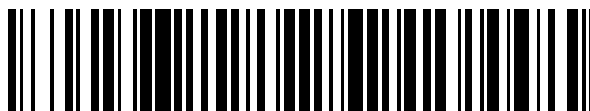


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 750 273**

51 Int. Cl.:

B01D 61/12 (2006.01)

B01D 65/02 (2006.01)

C02F 1/44 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.09.2010 PCT/IB2010/002472**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.10.2011 WO11132016**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.09.2010 E 10768807 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.07.2019 EP 2560743**

54 Título: **Un método y sistema para optimizar un proceso de limpieza de membrana**

30 Prioridad:

19.04.2010 IN 1087CH2010

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

25.03.2020

73 Titular/es:

**ABB SCHWEIZ AG (100.0%)
Brown Boveri Strasse 6
5400 Baden, CH**

72 Inventor/es:

**SUBBIAH, SENTHILMURUGAN;
SRINIVAS, MEKAPATI y
BHUTANI, NAVEEN**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 750 273 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

Un método y sistema para optimizar un proceso de limpieza de membrana

Campo de la invención

5 La invención se refiere al campo de un proceso de separación por ósmosis inversa utilizado para procesos de desalinización y reutilización de aguas residuales. Más particularmente, la invención se refiere a un método y sistema para estimar la eficacia de la limpieza de membranas.

Antecedentes de la invención

10 En las últimas dos décadas, el procedimiento de separación por ósmosis inversa (RO, por sus siglas en inglés) está siendo cada vez más importante para procesos de desalinización y reutilización de aguas residuales. El procedimiento mediante RO tiene como objetivo sustituir a los procedimientos convencionales energéticamente ineficientes, a saber, los procedimientos térmicos y los procedimientos químicos. Esto ha sido posible después de (i) descubrir membranas de baja presión y alto rechazo con un coste menor y (ii) la integración de dispositivos de recuperación de energía (ERD, por sus siglas en inglés) para recuperar energía de la corriente de rechazo. Aun así, aunque los procedimientos de separación por membrana han demostrado ser energéticamente más eficientes que el proceso convencional, la separación por membrana tiene sus propios inconvenientes, tales como el ensuciamiento de la membrana (deposición de material no deseado en la superficie de la membrana, a causa de la polarización por concentración), es decir, la acumulación de moléculas de soluto cerca de la superficie de la membrana. Estos materiales pueden tener naturaleza biológica o química, originando respectivamente bioensuciamiento o ensuciamiento químico. En consecuencia, el proceso de separación por membrana se vuelve ineficiente a lo largo de un período de funcionamiento, a causa de la disminución del caudal de producción debida al continuo ensuciamiento de la superficie de la membrana.

15 En general, se hace que los trenes de RO funcionen a la presión de alimentación y con el caudal de alimentación recomendados que indican los operadores de membranas, pero en un sistema real las condiciones de funcionamiento óptimas, tales como la presión de alimentación y el caudal, serán distintas de las condiciones de funcionamiento de la membrana. Para solucionar este problema se encuentra disponible la herramienta de rendimiento de membrana, cuyo fin es estimar las condiciones óptimas de funcionamiento para controlar el estado de ensuciamiento de una membrana.

20 Aunque se pueden hacer funcionar las membranas en sus condiciones de funcionamiento óptimas, en los procesos de separación por membrana no se puede evitar el ensuciamiento de la superficie de la membrana. Por lo tanto, la limpieza química y la sustitución de la membrana son actividades inherentes a todos los procesos de separación por membrana. En la actualidad, los expertos en membranas (consultores) o bien los fabricantes de membranas son quienes sugieren el momento adecuado para la sustitución de la membrana y la limpieza química.

25 Con el fin de minimizar el ensuciamiento de la membrana en un proceso de RO, se trata de forma continua el agua alimentada a la membrana con productos químicos para controlar el ensuciamiento, tales como antiincrustantes. Aunque los antiincrustantes disuelven las sustancias acumuladas cerca de la superficie de la membrana y reducen el ritmo de ensuciamiento, la elevada aportación de antiincrustantes conduce a un aumento de la degradación de la membrana de RO. Por lo tanto, se desea una adición controlada de antiincrustantes para lograr un ensuciamiento de membrana controlado que conduzca a una mínima degradación de la membrana y a un menor consumo de productos químicos.

30 Para limpiar la membrana se añaden también productos químicos de limpieza de membrana, a un caudal y concentración determinados, según lo sugerido por el fabricante de la membrana. La optimización del caudal de productos químicos y del ciclo de limpieza en función del estado real de ensuciamiento de la membrana reducirá el gasto en productos químicos. Esto ayudará también a reducir los tiempos de parada de la producción debidos a la limpieza y, por lo tanto, aumentará la producción de permeado de RO.

35 El ensuciamiento y la limpieza de la membrana no son bien comprendidos, debido a la falta de comprensión física de la interacción entre (i) el material de ensuciamiento y la membrana, (ii) entre los materiales de ensuciamiento, (iii) entre el material de ensuciamiento y los productos químicos de limpieza, y (iv) entre la membrana y los productos químicos de limpieza. Puesto que los fenómenos de limpieza no son bien comprendidos, la práctica tradicional es mantener la membrana empapada en productos químicos de limpieza durante un período de tiempo determinado y después volver a ponerla en funcionamiento.

40 La práctica actual de la limpieza de membrana se basa en recomendaciones de los fabricantes de membranas, lo que puede originar un mayor consumo de productos químicos de limpieza, ya que las recomendaciones se dan en función de la calidad del agua de alimentación y no en función del grado de ensuciamiento. Además, estos productos químicos también son bastante costosos. El proceso de limpieza de membrana no está bien automatizado y existe una amplia oportunidad de desarrollar una herramienta avanzada para estimar la eficacia de la limpieza de membranas y optimizar la operación de limpieza.

La química de la limpieza de membranas y su hidrodinámica son vitales para determinar la eficacia de la limpieza de una membrana. Sin embargo, es muy difícil representar matemáticamente estos procesos, debido a su naturaleza compleja. Por lo tanto, se necesita un método alternativo simple para identificar la eficacia de la limpieza de membranas.

5 El documento US 6161435 describe que se determina el estado de ensuciamiento de una membrana polimérica dentro de la carcasa de alta presión de un módulo de membrana arrollado en espiral o de fibra hueca. Un dispositivo pulsador/receptor activa un transductor ultrasónico colocado con su cara emisora en conexión física con la superficie externa de la carcasa. Un receptor del dispositivo pulsador/receptor detecta una señal de eco de la membrana. Para determinar el estado de ensuciamiento de la membrana se compara con la señal de eco una señal de eco de referencia indicativa de un estado ensuciado o sin ensuciar de la membrana. El paso de comparar el eco con la referencia se puede basar en la comparación de señales de dominio de amplitud, la comparación de señales de dominio de tiempo, la comparación de combinaciones de señales de dominio de amplitud y señales de dominio de tiempo y la comparación de transformaciones de señales de dominio de amplitud y de dominio de tiempo. Una membrana limpia o una sucia pueden proporcionar un eco de referencia limpio o sucio, que luego se pueden guardar para utilizarlos durante un proceso de separación de líquidos, o se puede obtener una señal de eco de referencia limpio en línea desde un segundo transductor cuya señal de eco procede de una zona de la membrana de la que se sabe que permanece relativamente libre de ensuciamiento durante el proceso de separación de líquidos, o se puede proporcionar una señal de eco de referencia limpio o ensuciado, para su uso posterior durante un proceso de limpieza o durante un proceso de separación de líquidos. Múltiples transductores y una red de conmutación pueden muestrear el estado de ensuciamiento en diferentes posiciones dentro del módulo de membrana.

El documento WO 2009/083670 describe un método avanzado de control para una unidad de filtración por membrana, aplicada al tratamiento de un efluente, que utiliza microcoagulación sobre una membrana, consistente en inyectar, aguas arriba de la membrana, una dosis de reactivo o reactivos coagulantes de 30 a 80 veces inferior a la dosis (X) que anula el potencial zeta del efluente, método en el cual: se miden como variables de entrada cantidades que definen la calidad del efluente a tratar y cantidades que definen el estado de ensuciamiento de la membrana; el punto de trabajo del proceso de microcoagulación se localiza en función de los resultados de las mediciones anteriores; se determinan los umbrales para las variables de entrada, teniendo que iniciarse la microcoagulación cuando se superan dichos umbrales; y se inyectan el o los reactivos coagulantes dependiendo de los resultados de las mediciones y de la comparación de las variables de entrada con los umbrales respectivos.

30 El documento WO 2008/120978 describe un método desarrollado para filtrar un fluido. El método tiene como objetivo aplicar una determinada configuración preferida de uno o varios parámetros de proceso (por ejemplo, una concentración de coagulantes mínima) al tiempo que se mantiene el rendimiento deseable del proceso mediante la regulación de la resistencia de filtración inicial. Esto se logra mediante un controlador de retroalimentación. Se ha encontrado que el método funciona bien; la adaptación a condiciones cambiantes se logra de manera adecuada y suficientemente rápida. La aplicación de la invención para la coagulación en línea durante la filtración por membrana ha demostrado que se puede controlar la resistencia inicial de la última filtración antes de la fase de limpieza química con una precisión de aproximadamente 3% (de la resistencia total) o 9% (de la resistencia por ensuciamiento). Si se compara con la actual estrategia de dosificación, se puede lograr una reducción significativa en el consumo de coagulante.

40 ROTH E. *et al.* "Sodium chloride stimulus-response experiments in spiral wound reverse osmosis membranes: a new method to detect fouling" (Experimentos de estímulo-respuesta con cloruro de sodio en membranas de ósmosis inversa arrolladas en espiral: un nuevo método para detectar ensuciamiento", DESALINATION, ELSEVIER, Amsterdam, NL, vol. 121, n.º 2, 12 de marzo de 1999, páginas 183-193, XP004222886, expone que el ensuciamiento se describe generalmente en términos de rechazo salino y de flujo de permeación, pero estos datos parecen evolucionar muy lentamente, y cuando alcanzan un nivel dramático, el ensuciamiento es irreversible. Los autores proponen un método para determinar el estado de deterioro de las membranas mediante el análisis de experimentos de estímulo-respuesta con cloruro de sodio. Efectivamente, se encuentra que la forma de la distribución (RTD) de cloruro de sodio en el flujo de permeado de la membrana revela los mecanismos de permeación de soluto en membranas usadas. Para membranas nuevas, la distribución de cloruro de sodio recogida en el lado de permeado y también en el lado de rechazo es unimodal. Para las membranas ensuciadas se observa una forma de distribución singular con presencia de varios modos. La existencia de un pico de fuga salina, así como una detección temprana de sal para todas las membranas ensuciadas, demuestra la modificación de la estructura de la membrana. El uso intensivo de las membranas podría haber originado un engrosamiento de los tamaños de poro; se incrementan las permeabilidades tanto para la sal como para el disolvente. Se observa que cada una de las distribuciones de cloruro de sodio en el lado de permeado se puede ajustar mediante una media ponderada de distribuciones gaussianas, de la nueva RTD de membrana y de la nueva RTD desplazada de membrana. Los coeficientes de esta media proporcionan la fracción de la membrana que está engrosada, la que está taponada por la capa depositada y la que no está modificada.

60 El documento EP 1952879 describe una instalación de separación por membrana a gran escala en la que un líquido químico de limpieza fluye hacia unidades de membrana a través de un cabezal y tubos de derivación. Una unidad de distribución de líquido químico de limpieza comprende el cabezal y los tubos de derivación que tienen un diámetro menor que el del cabezal. La unidad de distribución de líquido químico de limpieza comprende una configuración de

tubería que distribuye uniformemente el líquido químico de limpieza suministrado a las unidades de membrana.

Gracias a la estimación de la eficacia de la limpieza de membrana, se pueden minimizar el consumo de productos químicos de limpieza y el tiempo improductivo de la instalación.

5 Como puede deducirse de la explicación precedente, el proceso de limpieza de membrana requiere demasiado tiempo y no es óptimo debido al uso excesivo de productos químicos. La presente invención está dirigida al desarrollo de un método y sistema para optimizar un proceso de limpieza de membrana.

Compendio

10 Por lo tanto, es un objetivo de la invención optimizar un proceso de limpieza de membrana para proporcionar una solución automática y ahorro de costes mediante la minimización del tiempo improductivo de la instalación y el uso óptimo de productos químicos de limpieza antiincrustantes para la limpieza de membrana. Este objetivo se logra mediante el uso de un método y un sistema según la reivindicación 1 y la reivindicación 6. De las reivindicaciones dependientes se desprenden realizaciones preferidas adicionales.

15 Según la invención, un método para gestionar un proceso de limpieza de membrana de ósmosis inversa en una instalación que realiza desalinización o reutilización de aguas residuales, haciendo funcionar el proceso de limpieza de membrana de ósmosis inversa durante un tiempo de limpieza controlado y con un valor controlado de concentración de producto químico en un licor de producto químico preparado para limpiar la membrana, el método comprende los pasos de:

a) estimar el estado de ensuciamiento de la membrana como se define en la reivindicación 1, y

20 b) determinar el valor controlado de concentración de producto químico necesario en el licor de producto químico y el tiempo controlado necesario para la limpieza, en función del estado de ensuciamiento de la membrana, en donde se recircula durante el tiempo de limpieza el licor de producto químico a través de la membrana de RO ensuciada, sin entrada de alimentación regular.

25 El valor de la concentración de producto químico y el tiempo necesarios para la limpieza, basados en el estado de ensuciamiento de la membrana, se determinan utilizando técnicas de optimización para un funcionamiento rentable y eficiente de la instalación.

Se provee el sistema para gestionar el proceso de limpieza de membrana de ósmosis inversa en una instalación que realiza desalinización o tratamiento de aguas residuales, haciendo funcionar el proceso de limpieza de membrana de ósmosis inversa durante un tiempo de limpieza controlado y con un valor controlado de concentración de producto químico de limpieza en un licor de producto químico preparado para limpiar la membrana. El sistema comprende:

30 a) una herramienta de rendimiento de membrana para obtener el estado de ensuciamiento de la membrana

b) uno o varios sensores para obtener información sobre la concentración salina en el licor de producto químico

c) un bloque de automatización para administrar la concentración de producto químico de limpieza en el licor de producto químico.

35 La herramienta de rendimiento de membrana se basa en un modelo matemático o de datos, en donde el modelo utiliza formulaciones basadas en fenómeno físico y/o parámetros de la instalación, que incluyen modelos estadísticos, para calcular o estimar el estado de ensuciamiento de la membrana.

En una variante preferida de la invención, en el método para gestionar un proceso de limpieza de membrana el tiempo necesario para la limpieza se determina utilizando una función para la concentración de sales en el licor de producto químico que se obtiene con estudios de distribución de tiempos de permanencia.

40 Según la invención, en el sistema para gestionar un proceso de limpieza de membrana, el bloque de automatización utilizado para administrar la adición de producto químico nuevo al licor de producto químico tiene un optimizador para calcular el valor óptimo de producto químico y el tiempo óptimo necesarios para la limpieza.

45 En otra variante preferida más de la invención, en el sistema para gestionar un proceso de limpieza de membrana, el bloque de automatización administra la adición de producto químico nuevo al licor de producto químico a través de una o varias válvulas de control que controlan el flujo de licor de producto químico circulado y el flujo de producto químico nuevo al licor de producto químico.

Breve descripción de los dibujos

En el texto que sigue se explicará con más detalle el objeto de la invención, haciendo referencia a realizaciones ilustrativas preferidas que se representan en los dibujos adjuntos, en los cuales:

50 la Figura 1 muestra esquemáticamente el sistema de limpieza de membrana de RO;

la Figura 2 ilustra la cinética de la reacción de limpieza; y

la Figura 3 ilustra la arquitectura del bloque de automatización de limpieza.

En la lista de símbolos de referencia se enumeran, en forma resumida, los símbolos de referencia utilizados en los dibujos y sus significados. En principio, a partes idénticas se les asignan en las Figuras los mismos símbolos de referencia.

Descripción detallada

Debe observarse que en las Figuras se han representado pasos de método y componentes de sistema mediante símbolos convencionales, mostrando solo detalles específicos que son relevantes para la comprensión de la presente descripción. En la presente descripción, los pasos de método se usan para distinguir una entidad (un paso) de otra entidad, sin implicar necesariamente ningún orden específico entre los pasos de método. Además, puede que no se hayan descrito detalles que pueden ser fácilmente evidentes para una persona con pericia ordinaria en la técnica, y la mención de un término en forma de palabra en singular (por ejemplo, producto químico de limpieza, sensor, etc.) también pretende incluir la forma en plural de la palabra o la diversidad asociada generalmente con el término en la técnica (por ejemplo, diversidad o pluralidad de productos químicos de limpieza, múltiples sensores utilizados en la medición, etc.).

Realizaciones de la presente descripción proporcionan un método y sistema para estimar la eficacia de la limpieza de membrana, con empleo de bloque de estimación y optimización del consumo de producto químico para mejorar el tiempo improductivo de la instalación.

En la Figura 2 se muestra el sistema 100 de limpieza química de membrana. El sistema 100 de limpieza química de membrana tiene un membrana 110 de RO que está siendo limpiada con una solución de producto químico de limpieza y diversos componentes del sistema, entre ellos el tanque 120 para producto químico de limpieza, las válvulas 130, la herramienta 140 de medición del rendimiento de membrana, uno o varios sensores 150 para medir la concentración de producto químico y el bloque 160 de automatización de limpieza para controlar el proceso de limpieza y gestionar el uso del producto químico de limpieza.

El producto químico de limpieza se almacena en el tanque 120 para producto químico de limpieza y se recircula a través del sistema 110 de membrana de RO ensuciada. Durante este tiempo no hay entrada de alimentación regular al sistema de membrana. El producto químico de limpieza que sale de la membrana 110 es alimentado nuevamente al tanque 120 de producto químico de limpieza para recircularlo. La concentración de producto químico disminuirá debido a la reacción química entre el producto químico de limpieza y sales orgánicas o inorgánicas depositadas sobre la superficie de la membrana. En la Figura 2 se representa la temporalidad del proceso. Para mantener la concentración de producto químico de limpieza en el tanque para producto químico de limpieza, se añade al sistema producto químico de limpieza nuevo adicional, con el fin de mantener una velocidad conveniente de reacción química. El bloque 160 de automatización de limpieza controla la adición de producto químico nuevo y la recirculación de producto químico.

La concentración de producto químico de limpieza en el sistema de limpieza de membrana se estima a partir del balance de masas y las ecuaciones (1-3) de la cinética de reacción tal como se indica a continuación

$$\frac{dV}{dt} = F_{in} \quad (1)$$

$$\frac{dVc}{dt} = F_{in}c_{in} + S_m r_c \quad (2)$$

Ecuación cinética para la velocidad de reacción

$$r_c = -k_c c^a \quad (3)$$

Las ecuaciones para las condiciones iniciales son las siguientes:

$$c = c_{int} \quad (4)$$

$$V = V_{int} \quad (5)$$

en donde

V = volumen total de producto químico de limpieza, m³

F_{in} = caudal de entrada de producto químico de limpieza, m³/s

c = concentración de producto químico de limpieza en el sistema de membrana, kg/m³

c_{in} = concentración de producto químico de limpieza a la entrada, kg/m³

S_m = área de la superficie de la membrana, m²

5 r_c = velocidad de la reacción química de limpieza, kg/m² s

k_c = constante de velocidad de la reacción, (kg/m² s) (kg/m³)^{-a}

a = orden de la reacción, (-)

c_{int} = concentración inicial de producto químico de limpieza, kg/m³

V_{int} = volumen inicial de producto químico de limpieza, m³

10 El estado de ensuciamiento de la membrana se representa en términos de permeabilidad hidrodinámica (A) y permeabilidad a soluto (B). El comportamiento temporal del ensuciamiento en la membrana se modela con las siguientes ecuaciones:

$$\frac{dx}{dt} = F_{in}(x - x_{\infty}) + r_c \quad (6)$$

La condición inicial viene dada por

15
$$x(0) = x_0 \quad (7)$$

en donde

x = estado de ensuciamiento de la membrana que puede ser A y B

x_{∞} = estado de ensuciamiento irreversible de la membrana que no puede ser restaurado mediante limpieza química

20 x_0 = estado inicial de ensuciamiento de la membrana que se puede obtener de la solución avanzada de monitorización del ensuciamiento de membrana

La herramienta 140 de rendimiento de membrana se basa, o bien en el uso de un sensor ultrasónico para medir el ensuciamiento o bien en un modelo de ensuciamiento o cualquier otro método que proporcione el estado de ensuciamiento. Los parámetros del modelo pueden ser uno o varios parámetros de ensuciamiento, entre ellos la permeabilidad hidrodinámica, permeabilidad a soluto, coeficiente de reflexión, etc. Además, el modelo puede utilizar parámetros de la instalación, tales como presión de alimentación, caudal de agua rechazada, caudal de agua producto, total de sólidos disueltos en el agua producto para estimar el estado de ensuciamiento (grado de ensuciamiento). El estado de ensuciamiento se utiliza como entrada para que el bloque 160 de automatización de limpieza determine el uso óptimo de producto químico.

30 El bloque de automatización de limpieza consiste en un modelo matemático que utiliza datos medidos de la instalación, procedentes del sistema de control de la instalación u otro sistema de medición interconectado con el bloque de automatización de limpieza, para proporcionar datos medidos directamente o datos que se estiman sobre la base de uno o varios parámetros medidos, relacionados con el rendimiento de la membrana o el proceso de limpieza química.

35 En una realización ilustrativa, se estima el grado de ensuciamiento de membrana utilizando la solución avanzada de monitorización del ensuciamiento de membrana de las siguientes maneras (i) estimando los parámetros de ensuciamiento reales a partir del modelo de membrana, con el uso de mediciones en línea de la instalación, y (ii) comparando los parámetros de ensuciamiento reales con los de ciclos de limpieza anteriores, para estimar la degradación de la membrana desde el inicio del funcionamiento de la membrana. Con esta información, se estima la dosis aproximada de productos químicos de limpieza de membrana y se puede alimentar inicialmente a la
40 membrana ensuciada la cantidad estimada de productos químicos.

45 Durante el proceso de limpieza de la membrana, las sales depositadas sobre la membrana se disuelven en licor recirculante, y se debe medir su concentración utilizando sensores adecuados (por ejemplo, sensores tales como un electrodo selectivo para iones que mida calcio y sulfato). El modelo para la estimación se basa en datos de estudios de distribución de tiempos de permanencia (RTD, por sus siglas en inglés) efectuados para productos químicos, a distintas concentraciones, utilizados para la limpieza de la membrana y el estado de ensuciamiento detectado durante los estudios. Se obtienen así, a través de los estudios RTD, las funciones de distribución de probabilidad. Ello proporciona la duración del período de tiempo durante el cual se debe circular el producto químico de limpieza

en la cámara de membrana para conseguir una limpieza eficaz, que depende de la concentración del producto químico de limpieza en la cámara de membrana. La estimación del tiempo puede estar basada en un parámetro estadístico descriptivo adecuado (por ejemplo, el valor del percentil 85) como concentración de producto químico de limpieza.

- 5 Al comienzo del proceso de limpieza, se espera que aumente en el licor de producto químico la concentración de las sales disueltas medida en el camino de recirculación de producto químico de limpieza, como consecuencia de la interacción química con la membrana ensuciada. La concentración de producto químico disminuye y alcanza un valor asintótico al final de la limpieza. El tiempo final se determina a partir de los datos RTD para una concentración particular de producto químico y de residuo en la membrana (es decir, su estado de ensuciamiento).
- 10 Durante el proceso de limpieza, se añade escalonadamente producto químico nuevo al licor circulante, con el fin de aumentar la velocidad de reacción de limpieza y reducir el tiempo necesario para la limpieza si el producto químico se añade de manera controlada. Por lo tanto, se desea equilibrar de manera óptima la adición de producto químico nuevo y el tiempo de limpieza (tiempo improductivo de la instalación) y esta función también la lleva a cabo el bloque 160 de automatización de limpieza.
- 15 El objetivo de la optimización es minimizar el consumo de productos químicos de limpieza y la duración de la limpieza, bajo restricciones tales como el límite máximo en la concentración de producto químico recomendado por el proveedor de la membrana.

La función objetivo para la optimización es

$$obj = \min_{F_{in}, C_{in}, Q_{\Delta t}, t_1} \{w_1 * (t_1 - t_m) * Q_{\Delta t} * C_p + w_2 * \sum_{c_i=0}^{c_i=c_{limit}} (F_{in} * t_i * C_c)\} \quad (8)$$

- 20 sometida a las restricciones

$$C_{int} \leq C_{limit} \quad (9)$$

$$c \leq c_{limit} \quad (10)$$

en donde

t_m = tiempo de limpieza de la membrana según lo sugerido por el fabricante de la membrana, en horas

$Q_{\Delta t}$ = tasa de producción de permeado en el tiempo ($t_1 - t_m$), m^3/h

- 25 C_p = coste por m^3 de agua permeada, \$

C_c = coste por m^3 de producto químico, \$

$t_1 = t_{\frac{dc}{dt} \approx 0}$, es decir, el tiempo en el cual la concentración de producto químico de limpieza se hace asintótica con

respecto al tiempo y no se produce más reacción entre el producto químico de limpieza y la incrustación depositada sobre la superficie de la membrana

- 30 w_1, w_2 = factores de ponderación

C_{limit} = concentración máxima de producto químico recomendada por el proveedor de la membrana (utilizada como restricción)

$(t_1 - t_m)$ se mantiene siempre como número positivo, es decir, para los cálculos se toma su valor absoluto.

- 35 La estrategia de control se formula con el objetivo de optimización de hallar los perfiles óptimos de flujo de producto químico de limpieza y su concentración en función del tiempo, al tiempo que se minimiza el coste y el tiempo de limpieza. Según se muestra en la Figura 3, la arquitectura 300 del bloque 160 de automatización de limpieza consta de (i) modelos (310) para limpieza de membrana (modelo RTD), estado de ensuciamiento y modelo de costes basado en la limpieza química, y (ii) optimizador (320) para minimizar el consumo de productos químicos de limpieza y la duración de limpieza. La metodología de solución propuesta tiene en cuenta el estado real de ensuciamiento de
- 40 la membrana (véase la Ecuación 7) obtenido desde la solución avanzada de monitorización del ensuciamiento de la membrana, para llegar a una solución óptima para la limpieza química. La solución se puede implementar a través del control de la relación de flujo para el licor de producto químico de limpieza que controla la adición de producto químico al licor, en función de la medición de la concentración salina del licor.

Los datos de concentración salina y los datos del estado de ensuciamiento proceden de los componentes que se han descrito más arriba para el sistema 100 de limpieza de membrana, y también se dispone de información acerca del coste de los productos químicos y del coste del tiempo improductivo de la instalación, en donde el tiempo de limpieza y la adición de producto químico nuevo se calculan a partir del modelo RTD presente en el bloque 160 de automatización de limpieza. La información de costes relacionados con los productos químicos y el tiempo improductivo de la instalación la proporcionan los usuarios, y está disponible en el sistema tal como se ilustra en la Figura 3. Con estos datos, se minimiza la función objetivo para lograr valores óptimos en cuanto a la adición de producto químico nuevo y para lograr un tiempo de limpieza mínimo (tiempo improductivo de instalación). Los valores óptimos se utilizan como puntos de consigna en el control regulatorio (por ejemplo, un control por relación) implementado para el sistema 100 de limpieza de membrana.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un método para gestionar un proceso de limpieza de membrana de ósmosis inversa (RO) en una instalación que realiza desalinización o reutilización de aguas residuales, haciendo funcionar el proceso de limpieza de membrana de ósmosis inversa durante un tiempo de limpieza controlado y con un valor controlado de concentración de producto químico en un licor de producto químico preparado para limpiar una membrana de RO, comprendiendo el método:
- a) estimar el estado de ensuciamiento de la membrana de RO, en donde la estimación del estado de ensuciamiento de la membrana de RO se lleva a cabo utilizando un modelo matemático o de datos basado en fenómeno físico y/o parámetros de la instalación; y
- 10 b) determinar el valor controlado de concentración de producto químico y el tiempo controlado necesarios para la limpieza en función del estado de ensuciamiento de la membrana de RO, en donde el valor de la concentración de producto químico y el tiempo necesarios para la limpieza, basados en el estado de ensuciamiento de la membrana de RO, se determinan utilizando técnicas de optimización para un funcionamiento rentable y eficiente de la instalación;
- 15 en donde se recircula durante el tiempo de limpieza el licor de producto químico a través de la membrana de RO ensuciada, sin entrada de alimentación regular.
2. El método para gestionar un proceso de limpieza de membrana según la reivindicación 1, en donde se administra el valor controlado de concentración de producto químico para proporcionar un uso óptimo de productos químicos y el tiempo óptimo necesario para la limpieza.
- 20 3. El método para gestionar un proceso de limpieza de membrana según la reivindicación 2, en donde se realiza la optimización considerando el coste de los productos químicos y/o el coste relacionado con la pérdida de producción durante el tiempo improductivo de la instalación.
4. El método para gestionar un proceso de limpieza de membrana según la reivindicación 1, en donde el tiempo controlado necesario para la limpieza se determina utilizando una función para la concentración salina en el licor de producto químico.
- 25 5. El método para gestionar un proceso de limpieza de membrana según la reivindicación 4, en donde la función para la concentración salina en el licor de producto químico se obtiene con estudios de distribución de tiempos de permanencia.
- 30 6. Un sistema (100) para gestionar un proceso de limpieza de membrana de ósmosis inversa (RO) en una instalación que realiza desalinización o tratamiento de aguas residuales, haciendo funcionar un proceso de limpieza de membrana de RO durante un tiempo controlado para la limpieza y con un valor controlado de concentración de producto químico de limpieza en un licor de producto químico preparado para limpiar la membrana (110) de RO, comprendiendo el sistema (100):
- a. una herramienta (140) de rendimiento de membrana para obtener el estado de ensuciamiento de la membrana de RO utilizando un modelo matemático o de datos basado en fenómeno físico y/o parámetros de la instalación;
- 35 b. uno o varios sensores (150) para obtener información sobre la concentración salina en el licor de producto químico; y
- c. un bloque (160) de automatización para administrar la concentración de producto químico de limpieza en el licor de producto químico, en donde el bloque (160) de automatización para administrar la adición de producto químico de limpieza nuevo al licor de producto químico tiene un optimizador para calcular el valor óptimo de la concentración de producto químico de limpieza y el tiempo óptimo necesario para la limpieza; y está adaptado para recircular durante el tiempo de limpieza el licor de producto químico a través de la membrana (110) de RO ensuciada, sin entrada de alimentación regular.
- 40 7. El sistema (100) para gestionar un proceso de limpieza de membrana según la reivindicación 6, en donde el bloque (160) de automatización administra la adición de producto químico nuevo al licor de producto químico a través de una o varias válvulas (130) de control que controlan el flujo de licor de producto químico circulado y el flujo de producto químico nuevo al licor de producto químico.
- 45

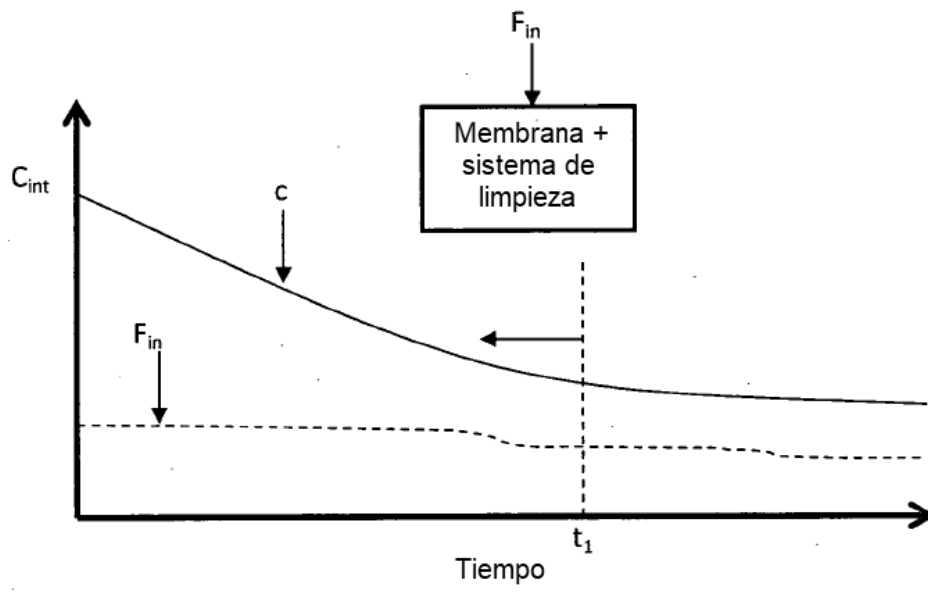


Figura 2

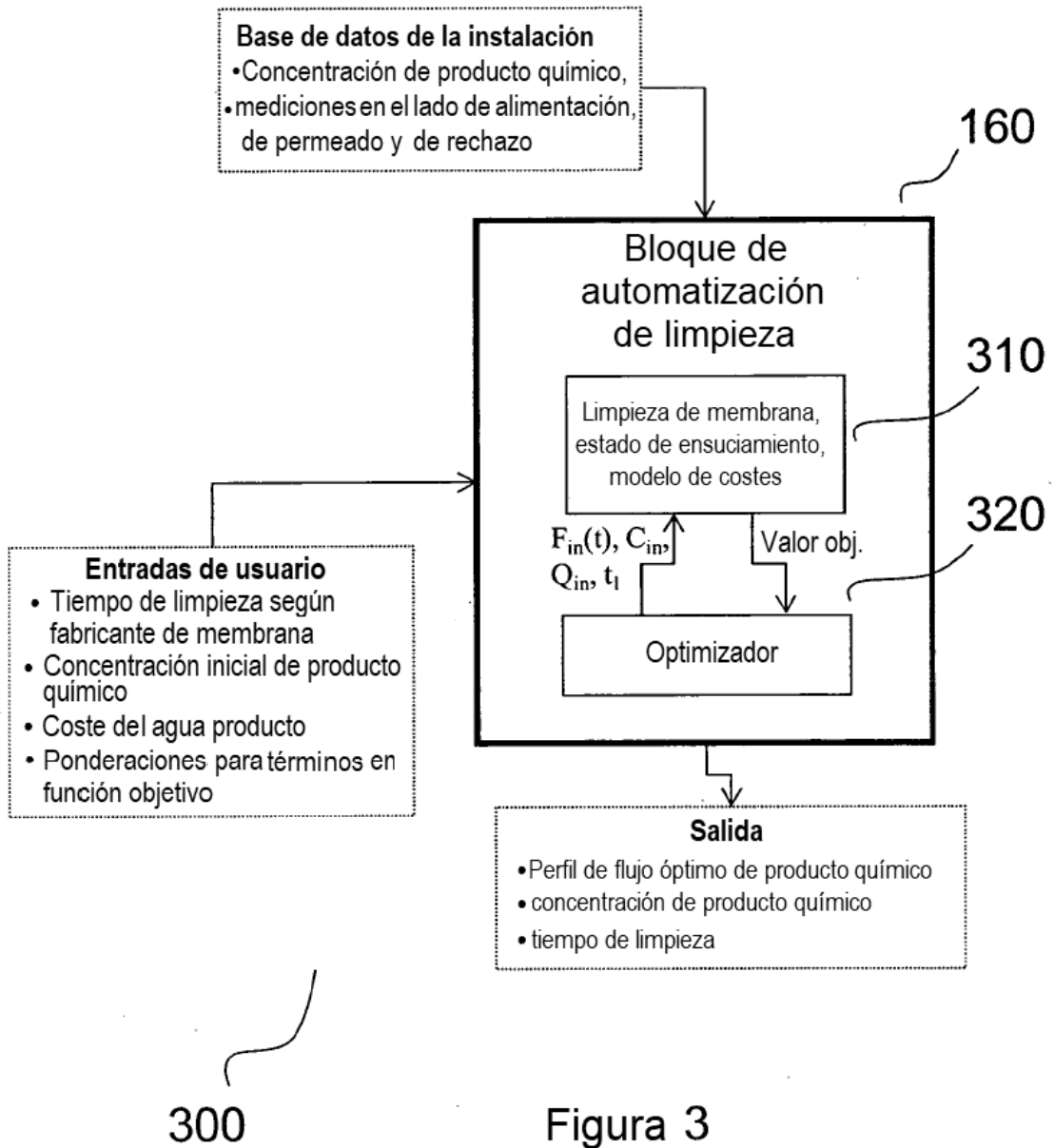


Figura 3