



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 282 370**

51 Int. Cl.:
B01D 61/12 (2006.01)
B01D 61/22 (2006.01)
B01D 61/32 (2006.01)
B01D 65/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **02080409 .2**
86 Fecha de presentación : **15.03.1996**
87 Número de publicación de la solicitud: **1300186**
87 Fecha de publicación de la solicitud: **09.04.2003**

54 Título: **Sistema de supervisión y control de filtración.**

30 Prioridad: **15.03.1995 AU PN1750/95**
15.06.1995 AU PN3571/95
06.11.1995 AU PN6397/95
22.12.1995 AU PN7316/95

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.10.2007

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.10.2007

73 Titular/es: **U.S. Filter Wastewater Group, Inc.**
181 Thorn Hill Road
Warrendale, Pennsylvania 15086, US

72 Inventor/es: **Beck, Thomas William;**
Drummond, Humphry John Jardine;
Maxwell, Ian Andrew;
Johnson, Warren Thomas y
Kensett-Smith, Brett

74 Agente: **Justo Vázquez, Jorge Miguel de**

ES 2 282 370 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).

ES 2 282 370 T3

DESCRIPCIÓN

Sistema de supervisión y control de filtración.

5 **Campo técnico**

La presente invención está relacionada con sistemas de supervisión y control para ser utilizados con sistemas de filtración por membranas.

10 Aunque se describe la invención con respecto a su aplicación a sistemas de filtración de membranas de fibra, se podrá apreciar que es aplicable a sistemas de ultrafiltración/microfiltración en general, y no está limitada a la aplicación específica descrita.

15 **Técnica anterior**

La filtración por membranas de fibra es un método muy desarrollado que implica el uso de un gran número de fibras tubulares huecas micro-porosas. Cada fibra está adaptada para permitir que fluya el elemento a filtrar desde el exterior de la fibra a través de micro-poros en la pared de la fibra hacia el interior de la fibra, al tiempo que excluye impurezas del elemento a filtrar. Los poros pueden tener, por ejemplo, un diámetro de alrededor de 0,2 micras.

20 En la práctica, se hace un manojo y se enfundan conjuntamente muchos miles de fibras dentro de una vaina, siendo conocido el conjunto completo como un módulo 5 (véase la figura 2). La vaina 6 es normalmente cilíndrica y las fibras 7 se extienden longitudinalmente a su través. Los extremos de la vaina están sellados, normalmente con una resina o similar conocida como el encapsulado, que forma un tapón 8 en cada extremo. Los extremos de las fibras huecas 7 se extienden a través del tapón del encapsulado y están encerradas en él, de manera que el interior de cada una de las fibras 7 está en comunicación con el exterior del módulo 5 en ambos extremos, permitiendo así eliminar el elemento a filtrar de los dos lugares extremos. Alternativamente, ambos extremos de cada fibra pueden extenderse a través del encapsulado y comunicarse con el exterior en un extremo del módulo 5, o bien las fibras en un extremo pueden extenderse a través del encapsulado estando sellados los otros extremos de las fibras.

30 Como se ilustra en la figura 1, los módulos 5 están normalmente (aunque no necesariamente), dispuestos en “bancos” 9, comprendiendo cada uno de ellos una fila de módulos 5 que comparten un distribuidor 10, estando ordenados los bancos en una serie ordenada.

35 Durante el uso, se introduce la alimentación o flujo entrante en el espacio intermedio entre el exterior de las fibras y el interior de la vaina de un módulo. El elemento a filtrar fluye a través de la membrana micro-porosa de las fibras 7 hacia el interior de las fibras y, de ahí en adelante, fluye a lo largo de la extensión de las fibras que pasan a través del tapón 8 hacia el exterior del módulo 5, normalmente hacia un distribuidor.

40 El funcionamiento del sistema de filtración es controlado normalmente por diversas válvulas 11 que controlan el flujo de la alimentación del sistema, el flujo del elemento a filtrar, el retro-lavado de los filtros utilizando gas y/o elemento a filtrar, y la introducción de agentes humectantes y agentes químicos especiales de limpieza durante la corriente de expulsión. Estas válvulas 11 son operadas típicamente de forma neumática por aire comprimido, estando controlado el flujo de aire comprimido en cada válvula por medio de un solenoide operado eléctricamente.

45 El funcionamiento del sistema puede ser supervisado por medio de unos detectores que miden el flujo de fluido, la presión del fluido, la temperatura y otros parámetros en diversos puntos por todo el sistema. En el sistema pueden construirse bucles de realimentación para asegurarse que el sistema está funcionando de acuerdo con las condiciones de control prefijadas.

50 Durante el uso, las fibras se atascan con las impurezas filtradas y requieren el “retro-lavado” a intervalos regulares para eliminar las impurezas y mantener la eficiencia del filtrado. La frecuencia y el tipo de retro-lavado dependerán del estado y tipo de corriente de alimentación que se esté filtrando. La figura 3 ilustra la caída del flujo con diversos tipos de alimentación. En muchas situaciones, el estado de la corriente de alimentación es dinámico y, por tanto, es difícil de predecir cuándo y con qué frecuencia se requerirá el retro-lavado. Esto puede conducir a que el sistema se configure para atajar la situación del “caso peor”, haciendo que el sistema funcione de forma ineficiente.

55 Además, al elegir el tamaño, el número y el tipo de módulo 5 requeridos cuando se diseña una planta de filtrado para un fin en particular, se implica la consideración de diversos factores. Por ejemplo, la capacidad de la planta, el nivel de filtrado requerido, los requisitos de retro-lavado y el tipo de corriente de alimentación a filtrar, necesitan ser investigados cada uno de ellos. Aunque algunos de estos factores son relativamente fáciles de medir, se ha demostrado que la cuantificación de las características de la corriente de alimentación en particular es difícil. A este respecto, los diseñadores de plantas han tendido a hacer suposiciones sobre la calidad de la corriente de alimentación basándose en experiencias anteriores con tipos de corrientes de alimentación similares. Para asegurarse de que se consigue un resultado particular del filtrado, la planta puede estar diseñada utilizando suposiciones del “caso peor” para la corriente de alimentación. El diseñador debe equilibrar estas suposiciones de la corriente de alimentación con las restricciones de tamaño y coste, así como los demás factores descritos anteriormente.

El problema de la valoración de la corriente de alimentación es exacerbado cuando está implicada una corriente de alimentación anormal o especial. En tales casos, pueden requerirse comprobaciones extensas y costosas con modelos a escala para valorar los efectos de la corriente de alimentación particular en el tipo deseado de la unidad de filtro. Esto se añade significativamente a los costes del diseño y construcción de plantas de filtrado, particularmente cuando se necesita comprobar muchas unidades de filtro diferentes.

El documento US4482461 divulga un sistema que tiene un filtro de fluidos que se somete a un retro-lavado automáticamente cada vez que la presión diferencial a su través alcanza un valor predeterminado, se determina la velocidad base deseada a la cual la caída a través del filtro aumenta durante su secuencia inicial de filtrado y se almacena en formato digital en un controlador de procesos junto con la presión diferencial máxima prefijada en la cual ha de tener lugar el retro-lavado. Durante el uso del filtro, la velocidad real del cambio de la caída de presión a su través es supervisada continuamente y es comparada con la velocidad que está almacenada en el controlador. Cuando la velocidad real de cambio de caída de presión a través del filtro difiere de la velocidad base, que es lo que ocurre normalmente, la presión de retro-lavado que está presente es ajustada automáticamente, normalmente disminuyéndola. Esta reducción continúa hasta que la caída real a través del filtro alcanza finalmente el valor ajustado de la presión prefijada de retro-lavado, en cuyo momento se comienza automáticamente con el retro-lavado del filtro.

Es un objeto de la presente invención superar o, al menos parcialmente, mejorar una o más de estas desventajas de la técnica anterior.

Un objeto adicional de la invención, al menos en uno de sus aspectos, es proporcionar un sistema de control y supervisión que pueda comprobar el estado de la corriente de alimentación en tiempo real, y controlar el sistema de filtrado dinámicamente como respuesta al estado de la corriente de alimentación.

Divulgación de la invención

De acuerdo con un primer aspecto, la presente invención proporciona un método de supervisión del funcionamiento de un sistema de filtrado que comprende los pasos siguientes:

- a) muestrear los valores de los parámetros del sistema en lugares elegidos dentro del sistema de filtrado, con una velocidad de muestreo predeterminada;
- b) generar una característica del perfil de los parámetros a partir de los valores de los parámetros muestreados a intervalos de tiempo predeterminados;
- c) determinar el cambio a la resistencia al flujo de la corriente de alimentación a través del filtro, ya sea continuamente o en un cierto número de intervalos de tiempo, donde

$$R = \frac{\Delta P \times A}{\eta \times Q}$$

siendo R = resistencia, ΔP = cambio en la presión a través del filtro, A = superficie del filtro, η = viscosidad de la corriente de alimentación y Q = flujo a través del filtro; y

- d) determinar las operaciones óptimas del sistema de filtrado utilizando la información determinada por medio de a) a c).

Preferiblemente, el paso (d) incluye la comparación de la característica del perfil de los parámetros con una característica deseada, e identificar las regiones dentro de la característica generada que divergen de la característica deseada.

De acuerdo con un segundo aspecto, la presente invención proporciona un aparato para supervisar el funcionamiento de un sistema de filtrado que comprende:

- a) medios para muestrear valores de los parámetros del sistema en lugares elegidos dentro del sistema de filtrado, con una velocidad de muestreo predeterminada;
- b) medios para generar una característica del perfil de los parámetros a partir de los valores de los parámetros muestreados, a intervalos de tiempo predeterminados;
- c) medios para determinar el cambio de resistencia al flujo de la corriente de alimentación a través del filtro, ya sea continuamente o bien en un cierto número de intervalos de tiempo, donde

$$R = \frac{\Delta P \times A}{\eta \times Q}$$

ES 2 282 370 T3

siendo R = resistencia, ΔP = cambio en la presión a través del filtro, A = superficie del filtro, η = viscosidad de la corriente de alimentación y Q = flujo a través del filtro; y

- 5 d) medios para determinar las operaciones óptimas del sistema de filtrado utilizando la información determinada por medio de a) a c).

Los medios para el paso (d) pueden incluir medios para comparar la característica del perfil generado con una característica deseada, e identificar las regiones dentro de la característica generada que divergen de la característica deseada. Como resultado de esta comparación, los medios de análisis pueden indicar averías probables que originan la divergencia, y también sugieren posibles soluciones al problema, de manera que la avería puede corregirse o evitarse y el funcionamiento del sistema puede volver a su funcionamiento óptimo. Tal “resolución de averías” puede ser realizada de una manera interactiva proporcionando al operador/usuario una pantalla interactiva con una instantánea de seguimiento en la que el operador puede indicar una zona de la instantánea en la que está interesado y obtener detalles de las averías y soluciones con respecto al análisis de esa región de la instantánea. La selección del tipo de análisis requerido puede ser por medio de un menú desplegable o similar.

Breve descripción de los dibujos

20 Se describirán ahora modos de realización preferidos de la invención, solamente a modo de ejemplo, con referencia a las figuras que se acompañan, en las que:

La figura 1 muestra un sistema típico de microfiltración de flujo transversal;

25 La figura 2 muestra una vista detallada en sección transversal de un módulo de fibras utilizado en la figura 1;

La figura 3 muestra diferentes tipos de caída del flujo con el tiempo;

La figura 4 muestra un gráfico de la característica de resistencia de una membrana;

30 La figura 5 muestra un gráfico de la resistencia en función del volumen de elemento filtrado después del retro-lavado;

La figura 6 muestra un perfil típico de retro-lavado para una máquina de filtrado continuo de membrana;

35 La figura 7 muestra un perfil instantáneo obtenido en una máquina de filtrado instalada en un suministro de agua doméstico para el pre-tratamiento de Ósmosis Inversa con una avería del programa de re-humedecimiento;

La figura 8 muestra un perfil instantáneo de la misma máquina que la figura 7, con la avería corregida;

40 La figura 9 muestra un perfil instantáneo obtenido en una máquina de filtrado con un posicionador de válvula de filtrado averiado;

La figura 10 muestra un perfil instantáneo de la misma máquina de la figura 9, con la avería corregida;

45 La figura 11 muestra un perfil instantáneo obtenido en una máquina de filtrado con picos de presión de re-humedecimiento excesivos; y

La figura 12 muestra una instantánea de la misma máquina de la figura 11, con la avería corregida.

50 Modos de llevar a cabo la invención

En una forma preferida de la invención, el sistema de supervisión y control comprende un sistema de proceso por ordenador exclusivo que tiene un interfaz con diversos dispositivos de detección y supervisión, configurados para supervisar parámetros de funcionamiento elegidos en el sistema. Bajo el control de los programas del sistema, el procesador responde a los parámetros introducidos para controlar el funcionamiento del sistema de filtrado. Aparte del control del funcionamiento del sistema, el sistema de control y supervisión puede ser programado para realizar comprobaciones regulares del rendimiento del sistema, un registro de los datos y la telemetría del sistema.

60 Se ha averiguado que una buena indicación del estado de la corriente de alimentación es el índice de impurezas de la alimentación (FFI). Este índice es una función de cómo son las impurezas de la corriente de alimentación y variará con la calidad de la corriente de alimentación. El FFI para un sistema en particular puede ser calculado como sigue.

La resistencia de una membrana en particular está determinada por:

65

$$R = \frac{\Delta P \times A}{\eta \times Q}$$

ES 2 282 370 T3

donde

R = resistencia al flujo (m^{-1}), típicamente 10^{12} ;

5 η = viscosidad de la corriente de alimentación (Pa, S), se supone que es agua;

ΔP = presión a través de la membrana (Pa), denominada frecuentemente TMP;

10 Q = flujo a través de la membrana ($m^3 s^{-1}$); y

A = superficie de la membrana (m^2).

15 Cuando el líquido pasa a través de la membrana, se atasca y la resistencia aumenta. En muchos casos, esta elevación es proporcional a la cantidad de líquido que ha pasado a través de la membrana. En la figura 4 se muestra un gráfico de la característica de resistencia.

$$R = R_m + R_f$$

20

$$= R_m + FFI \times \frac{V}{A}$$

donde

25

R_f = resistencia al flujo debida a la capa de impurezas;

R_m = resistencia al flujo cuando $V = 0$;

30

FFI = Índice de Impurezas de Alimentación, típicamente $0-500 \times 10^{12} m^{-2}$; y

V = Volumen del elemento filtrado a través de la membrana.

35 El rendimiento de una fibra dada en comparación con una fibra estándar viene dado por la MMP, donde la MMP para la fibra estándar está definida por 1. De manera que para una membrana X,

$$MMP_x = \frac{FFI_x}{FFI_{MSF}}$$

40

donde

MMP_x = porosidad de la membrana para la fibra x;

45

FFI_x = índice de impurezas de la corriente de alimentación para la fibra x; y

FFI_{MSF} = índice de impurezas de la alimentación para la fibra estándar en la misma corriente de alimentación utilizada para FFI_x .

50

El índice de impurezas de la alimentación (FFI) puede ser utilizado para medir la eficiencia del proceso de abastecimiento de las plantas de microfiltración continua. Por ejemplo, si se utiliza un bio-reactor para producir agua secundaria usada, o residuos de papel tratados, o si se utiliza un clarificador para tratar agua potable, el FFI dará una estimación del nivel de sólidos en suspensión y la naturaleza de los sólidos (tamaño de las partículas, compresibilidad, etc.). Variando los parámetros de funcionamiento de este proceso de abastecimiento y supervisando el FFI puede ser optimizado para el proceso continuo de microfiltración, permitiendo un rendimiento más económico.

55

La compresibilidad de una capa de suciedad es una medida del aumento de resistencia de una capa de suciedad dada a medida que aumenta la TMP. Esto puede observarse como un aumento aparente en el FFI. Algunas corrientes de alimentación son relativamente incompresibles, o pueden convertirse en apreciablemente compresibles en un valor umbral de la TMP. Las aguas de río caen en esta clase. Sin embargo, a medida que aumenta el nivel de sólidos "orgánicos", la compresibilidad aumenta. El agua usada es compresible de acuerdo con esta cualidad. Si el nivel de sólidos en suspensión es alto, y particularmente si hay presentes algas, la compresibilidad será alta. Los residuos de papel son extremadamente compresibles.

60

Se ha averiguado que el agua secundaria usada de buena calidad (con sólidos en suspensión y BOD soluble inferior aproximadamente a 5), tiene una compresibilidad considerablemente menor que la normal o que un agua secundaria usada de poca calidad. El FFI es también inferior, permitiendo utilizar flujos más altos y unas TMP más altas. Esto último amplía el tiempo entre limpiezas químicas, reduciendo el coste de funcionamiento del sistema.

65

ES 2 282 370 T3

La caída de presión de recirculación es una medida del bloqueo de los módulos. Se ha averiguado que en la floculación del agua usada para eliminar fosfatos, la TMP puede recuperarse con cada retro-lavado. La TMP máxima alcanzada podría permanecer baja, pero la presión de recirculación aumenta rápidamente. Esto ha tenido una correlación con el aumento de sólidos en el módulo. Estos factores pueden ser utilizados para disparar la limpieza química, en lugar de la TMP máxima, como sucede normalmente.

Debe observarse que la FFI es una característica de la corriente de alimentación y del filtro. Calibrando las propiedades de otros tipos de filtros con una gama de FFI, el efecto potencial de las impurezas de una corriente de alimentación particular en una gama de tipos de filtros puede ser estimado cuantitativamente con una sola muestra de la corriente de alimentación. Los sistemas de filtrado pueden ser diseñados y construidos a escala para un nivel de rendimiento particular, sin necesidad de procedimientos largos y costosos de comprobación.

El FFI puede ser utilizado también para optimizar, supervisar y localizar averías del funcionamiento de los sistemas de filtrado existentes. En su característica de funcionamiento en línea, la invención puede realizar comprobaciones continuas o regulares de la calidad de la corriente de alimentación. Esto permite ejecutar los ciclos de retro-lavado y mantenimiento con una eficiencia máxima.

La característica de funcionamiento fuera de línea de la invención, puede ser utilizada para localizar averías en sistemas existentes que no incluyen la comprobación en línea. Alternativamente, el sistema fuera de línea y, particularmente el aparato descrito, pueden ser utilizados como una herramienta de valor incalculable para valorar la calidad de la corriente de alimentación antes de diseñar el sistema de filtrado. La valoración cuantitativa de la calidad de la corriente de alimentación permite a los diseñadores del sistema predecir más precisamente el comportamiento probable de una diversidad de elementos de filtrado, como respuesta a una corriente de alimentación dada. Esto es de particular importancia cuando la corriente de alimentación a filtrar es de un tipo especial o raro.

La eficiencia del retro-lavado es también un parámetro de control útil. Como se ilustra en la figura 5, tras cada retro-lavado, la resistencia de la membrana disminuye pero no vuelve a su valor original. La eficiencia del retro-lavado es una medida de cómo vuelve el valor de la resistencia a acercarse a su valor original.

La eficiencia (BE) del retro-lavado se define como sigue:

$$BE = 1 - \frac{R_3 - R_1}{R_2 - R_1} \times 100$$

donde R_i = resistencia en el instante i ($i = 1$ indica el momento inmediatamente después del retro-lavado anterior, $i = 2$ el momento inmediatamente anterior al retro-lavado en cuestión e $i = 3$ el momento inmediatamente después del retro-lavado en cuestión).

La eficiencia del retro-lavado puede ser utilizada para optimizar la eficiencia del retro-lavado. Por ejemplo, se ha demostrado que al aumentar la capacidad de las líneas aéreas hacia las máquinas (y por tanto, el suministro de aire) se aumenta la máxima TMP negativa del retro-lavado. Esto a su vez aumenta la eficiencia del retro-lavado. Además, se ha demostrado también que la inclusión de una etapa de aire conectado bomba conectada (AOPO), aumenta la eficiencia del retro-lavado. "Aire-conectado bomba-conectada" se refiere al proceso en el que el líquido de alimentación es reintroducido en la vaina de una unidad de microfiltración continua, mientras todavía se sigue procediendo con un retro-lavado por gas. Se ha demostrado que una AOPO con una duración de 10 segundos no produce ninguna mejora en la eficiencia del retro-lavado en comparación con una AOPO de 5 segundos. Además, se ha demostrado que un flujo cruzado de 8000 litros/hora/módulo durante el barrido del retro-lavado confiere la misma eficiencia de retro-lavado que uno de 4000 litros/hora/módulo. Todas las etapas del retro-lavado, es decir, la duración inicial del aire conectado (pre AOPO), longitud del AOPO, velocidad y duración de la etapa de barrido, etc., pueden ser optimizadas. Esto puede variar según el tipo de máquina, el tipo de alimentación, la alimentación particular con el tiempo, o una alimentación idéntica si un flujo alto se convierte en más importante que el coste del funcionamiento.

Además, las mediciones de la eficiencia del retro-lavado pueden ser utilizadas para optimizar el tratamiento de la alimentación. Es bien sabido que el cloro reduce las impurezas en las membranas de ósmosis inversa (RO), y también es utilizado en ultra-filtros como retro-lavado líquido. No es sorprendente que se crea que mejora la eficiencia del retro-lavado para la microfiltración continua, tanto en agua usada con membranas de polipropileno como en agua doméstica con membranas de PVDF. También pueden utilizarse otros productos químicos para mejorar la eficiencia del retro-lavado. Las concentraciones de estos productos químicos y el modo en que son aplicados (es decir, el tiempo anterior al que llega la alimentación a la membrana y posiblemente se aplique un impulso mayor de producto inmediatamente después de un retro-lavado, o solamente se aplique el producto químico después del retro-lavado) pueden ser optimizados aún más. Es posible que al permitir que la máquina funcione con su TMP máxima antes del retro-lavado puede encontrarse una eficiencia mayor. (Esto es comparable con los métodos actuales de retro-lavado tras un tiempo fijo de filtración, o tras una TMP predefinida o un aumento de la resistencia).

Además, el uso de pre-recubrimientos para impedir que se peguen sólidos en las membranas, puede ser optimizado utilizando mediciones de eficiencia del retro-lavado. Éstas tienen el efecto de recoger impurezas en el recubrimiento, siendo despididos de la membrana el recubrimiento y las impurezas durante el proceso de retro-lavado.

ES 2 282 370 T3

Estos pre-recubrimientos podrían ser utilizados para hacer posibles los ultra-filtros retro-lavables, nano-filtros, o filtros RO.

5 Un ejemplo de utilización de la eficiencia del retro-lavado para optimizar un proceso fue la floculación del agua potable para eliminar el color verdadero (disuelto). Se ha averiguado que la eficiencia de floculante de alúmina aumentaba cuando disminuía el pH. Sin embargo, cuando el pH caía por debajo de 6,0, la eficiencia del retro-lavado descendía desde alrededor del 98% al 70%. Esto condujo a la inversa a elevar nuevamente el pH por encima de 6,0.

10 El sistema de control y supervisión puede emplear también diversos procedimientos de prueba para verificar si el sistema de filtrado está funcionando correctamente y para comprobar los fallos o deterioro del rendimiento del sistema.

15 Un sistema de filtrado de aguas residuales puede comprender varios cientos de módulos, conteniendo cada módulo muchos miles de fibras. Aunque el fallo en estos sistemas es raro, el fallo o ruptura de una sola fibra puede comprometer la integridad de todo el sistema al permitir que el elemento entrante sin filtrar entre en el interior de la fibra averiada y contamine así el líquido filtrado.

20 Una prueba conocida para identificar si un módulo contiene una fibra averiada es la Prueba de Flujo de Aire Difusor (DAF). El flujo de aire difusor es el flujo de aire desde zonas de alta a baja presión a través de la solubilización del aire en agua dentro de la membrana. En esta prueba, el espacio intermedio entre las fibras y la vaina de un módulo o módulos seleccionados se llena con aire o agua y se suministra aire a presión en el interior de las fibras. La membrana de fibras es humedecida previamente para llenar los poros con líquido, y se mide la velocidad a la cual el aire se difunde desde el interior de la fibra hacia el exterior de la misma. En ausencia de alguna fibra averiada, la velocidad tendrá una correlación con un valor de referencia que es indicativo del flujo difusor esperado desde el interior de la fibra hacia el exterior de la misma a una diferencia de presión dada para la membrana en particular.

25 Es importante observar que si se excede de una cierta presión, el flujo difusor se alterará por la creación de burbujas de aire en los poros. Esto se conoce como punto de burbujeo de la membrana y está definido por la ecuación siguiente:

$$30 \quad P = \frac{4 \cdot \cos(\theta) \cdot B \cdot \gamma}{d}$$

donde:

35 P = presión del punto de burbujeo;

θ = ángulo de humedecimiento;

B = constante de capilaridad de Bechold;

40 γ = tensión superficial del líquido de humedecimiento; y

d = diámetro del poro.

45 Claramente, si hay presente una fibra averiada, la velocidad medida será más alta e incluirá una componente debida al flujo de aire a través de la avería en oposición al flujo difusor a través de los poros. Otra prueba útil para supervisar la integridad de los lúmenes de las fibras es la prueba de la caída de presión. Esta prueba está disponible, generalmente, en ciertas formas de un proceso automatizado en las máquinas estándar. Como en la prueba DAF, se presurizan primero los lúmenes con aire a la presión de la prueba (normalmente 100 kPa) manteniendo lleno el lado de la vaina de la membrana. Una vez que se ha alcanzado la presión de la prueba, se sella el lado del elemento filtrado y el lado de la vaina es ventilado a la atmósfera. Se supervisa entonces la caída en la presión del sistema de filtrado. Esta caída de presión estará directamente relacionada con el flujo de aire a través de la membrana y por tanto de la integridad del sistema, suponiendo que no hay válvulas con fugas.

55 Esta prueba es particularmente útil para sistemas que requieran niveles de integridad de menos de log 4,5 a 5,0 porque es una prueba sencilla y cómoda de llevar a cabo *in situ*. Sin embargo, los niveles de integridad mayores que log 5 requieren tasas de caídas de presión por debajo de 1 kPa/min (0,14 psi/min), que son difíciles de medir con precisión. En tales casos, se utilizaría la prueba del DAF.

60 Estas pruebas pueden ser llevadas a cabo automáticamente por el sistema de control a intervalos regulares y/o como respuesta a un deterioro detectado en los parámetros de rendimiento.

65 Los sistemas de filtrado utilizan un gran número de válvulas para controlar su funcionamiento y el funcionamiento correcto de estas válvulas es crítico para un rendimiento óptimo del sistema. El sistema de control, de acuerdo con una forma de la presente invención, proporciona varias opciones para el control y la supervisión de las válvulas.

Se ha averiguado que es difícil detectar si una válvula individual ha fallado o tiene fugas. Los fallos grandes detendrán el funcionamiento de la máquina y se detectan simplemente mediante una alarma de fallo del elemento filtrado.

ES 2 282 370 T3

El uso de un sistema inteligente de supervisión y control permite una supervisión extensiva del funcionamiento de las válvulas. El sistema de control mide un perfil de presiones de la máquina en un momento de referencia predeterminado y compara el valor actual a intervalos regulares o continuamente con el perfil de referencia. Si no hay una diferencia significativa, se supone que esto indica que la máquina funciona normalmente y que todas las válvulas funcionan correctamente. Cualquier diferencia significativa indicará una avería de válvula y será informada por el sistema de supervisión.

El siguiente modo de realización ilustra una forma de la invención que está relacionada con el perfil de presiones para el ciclo de retro-lavado de un sistema de filtrado de membrana, sin embargo, como se ha observado anteriormente, la invención de acuerdo con este aspecto, es igualmente aplicable a los parámetros de funcionamiento de cualquier sistema de filtrado, por ejemplo filtrado de polímero fundido, filtrado de gas y sistemas de ósmosis inversa en los que se requiere la limpieza regular de las membranas del filtro.

Un perfil de retro-lavado es un registro de presiones y flujos generados durante el ciclo de retro-lavado. Proporciona una considerable cantidad de información de lo que está sucediendo durante el retro-lavado y se utiliza en este modo de realización de la invención para diagnosticar problemas con el rendimiento del retro-lavado en una unidad de filtrado continuo de membrana.

Debido a la naturaleza del retro-lavado, las presiones y los flujos cambian rápidamente y deben ser registradas, por tanto, utilizando equipos de registro de datos especializados y/o software (equipo lógico) capaz de medir y grabar estos cambios. Los medios más comúnmente utilizados son un ordenador portátil provisto de los convertidores analógicos a digitales necesarios y de los aisladores para las entradas de instrumentación analógica o entradas digitales directas, junto con el software apropiado para la recogida, almacenamiento, presentación y análisis de los datos obtenidos. En un perfil típico de retro-lavado, se recogerán los datos de las presiones de la alimentación y del elemento filtrado y los flujos de la alimentación (o del elemento filtrado). Tal equipo muestrea típicamente los datos a una velocidad de 10 a 20 puntos por segundo, en comparación digamos con una vez cada dos minutos para la recogida de datos de larga duración.

Con el fin de interpretar el perfil del retro-lavado, se requiere la comprensión de las diversas etapas del retro-lavado y de su finalidad.

En la figura 6 se ilustra un perfil típico para una unidad de microfiltración continua. Los datos presentados fueron recogidos utilizando un equipo de registro de datos a una velocidad de muestreo de 20 muestras por segundo. La presión de trans-membrana (TMP) ha sido calculada a partir de la diferencia entre las presiones de la alimentación y del elemento filtrado, y está ilustrada también en la figura 6.

El perfil de presiones ilustrado en la figura 6 contiene varias características asociadas con los diversos pasos de retro-lavado, que tienen una influencia sobre la eficiencia del retro-lavado. Lo que sigue describe las etapas de retro-lavado con referencia a la figura 6.

Haciendo referencia a la figura 6, la etapa inicial de retro-lavado es el paso (A) de drenaje del lumen. La función de este paso es drenar el líquido de los lúmenes antes de presurizar con aire. El drenaje del lumen requiere la suficiente presión de aire para empujar el líquido hacia el exterior del lumen en un periodo de tiempo razonable, sin exceder el punto de burbujeo de la membrana. Si la presión de drenaje del lumen es demasiado alta, puede tener lugar la irrupción de aire en el lado de la vaina. Esto puede conducir a una presión de trans-membrana (TMP) negativa reducida en el paso (C) de rebufo y/o un retro-lavado desigual. Si los lúmenes no están completamente drenados, el retro-lavado será desigual. Consecuentemente, los lúmenes deben estar completamente drenados para conseguir el retro-lavado más eficiente.

El paso siguiente es el paso (B) de presurización. Durante este paso, tanto el lado de la vaina como el lado de elemento filtrado deben ser presurizados idealmente hasta alrededor de 600 kPa. Esto dará como resultado la máxima TMP negativa durante el paso de rebufo. En la figura 1, tanto la vaina como el elemento filtrado han sido presurizados uniformemente hasta alrededor de 600 kPa y durante esta etapa hay una TMP negativa mínima.

El paso de presurización es seguido por el paso (C) de rebufo. La TMP negativa generada en este paso por la rápida apertura de las válvulas en el lado de la vaina, es crítica para el retro-lavado eficiente de la membrana. La TMP negativa generada puede depender de la velocidad a la cual abren las válvulas del retro-lavado, la presencia de aire en el lado de la vaina (paso B anterior), y la resistencia en las líneas de retro-lavado que debe superar el líquido en aceleración.

Se ha averiguado que el paso (D) de aire conectado-bomba conectada es particularmente beneficioso en la mayoría de las corrientes de alimentación. Para este paso, debe permitirse en el programa un tiempo suficiente (mínimo 5 segundos). La adición de caudal de alimentación al perfil ayuda en este punto a asegurar un flujo de alimentación adecuado.

Durante el paso de barrido de la vaina se requiere un flujo suficiente para asegurar el enjuague completo de sólidos en los módulos y la eliminación de aire en el lado de la vaina antes del filtrado y del re-humedecimiento.

ES 2 282 370 T3

Suponiendo que se ha fijado el tiempo para este paso basándose en un flujo de barrido con un diseño predeterminado, si el flujo en este paso está por debajo del flujo de diseño, tendrá lugar una eliminación inadecuada de sólidos que conduce a un bloqueo del módulo y a una pobre recuperación del retro-lavado. Si el flujo es mayor que el flujo del diseño, el resultado será una producción excesiva del retro-lavado, reduciendo la eficiencia global.

5

Se requiere el paso (F) para rellenar los lúmenes y purgar el aire restante del sistema de filtrado antes del re-humedecimiento.

10

Si el llenado del lumen es incompleto, se tendrá como resultado que entra aire en el lumen durante el paso de presurización del re-humedecimiento, conduciendo a un pseudo-retro-lavado y consecuentemente a un re-humedecimiento pobre. Un paso de expulsión excesivamente largo no afecta al retro-lavado, sino que aumentará el tiempo de caída y el volumen de desecho del retro-lavado, descendiendo por tanto la eficiencia global y la producción de elemento filtrado.

15

La siguiente etapa en el proceso de retro-lavado es el ciclo de re-humedecimiento. Este ciclo es requerido para volver a llevar los lúmenes a un estado adecuado para el re-inicio del ciclo de filtrado. Este ciclo comienza con un paso (G) de presurización y, como en el paso (B) de presurización del retro-lavado, tanto la presión del elemento filtrado como la presión del lado de la vaina deben alcanzar al menos los 500 kPa, pero preferiblemente 600 kPa. Las presiones inferiores a ésta pueden conducir a un re-humedecimiento incompleto.

20

La siguiente etapa en el ciclo de re-humedecimiento es el paso (H) de expulsión del re-humedecimiento. Es importante en esta etapa que las presiones de la vaina y del elemento filtrado caigan aproximadamente con la misma cadencia. Si las presiones de la vaina y del elemento filtrado caen en momentos diferentes, el resultado será una punta de TMP negativa o bien positiva y estas puntas deben evitarse.

25

Durante el paso de expulsión del re-humedecimiento, se libera algo de aire de las paredes de las fibras hacia el interior del lado de la vaina. El propósito del paso (I) de expulsión en la vaina es purgar este aire desde la vaina, antes de volver al filtrado (o a un segundo re-humedecimiento).

30

Se detallan aspectos adicionales de la operación de retro-lavado en nuestras solicitudes de patente asociadas PCT/AU95/00587, AU-A-55847/86, AU-B-34400/84 y AU-A-77066/87.

35

El perfil de retro-lavado mide las presiones y los flujos directamente (junto con otros datos que se requieran). Como resultado, es capaz de captar averías que no siempre son evidentes utilizando una comprobación visual de las válvulas, accionamientos, solenoides, etc.

Los siguientes ejemplos están diseñados para dar una indicación de los tipos de problemas que pueden ser identificados utilizando el análisis del perfil.

Ejemplo 1

40

Unidad 4M10C CMF- Avería en el programa de re-humedecimiento

45

La figura 7 muestra el perfil instantáneo obtenido en una máquina 4M10C instalada en un suministro de agua doméstica para el pre-tratamiento de Ósmosis Inversa. La instantánea fue realizada utilizando equipo de registro con una velocidad de muestreo 20 Hz. La máquina había estado funcionando deficientemente y requería una limpieza frecuente.

50

La única característica anormal a observar en la parte del retro-lavado del ciclo (0 a 65 s) es que la presión del elemento filtrado permanece alta durante el barrido de la vaina. Esto fue re-programado para purgarse 5 segundos después del inicio de la etapa de barrido de la vaina.

55

A diferencia de la etapa de retro-lavado, el perfil de re-humedecimiento es claramente anormal. Es evidente un problema en el paso de presurización del re-humedecimiento porque los lados del elemento filtrado y de la vaina no se presurizan uniformemente ni alcanzan los 600 kPa. Esto indica que se escapa el aire desde el sistema y se impide una presurización adecuada. Una inspección más detallada de la planta demostró que la válvula de alimentación estaba fallando en el cierre durante la etapa de presurización del re-humedecimiento. Esto era debido a una avería de programación que fue rectificada fácilmente. El perfil resultante está ilustrado en la figura 8. El nuevo perfil muestra el efecto de purgar la presión del elemento filtrado durante el barrido de la vaina y también la notable mejora del perfil de re-humedecimiento.

60

Ejemplo 2

Unidad 90M10C CMF - Posicionador averiado de válvula de elemento filtrado

65

El perfil obtenido en la máquina 90M10C está ilustrado en la figura 9. La presurización es muy pobre durante los pasos de retro-lavado y de presurización del re-humedecimiento. La TMP durante el rebufo es realmente positiva en lugar de negativa, por lo que no ha habido un retro-lavado real en absoluto. La avería en este caso fue la válvula

ES 2 282 370 T3

de control del elemento filtrado. El posicionador de la válvula no estaba permitiendo que la válvula de control del elemento filtrado cerrase completamente en ninguna etapa. Consecuentemente, la unidad no podía presurizar, ya que se perdía continuamente el aire a través de la línea de filtrado.

5 Tras reajustar el posicionador de la válvula de control del elemento filtrado, se hizo un registro previo del perfil, con el resultado ilustrado en la figura 10. La TMP negativa es ahora alrededor de 380 kPa, lo que confiere un buen retro-lavado.

10 Sin embargo, el perfil sigue mostrando un pequeño problema durante la expulsión del re-humedecimiento, durante la cual la duración de la punta de TMP negativa es mayor que lo deseable (alrededor de 2,5 segundos como contraste con una máximo recomendado de 1 segundo). Esto se averiguó que era debido a una avería del programa que dio como resultado que una de las válvulas del lado de la vaina seguía parcialmente abierta durante la parte inicial del paso de presurización. Esto permite empujar al elemento filtrado desde los lúmenes hacia la vaina, introduciendo así un aire excesivo hacia el interior del sistema de filtrado. El resultado es que la expulsión del elemento filtrado no tiene lugar tan rápidamente como sería debido en otro caso a la expansión de aire adicional.

Ejemplo 3

300M10 - Puntas excesivas de la presión de re-humedecimiento.

20 Esta máquina fue instalada como parte de una planta de agua potable que filtraba agua de superficie. La máquina está equipada con un registrador de gráficos para supervisar flujos y TMP de la planta. El registrador de gráficos indicaba picos de presión durante el ciclo de retro-lavado/re-humedecimiento de hasta 180 kPa. Existía la preocupación de que estas puntas pudieran conducir a una eficacia reducida del retro-lavado e incrementasen las impurezas. Se efectuó una toma instantánea utilizando equipos de registro de datos, tomando muestras a una velocidad de 20 Hz. El perfil resultante está ilustrado en la figura 11.

25 La etapa de rebufo del ciclo muestra una buena TMP negativa (-446 kPa) y parece normal. El ciclo de re-humedecimiento es la fuente de las puntas de presión con puntas positivas de 177 kPa durante la presurización y 117 kPa durante la expulsión.

30 Un examen de la tabla de secuencias conjuntamente con el perfil de presiones demostró que la punta correspondía al cierre de las válvulas de alimentación y de retro-lavado. En este caso, la válvula de retro-lavado se estaba cerrando más rápidamente que la válvula de alimentación, haciendo que el lado de la vaina se presurizase. Esto fue rectificado introduciendo un retardo de 2 segundos después de cerrar la válvula de alimentación y antes de cerrar la válvula de retro-lavado. Puede observarse en la figura 12 que la punta de presión en cuestión ha sido esencialmente eliminada. Podría hacerse un ajuste adicional para minimizar algunas de las demás puntas, aunque esto es innecesario porque son relativamente pequeñas y es improbable que sean un problema.

35 Otra característica que puede ser ofrecida por el sistema de control y supervisión de acuerdo con la invención es el control real del funcionamiento de las válvulas utilizadas en todo el sistema de filtrado. La instalación de una máquina de filtrado requiere una cuidadosa cadencia de las operaciones de las válvulas y algunas de estas cadencias son específicas del lugar.

40 Se ha averiguado que modulando en anchura de impulsos el funcionamiento de las válvulas, pueden ser abiertas y cerradas con precisión con cualquier cadencia deseada. El sistema de control puede ajustar la cadencia de apertura y cierre de las válvulas para evitar el golpe de ariete.

45 El sistema de control y supervisión puede supervisar también las puntas de presión y controlar las válvulas de manera consecuente. Tal supervisión puede proporcionar también un control en bucle cerrado que compensa la degradación del rendimiento de las válvulas a medida que envejecen con el tiempo.

50 El control de la posición de las válvulas es posible también utilizando el control en bucle abierto y controlando el bucle mediante la utilización de mediciones de flujo y caída de presión dentro del sistema.

55 Se podrá apreciar que las formas descritas de la invención no están limitadas a los modos específicos de realización descritos anteriormente y que son posibles ejemplos adicionales de la invención sin apartarse del alcance de la invención.

60

65

REIVINDICACIONES

1. Un método de supervisión del funcionamiento de un sistema de filtrado que comprende los pasos siguientes:

- a) muestrear valores de parámetros del sistema en lugares elegidos dentro del sistema de filtrado, a una velocidad de muestreo predeterminada;
- b) generar una característica del perfil de los parámetros a partir de los valores de los parámetros muestreados, en unos intervalos de tiempo predeterminados;
- c) determinar el cambio de resistencia al flujo de la corriente de alimentación a través del filtro, ya sea continuamente o en un gran número de intervalos de tiempo, donde

$$R = \frac{\Delta P \times A}{\eta \times Q}$$

siendo R = resistencia, ΔP = cambio en la presión a través del filtro, A = superficie del filtro, η = viscosidad de la corriente de alimentación y Q = flujo a través del filtro; y

- d) determinar las operaciones óptimas del sistema de filtrado utilizando la información determinada en los pasos de a) a c).

2. Un método según la reivindicación 1, en el que el paso (d) incluye la comparación de la característica del perfil generado con una característica deseada, e identificar regiones dentro de la característica generada que diverjan de la característica deseada.

3. Un aparato para supervisar el funcionamiento de un sistema de filtrado que comprende:

- a) medios para muestrear valores de los parámetros del sistema en lugares elegidos dentro del sistema de filtrado, con una velocidad de muestreo predeterminada;
- b) medios para generar una característica del perfil de los parámetros a partir de los valores de los parámetros muestreados, a intervalos de tiempo predeterminados;
- c) medios para determinar el cambio de resistencia al flujo de la corriente de alimentación a través del filtro, ya sea continuamente o bien en un cierto número de intervalos de tiempo, donde

$$R = \frac{\Delta P \times A}{\eta \times Q}$$

siendo R = resistencia, ΔP = cambio en la presión a través del filtro, A = superficie del filtro, η = viscosidad de la corriente de alimentación y Q = flujo a través del filtro; y

- d) medios para determinar las operaciones óptimas del sistema de filtrado utilizando la información determinada por medio de a) a c).

4. Aparato según la reivindicación 3, en el que los medios para el paso (d) incluyen medios para comparar la característica del perfil generado con una característica deseada, y para identificar las regiones dentro de la característica generada que divergen de la característica deseada.

5. Aparato según la reivindicación 4, en el que como resultado de la comparación, los medios del paso (d) indican averías probables que originan la divergencia, y sugieren posibles soluciones al problema, de manera que la avería puede corregirse o evitarse y el funcionamiento del sistema puede volver a su funcionamiento óptimo.

6. Aparato según la reivindicación 5, en el que se proporciona al operador/usuario una pantalla interactiva con la característica del perfil generado, y donde el operador puede indicar una zona de la característica del perfil generado en la que está interesado el operador, y obtener detalles de averías y soluciones con respecto al análisis para la recuperación de la característica del perfil generado.

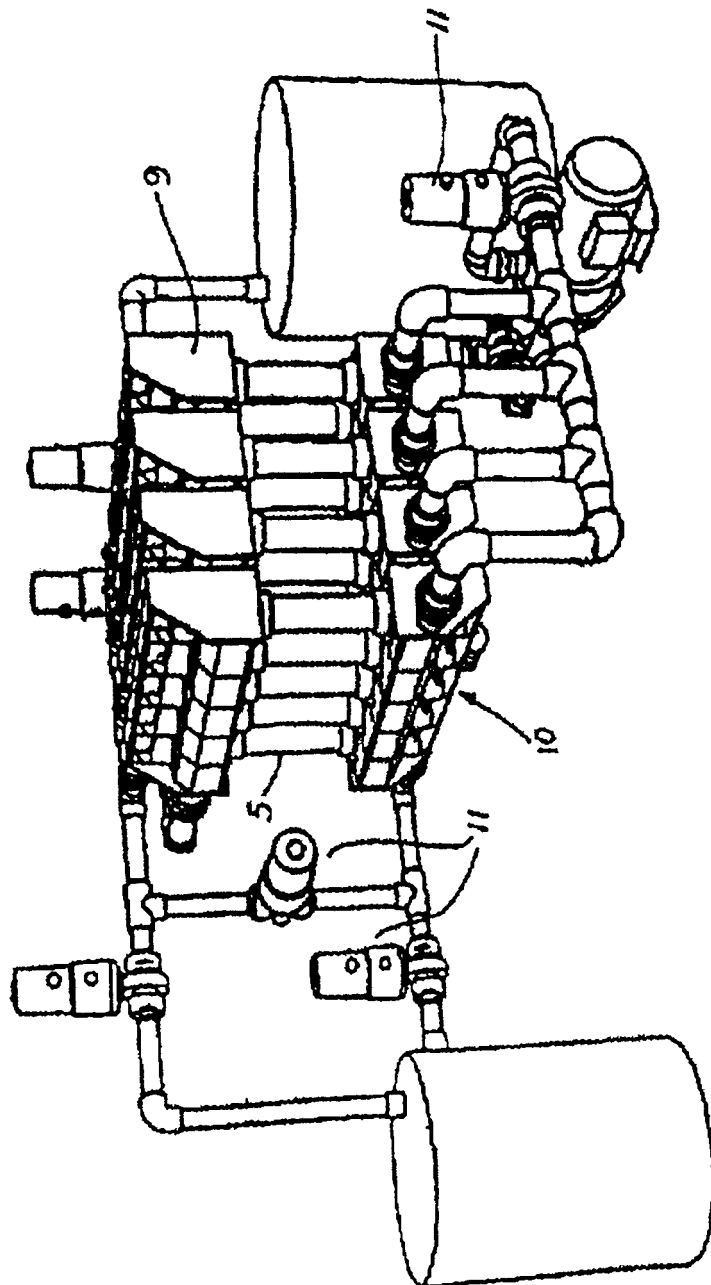


Figura 1

Figura 2

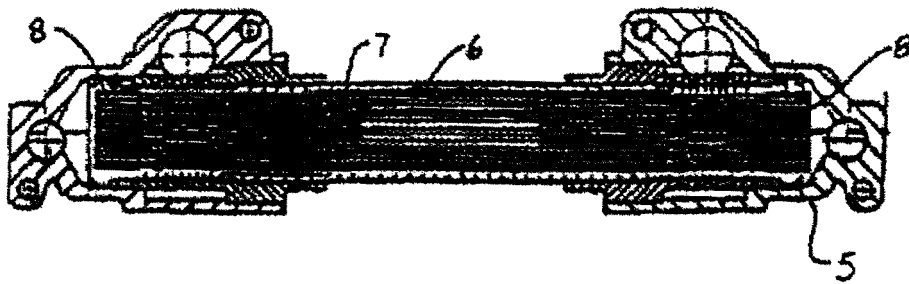
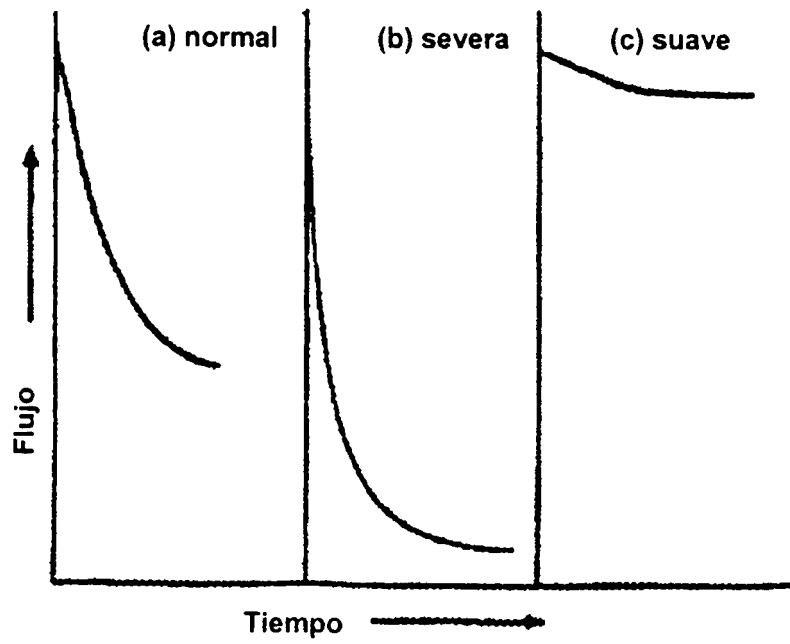


Figura 3



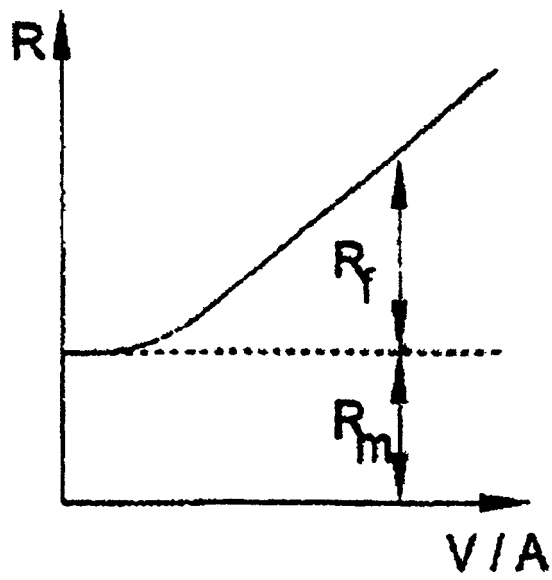


Figura 4

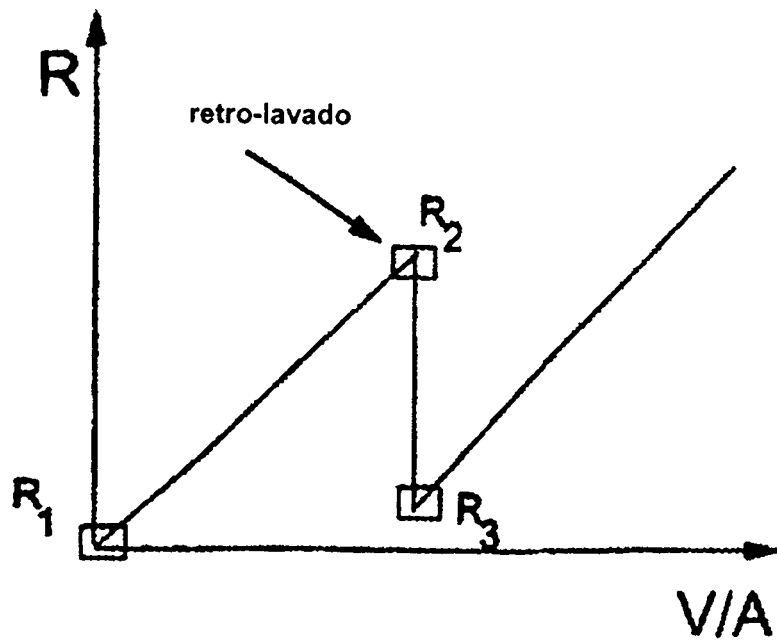


Figura 5

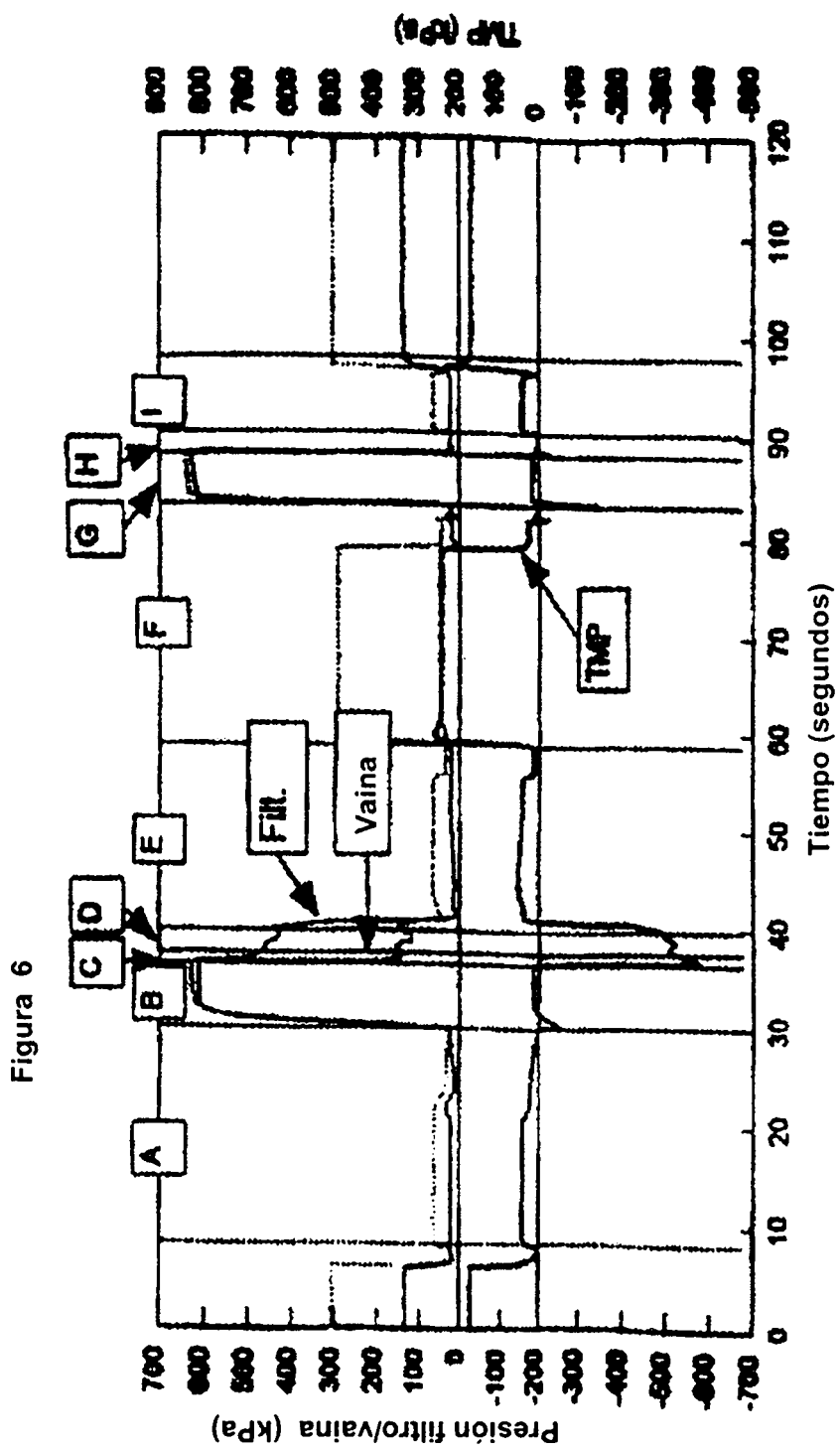


Figura 7

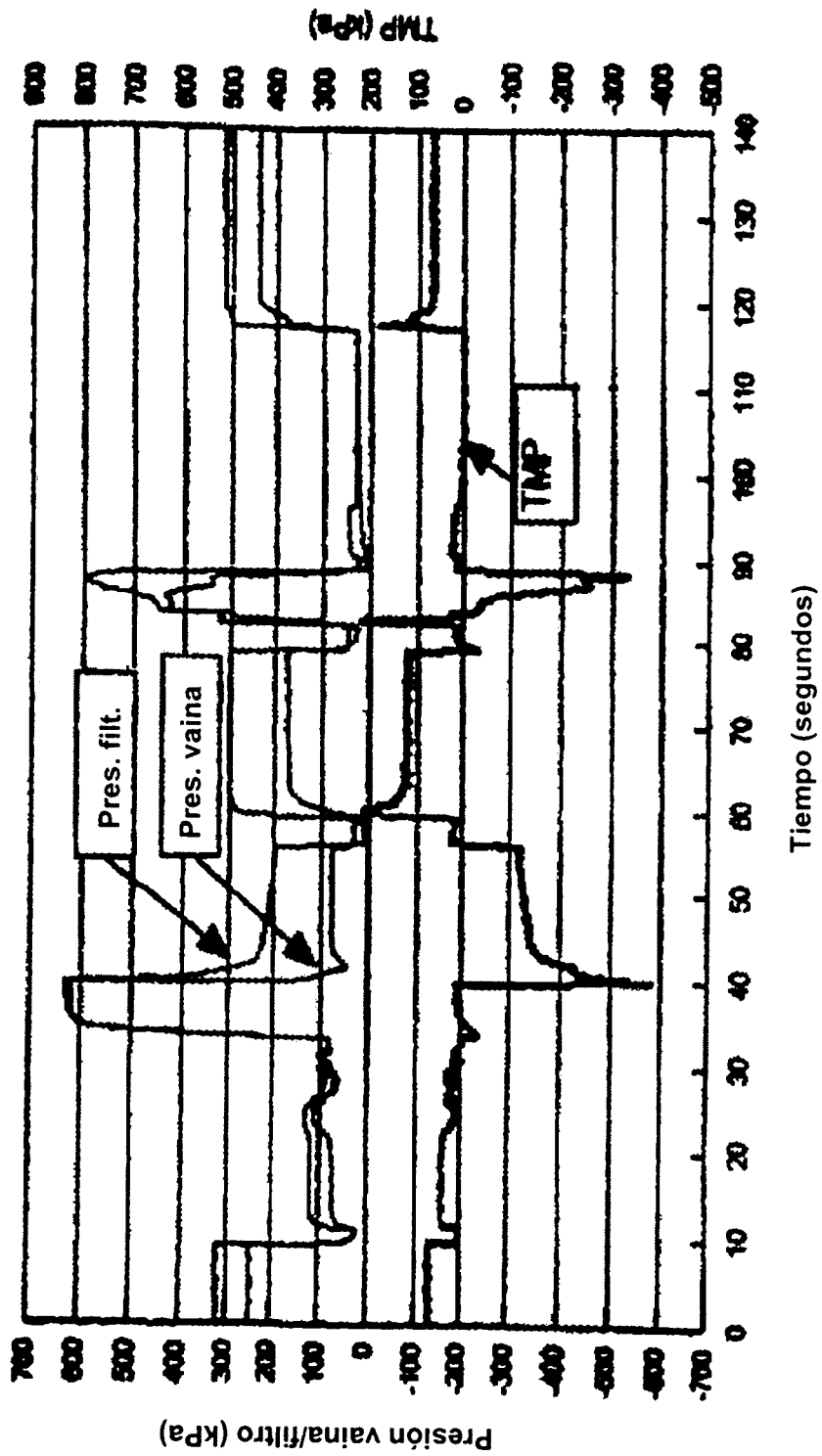


Figura 8

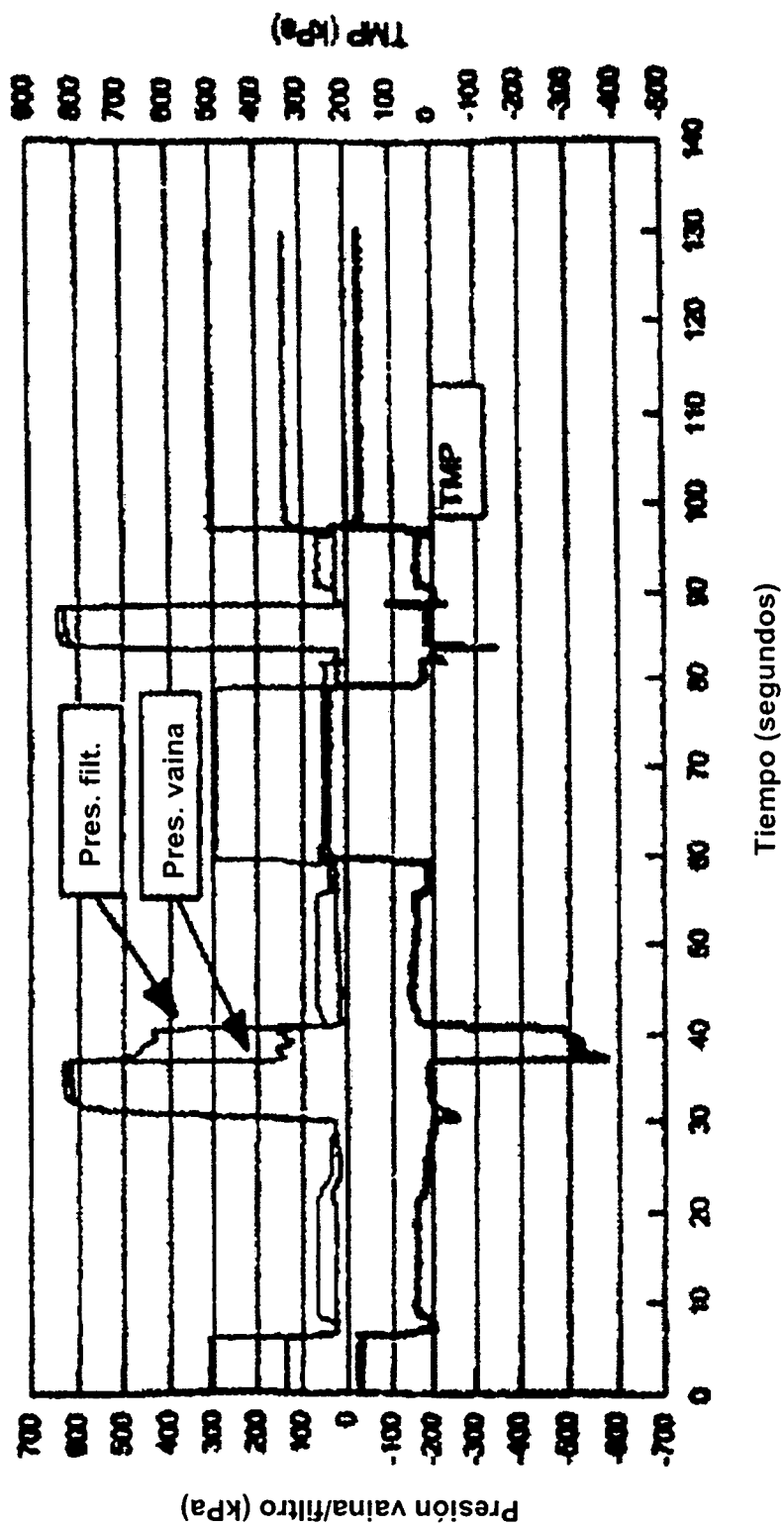


Figura 9

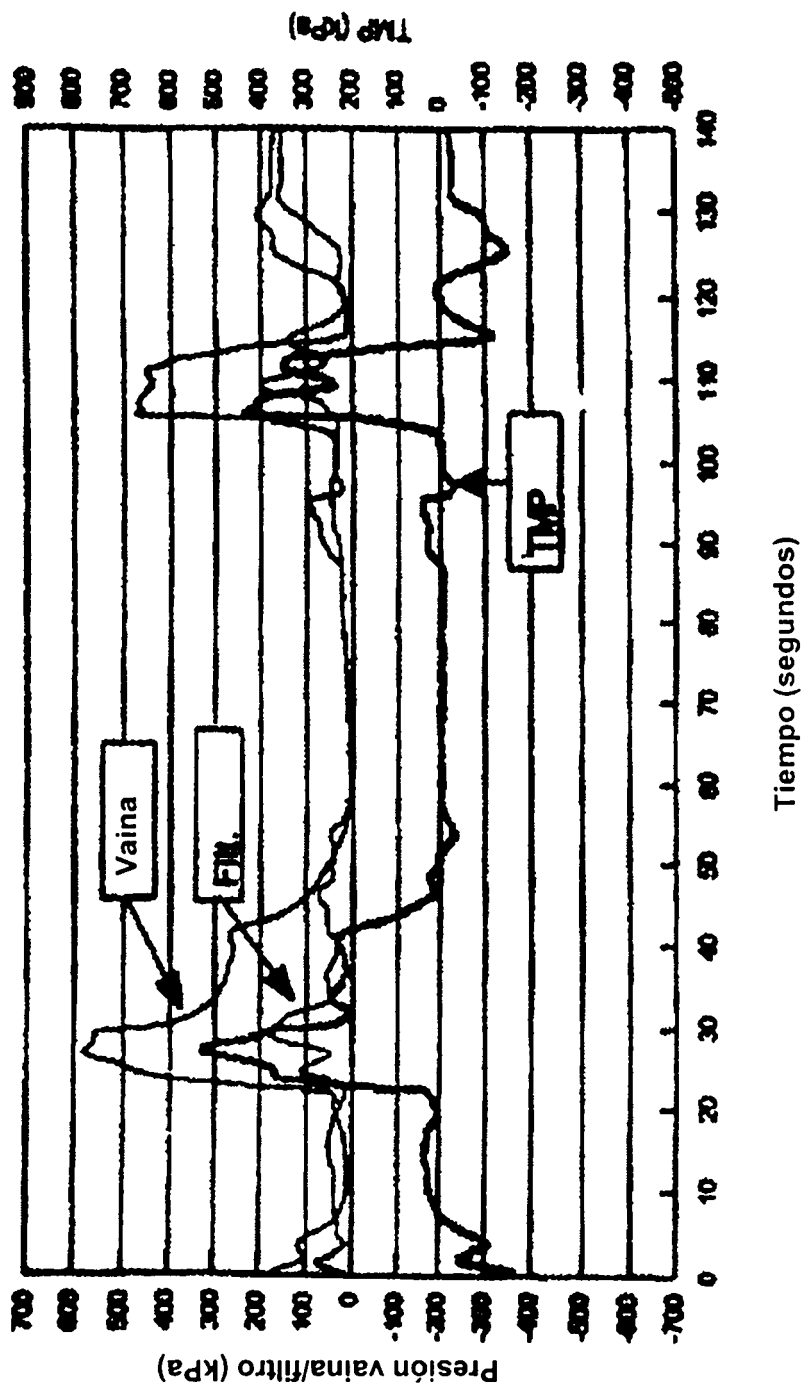


Figura 10

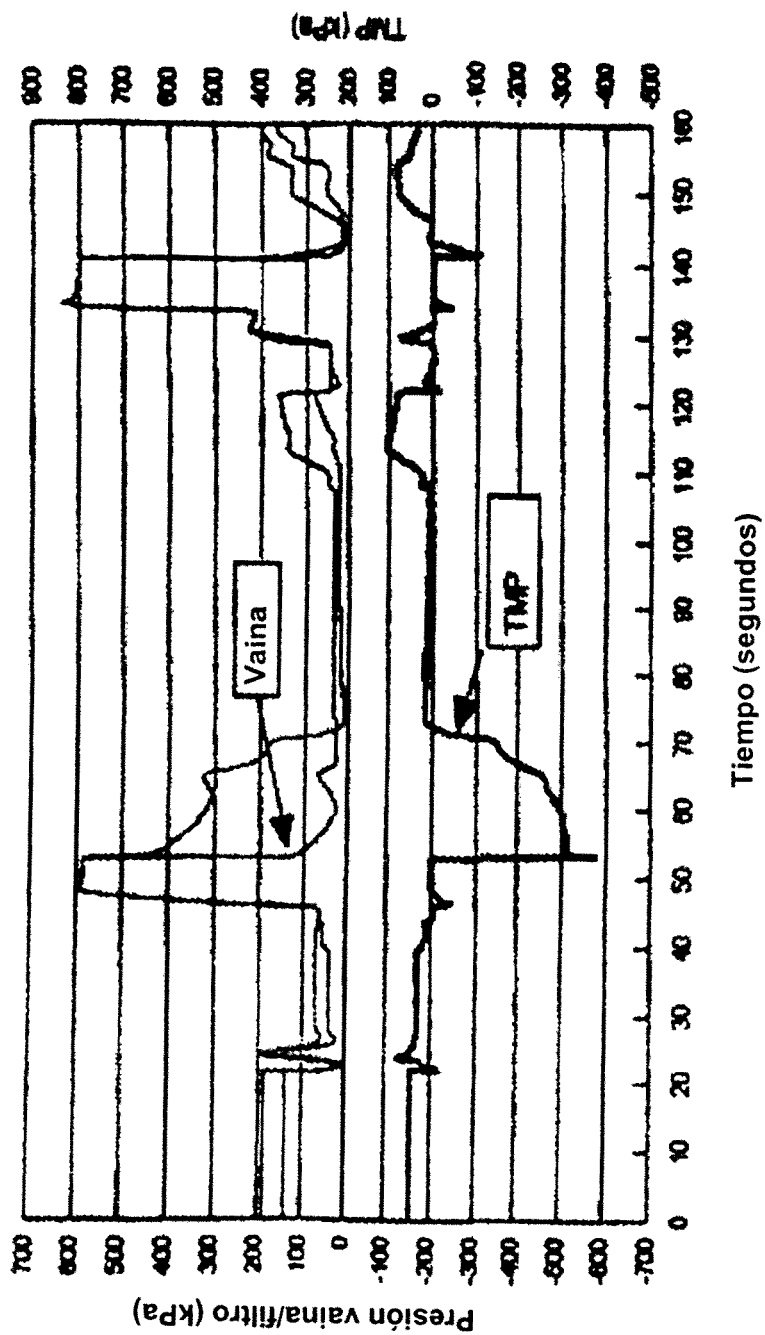


Figura 11

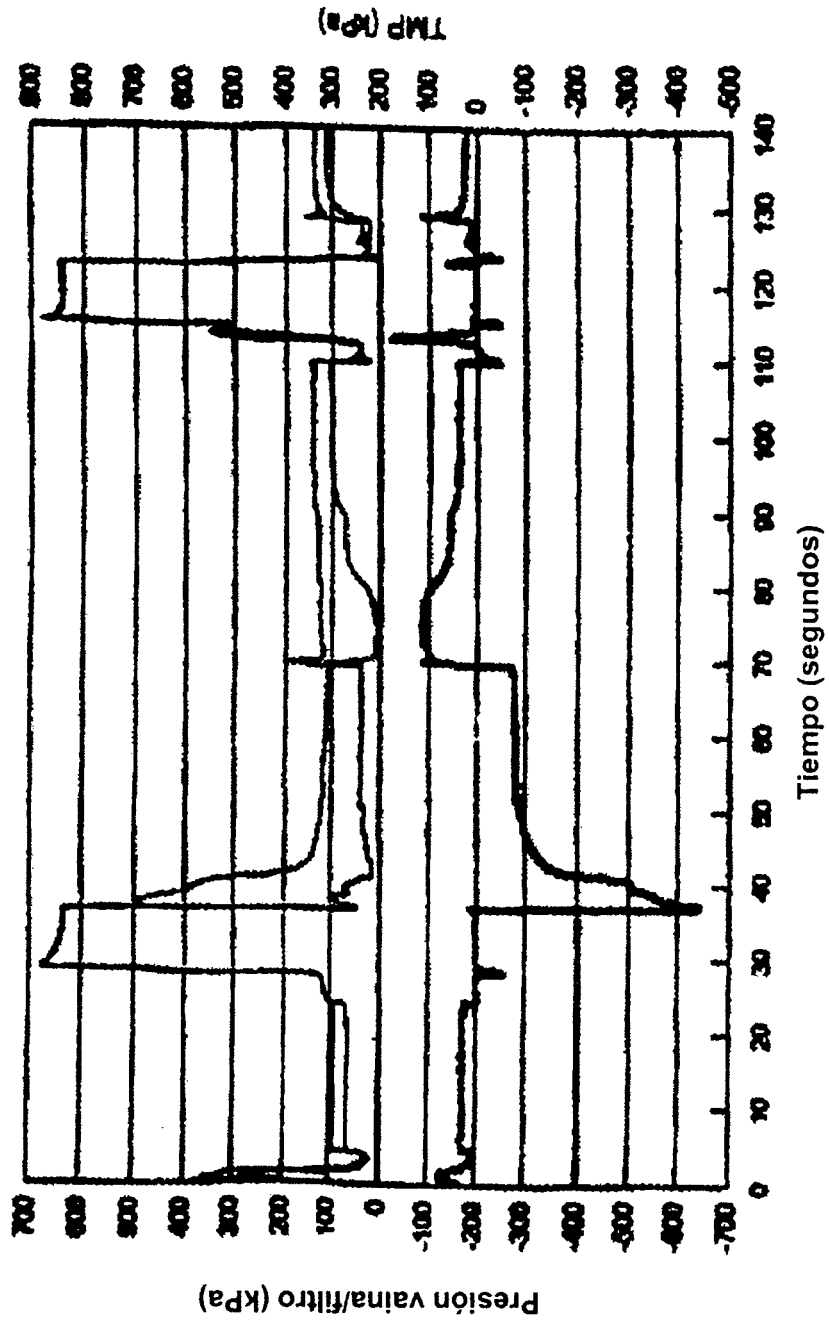


Figura 12

