrementados por 100.

En este caso, la planta de demostración 100 comprende dos series 179, 180 de módulos de filtración 112, cada serie comprende dos módulos. Los módulos reciben los números de referencia 112 con la adición de los sufijos "a" a "d". Solamente la primera serie 179 se describirá en detalle en el presente documento.

En este caso, la línea de flujo de alimentación 138 suministra fluido de alimentación, que comprende contaminantes, a ambas series 179 y 180. Las ramas 83 y 84 se comunican con la línea de flujo de alimentación 138 para suministrar fluido a las respectivas series 179 y 180. La rama 83 se divide en línea de alimentación directa e inversa 85 y 86, para suministrar fluido de la corriente de alimentación a los módulos 112a y 112b, dependiendo de la dirección de flujo deseada. El flujo a través de la línea de alimentación 85/86 deseada se supervisa mediante las respectivas válvulas 87 y 88. Se muestran las entradas 166a, 168a y las salidas 170a, 172a del módulo de filtro 112a. La planta 100 también comprende una línea de flujo de filtrado 126, que proporciona una salida común para el filtrado de ambas series 79, 80. La línea de flujo de filtrado 126 se ramifica en las líneas de filtrado "dentro de las especificaciones" 144 y la de rechazo o "fuera de las especificaciones" 146. El flujo hacia la línea dentro de las especificaciones o fuera de las especificaciones 144, 146 está supervisado por las válvulas 89 y 90. Las ramas de filtrado 91 y 92 suministran fluido desde las series 179, 180, respectivamente, hacia la línea de flujo de filtrado 126. De nuevo, considerando solo la serie 179, y en particular, el módulo 112a, las líneas de salida 93 y 94 dirigen el filtrado a la derivación 91 y, por lo tanto, a la línea de flujo de filtrado 126, dependiendo de si el flujo está en dirección directa o inversa. Las líneas de salida 93 y 94 también pueden comunicarse con una línea de dilución de purga 95, que recibe la purga del flujo cruzado. El flujo del fluido en la línea de flujo de filtrado 126 o la línea de dilución de purga 95 se supervisa mediante los pares de válvulas 96, 97 y 98, 99.

El funcionamiento de la planta de filtración 100, en particular el módulo de filtro 112a de la serie 179, es el siguiente: en la dirección de flujo directa, la válvula 88 está cerrada y la válvula 87 está abierta, de modo que el fluido de alimentación se dirige desde la derivación 83 a la línea de alimentación directa 85. El fluido de alimentación entra, así, en el módulo de filtro 112a a través de la entrada 166a y fluye a través de los filtros (no mostrados) contenidos en la cámara de filtro 114a. El filtrado sale de la cámara de filtro 114a a través de la salida 172a y pasa a la línea de salida 93. Un caudal de purga de flujo cruzado que recorre los elementos de filtro abandona la cámara de filtro 141a a través de la salida 170a y fluye hacia la línea de salida 94. El flujo a través de las salidas 170a (de purga de flujo cruzado) y 172a (del filtrado) están supervisadas por las válvulas 96 a 99. Específicamente, en la dirección de flujo directa, la válvula 96 está abierta y la válvula 97 está cerrada. De esta manera, el filtrado que sale de la cámara de filtro 114a a través de la salida 172a fluye hacia la línea de salida 93, a través de la válvula 96 y finalmente a la línea de flujo de filtrado 126. La válvula 98 está cerrada y la válvula 99 abierta, de modo que el fluido de purga de flujo cruzado en la línea de salida 94 fluye hacia la línea de dilución de purga. La proporción de filtrado y purga se mide mediante la supervisión de las posiciones de las válvulas 31 y 32. Como alternativa, la proporción de filtrado y purga puede medirse supervisando la posición de actuación de los elementos de válvula (no mostrados) de las válvulas 96 y 99.

En la dirección de flujo inversa, la válvula 87 se cierra y la válvula 86 se abre, de modo que el fluido de la corriente de alimentación entra en la cámara 114a a través de la entrada 168a. Luego, el filtrado sale de la cámara 114a a través de la salida 170a y la purga de flujo cruzado sale de la cámara a través de la salida 172a. La válvula 96 está ahora cerrada y la válvula 97 abierta, de modo que el filtrado pasa desde la línea de salida 94 hasta la línea de flujo de filtrado 126. La válvula 99 está cerrada y la válvula 98 abierta, de modo que el fluido de la corriente de purga de flujo cruzado se dirige hacia la línea de dilución de purga 95 a través de la válvula 98. Hay un ciclo de vertido/descarga de caudal en ambas direcciones de flujo directa e inversa. En la primera etapa después de la inversión del flujo, el fluido pasa a la línea fuera de las especificaciones 46. Después del flujo continuado en dicha dirección y la formación de la capa de suciedad, el filtrado 27 se dirige a la línea dentro de las especificaciones 44; determinado esto según el parámetro que se está midiendo (o según el periodo de tiempo).

La planta de filtración 100 también comprende una línea de drenaje 11. Cuando se requiera, se puede llevar a cabo una limpieza in-situ (CIP por sus siglas en inglés *cleaning-in-place*) de los elementos de filtro de los diversos módulos 112, utilizando un fluido de limpieza con aditivos químicos adecuados. Un tanque CIP 13 comprende el fluido de limpieza, que puede bombearse a los distintos módulos de filtración 112 cuando sea necesario. Se proporciona un monitor de concentración de petróleo (OCM por sus siglas en inglés *oil concentration monitor*) 152, que se comunica con la línea de flujo de filtrado 126 a través de una línea OCM 15 y una válvula 17. Se proporciona una línea de calibración de agua limpia de entrada 19 para suministrar agua limpia con fines de calibración. Una bomba primaria 21 suministra el fluido de alimentación a las series 179 y 180. Una bomba secundaria 23 se comunica con el tanque CIP 13 y suministra fluido de limpieza a las series 79, 80 cuando se requiera. La operación de CIP se puede realizar con el fluido de limpieza en las direcciones de flujo directa e inversa. Se apreciará que se proporcionan otras válvulas adicionales para supervisar el flujo del fluido a través de la planta de filtración 100, dependiendo de si el flujo está en la dirección directa o inversa; si se está realizando CIP; y/o para realizar otros pasos deseados en el procedimiento de filtración. Tales válvulas no se describirán en detalle, sino que se muestran en el diagrama de bloques. El experto comprenderá fácilmente cómo se operan las distintas válvulas para supervisar el flujo.

Pasando ahora a las Figuras 7, 8 y 9, que muestran las vistas de alzado, planta y perfil, respectivamente, de parte de una planta de filtración a escala real 200 de acuerdo con otro modo de realización de la presente invención. La planta de filtración 200 se construye y opera de acuerdo con los principios descritos anteriormente, en relación con las plantas piloto y de demostración 10, 100 de las Figuras 1 y 6, basándose en los resultados de las pruebas derivadas de las plantas piloto y de demostración (que se analizarán a continuación). Los componentes análogos de la planta 200 con la planta 10 de la Figura 1 y la planta 100 de la Figura 6 comparten los mismos números de referencia, incrementados en 200 y 100, respectivamente.

Se muestra una unidad 25 de la planta de filtración 200 que comprende cuatro series 279, 280, 281 y 282 de módulos de filtración, cada serie comprende tres módulos de filtración 212. En este modo de realización, cada módulo de filtro 212 incluye veinte elementos de filtro (no mostrados). Los módulos de filtración 212 reciben los sufijos "a" a "l", según corresponda. La planta de filtración es modular y puede incluir cualquier cantidad deseada de estas unidades 25. Con el fin de reducir la superficie que ocupa la planta 200, los módulos 212 pueden apilarse verticalmente en plantas más grandes. La planta a escala real 200 es modular y consta de unidades estándar montadas sobre plataforma 25, cada una con doce módulos de filtración 212 y con una capacidad de entre 300 y 1500 m<sup>3</sup>/h, dependiendo del nivel de petróleo final requerido, el tipo de membrana instalado, la composición de la corriente de alimentación y otras variables de procedimiento. La disposición general para una unidad de doce módulos 25 se muestra en las figuras. La superficie de ocupación, en la ejecución ilustrada, es de alrededor de 2,5 m x 8,5 m si los módulos 212 se apilan como se muestra, para dar una altura de alrededor de 5,8 m. Una planta diseñada para una capacidad de 1200 m<sup>3</sup>/h contendría, por ejemplo, tres o cuatro unidades estándar 25. Se necesitarían cuatro unidades 25 para un diseño conservador, con el flujo superficial más bajo obtenido de las mediciones de la planta de demostración, para dar un nivel de petróleo menor a 10 mg/l.

Pasando ahora a las Figuras 10 y 11, se muestran vistas esquemáticas de sección transversal longitudinal de un módulo de filtro según otro modo de realización de la presente invención, con el módulo de filtro indicado generalmente por el número de referencia 312. El módulo de filtro forma parte de una planta de filtración (no mostrada) como la ilustrada en la Figura 1, donde se dispone una cantidad de los módulos 312 en lugar de los módulos 12. Los componentes del módulo 312 con el módulo 12 de las Figuras 1 a 5 comparten los mismos números de referencia, incrementados por 300.

Las Figuras 10 y 11 ilustran diferentes direcciones de flujo del fluido a través del módulo 312 en un procedimiento de filtración de contaminantes de la invención, con la Figura 10 indicando una dirección de flujo hacia adelante y la Figura 11 una dirección de flujo inverso. El módulo de filtro 312 comprende, al menos, un elemento de filtro y, en el modo de realización ilustrado, comprende cinco de dichos elementos de filtro 318. En este modo de realización, los elementos de filtro 318 tienen forma de placas, generalmente planas. El módulo 312 define una cámara de filtro 314 que comprende los elementos de filtro 318 y tiene varios orificios de flujo primario 67a y 67b, que pueden disponerse para dirigir el fluido de alimentación hacia la cámara 314 o el filtrado fuera de ella, como se describirá a continuación. El módulo 312 también tiene un número de orificios de flujo secundario 69a y 69b que pueden cerrarse o abrirse para permitir el flujo de purga.

Como se puede ver en la figura, los elementos de filtro 318 están dispuestos de modo que definen una serie de canales de flujo 378, utilizados para el flujo del fluido de purga a través de la cámara 314, como se describirá a continuación.

5 En la dirección de flujo hacia adelante de la Figura 10, el fluido de la corriente de alimentación 320 se dirige hacia la cámara 314 a través de los orificios de flujo primario 67a. El fluido de la corriente de alimentación 320 pasa a través de las paredes 322 de cada elemento de filtro 318 hacia un orificio de flujo primario 67b, de modo que los contaminantes se filtran durante el paso a través de los elementos de filtro 318.

10 El flujo a través de las paredes de los elementos de filtro 318 puede ser, según aparece en el diagrama, hacia arriba o hacia abajo, es decir, a través de ambos elementos de filtro que definen el canal en el que fluye la alimentación desde cada uno de los orificios 67a.

15 El filtrado sale de la cámara de filtro 314 a través de los orificios de flujo primario 67b. Aunque se hace referencia al flujo ascendente/descendente del filtrado 320, se entenderá que esto dependerá de la orientación del módulo de filtro 312. Durante el flujo en la dirección directa, las salidas secundarias 69b se abren (o se abren parcialmente, según proceda) para permitir que una proporción del fluido de la corriente de alimentación 320 fluya en la corriente de purga de flujo cruzado a través de los pasos 378. Como anteriormente, la proporción se supervisa para promover la formación de una capa de contaminantes. Las salidas secundarias 69a están cerradas en este momento.

20 El fluido de alimentación 320 también puede dirigirse a través del módulo de filtro 312 en una dirección de flujo inverso, como se muestra en la Figura 11. Como anteriormente, esto puede ser deseable para eliminar las capas de suciedad que se han formado en las superficies primarias o superiores 330 de los elementos de filtro 312, durante el flujo en la dirección hacia adelante. En la dirección de flujo inverso, el fluido de alimentación 320 se dirige hacia la cámara 314 a través de los orificios de flujo primario 67b. El fluido de alimentación 320 pasa a través de las paredes 322 de cada elemento de filtro 318 hacia arriba o hacia abajo en el esquema, hacia un orificio de flujo primario 67a, de modo que los contaminantes se filtran durante el paso a través de los elementos de filtro 318. El filtrado sale de la cámara de filtro 314 a través de los orificios de flujo primario 67a. De nuevo, aunque se hace referencia al flujo ascendente/descendente del filtrado 320, se entenderá que esto dependerá de la orientación del módulo de filtro 312. Durante el flujo en la dirección inversa, las salidas secundarias 69a se abren (o se abren parcialmente, según proceda) para permitir que una proporción del fluido 320 de la corriente de alimentación fluya en la corriente de purga de flujo cruzado a través de los pasos 378. Una vez más, la proporción se supervisa para promover la formación de una capa de ensuciamiento de contaminantes. Las salidas secundarias 69b están cerradas en este momento.

30 De lo expuesto anteriormente se entenderá que los canales 378 son canales de filtrado y de purga, alternativamente. En la Figura 10, los canales 378 que salen a los orificios 69b son canales de purga, mientras que los canales 378 que salen a los orificios 67b son canales de filtrado. En la Figura 11, los canales 378 que salen a los orificios 69a son canales de purga, mientras que los canales 378 que salen a los orificios 67a son canales de filtrado.

35 Cuando se requiera, el flujo se puede volver a conmutar a la dirección de flujo directo para eliminar las capas de ensuciamiento formadas en las superficies secundarias o inferiores 332 de los elementos de filtro 312 durante el flujo en la dirección inversa. Se puede llevar a cabo una conmutación adicional, según se requiera, siguiendo los principios descritos anteriormente en relación con las Figuras 1 a 9 y llevar a cabo un ciclo de descarga.

40 A continuación, se discutirán las observaciones generales de construcción y operación de las plantas piloto, de demostración y a escala real 10, 100 y 200.

45 En las plantas 10, 100 y 200, la separación de petróleo y finos del agua de la corriente de alimentación se logra haciendo pasar el agua a través de la pared de una membrana cerámica (por ejemplo, un cilindro abierto). Toda el agua de la corriente de alimentación puede pasar a través de la pared de la membrana, en un procedimiento de filtración en línea. Sin embargo, la membrana puede estar parcialmente constreñida en un extremo, de modo que la mayor parte del agua fluya a través de las paredes y algunos flujos en una corriente de purga de flujo cruzado. Puede ser preferible dirigir, al menos, el 5 %, opcionalmente entre el 5 % y el 10 % o más, del agua de la corriente de alimentación en una corriente de purga de flujo cruzado. Un conjunto de elementos de membranas está montado en un módulo (típicamente de diecinueve o veinte membranas, aunque esto puede variar de acuerdo con el diseño particular). El módulo está configurado para que el agua fluya en una de las dos direcciones (supervisada por válvulas apropiadas). En la primera dirección de flujo (directa), el agua que ingresa al módulo fluye hacia los huecos centrales de los elementos cilíndricos, a través de las paredes, y hacia el interior del anillo de cada elemento. Los flujos en los anillos de los elementos se combinan dentro del módulo y salen del módulo como la corriente "filtrada". Ésta es el agua de alimentación de la cual el petróleo y las partículas pequeñas se han eliminado (filtrado) por las paredes de los elementos. Sin embargo, debe observarse que la capa de suciedad puede penetrar en las capas superficiales hasta cierto punto, de modo que el efecto de filtración no es sólo un efecto de superficie.

55 Una pequeña proporción del agua de alimentación de cada elemento (generalmente desde el 0 % hasta el 10 %, pero superior al 10 % en algunos casos) se puede disponer de modo que no atraviese las paredes, sino que pase directamente a través del hueco central y hacia fuera del elemento. Esto es la "purga de flujo cruzado" a través de la

membrana. Las corrientes de purga de flujo cruzado de cada elemento se recogen y combinan dentro del módulo y pasan fuera de él en una corriente denominada "concentrado". El petróleo y las partículas pequeñas que se separan del agua por las membranas, se recogen en la corriente de concentrado, con una concentración mucho más alta que en la corriente de alimentación al módulo.

- 5 En la segunda dirección del flujo (inversa), el agua que ingresa al módulo fluye hacia el anillo alrededor de las membranas, a través de las paredes de éstas y hacia los huecos centrales. Las corrientes de los huecos centrales se combinan y salen del módulo como la corriente de filtrado de la dirección de flujo inverso. Una pequeña proporción del agua (0,5 - 10%) puede estar dispuesta para que no pase a través de las paredes, sino que pase a través de los anillos de las membranas. Ésta es la purga de flujo cruzado para la dirección del flujo inverso. Las corrientes de purga de flujo cruzado se combinan dentro del módulo y pasan fuera de éste como la corriente de concentrado de la dirección de flujo inverso.

15 El tamaño de poro de la membrana es típicamente de 1 a 30 micrómetros (los ensayos experimentales se han llevado a cabo usando membranas de 15 micrómetros) y, preferentemente, de al menos 4 micrómetros, aproximadamente. El tamaño de poro puede ser mayor que el tamaño de las gotas de petróleo y los finos que se eliminan (por ejemplo, las gotas y los finos que tienen un tamaño de 1 micrómetro se pueden eliminar por elementos con un tamaño de poro de 15 micrómetros). La filtración se logra mediante dos mecanismos: (1) rechazo físico de las gotas y los finos que son de mayor tamaño que los poros de la membrana; (2) la formación de una capa de ensuciamiento en la superficie de la membrana, que provoca el rechazo de las gotas y las partículas que son menores que el tamaño de poro.

20 La dirección del flujo de la corriente de alimentación en el módulo se cambia secuencialmente entre las direcciones directa e inversa. El tratamiento se logra a través de la secuencia siguiente: el agua de alimentación ingresa al módulo que está configurado para el flujo directo. A medida que el agua pasa a través de las membranas, se forma una capa "de ensuciamiento" de petróleo y finos en la superficie de la pared de la membrana. La capa de ensuciamiento se forma independientemente del tamaño de las gotas y de las partículas, incluso cuando los tamaños son más pequeños que el tamaño de poro de la membrana. No es necesario que haya finos en la alimentación, solo el petróleo puede formar la capa. La filtración de gotas/finos de mayor tamaño que los poros de la membrana tiene lugar inmediatamente. La filtración de gotas/finos que son más pequeñas que el tamaño de poro tiene lugar cuando se ha formado la capa de ensuciamiento.

30 El filtrado se supervisa y pasa automáticamente a una corriente de descarga "fuera de las especificaciones" hasta que se forma la capa de ensuciamiento y proporciona el grado de tratamiento requerido. La corriente fuera de las especificaciones generalmente se dirige de vuelta a la fuente de alimentación. Cuando la capa de ensuciamiento se acumula lo suficiente como para que se logre el tratamiento requerido, el filtrado pasa a la descarga "dentro de las especificaciones". El tiempo para la acumulación de la capa de ensuciamiento suele ser de entre 5 segundos y 2 minutos. El grado de tratamiento requerido generalmente se define en términos del nivel de petróleo suspendido (disperso) en el filtrado, que se mide automáticamente; pero el requerimiento de tratamiento puede definirse de otras formas según la aplicación, como la concentración de partículas o de componentes específicos en el filtrado. La filtración continúa en la dirección de flujo directo. El filtrado se descarga a través de la línea dentro de las especificaciones (descarga de agua tratada).

40 La corriente de purga de flujo cruzado (corriente de concentrado) normalmente se devuelve al suministro de alimentación, aunque puede separarse para recuperar el petróleo. A medida que avanza la filtración, el caudal a través de la membrana (el "flujo") generalmente disminuye a medida que la capa de suciedad se vuelve más gruesa. Cuando dicho flujo superficial cae a un valor predeterminado o después de un intervalo de tiempo predeterminado, la dirección del flujo cambia de directa a inversa. Cuando el flujo se invierte, la capa de ensuciamiento en la pared de la membrana se elimina por el flujo de agua invertido y se elimina del módulo durante un "ciclo de descarga". En este ciclo, la corriente de filtrado en la dirección de flujo inversa se pasa al vertido fuera de las especificaciones. La duración del ciclo de descarga es de típicamente entre 5 segundos y 10 minutos, dependiendo de las propiedades del agua de alimentación.

50 Durante el ciclo de descarga se forma una nueva capa de ensuciamiento en la pared exterior (lado del anillo) del elemento de membrana. La filtración en dirección inversa continúa después del ciclo de descarga. Cuando la capa de suciedad se ha acumulado lo suficiente como para alcanzar el grado de tratamiento requerido (que puede ser durante el ciclo de descarga o durante un periodo posterior al ciclo de descarga), el flujo de filtrado se pasa de la línea fuera de las especificaciones a la de dentro de las especificaciones. El tratamiento en modo de filtración inversa continúa durante un período de tiempo predeterminado o hasta que el flujo superficial en modo inverso cae a un valor predeterminado. La dirección del flujo se cambia de nuevo a flujo directo y se repite la secuencia de eventos descritos anteriormente. La filtración continúa con la inversión secuencial automática entre las direcciones de flujo directo e inverso.

60 Cuando la planta ha operado con varios ciclos de flujo directo e inverso, en algunos casos, el flujo superficial no vuelve a un valor aceptable después de la inversión en la dirección del flujo. Si esto ocurre, se realiza una operación de limpieza in-situ (CIP) automática. El módulo se desconecta y se somete a uno de los ciclos de flujo directo e inverso utilizando un líquido de limpieza en lugar de agua de alimentación (el líquido de limpieza puede ser agua

limpia, detergente o solución cáustica o una parte del filtrado tratado). El propósito de esto es eliminar las capas de suciedad de las superficies interna y externa de las membranas, que con el tiempo pueden no eliminarse completamente por los ciclos de descarga en las direcciones directa e inversa. La operación CIP restaura el flujo superficial a un valor aceptable. Los módulos individuales se desconectan generalmente de forma secuencial para la CIP, de modo que los otros módulos continúen procesando el agua de alimentación; por lo tanto, no hay interrupción en el tratamiento. El grado de tratamiento, la velocidad de flujo del filtrado y las velocidades de flujo del concentrado y la frecuencia de CIP se determina mediante los siguientes parámetros operativos: el tipo seleccionado de elemento de membrana (tamaño de poro); la duración de los ciclos de flujo directo, inverso y descarga, el caudal de purga de flujo cruzado y la presión transmembrana (es decir, la caída de presión a través de la membrana). El procedimiento se optimiza ajustando estos parámetros para cada tipo de agua de alimentación. El procedimiento se ha desarrollado utilizando membranas cerámicas suministradas por un fabricante en particular, pero los principios son independientes de la membrana del fabricante particular. El procedimiento tiene una utilidad particular en el campo de la industria de exploración y producción de petróleo y gas, pero podría extenderse para incluir el tratamiento de agua u otros tipos de fluidos en diferentes industrias. Las características más significativas del procedimiento se muestran a continuación.

La filtración se lleva a cabo por las membranas, tanto en las direcciones de flujo directa como inversa (filtración por flujo hacia afuera desde el hueco central y flujo hacia adentro desde el anillo).

La filtración se lleva a cabo por los efectos combinados del tamaño de poro (para la separación de gotas/partículas más grandes) y la formación de una capa de ensuciamiento reversible para la eliminación de gotas y partículas pequeños con tamaños inferiores a los del poro de la membrana.

Se ejecuta la inversión secuencial de la dirección del flujo para eliminar periódicamente la capa de ensuciamiento y, por lo tanto, mantener un alto flujo superficial global. Ésta es una mejora en comparación con los procedimientos convencionales de filtración "sin salida" (filtración en línea), donde el sistema de filtración se desconecta para el enjuague o cuando se usan filtros desechables.

El uso de una corriente de purga de flujo cruzado, a un caudal bajo, que supervisa la concentración de petróleo/finos en los módulos de membrana (en el vacío o el anillo para las direcciones directa e inversa, respectivamente).

El supervis del nivel de petróleo en el concentrado mejora la eficacia de filtración; si se permite que la concentración aumente a un valor demasiado alto, el nivel de petróleo en el filtrado aumenta.

El uso de un caudal de purga de flujo cruzado bajo, de modo que la velocidad del flujo cruzado no sea lo suficientemente alta como para evitar la formación de la capa de ensuciamiento de contaminantes. El bajo índice de flujo cruzado también reduce el tamaño de la bomba y esto reduce el costo de operación del procedimiento en comparación con los procedimientos convencionales de filtración de flujo cruzado. En la microfiltración de flujo cruzado, la velocidad de flujo (velocidad de flujo cruzado) es alta porque el principio del procedimiento es evitar la formación de la capa de ensuciamiento (se trata de procedimientos de filtración por exclusión de tamaño). El procedimiento de la invención facilita el uso de membranas con tamaños de poros mayores que los tamaños de las gotas y partículas que se pueden eliminar. Esto le da los siguientes beneficios:

El flujo superficial es alto en comparación con los procedimientos de filtración que se basan en la exclusión de tamaño, tales como la microfiltración de flujo cruzado (es decir, poros más pequeños que las gotas/partículas que se eliminan). El flujo superficial en la microfiltración de flujo cruzado es típicamente de 200-400 l/m<sup>2</sup>/h, en comparación con 800-2000 l/m<sup>2</sup>/h para el procedimiento de la presente invención. Por lo tanto, el procedimiento tiene un área de membrana más pequeña para una capacidad determinada (tasa de filtración), por lo que se reducen el costo y el tamaño de la planta.

Dado que los poros de la membrana son más grandes que el tamaño de las partículas sólidas sub-micrométricas y micrométricas, esto previene la ensuciamiento irreversible de la membrana (particularmente ensuciamientos dentro de la matriz de la membrana, en contraposición a la capa de ensuciamiento de la superficie). Los ensuciamientos irreversibles no pueden ser eliminados mediante la inversión de flujo o las operaciones CIP. Las incrustaciones irreversibles son un problema para otros procedimientos de filtración que no hacen uso de una capa de ensuciamiento (como la microfiltración de flujo cruzado).

El uso de la inversión de flujo secuencial para regenerar las membranas (eliminar la capa de ensuciamiento) significa que el procesamiento es continuo, con sólo una corta interrupción durante el ciclo de descarga.

La operación CIP es secuencial y desconecta los módulos secuencialmente, lo que permite que el procesamiento continúe sin interrupción.

El uso de membranas cerámicas en lugar de membranas poliméricas convencionales hace que el procedimiento sea resistente a la ensuciamiento irreversible por altos niveles de petróleo. Por ejemplo, las membranas cerámicas se pueden restaurar mediante una operación CIP normal si crudo de petróleo puro entra en la planta. Sin embargo, el principio de funcionamiento del procedimiento y sus beneficios asociados son los mismos para los sistemas de membrana polimérica, en los casos en que la ensuciamiento irreversible con petróleo no suponga un riesgo.

Resultados de los ensayos - contexto

La planta piloto 10 a escala de laboratorio se construyó de acuerdo con los principios esbozados anteriormente en relación con las Figuras 1 a 5. La planta fue operada con caudales de entre 3 y 1000 litros/hora con una gama de elementos de membrana cerámica (filtro) 18. Los tipos de membrana más convenientes se seleccionaron de dichos estudios y se optimizaron los parámetros clave del procedimiento. El trabajo se llevó a cabo utilizando mezclas sintéticas de hidrocarburos/agua que se prepararon para simular la composición química y la distribución del tamaño de gota de las aguas típicas producidas en yacimientos petrolíferos. La planta piloto no pudo ser operada exactamente de la misma manera que una planta a gran escala porque no se disponía de una cantidad suficiente de agua de prueba para los ensayos. Por lo tanto, las mediciones experimentales se complementaron con estudios de modelado para estimar el rendimiento de la planta a escala real. Las pruebas de la planta piloto mostraron que el nivel de petróleo disperso podría reducirse de niveles iniciales de 500 mg/l a entre 5 y 15 mg/l (dependiendo de las condiciones de operación). Las muestras de agua sintéticas producidas tenían niveles totales dispersos de petróleo de 500 mg/l con un tamaño medio (en número) de gotas de petróleo de 2  $\mu\text{m}$ . Los flujos superficiales para el tipo de membrana seleccionado variaron de 9000  $\text{l}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$  (inicialmente) a 2000  $\text{l}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$  en saturación (en comparación con los flujos superficiales típicos de 200 a 350  $\text{l}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$  para membranas de flujo cruzado que logran niveles comparables de eliminación de petróleo).

La ampliación de la planta es relativamente sencilla puesto que se trata de un procedimiento modular y la planta piloto fue construida con los mismos elementos de membrana (filtro) que se utilizarían en la planta a escala real. Sin embargo, existía un área de incertidumbre en cuanto a las propiedades del agua sintética producida en comparación con muestras reales, particularmente con respecto a la presencia de hidrocarburos de mayor peso molecular ( $>C_{40}$ ) y las propiedades tensioactivas del agua producida.

Se usaron los datos obtenidos de las mediciones en la planta piloto para hacer el diseño de una planta de demostración a gran escala 100, construida de acuerdo con los principios descritos anteriormente en relación con la Figura 6 y dimensionada para una capacidad de hasta 100  $\text{m}^3/\text{h}$  de agua.

Los resultados de los ensayos demostraron que la extracción de petróleo fue algo mejor que la obtenida en los ensayos de la planta piloto, con niveles finales típicos por debajo de 10 mg/l, aunque los flujos superficiales finales (de saturación) fueron algo menores, con valores de 1250 a 1700  $\text{l}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ . Esto puede deberse a la presencia de hidrocarburos  $C_{20}$ - $C_{40}$  en el agua, lo que muestra los beneficios de llevar a cabo un pretratamiento; si bien los flujos superficiales más bajos también pueden deberse a la presencia de bolsas/burbujas de petróleo ("slugs") intermitentes en el suministro.

Basándose en los datos obtenidos de las mediciones de la planta de demostración, se han preparado diseños comparativos de plantas a escala real, que muestran que el área de la membrana es inferior a la de las membranas previas, de flujo cruzado convencionales, en un factor de aproximadamente 4-9, con un costo de la planta correspondientemente menor. El costo de operación también es menor en un factor de 5, debido a los menores costos de bombeo. La superficie de ocupación de la planta también es aproximadamente el 50 % de la de una planta convencional de flujo cruzado.

El procedimiento de la presente invención es un procedimiento híbrido de filtración en línea y flujo cruzado que usa membranas cerámicas de microfiltración. Los hidrocarburos dispersos y los sólidos se eliminan mediante la acción combinada de la membrana cerámica y también, comúnmente con muchos otros procedimientos de filtración, la capa de ensuciamiento. La membrana y el régimen de operación se desarrollan de modo que los efectos combinados de la membrana y la capa de ensuciamiento alcancen el grado de tratamiento requerido dentro de aproximadamente 60 a 100 segundos del inicio de operación con una membrana limpia.

Estudios en la planta piloto

Como se ha explicado, se muestra un esquema para la planta piloto 10 en la Figura 1. El esquema de flujo es esencialmente el mismo que para un sistema de filtración en línea, pero con válvulas adicionales para incluir las características del flujo cruzado. Las dimensiones de los módulos de membrana 12 varían de 40 mm de diámetro x 700 mm a 100 mm de diámetro x 1200 mm, dependiendo del tipo de membrana. Los elementos de membrana 18 en la planta piloto han sido los mismos que los utilizados en la planta de demostración.

El petróleo disperso en la corriente de agua tratada se midió usando un monitor en línea de petróleo en agua (índice de refracción) 52. Los análisis de hidrocarburos en la alimentación y en el agua tratada también se llevaron a cabo mediante cromatografía de gas-líquido usando una columna capilar de 60 m (Carbowax) y detección de ionización de llama.

La planta piloto 10 fue desarrollada para investigar el efecto de variar los parámetros claves del procedimiento en el nivel de petróleo final y el flujo superficial de la membrana y para optimizar estos parámetros con respecto a la capacidad de tratamiento y la calidad del agua tratada. Los parámetros clave fueron el caudal de alimentación, la presión transmembrana, el caudal de flujo cruzado y la frecuencia de enjuague inversa (también denominado anteriormente ciclo de descarga).

Se prepararon muestras de agua de producción de concentración total de petróleo de 500 mg/l en agua, con un contenido en cloruro sódico del 1 %. Se investigaron varios procedimientos para preparar una distribución representativa del tamaño de gota, que incluía la agitación y el bombeo de alto cizallamiento. Se encontró que una bomba centrífuga de alta velocidad produjo la distribución más representativa, con un tamaño medio de gota cercano al límite inferior del rango reportado para petróleo en agua de producción. El tamaño numérico medio de la gota fue 2,07  $\mu\text{m}$ . Como comparación, se determinaron las distribuciones de tamaño de gota en una muestra de agua producida de una instalación petrolera continental. El tamaño promedio numérico fue de 2,62  $\mu\text{m}$ , ligeramente más alto que la muestra sintética; y la concentración de petróleo fue de 266 mg/l. La dispersión de petróleo se preparó utilizando la bomba centrífuga de alta velocidad para todos los ensayos realizados en la planta piloto, por ser la prueba más exigente del procedimiento.

Algunos resultados representativos de la planta piloto para dos de los tipos de membrana considerados se muestran en las Figuras 12 y 13, que muestran el flujo superficial de la membrana operativa y el nivel de petróleo en el agua producida, tratada a lo largo del tiempo y en función de la presión transmembrana. El primer tipo de membrana (Figura 12) alcanzó un nivel de petróleo final menor a 5 mg/l para un flujo superficial variable entre 800 y 200  $\text{l/m}^2/\text{h}$ . El segundo tipo de membrana (Figura 13) alcanzó niveles finales de petróleo de 5 mg/l a 15 mg/l (dependiendo de los parámetros de operación), con flujos superficiales que decrecen desde los valores iniciales de 9000 a aproximadamente 2000  $\text{L/m}^2/\text{h}$  en la saturación.

#### Estudios en la planta de demostración

La planta de demostración 100 se diseñó basándose en los parámetros de diseño clave que fueron determinados a partir de las mediciones en la planta piloto 10. La planta fue diseñada para una capacidad, con agua, de hasta 100  $\text{m}^3/\text{h}$  y para una operación semiautomática. La bomba de alimentación genera una presión de 2,5 bar y la planta está diseñada para una presión transmembrana de 0,2 a 2,5 bar. La presión máxima de operación de la planta es de 10 bar, lo que permite presiones de suministro de agua de producción de cero a 7,5 bar. La planta comprende cuatro módulos de membrana con un área total de membrana de 10  $\text{m}^2$ .

El suministro de agua de producción se tomó inicialmente de una línea de transferencia desde un separador petróleo-agua hasta el tanque de almacenamiento de agua de producción (antes de la reinyección). Esta corriente también contenía la corriente de fondo de agua de un calentador de petróleo. Se encontraron dificultades con los "slugs" de petróleo en el agua de producción, que surgían de las alteraciones en el procedimiento de aguas arriba. Se llevaron a cabo varios intentos para evitar que "slugs" entraran en la planta, por medio de detener el flujo de la corriente de fondo del calentador. Sin embargo, esto no eliminó dichos "slugs". Aunque los "slugs" de petróleo impidieron el funcionamiento continuo de la planta, estos ensayos permitieron demostrar que las membranas pueden tolerar el crudo de petróleo puro y pueden regenerarse fácilmente mediante el procedimiento de limpieza in-situ. Estas son ventajas significativas sobre las tecnologías de membrana de polímero anteriores.

La configuración del procedimiento se cambió de modo que el suministro de agua de producción a la planta 200 se tomó de un tanque de almacenamiento de reinyección. Esto redujo el riesgo de "slugs" de petróleo y permitió que la planta fuera operada por periodos prolongados. Los principales parámetros del procedimiento se ajustaron para optimizar el procedimiento y cuantificar el rendimiento del procedimiento con respecto a: el nivel de petróleo en el agua de producción tratada, el máximo flujo superficial, los tiempos de ciclo, los intervalos de limpieza y otros parámetros de operación.

Los resultados típicos para las operaciones diarias en el conjunto optimizado de condiciones se muestran en la Figura 14. Los gráficos muestran el nivel de petróleo disperso en el agua tratada devuelta a los tanques de almacenamiento de agua de producción. Los resultados se muestran para dos presiones transmembrana (TMP, por sus siglas en inglés *transmembrane pressures*): se puede observar que las TMP más bajas proporcionan un nivel de petróleo final más bajo, sin embargo, el flujo superficial de la membrana disminuye a medida que disminuye la TMP.

Los resultados muestran que la planta de demostración 100 logró niveles de petróleo finales ligeramente mejores que los que se determinaron a partir de las mediciones de la planta piloto. El nivel de petróleo más bajo alcanzado fue de 6 mg/l y los niveles fueron generalmente inferiores a 10 mg/l para la TMP más baja. Los niveles de petróleo de entrada fueron típicamente entre 60 y 100 mg/l, con picos de hasta 250 mg/l y ocasionales "slugs". La mejora observada en la eliminación de petróleo por la planta de demostración es probablemente una consecuencia del menor nivel de petróleo en la alimentación, en promedio, en comparación con el efluente sintético que se utilizó para los ensayos de la planta piloto.

Se encontró que los flujos superficiales de la membrana en la planta de demostración eran ligeramente inferiores a los pronosticados en el estudio de la planta piloto y los cálculos de modelado. Sin embargo, los flujos superficiales fueron superiores, en un factor de 4 a 9, con respecto a los de los procedimientos previos de microfiltración de flujo cruzado. Se encontró una dificultad durante los ensayos a largo plazo debido a que las alteraciones en el procedimiento aguas arriba todavía ocasionaban "slugs" de petróleo ocasionales y niveles de petróleo a la entrada muy altos. El procedimiento de la invención es, por lo tanto, capaz de producir un flujo superficial más elevado con un suministro de agua de producción estable y ausencia de "slugs" de petróleo. Posteriormente, se llevaron a cabo experimentos en la planta de demostración utilizando agua de producción con caudales de hasta 100  $\text{m}^3/\text{h}$ . Los

ensayos demostraron la eficiencia del procedimiento anterior para niveles de petróleo en la corriente de entrada de hasta 1000 ppm; niveles de sólidos de hasta 100 ppm, con tamaños de partículas y gotas de 1 micrómetro a 100 micrómetros y gravedades API de petróleo de 14 y 36. Los flujos superficiales obtenidos con estos ensayos fueron más altos, hasta 2500 l/m<sup>2</sup>/h. Niveles de petróleo filtrado de menos de 10 ppm y niveles de sólidos de menos de 10 ppm fueron obtenidos de manera consistente durante estos ensayos.

Diseño de la planta a escala real y datos económicos

El diseño del procedimiento y de la planta a escala real 200 (Figuras 7 a 9) se llevó a cabo haciendo uso de los resultados de las pruebas de la planta de demostración 100 (Figura 6), para un rango de diseños desde 300 m<sup>3</sup>/h hasta 2400 m<sup>3</sup>/h. El escalado de la planta de demostración 100 a plantas de mayor escala es sencilla porque los mismos módulos de membrana se utilizan en todas las escalas. La mayor parte del costo de inversión de las plantas de flujo cruzado previas es el costo de los módulos de membrana; la menor área de membrana que se requiere para el procedimiento de la presente invención se refleja, por lo tanto, en los costes anticipados de la planta. Los costos comparativos para el procedimiento de la presente invención ("procedimiento SRCF") y para los procedimientos previos de flujo cruzado, se muestran en la tabla siguiente, para el caso de 1200 m<sup>3</sup>/h.

|                                  | <b>Coste de capital<br/>£M</b> | <b>Coste de operación £/m<sup>3</sup></b> | <b>Superficie de ocupación de<br/>la planta m<sup>2</sup></b> |
|----------------------------------|--------------------------------|---|---|
| Microfiltración de flujo cruzado | 19,0                           | 1,73                                      | 288   |
| Procedimiento SRCF               | 3,42                           | 0,32                                      | 180   |

El mayor componente individual del coste de operación para ambos procedimientos es el requerimiento de energía para una bomba de recirculación. Como la velocidad de flujo transversal es menor para el procedimiento de la presente invención, la potencia de bombeo es menor y esto se refleja en la tabla.

Se pueden hacer diversas modificaciones a lo anterior sin apartarse del alcance de la presente invención.

Por ejemplo, aspectos o modos de realización adicionales de la presente invención pueden incluir una o más características derivadas de uno o más aspectos o modos de realización de la invención descrita anteriormente.

En general, los elementos de filtros (membranas) cilíndricos tubulares y de placa plana se muestran en los planos y se han descrito anteriormente. Sin embargo, los elementos de filtro pueden tener cualquier forma requerida y, por tanto, pueden ser elementos tubulares no cilíndricos, elementos de filtro tipo placa que están curvados en una o más direcciones (por ejemplo, en su dirección longitudinal y/o transversal), o cualquier otra configuración.

Los procedimientos de filtración de contaminantes de un fluido se han descrito aquí. En ellos, una vez que el flujo del fluido de alimentación toma una de las mencionadas direcciones de flujo hacia adelante y hacia atrás, el fluido en la corriente de alimentación se hace pasar a través de los mencionados elementos de filtro en la otra de las direcciones directa e inversa, con objeto de eliminar el material contaminante de la superficie de la pared del elemento filtrante. Se entenderá, sin embargo, que está dentro del rango de posibilidades de la invención que, después de que se dé el flujo en la dirección directa/inversa seleccionada, el flujo en la otra dirección con objeto de eliminar material contaminante, al menos inicialmente, emplee un fluido distinto al fluido de alimentación. Por ejemplo, puede emplearse inicialmente un fluido de limpieza y luego cambiarse al fluido de alimentación, una vez que se ha determinado o estimado que la pared del elemento se ha limpiado adecuadamente mediante el flujo en la mencionada otra dirección.

**REIVINDICACIONES**

1. Un procedimiento de filtración de contaminantes de un fluido, comprendiendo el procedimiento las etapas de:

dirigir una corriente de alimentación (20) de un fluido que comprende contaminantes a una cámara de filtro (14a; 314) que comprende al menos un elemento de filtro (18a; 318);

5 disponer, al menos, parte del fluido de la corriente de alimentación dirigido a la cámara de filtro para que fluya en una de:

A. una dirección de flujo directa en la que el fluido pasa en una primera dirección a través de la pared (22a; 322) del elemento de filtro; y

10 B. una dirección de flujo inverso en la que el fluido pasa en una segunda dirección opuesta a través de la pared del elemento de filtro;

dirigir el filtrado (27) fuera de la cámara y hacia la línea de flujo de filtrado (26) para su recogida;

posteriormente, dirigir el fluido de la corriente de alimentación hacia la cámara de filtro para que fluya a través de dicho elemento de filtro en la otra de las direcciones de flujo directo e inverso, con objeto de eliminar el material contaminante de la superficie (30a, 32a; 330, 332) de la pared del elemento;

15 después de la eliminación de dicho material contaminante por el flujo del fluido en la otra de las direcciones de flujo directo e inverso, continuar direccionando el fluido de la corriente de alimentación a través de la pared del elemento de filtro en dicha otra dirección para filtrar contaminantes del fluido durante el flujo en dicha otra dirección; y

20 después de la eliminación de dicho material contaminante, dirigir el filtrado resultante del flujo a través de la pared del elemento de filtro en dicha otra dirección de flujo fuera de la cámara y hacia la línea de flujo de filtrado para su recogida.

2. Un procedimiento según la reivindicación 1, que comprende la etapa adicional de supervisar, al menos, un parámetro y, al detectar un cambio predeterminado en, al menos, un parámetro, realizar la etapa de disponer el fluido de la corriente de alimentación para que fluya a través de la pared del elemento de filtro en la otra de las direcciones de flujo directa e inversa.

25

3. Un procedimiento según la reivindicación 1, en el que la etapa de disponer el fluido de la corriente de alimentación para que fluya a través de la pared del elemento de filtro en la otra de las direcciones de flujo directa e inversa se realiza después de un periodo de tiempo predeterminado.

4. Un procedimiento según la reivindicación 2, en el que la etapa de disponer el fluido de la corriente de alimentación para que fluya a través de la pared del elemento de filtro en la otra de las direcciones de flujo directa e inversa se realiza en lo primero que ocurra de: detección del cambio predeterminado en el al menos un parámetro; y finalización del periodo de tiempo predeterminado.

30

5. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 2 ó 4, en el que el parámetro es el flujo a través del elemento de filtro, el fluido de la corriente alimentación dispuesto para que fluya en dicha otra dirección tras la detección del flujo que alcanza un nivel umbral predeterminado.

35

6. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 2 ó 4, en el que el parámetro es la concentración de contaminantes en el filtrado, siendo un aumento en la concentración de contaminantes indicativo de deterioro en el rendimiento, que requiere un cambio en la dirección del flujo para limpiar la superficie de la pared del elemento de filtro.

7. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende disponer, al menos, parte del fluido de la corriente de alimentación hacia la cámara de filtro para que fluya en una de las direcciones directa e inversa; y disponer un resto del fluido de la corriente de alimentación hacia la cámara de filtro para que fluya en una corriente de purga de flujo cruzado a través del elemento de filtro y hacia la línea de flujo de purga.

40

8. Un procedimiento según la reivindicación 7, en el que el fluido que fluye a través del elemento de filtro en la corriente de purga de flujo cruzado se dispone para fluir con una velocidad de no más de 4 m/s, para promover la formación de una capa de ensuciamiento del material contaminante sobre una superficie (30a, 32a; 330, 332) del elemento de filtro, de manera que la filtración de material contaminante adicional se consigue por medio de una combinación del elemento de filtro y la capa de ensuciamiento.

45

9. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 7 u 8, en el que un volumen del fluido de la corriente de alimentación que se dispone para fluir en la corriente de purga de flujo cruzado a través del elemento de filtro es, al menos, el 5 % del volumen total del fluido en la corriente de alimentación.

50

10. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, en el que el fluido en la corriente de purga de flujo cruzado se dispone para fluir con un perfil de flujo laminar, para promover la formación de una capa de ensuciamiento del material contaminante sobre una superficie (30a, 32a; 330, 332) del elemento de filtro, de modo que la filtración de material contaminante adicional se consigue por medio de una combinación del elemento de filtro

55

y la capa de ensuciamiento.

- 5 11. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 10, en el que el fluido de alimentación es acuoso y el fluido en la corriente de purga de flujo cruzado se dispone para fluir en la corriente de purga de manera que tiene un número de Reynolds de no más de 2500, para promover la formación de una capa de ensuciamiento del material contaminante sobre una superficie (30a, 32a; 330, 332) del elemento de filtro, de modo que la filtración de material contaminante adicional se consigue mediante una combinación del elemento de filtro y la capa de ensuciamiento.
- 10 12. Un procedimiento según cualquier reivindicación precedente, en el que la etapa de dirigir la corriente de alimentación de un fluido que comprende contaminantes hacia la cámara de filtro comprende dirigir la corriente de alimentación hacia una cámara de filtro (14a; 314) que comprende un elemento de filtro (18a; 318) que tiene una pluralidad de poros para filtrar contaminantes del fluido de la corriente de alimentación, siendo el tamaño de poro no inferior a 4 micrómetros; y supervisar uno o más parámetros de la corriente de purga de flujo cruzado para promover la formación de una capa de ensuciamiento sobre una superficie (30a, 32a; 330, 332) del elemento de filtro, de modo que la filtración de material contaminante adicional se logra mediante una combinación del elemento de filtro y la capa de ensuciamiento.
- 15 13. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que, al menos, un elemento de filtro (18a) es hueco y en el que el procedimiento comprende disponer al menos parte del fluido de la corriente de alimentación hacia la cámara de filtro (14a) para que fluya en una de:
- 20 A. una dirección de flujo directa en la que el fluido pasa en una primera dirección a través de una pared (22a) del elemento de filtro desde el interior (24a) del elemento al exterior del elemento; y
- B. una dirección de flujo inversa en la que el fluido pasa en una segunda y opuesta dirección a través de la pared (22a) del elemento de filtro desde el exterior del elemento hasta el interior (24a) del elemento.
- 25 14. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, en el que, al menos, un elemento de filtro está en la forma de una placa generalmente plana (318), que tiene superficies primera y segunda (330, 332) opuestas y en la que el procedimiento comprende disponer al menos parte del fluido de la corriente de alimentación dirigido hacia la cámara de filtro para que fluya en una de:
- 30 A. una dirección de flujo directa en la que el fluido pasa en una primera dirección a través de una pared (322) del elemento de filtro desde la primera superficie (330) hacia la segunda superficie (332); y
- B. una dirección de flujo inversa en la que el fluido pasa en una segunda dirección, opuesta a la primera, a través de la pared del elemento de filtro desde la segunda superficie hacia la primera superficie.
- 35 15. Un procedimiento según la reivindicación 1, que comprende supervisar la concentración de contaminantes en el filtrado durante el flujo en dicha otra dirección y, tras detectar que la concentración de contaminantes ha descendido a un nivel deseado, dirigir el filtrado hacia la línea de flujo de filtrado para su recogida.
- 40 16. Un procedimiento según cualquier reivindicación precedente, en el que, después de la eliminación de dicho material contaminante y la filtración en la otra de las direcciones de flujo directa e inversa, el procedimiento comprende la etapa adicional de disponer el fluido de la corriente de alimentación dirigido hacia la cámara de filtro para que fluya de nuevo a través del elemento de filtro en una de entre la dirección de flujo directa e inversa que se seleccionó inicialmente, para eliminar el material contaminante de una superficie (30a, 32a; 330, 332) de una pared (22a; 322) del elemento que ha resultado del flujo de fluido en la otra de las direcciones de flujo hacia adelante y hacia atrás.
- 45 17. Un procedimiento según la reivindicación 16, en el que el flujo continúa en una de las direcciones de flujo directa e inversa que se seleccionó inicialmente y, después de la eliminación de dicho material contaminante, el filtrado resultante de dicho flujo se dirige fuera de la cámara y hacia la línea de flujo de filtrado para su recogida.
- 50 18. Un procedimiento según la reivindicación 17, que comprende supervisar la concentración de contaminantes en el filtrado durante el flujo en dicha dirección inicial y, al detectar que la concentración de contaminantes ha caído al nivel deseado, dirigir el filtrado a la línea de flujo de filtrado para su recogida.
- 55 19. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4, o cualquiera de las reivindicaciones 5 a 18 cuando dependa de una de las reivindicaciones 2 a 4, en el que el procedimiento comprende cambiar secuencialmente la dirección de flujo del fluido de la corriente de alimentación entre las direcciones de flujo directa e inversa, en respuesta a la detección del cambio predeterminado en el parámetro medido y/o la finalización del periodo de tiempo predeterminado.
20. Un procedimiento tal como se reivindica en la reivindicación 2 o una cualquiera de las reivindicaciones 3 a 19 cuando dependa de la reivindicación 2, en el que, después de completar, al menos, un ciclo de flujo del fluido de la corriente de alimentación en las direcciones de flujo directa e inversa, y en el caso de que el cambio predeterminado en el parámetro medido ocurra dentro de un periodo de tiempo reducido, el procedimiento comprende la etapa de limpiar el elemento de filtro dirigiendo un fluido de limpieza a la cámara de filtro y disponiendo el fluido para que fluya

en dirección directa o inversa.

21. Un procedimiento según la reivindicación 20, que comprende dirigir el fluido de limpieza en la dirección opuesta a la dirección de flujo que llevaba el fluido antes de la detección del deterioro en el rendimiento.

5 22. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 20 ó 21, en el que, cuando se determina que el rendimiento del elemento de filtro se ha devuelto a un nivel aceptable, el procedimiento comprende la etapa de redirigir el fluido de la corriente de alimentación a la cámara de filtro y disponer el fluido para que fluya a través de la pared del elemento de filtro en una de las direcciones de flujo seleccionadas directa e inversa.

10 23. Un procedimiento según cualquier reivindicación precedente, que comprende dirigir la corriente de alimentación del fluido a una pluralidad de cámaras de filtro (14a, 14b), conteniendo cada cámara de filtro una pluralidad de elementos de filtro (18a).

24. Un procedimiento según la reivindicación 23, que comprende desconectar, al menos, una de las cámaras de filtración (14a, 14b) para llevar a cabo el ciclo de inversión del flujo, continuando durante este procedimiento, la filtración a través de, al menos, otra cámara de filtro (14a, 14b) adicional.

15 25. Un procedimiento según la reivindicación 2 o una cualquiera de las reivindicaciones 3 a 24 cuando dependa de la reivindicación 2, en el que, al menos un parámetro que se mide se selecciona del grupo que comprende el flujo a través del elemento de filtro, una caída de presión medida a través del elemento de filtro; y una proporción o concentración de contaminantes que permanecen en el filtrado.

26. Una planta de filtración (10, 100, 200) para filtrar contaminantes de un fluido, comprendiendo la planta:

20 al menos, un módulo de filtro (12a, 12b; 112a-d; 212a-j; 312), comprendiendo el al menos un módulo de filtro una cámara de filtro (14a, 14b; 314) que comprende, al menos, un elemento de filtro (18a; 318), el elemento de filtro dispuesto para filtrar contaminantes desde una corriente de alimentación de un fluido dirigido hacia la al menos una cámara de filtro y a través de una pared (22a; 322) del elemento de filtro; la planta de filtración está dispuesta, en uso:

25 para dirigir, al menos, una parte del fluido de la corriente de alimentación a la cámara de filtro para que fluya en uno de:

- A. una dirección de flujo directa en la que el fluido pasa en una primera dirección a través de la pared del elemento de filtro; y
- B. una dirección de flujo inversa en la que el fluido pasa en una segunda, dirección opuesta a través de la pared del elemento de filtro;

30 para dirigir el filtrado fuera de la cámara y hacia la línea de flujo de filtrado (26; 126) para su recogida; para dirigir, posteriormente, dicho fluido de la corriente de alimentación para que fluya a través de dicho elemento de filtro en la otra de las direcciones de flujo directa e inversa, para eliminar el material contaminante de la superficie (30a, 32a; 330, 332) de la pared del elemento;

35 después de eliminar dicho material contaminante por medio del flujo del fluido en la otra de las direcciones de flujo directa e inversa, continuar dirigiendo el fluido de la corriente de alimentación a través de la pared del elemento de filtro en dicha otra dirección para filtrar de este modo los contaminantes del fluido durante el flujo en dicha otra dirección; y

40 después de la eliminación de dicho material contaminante, dirigir el filtrado resultante del flujo a través de la pared del elemento de filtro en dicha otra dirección de flujo fuera de la cámara y hacia la línea de flujo de filtrado para su recogida.

27. Una planta de filtración según la reivindicación 26, en la que el elemento de filtro tiene una pluralidad de poros para filtrar contaminantes del fluido de la corriente de alimentación y en el que el tamaño de poro no es menor de 4 micrómetros.

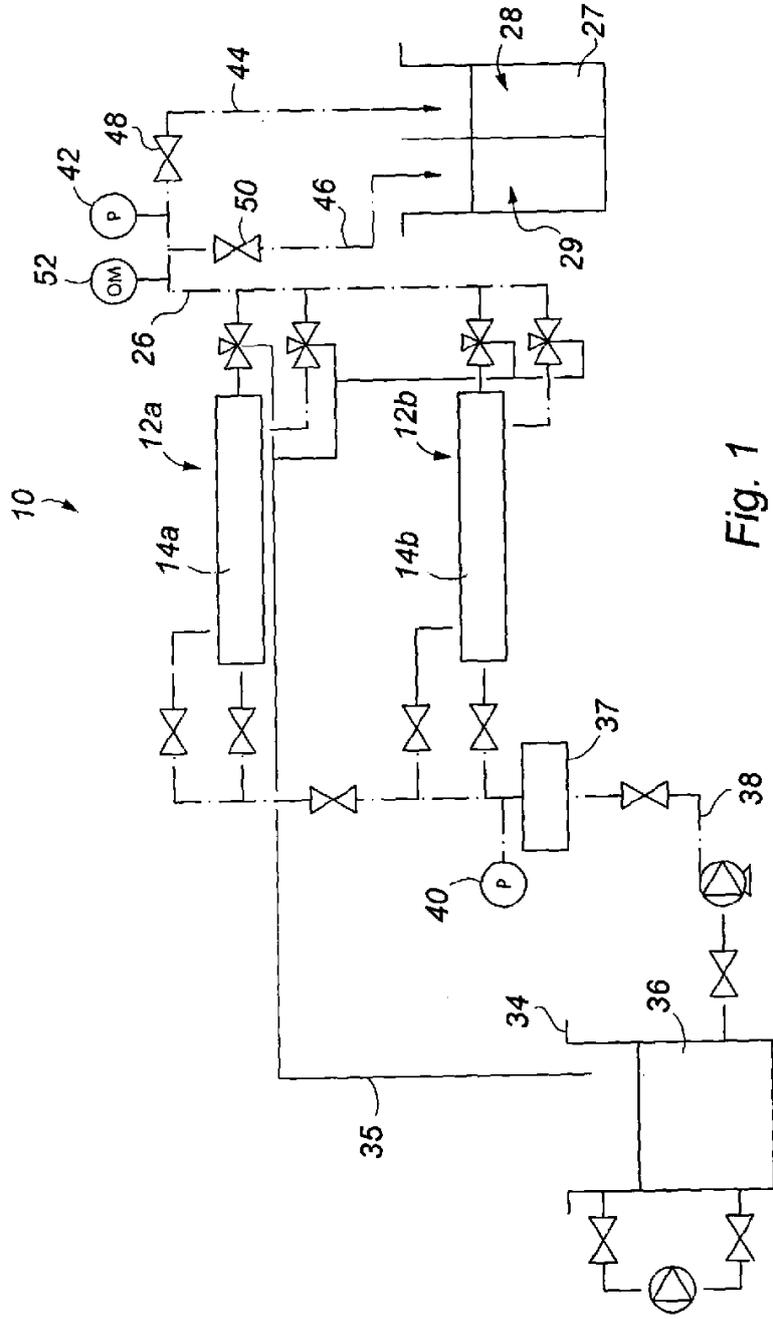


Fig. 1

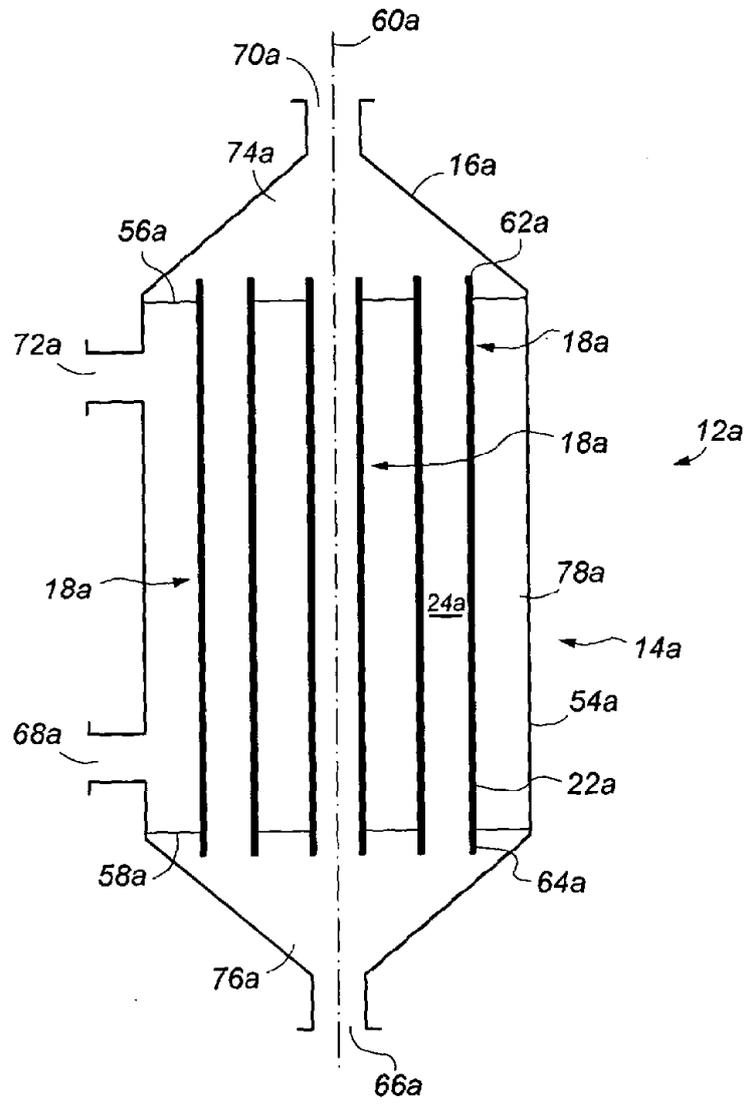


Fig. 2

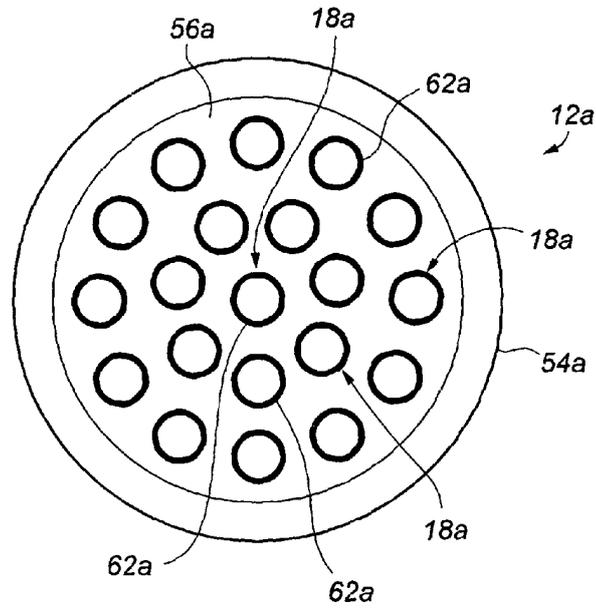


Fig. 3

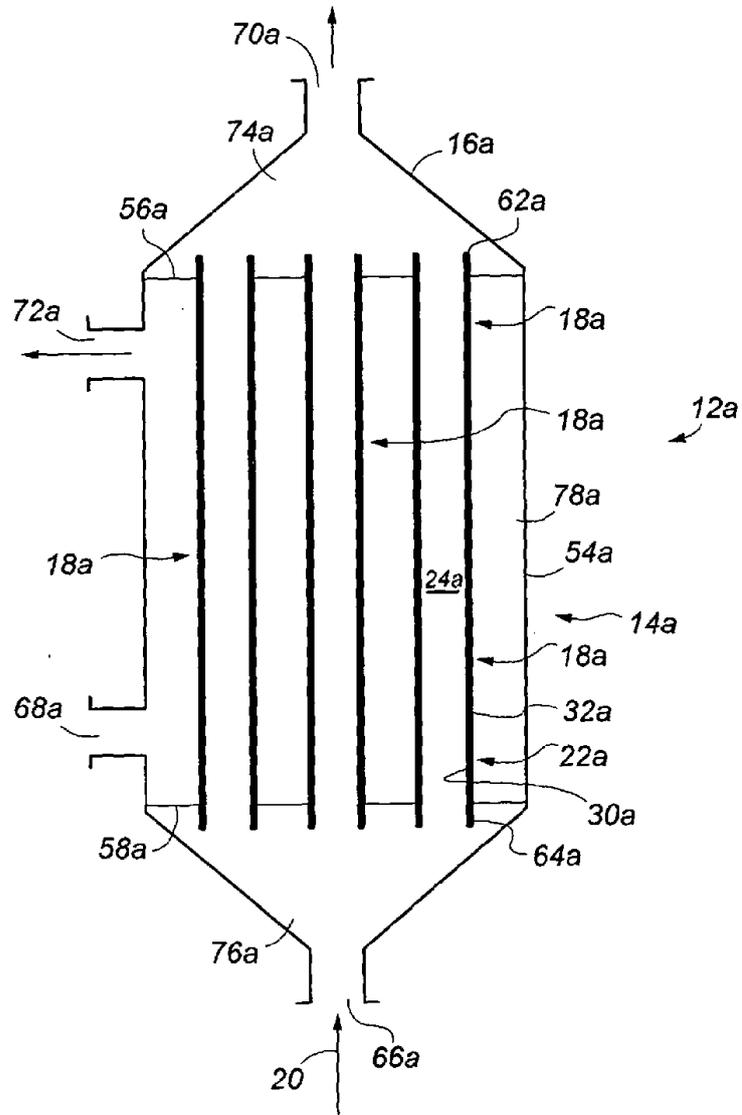


Fig. 4

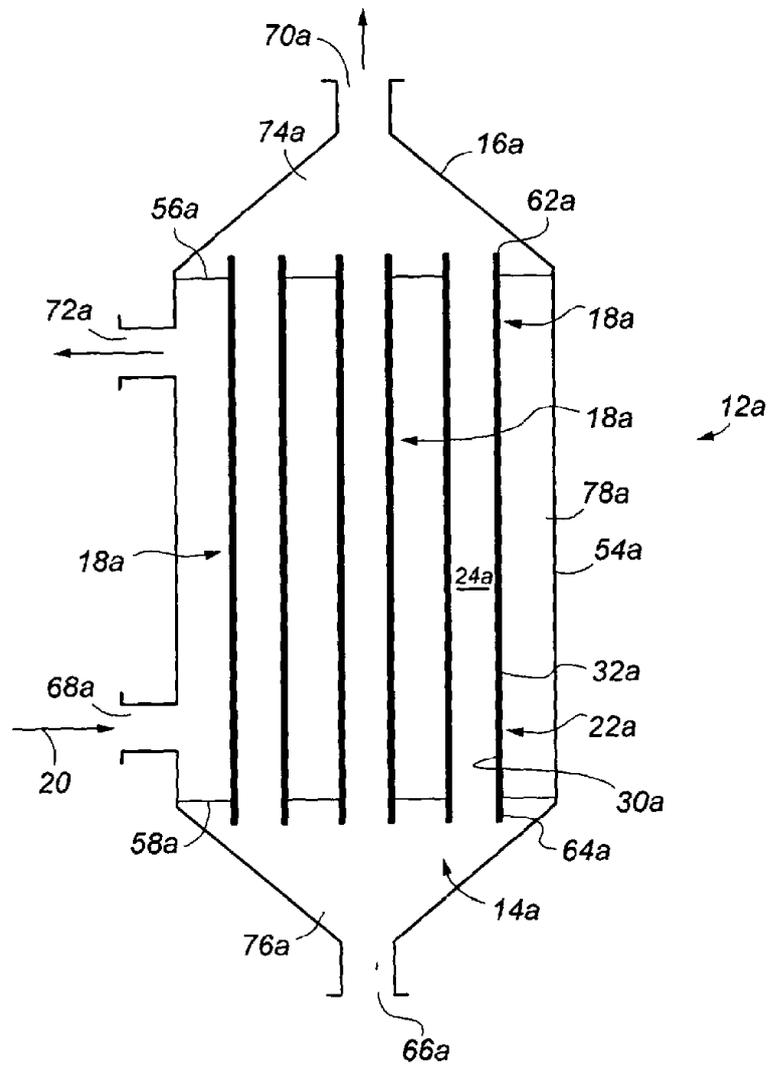


Fig. 5

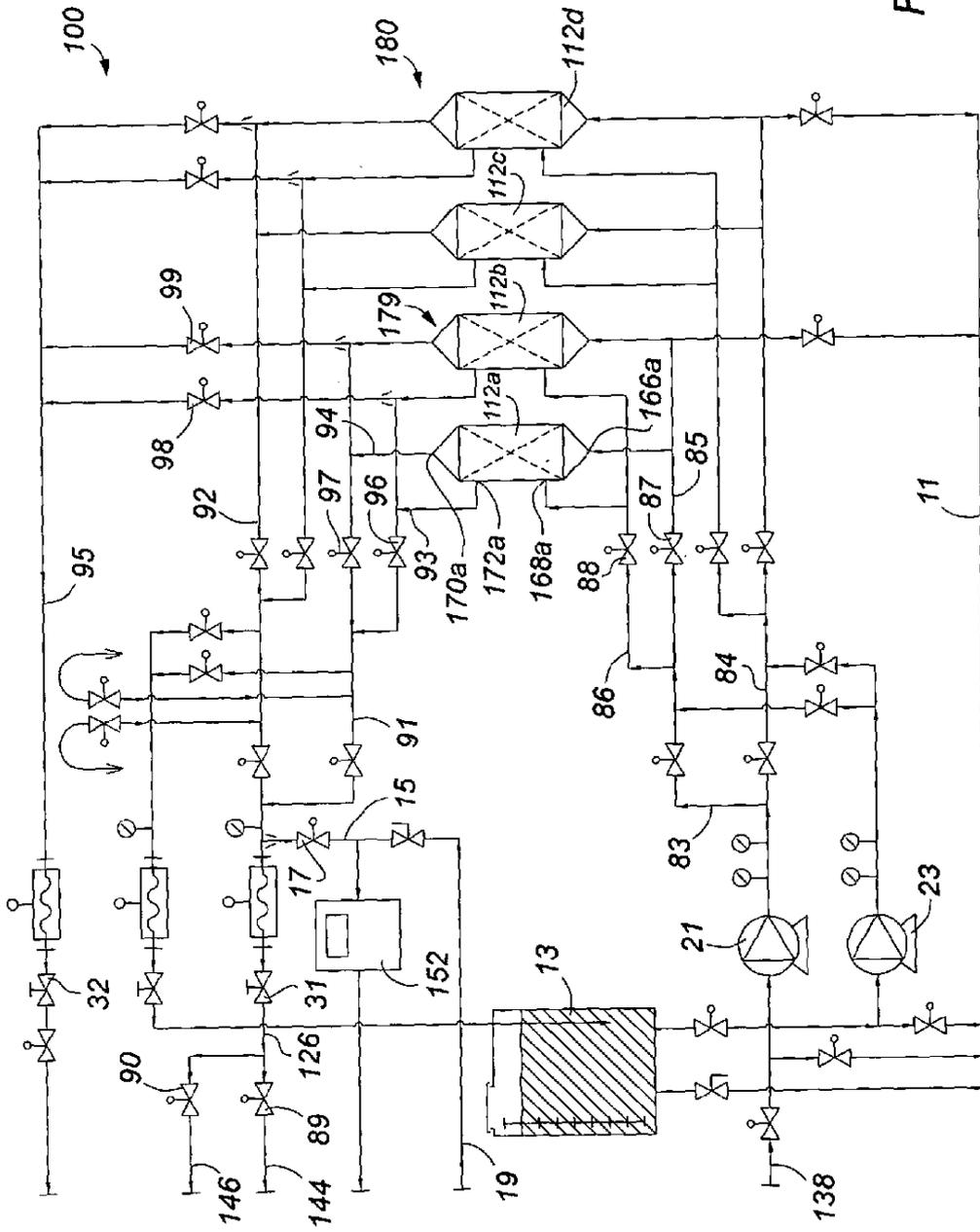


Fig. 6



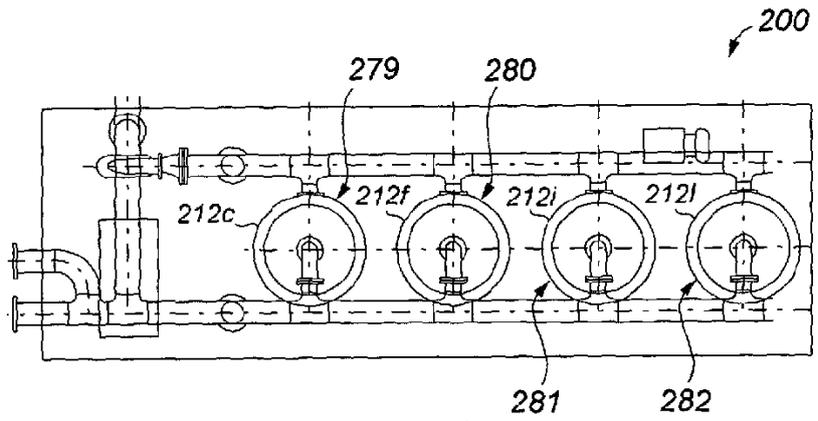


Fig. 8

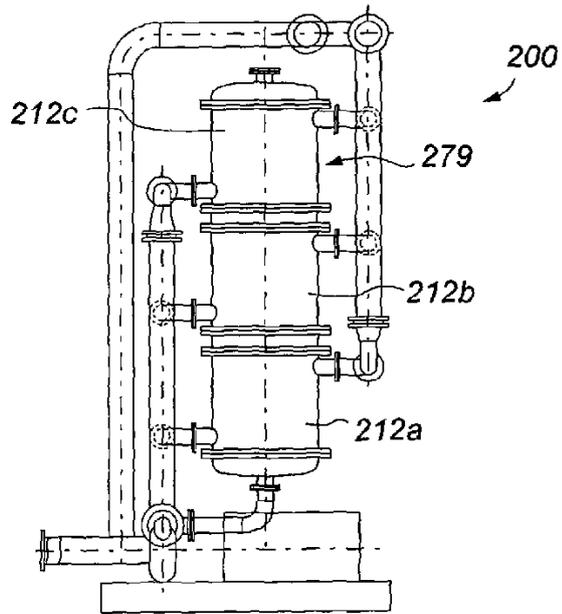


Fig. 9



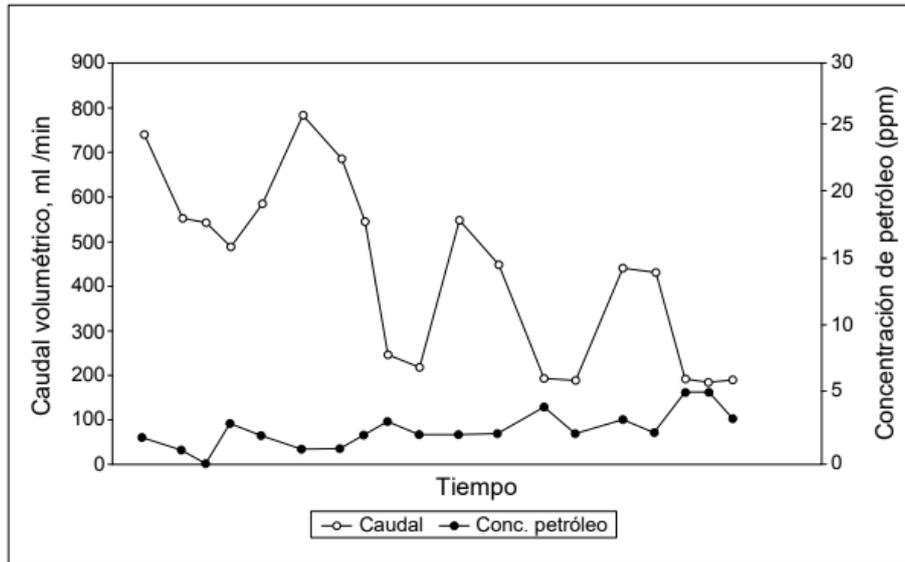


Fig. 12

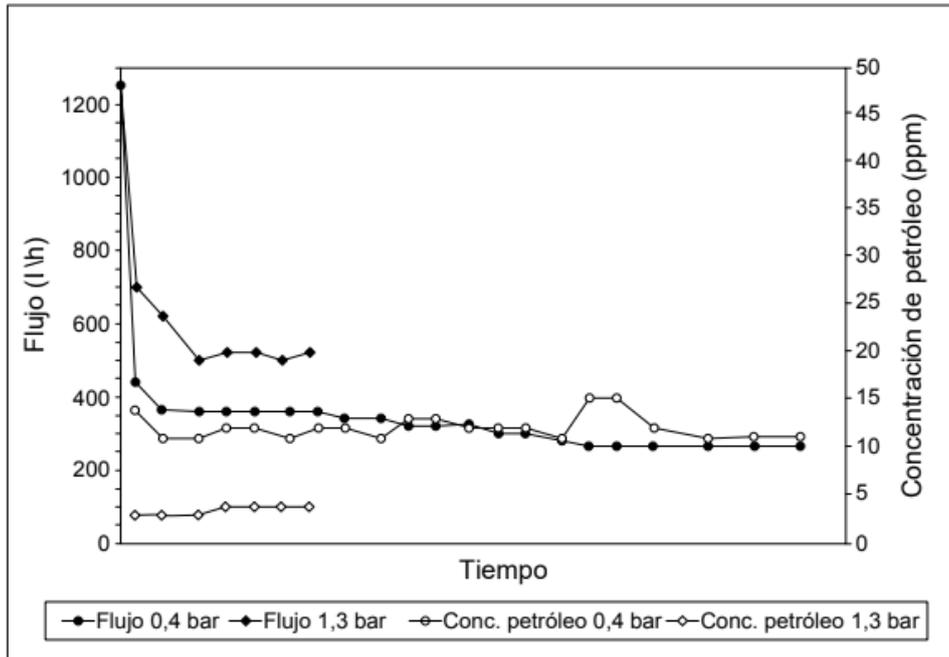


Fig. 13

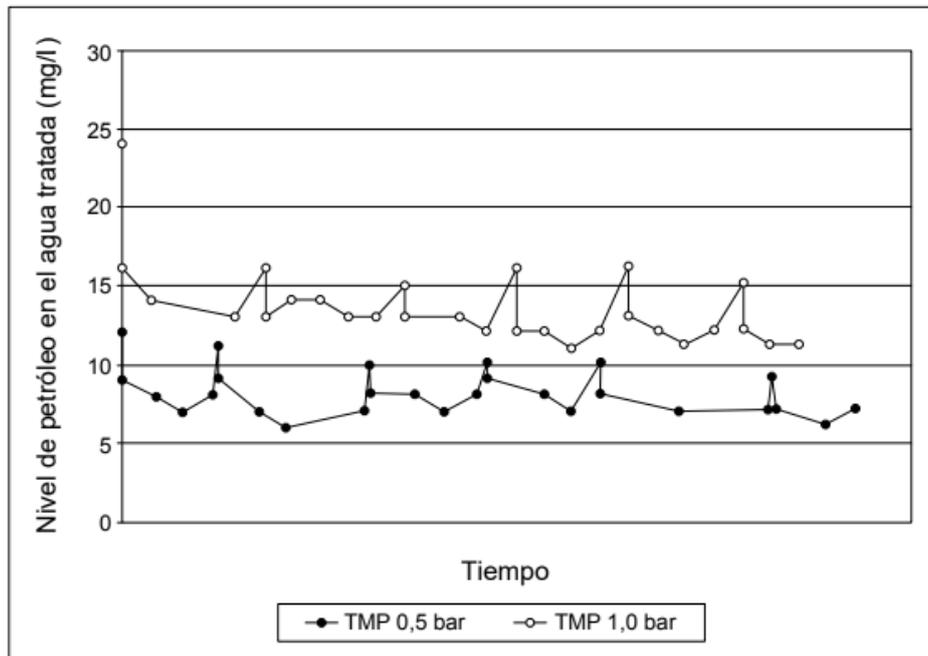


Fig. 14