

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 781 960**

51 Int. Cl.:

G05B 23/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.03.2017 PCT/EP2017/057113**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.10.2017 WO17167666**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.03.2017 E 17716807 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.02.2020 EP 3436878**

54 Título: **Método de optimización del ciclo de vida de un filtro entre reemplazos y sistema para monitorizar un sistema de ventilación**

30 Prioridad:

01.04.2016 SE 1650443

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

09.09.2020

73 Titular/es:

**DINAIR AB (100.0%)
Box 120
592 22 Vadstena, SE**

72 Inventor/es:

**ÖDLING, PATRIK y
ULLSTRÖM, JOHANNES**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 781 960 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

Método de optimización del ciclo de vida de un filtro entre reemplazos y sistema para monitorizar un sistema de ventilación

5 **Campo técnico**
La invención se refiere a un método y a un sistema para la optimización del ciclo de vida de un filtro entre reemplazos del filtro en sistemas de ventilación.

10 La invención proporciona un método para mejorar el coste global del filtrado y/o el impacto de dióxido de carbono de los sistemas de ventilación.

15 La invención es aplicable también a sistemas para separar partículas de una corriente de aire cargada de partículas.
Antecedentes

20 Los sistemas de ventilación utilizados en edificios, barcos u otras estructuras principales comprenden normalmente conductos de ventilación y un ventilador dispuesto para conducir aire a través de los conductos de ventilación. Sin embargo, muchos sistemas también comprenden componentes adicionales, tales como intercambiadores de calor e intercambiadores de humedad, que funcionan para proporcionar un clima interior deseado.

25 Para reducir la exposición a partículas, tanto para los usuarios como para los componentes del sistema de ventilación, el sistema comprende normalmente uno o más filtros, dispuestos para filtrar aire entrante y/o saliente.

Tales filtros son normalmente consumibles y necesitan ser reemplazados en ciertos intervalos. Como hay un coste asociado con propio filtro, y con la mano de obra requerida para cambiarlo, existe una motivación general para reemplazar los filtros con la menor frecuencia posible, y preferiblemente solo al final de su vida útil técnica.

30 Además, cuando se utiliza un filtro, que se llena gradualmente con partículas que se han separado del aire que está siendo filtrado. A medida que el filtro se llena, proporcionará una mayor resistencia al aire que fluye a través del mismo, lo que requerirá que el ventilador trabaje más. A medida que el ventilador trabaje más, su consumo de energía aumentará. Por lo tanto, también existe una motivación para reemplazar los filtros con la mayor frecuencia posible, para minimizar el consumo de energía.

35 Se describen varios métodos para monitorizar el estado del filtro en los documentos FR2770788A, US2005247194A, US2008014853A, JP2011191017A, US6035851A, US2007146148A y US5036698A. Sin embargo, estos métodos están dirigidos a predecir la vida útil técnica del filtro, es decir, durante cuánto tiempo funcionará el filtro lo suficientemente bien. No tienen en cuenta el hecho de que, si bien un filtro funciona lo suficientemente bien, es decir, proporciona una filtración lo suficientemente buena y una caída de presión lo suficientemente baja, el consumo total de recursos real en realidad se reduciría al reemplazar el filtro mucho antes del final de su vida útil técnica.

40 La presente divulgación es una mejora del método y del sistema descrito en el documento SE537506C2, que funciona bien.

45 La figura 5 es un ejemplo ilustrativo de caída de presión medida durante un período de tres semanas. A partir de la figura 5, se reconoce que la caída de presión varía abruptamente, lo que se debe al hecho de que el ventilador funciona como "ventilación controlada por demanda" o "DCV". Es decir, el ventilador solo funciona cuando es necesario, que es una estrategia para ahorrar energía, a diferencia de los sistemas de ventilación más antiguos, donde el ventilador funcionaría continuamente o durante intervalos de tiempo predeterminados. Por lo tanto, el ventilador solo puede funcionar, por ejemplo, cuando hay personas o cualquier tipo de actividad en la instalación ventilada.

50 Sin embargo, dicha DCV tiene un impacto en la optimización del ciclo de vida del filtro. Preferiblemente, sería deseable medir tanto la caída de presión como el flujo de aire para estimar adecuadamente el ciclo de vida óptimo del filtro.

55 Hay una necesidad de un método incluso aún más mejorado de optimizar el período de tiempo entre reemplazos del filtro para lograr una utilización general de recursos mejorada.

60 **Sumario**

Es un objetivo de la presente divulgación proporcionar un método y un sistema para la optimización del ciclo de vida útil del filtro entre reemplazos en sistemas de ventilación.

65 La invención se define por las reivindicaciones independientes adjuntas, con las realizaciones que se exponen en las

reivindicaciones dependientes adjuntas, en la siguiente descripción y en los dibujos.

De acuerdo con un primer aspecto, se proporciona un método de determinación de un ciclo de vida útil del filtro óptimo entre reemplazos de un filtro en un sistema de ventilación. El método comprende realizar las siguientes etapas en un dispositivo de procesamiento: recibir al menos un valor de hardware del filtro, que representa una cantidad de un recurso asociado con al menos la producción del filtro, recibir al menos un valor de uso del filtro, que representa una cantidad o tasa de dicho recurso asociado con el uso del filtro, recibir una pluralidad de puntos de datos medidos, cada uno de los cuales representa una caída de presión medida sobre el filtro en un momento respectivo, y determinar el ciclo de vida óptimo del filtro al minimizar un consumo total de recursos del filtro compuesto por un primer factor, según el cual el consumo de recursos es inversamente proporcional al ciclo de vida del filtro, un segundo factor, según el cual el consumo de recursos es directamente proporcional al ciclo de vida del filtro, proporcionar una pluralidad de puntos de datos predichos, cada uno de los cuales representa una caída de presión pronosticada sobre el filtro en un punto futuro respectivo en el tiempo, agrupando puntos de datos medidos sucesivos en ventanas, comprendiendo cada ventana al menos uno de los puntos de datos medidos, para cada ventana que identifica una caída de presión máxima, y asignar la caída de presión máxima identificada como una caída de presión máxima para todos los puntos de datos medidos de esa ventana; estimar para cada punto de datos medido un flujo de aire basado en la caída de presión máxima y la caída de presión medida del punto de datos medido respectivo, y derivar el segundo factor basado en el valor de uso del filtro, los puntos de datos medidos, los puntos de datos predichos y el flujo de aire estimados.

El término "filtro" debe interpretarse como el conjunto que en realidad está siendo sustituido, y por lo tanto puede incluir solamente el medio de filtro, o el medio de filtro y un bastidor sobre el que está montado el medio de filtro. Además, el término "filtro" puede comprender tanto una única unidad de filtro como un conjunto de filtro de dos o más filtros individuales que están conectados en serie y/o en paralelo.

El "valor de hardware del filtro" puede ser visto como el consumo de recursos asociado con el cambio de un filtro, es decir, principalmente el coste (u otro consumo de recursos, tales como el impacto de CO₂) del propio filtro, pero puede también extenderse a costes tales como el coste de transportar el filtro desde una ubicación de distribución a la ubicación de uso del filtro, el coste para el operador que realiza el cambio de filtro, posiblemente también incluyendo cualquier coste de viaje, y los costes para la eliminación del filtro usado.

El "valor de uso del filtro" puede ser visto como el consumo del mismo recurso que el del valor de hardware del filtro, pero asociados con el uso real del filtro, es decir, principalmente el coste (u otro consumo de recursos, tales como el impacto de CO₂) de energía utilizada para conducir el aire a través del filtro.

La "caída de presión medida sobre el filtro" es una medida de la caída de presión proporcionada por el filtro real cuando se encuentra en el lugar de operación.

La presente divulgación se basa así en el reconocimiento de que, mientras que, desde una perspectiva de coste del filtro, es deseable sustituir los filtros lo menos posible, desde una perspectiva de energía de accionamiento del ventilador; puede ser conveniente reemplazar los filtros con más frecuencia.

Además de la perspectiva del coste, también existe la perspectiva de dióxido de carbono, ya que la producción (y distribución) del propio filtro da lugar a un impacto de dióxido de carbono en el medio ambiente, como lo hace la energía utilizada para accionar el ventilador.

Por lo tanto, la presente invención proporciona un método mejorado que permite la planificación de los cambios de filtro para minimizar un consumo de recursos, tales como el coste o el impacto de dióxido de carbono.

En particular, la presente invención elimina la necesidad de un medidor de flujo de aire separado en un sistema de DCV, y por lo tanto hace que sea posible estimar el flujo de aire sobre la base de las mediciones de caída de presión. Este flujo de aire estimado se utiliza como base para estimar el ciclo de vida del filtro.

En el método, proporcionar una pluralidad de puntos de datos predichos puede comprender calcular una caída de presión predicha respectiva a través de la fórmula $P(t) = inicio_{Pa} * e^{bt}$, en la que se $inicio_{Pa}$ es una caída de presión inicial de la predicción, seleccionada de las caídas de presión medidas de los puntos de datos medidos, b es un coeficiente ambiental y t es el tiempo desde el momento en que se inicia el inicio de la caída de presión $inicio_{Pa}$ hasta el momento en el que se predice la caída de presión.

En particular, la caída de presión inicial $inicio_{Pa}$ puede ser un valor derivado basado en la caída de presión medida del último punto de datos de medición disponibles.

La caída de presión inicial $inicio_{Pa}$ también puede ser un valor derivado basado en la caída de presión máxima del último punto de datos de medición disponible o la última ventana disponible.

En el método, cada ventana puede comprender al menos dos, preferiblemente al menos tres o cuatro, puntos de

datos medidos.

En la práctica, cada ventana puede comprender todos los puntos de datos medidos de un período de tiempo predeterminado, tal como una hora, un día (24 horas), una semana, un mes, etc.

5 Las ventanas pueden comprender un número predeterminado o dinámico de puntos de datos medidos.

Las ventanas pueden comprender un número máximo de puntos de datos medidos, por ejemplo, puntos de datos medidos en 24 horas.

10 La caída de presión máxima para cada ventana se puede determinar con respecto a un valor promedio de las caídas de presión medidas de al menos algunos de los puntos de datos medidos de la ventana.

15 Por ejemplo, la caída de presión máxima puede determinarse como la caída de presión máxima de la totalidad o parte de las caídas de presión medidas de la ventana, a menos que esta presión máxima diverja de la caída de presión promedio en más de un factor predeterminado, tal como 30 %, 50 %, 70 % o 100 % de la caída de presión promedio.

20 Con el factor predeterminado, los picos, los ruidos y otras caídas de presión medidas no deseadas se eliminan para conseguir una caída de presión máxima más precisa.

La caída de presión máxima para cada ventana se determina con respecto a una caída de presión medida y/o una caída de presión máxima de al menos una ventana anterior.

25 Por ejemplo, la caída de presión máxima se puede establecer en un valor que es al menos tan grande como una caída de presión máxima y/o una caída de presión máxima medida de la ventana inmediatamente anterior.

30 En el método, la estimación del flujo de aire para cada punto de datos medido puede comprender derivar el flujo de aire estimado de cada uno de los puntos de datos medidos basados en una caída de presión medida de ese punto de datos medido y una función característica del filtro, en el que la función característica describe el flujo de aire como una función de la caída de presión para el filtro.

35 En el método, la estimación del flujo de aire para cada punto de datos medido puede comprender proporcionar un factor de escala basado en la caída de presión máxima y la caída de presión medida de los puntos de datos medidos, y utilizar el factor de escala para ajustar una función característica del filtro cuando está limpio.

El método puede comprender además la predicción del flujo de aire para al menos uno, preferiblemente algunos, de los puntos de datos predichos.

40 El flujo de aire predicho de los puntos de datos predichos puede ser un valor fijo derivado basado en los flujos de aire estimados para al menos algunos de los puntos de datos medidos.

45 El flujo de aire predicho de los puntos de datos predichos también puede ser un valor respectivo derivado basado en al menos uno, preferiblemente algunos, de los puntos de datos predichos.

50 De acuerdo con el método, el flujo de corriente de cada punto de medición se puede estimar basándose en la caída de presión medida. Por lo tanto, el sistema puede determinar tanto la caída de presión como el flujo de aire a través de un solo dispositivo de medición de caída de presión, lo que reduce el coste del sistema para monitorizar un filtro en un sistema de ventilación.

En el método, el segundo factor puede derivarse basándose en el flujo estimado de aire de cada punto de datos medido y/o el flujo de aire predicho para los puntos de datos predichos.

55 El segundo factor se puede calcular como la suma de los consumos de recursos de cada intervalo entre los puntos de datos medidos.

En el método, el primer factor se puede determinar como un producto del valor de hardware del filtro, una inversa del tiempo y opcionalmente una o más constantes.

60 El segundo factor se puede determinar como una suma de productos de valor de uso del filtro, un flujo de aire, una caída de presión, un intervalo de tiempo, una inversa de una eficiencia del ventilador, una inversa de un tiempo, y opcionalmente una o más constantes

65 Las constantes pueden incluir valores destinados a proporcionar la escala de tiempo deseada. Es decir, los valores resultantes pueden estar relacionados con cualquier unidad de tiempo, tal como segundos, minutos, horas, días o semanas.

El segundo factor se puede determinar de acuerdo con la fórmula

$$Energía_{coste_anual}[i] = \sum_{k=0}^i E[k] * \frac{(8760 * 3600)}{M[i]_t} * Precio_{kWh}$$

5 en la que Precio_{kWh} es el coste de energía por kilovatio hora, M[i]_t es el punto en el tiempo respectivo y

$$E[i] = \frac{CorrienteQ * M[i]_p * (M[i + 1]_t - M[i]_t)}{1000 * \eta}$$

10 $i \leq pred_{inicio\ indice} \rightarrow CorrienteQ = Q[i]$

$i > pred_{inicio\ indice} \rightarrow CorrienteQ = \bar{Q}$

15 en la que M[i]_p es la caída de presión, M[i+1]_t-M[i]_t es el intervalo de tiempo entre los puntos de datos de medición M[i+1] y M[i], η es la eficiencia del ventilador, y CorrienteQ es el flujo de aire estimado (Q[i]) del punto de datos medido (M[i]) o el promedio de al menos algunos de los flujos de aire estimados (Q[i]).

20 El ciclo de vida óptimo puede determinarse minimizando la fórmula

$$Tot_{coste_anual}[i] = Energía_{coste_anual}[i] + Filtro_{coste_anual}[i]$$

con respecto al tiempo M[i]_t.

25 De acuerdo con un segundo aspecto, se proporciona un sistema para controlar un filtro en un sistema de ventilación, que comprende medios para recibir un valor de hardware del filtro, lo que representa una cantidad de un recurso asociado con al menos la producción del filtro, medios para recibir un valor de uso del filtro, que representa una cantidad de dicho recurso asociado con el uso del filtro, medios de medición para medir una caída de presión sobre el filtro durante el uso del sistema de ventilación y medios de procesamiento para determinar un ciclo de vida óptimo del filtro de acuerdo con el método como se reivindica en una cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

Breve descripción de los dibujos

35 La figura 1 ilustra esquemáticamente un sistema de ventilación 1, al que se aplica la presente divulgación.
 La figura 2 es un gráfico de curvas de filtro características para un filtro limpio y las curvas características escaladas para filtros utilizados en diferentes extensiones.
 La figura 3 es un gráfico de una curva de filtro a escala que ilustra el flujo de aire Q(p) en función de la caída de presión sobre el filtro.
 40 La figura 4 es un gráfico de una curva de filtro característica a escala que ilustra el flujo de aire Q(p) en función de la caída de presión sobre el filtro.
 La figura 5 ilustra las caídas de presión medidas a lo largo del tiempo de un filtro.

Descripción detallada

45 La figura 1 ilustra esquemáticamente un sistema de ventilación 1, que puede usarse para proporcionar aire a/desde las habitaciones de, por ejemplo, un edificio. El sistema 1 comprende conductos de ventilación 20, 22, un ventilador 21 para conducir aire a través de los conductos de ventilación y un módulo de filtro 10, adaptado para recibir un cartucho de filtro reemplazable 11. En el módulo de filtro 10, se proporciona un dispositivo de medición 12a, 12b para medir una caída de presión sobre el filtro. Por ejemplo, el dispositivo de medición puede comprender un primer y segundo sensores de presión 12a, 12b. El dispositivo de medición puede conectarse a un controlador 30, que puede adaptarse para recibir datos de medición desde los sensores de presión 12a, 12b.

55 El controlador 30 puede estar dispuesto para recibir un valor de presión correspondiente de los sensores 12a, 12b y para calcular la caída de presión. Como alternativa, los sensores pueden estar dispuestos para medir directamente la caída de presión y, por lo tanto, proporcionar un valor único al controlador 30.

El controlador 30 puede estar dispuesto para leer valores desde los sensores 12a, 12b continuamente o en

intervalos predeterminados y para almacenar los datos recibidos en una memoria. Como alternativa, el controlador 30 puede estar dispuesto para leer valores desde los sensores solo cuando se sondea.

5 El controlador 30 puede estar dispuesto para comunicarse con una unidad remota 31, que puede ser un ordenador, un terminal móvil, etc.

10 En una realización, el controlador 30 se puede proporcionar en forma de una unidad dedicada que tiene una interfaz de sensor y un dispositivo de comunicaciones, que puede estar dispuesto para comunicarse a través de, por ejemplo, un servicio de mensajería de texto ("SMS" - servicio de mensajes cortos) o un correo electrónico a través de protocolos de comunicación, tales como 2G, 3G, 4G, 5G, Bluetooth®, Wi-Fi, Zigbee, WLAN, etc. La unidad puede disponerse para enviar datos del sensor a intervalos predeterminados o solo cuando se sondea. Por ejemplo, la unidad puede disponerse para responder automáticamente a un mensaje de texto entrante enviando los datos del sensor actual. Por lo tanto, la unidad no necesita tener memoria, sino simplemente las interfaces necesarias y un convertidor a/d para convertir los valores del sensor recibido en datos para su posterior procesamiento y/o comunicación. En esta realización, todo el almacenamiento y procesamiento de datos puede tener lugar en la unidad remota 31, posiblemente con una función de copia de seguridad que se proporciona.

20 En otra realización, un software se puede proporcionar para llevar a cabo los métodos descritos en el presente documento, que es en la forma de un programa almacenado en el controlador, o en un ordenador que está en comunicación conectada con el controlador, y que es accesible por la unidad remota, por ejemplo, a través de un navegador web.

25 Como otra opción, el software puede proporcionarse en la forma de un software de aplicación descargable (conocido como una "aplicación"), que se descarga a la unidad remota. En una realización, el software es un software de aplicación que está configurado para ejecutarse en un terminal móvil, tal como un iPhone®, o un PC de tipo tableta, tal como un iPad®, que está conectado comunicativamente con el controlador y que tiene una función de copia de seguridad proporcionada a través de una función de acoplamiento con un ordenador central o mediante un servicio basado en la nube (tal como iCloud®).

30 En la siguiente descripción, se utilizarán las siguientes referencias.

M - una lista de caída de presión medida a lo largo del tiempo (t, p), clasificada por valor de tiempo.

P_{max} - Caída de presión máxima

$Precio_{kWh}$ - Coste/kWh

35 Preciofiltro - Coste total para una configuración de filtro, incluyendo el coste de mano de obra para el cambio

Q_{max} - Flujo máximo al que funciona la unidad HVAC

η - Eficiencia del ventilador

40 M se agrupa en ventanas de marco temporal de tamaño TiempoVentanaMax. Esto se hace para determinar un ciclo de ejecución. TiempoVentanaMax está configurado en 24 h, pero podría modificarse para adaptarse mejor a la instalación actual del filtro. Aquí hay un ejemplo de puntos de datos medidos M[i] y ventanas W.

$$M = [[1, 49,1], [2, 50,3], [3, 48,7], \dots [998, 99,1], [999, 98,2], [1000, 101,5]] \quad \text{(ecuación 1)}$$

45 $W = [[1, 49,1], [2, 50,3], [3, 48,7], \dots [998, 99,1], [999, 98,2], [1000, 101,5]] \quad \text{(ecuación 2)}$

$$W[a][b] = M \left[\left(\sum_{k=1}^a |W[k-1]| \right) + b, a > 1 \right] \left. \vphantom{\sum} \right\} 1 < a < |W|$$

$$W[1][b] = M[b], a = 1 \quad \text{(ecuación 3)}$$

50 Para cada M[i], se determina un valor máximo valores_max[i], que es el valor considerado como máximo para ese tiempo. Como se describió anteriormente, los valores medidos se agrupan en ventanas. Para cada ventana, se realiza un análisis si la ventana tiene un valor que debe considerarse como una nueva caída de presión máxima. Esto se realiza iterando los valores de la ventana y comparando los valores con el valor máximo anterior. Otro criterio que debe cumplirse es que el máximo no es mucho más alto que la presión media de la ventana actual.

55 El valor medio se calcula únicamente para los valores en la ventana por encima del valor de la mediana de la ventana. Estos criterios existen para evitar picos y ruidos.

$$W[a]_{max} = \max \left(\left\{ w[a][b] \mid w[a][b] \geq \overline{w[a][b] \mid w[a][b] \geq \overline{w[a]}} \right\} * EscalaPromedio \right),$$

$$0 < b < |w[a]| \quad \text{(ecuación 4)}$$

La escala promedio se establece en el 130 %, pero podría establecerse en valores diferentes para permitir una mayor o menor diferencia en el valor máximo.

$$\left. \begin{aligned} \text{valores_max}[i] &= W[a]_{\max}, i = 1, W[a]_{\max} > \text{valores_max}[i - 1] * \text{EscalaMaxPre} \\ \text{valores_max}[i] &= \text{valores_max}[i - 1], W[a]_{\max} \leq \text{valores_max}[i - 1] \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} \left(\sum_{k=1}^a |W[k - 1]| \right) < i < \left(\sum_{k=1}^a |W[k - 1]| \right) + |w[a]|, a > 1 \\ 1 < i < |w[1]|, a = 1 \end{aligned} \right\} 1 < a < |W|$$

(ecuación 5)

EscalaMaxPre se establece en el 60 %, pero se podría establecer a diferentes valores a cualquiera de permitir más o menos diferencia en el valor máximo. La razón por la cual el máximo anterior se escala en absoluto es permitir que el máximo disminuya, ya que este es un comportamiento común para ciertos estados de instalación del filtro.

Los valores_max[i] identificados se utilizan para una regresión exponencial para predecir futuras caídas de presión. Solo se utilizan los valores_max más recientes en lugar de todos los valores_max identificados. Esto se hace para dar más peso a los datos más recientes, ya que informa al máximo cómo se desarrollarán las caídas de presión. Se puede usar un número dinámico de valores máximos, pero una buena cantidad es de aproximadamente 14, que si la caída de presión sigue aumentando en cada ventana corresponderá a 14 días.

La fórmula $p(t) = a * e^{b * t}$ obtenida por la regresión exponencial se utiliza para calcular la futura caída de presión, añadida al parámetro M, con etapas de $t = 24h$. El parámetro proporcionado P_{\max} se usa como un límite superior de caída de presión calculada. Si el valor calculado excede P_{\max} , el valor se establece en P_{\max} . Esto se hace para evitar valores de presión exorbitantes.

Es común que los fabricantes de filtros midan la caída de presión a ciertos niveles de flujo para un filtro limpio. Esto podría considerarse como los filtros característicos para el desarrollo de caída de presión.

La función característica viene dada por regresiones lineales múltiples en un conjunto de valores para un filtro limpio. También se podría hacer usando un polinomio, pero para garantizar un 100 % de ajuste a los datos, se elige este método.

Los valores de flujo se dan como un porcentaje de Q_{nominal} (flujo nominal para el filtro, por ejemplo 3.400 m3/h).

$$Q = \begin{bmatrix} q_1 \\ \vdots \\ q_n \end{bmatrix}$$

(ecuación 6)

$$P = \begin{bmatrix} p_1 \\ \vdots \\ p_n \end{bmatrix}$$

(ecuación 7)

$$P(q) = \begin{cases} k_j * q + m_j, & Q_j < q < Q_{j+1} \\ k_n * q + m_n, & q > Q_n \end{cases}$$

(ecuación 8)

$n = \text{longitud de } Q = \text{longitud de } P$

$$k_j = \frac{P_{j+1} - P_j}{Q_{j+1} - Q_j} \quad 1 < j < n - 1$$

(ecuación 9)

$$k_j = \frac{P_n - P_{n-1}}{Q_n - Q_{n-1}} \quad j = n$$

(ecuación 10)

$$m_j = k * Q_j - P_j \quad \text{(ecuación 11)}$$

La figura 2 es un gráfico de curvas de filtro características para un filtro limpio y las curvas características escaladas para filtros utilizados en diferentes extensiones.

5 Los valores de la función característica se dan para un filtro limpio, pero los valores de presión se escalan de manera que el valor de flujo del 100 % da el valor del valor actual considerado como caída de presión máxima.

$$escala = \frac{P(100)}{valores_max [i]} \quad \text{(ecuación 12)}$$

$$10 P_{escalado} = escala * P \quad \text{(ecuación 13)}$$

Para determinar el caudal Q[i] de M[i], la caída de presión medida, M[i] p y valores_max[i] se utilizan junto con los valores característicos.

15 Para determinar el caudal Q[i], en lugar de mirar a la presión como una función de flujo de P(Q), la relación de P y Q se invierte para observar el flujo como una función de la presión Q(p). Se puede escribir como Q(M[i]p).

$$Q[i] = \begin{cases} k_j * M[i]_p + m_j, & P_{escalado_j} < M[i]_p < P_{escalado_{j+1}} \\ k_n * M[i]_p + m_n, & M[i]_p > P_{escalado_n} \end{cases} \quad \text{(ecuación 14)}$$

20 n = longitud de Q = longitud de P_escalado

$$k_j = \frac{Q_{j+1} - Q_j}{P_{escalado_{j+1}} - P_{escalado_j}} \Bigg\} 1 < j < n - 1 \quad \text{(ecuación 15)}$$

$$25 k_j = \frac{Q_n - Q_{n-1}}{P_{escalado_n} - P_{escalado_{n-1}}} \Bigg\} j = n \quad \text{(ecuación 16)}$$

$$m_j = k * P_{escalado_i} - Q_i \quad \text{(ecuación 17)}$$

30 Procedimiento completo como una expresión

$$Q[i] = \begin{cases} \frac{Q_{j+1} - Q_j}{P_{escalado_{j+1}} - P_{escalado_j}} * M[i]_p + Q_j - \frac{Q_{j+1} - Q_j}{P_{escalado_{j+1}} - P_{escalado_j}} * P_{escalado_j}, & P_{escalado_j} < M[i]_p < P_{escalado_{j+1}} \\ \frac{Q_n - Q_{n-1}}{P_{escalado_n} - P_{escalado_{n-1}}} * M[i]_p + Q_n - \frac{Q_n - Q_{n-1}}{P_{escalado_n} - P_{escalado_{n-1}}} * P_{escalado_n}, & M[i]_p > P_{escalado_n} \end{cases} \quad \text{(ecuación 18)}$$

35 La Tabla 1 a continuación proporciona un ejemplo de caídas de presión y flujos de aire, en la que los flujos de aire se expresan en % del flujo de aire nominal

Tabla 1. Datos de ejemplo para función característica

Caída de presión (Pa)	Q (% del nominal)
1	1
20	25
40	50
65	75
90	100
125	125

La figura 3 es un gráfico de una curva de filtro a escala que ilustra el flujo de aire Q(p) en función de la caída de presión sobre el filtro.

- 5 Con un filtro limpio, 90 Pa se supone que es la caída de presión en el flujo de 100 %. Cuando el filtro está funcionando, se rellena con partículas atrapadas, lo que hace que la caída de presión aumente. La caída de presión considerada como el 100 % está cambiando y los otros valores para la función característica se ajustan para ajustarse a la misma.
 Flujo nominal: 3400 m3/h
 10 Nueva caída de presión máxima (valores_max[i]): 143 Pa
 Caída de presión para calcular el flujo para (M[i]p): 66 Pa
 Factor de escala: 143 / 90 = 1,588889

Los valores escalados de la Tabla 1 se ilustran en la Tabla 2 a continuación.

15

Tabla 2. Valores escalados para la función característica

Caída de presión (Pa)	Q (% del flujo máximo)	j
1,588889	0	1
31,77778	25	2
63,55556	50	3
103,2778	75	4
143	100	5
198,6111	125	6

La figura 4 es un gráfico de una curva de filtro característica a escala que ilustra el flujo de aire Q(p) en función de la caída de presión sobre el filtro.

20

$$63,55556 < 66 < 103,2778 \rightarrow j = 3 \quad \text{(ecuación 19)}$$

$$k = \frac{75 - 50}{103,2778 - 63,55556} \approx 0,6294 \quad \text{(ecuación 20)}$$

25

$$m = 50 - 0,6294 * 63,55556 \approx 10 \quad \text{(ecuación 21)}$$

$$Q(66) = 0,6294 * 66 + 10 \approx 51,5 \quad \text{(ecuación 22)}$$

30

La escala Q(p) da el flujo del 51,5 % del caudal nominal, que si el flujo nominal es de 3400 m3/h se calcula como 1734 m3/h.

Cada valor de caída de presión medida y 6 meses hacia adelante de los valores de caída de presión predichos se utilizan para calcular un LCC normalizado de un año para el intervalo de interruptor hasta ese punto. Para los valores de presión predichos, se usa un valor medio de Q.

35

$$E[i] = \frac{\text{Corriente } Q * M[i]_p * (M[i + 1]_t - M[i]_t)}{1000 * \eta}$$

$$i \leq \text{pred}_{\text{inicio indice}} \rightarrow \text{Corriente } Q = Q[i]$$

$$i > \text{pred}_{\text{inicio indice}} \rightarrow \text{Corriente } Q = \bar{Q} \quad \text{(ecuación 23)}$$

La ecuación 23 proporciona el coste de energía para el período de tiempo de M[i]t a M[i+1]t

40

$$\text{Energía}_{\text{coste_anual}} [i] = \sum_{k=0}^i E[k] * \frac{(8760 * 3600)}{M[i]_t} * \text{Precio}_{kW h} \quad \text{(ecuación 24)}$$

La ecuación 24 proporciona el consumo de energía anual total para el intervalo de conmutación M[i]t

$$Filtro_{coste_anual} [i] = Precio_{filtro} * \frac{(8760 * 3600)}{M[i]_t} \quad \text{(ecuación 25)}$$

La ecuación 25 proporciona el coste anual total para filtros para el intervalo de cambio $M[i]_t$.

5

$$Tot_{coste_anual} [i] = Energia_{coste_anual} [i] + Filtro_{coste_anual} [i] \quad \text{(ecuación 26)}$$

La ecuación 26 proporciona el coste anual total para la instalación para el intervalo de conmutación $M[i]_t$.

10 El Tot_{coste_anual} se calcula con la ecuación 26 y se identifica a continuación, el coste mínimo $Tot_{coste_anual} [índice_de_min]$, y a partir del mismo el intervalo óptimo de cambio $M[índice_de_min]$.

15 Se reconoce que, en los cálculos anteriores, la eficiencia del ventilador está todavía establecida como un valor fijo, pero en el mundo real varía debido a los diferentes flujos. Para mejorar la precisión del algoritmo, esto podría calcularse para cada punto de medición agregando una hoja de especificaciones del equipo en uso o agregando un vatímetro al ventilador.

REIVINDICACIONES

1. Un método de determinación de un ciclo de vida óptimo de un filtro entre reemplazos de un filtro (10) en un sistema de ventilación (1), que comprende realizar las siguientes etapas en un dispositivo de procesamiento:

5 recibir al menos un valor de hardware del filtro (C_{filtro}), que representa una cantidad de un recurso asociado con al menos la producción del filtro,
 recibir al menos un valor de uso del filtro (C_{uso}), que representa una cantidad o tasa de dicho recurso asociado al uso del filtro,
 10 recibir una pluralidad de puntos de datos medidos ($M[i]$), cada uno representando una caída de presión medida ($M[i]_p$) sobre el filtro en un momento respectivo ($M[i]_t$), y
 determinar el ciclo de vida óptimo del filtro minimizando un consumo total de recursos del filtro compuesto por:

15 un primer factor ($\text{Filtro}_{\text{coste_anual}}[i]$), según el cual el consumo de recursos es inversamente proporcional al ciclo de vida del filtro,
 un segundo factor ($\text{Energía}_{\text{coste_anual}}[i]$), según el cual el consumo de recursos es directamente proporcional al ciclo de vida del filtro,
 proporcionar una pluralidad de puntos de datos predichos, cada uno representando una caída de presión pronosticada sobre el filtro en un punto futuro respectivo en el tiempo, **caracterizado por** agrupar puntos de
 20 datos medidos sucesivos ($M[i]$) en ventanas (W), comprendiendo cada ventana (W) al menos uno de los puntos de datos medidos ($M[i]$),
 para cada ventana (W)
 identificar una caída de presión máxima, y
 asignar la caída de presión máxima identificada como una caída de presión máxima ($\text{valores_max}[i]$) para
 25 todos los puntos de datos medidos ($M[i]$) de esa ventana;
 para cada punto de datos medido ($M[i]$)
 estimar un flujo de aire ($Q[i]$) basado en la caída de presión máxima ($\text{valores_max}[i]$) y la caída de presión medida ($M[i]_p$) del punto de datos medido respectivo ($M[i]$), y
 derivar el segundo factor ($\text{Energía}_{\text{coste_anual}}[i]$) basado en el valor de uso del filtro (C_{uso}), los puntos de datos
 30 medidos ($M[i]$), los puntos de datos predichos y los flujos de aire estimados ($Q[i]$).

2. El método según la reivindicación 1, en el que proporcionar una pluralidad de puntos de datos predichos comprende calcular una caída de presión predicha respectiva a través de la fórmula $P(t) = \text{inicio}_{Pa} * e^{bt}$, en la que
 35 inicio_{Pa} es una caída de presión inicial de la predicción, seleccionada de las caídas de presión medidas ($M[i]_p$) de los puntos de datos medidos ($M[i]$), b es un coeficiente ambiental y t es el tiempo desde el momento en que se mide la caída de presión inicial (inicio_{Pa}) hasta el momento en el que se predice la caída de presión, en donde
 preferiblemente, la caída de presión inicial (inicio_{Pa}) es un valor derivado basado en la caída de presión medida del último punto de datos medido disponible; o
 40 preferiblemente, la caída de presión inicial (inicio_{Pa}) es un valor derivado de la caída de presión máxima del último punto de datos medido disponible o la última ventana disponible.

3. El método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que cada ventana (W) comprende al menos dos, preferiblemente al menos tres o cuatro, puntos de datos medidos ($M[i]$).

45 4. El método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las ventanas comprenden un número predeterminado o dinámico de puntos de datos medidos ($M[i]$).

50 5. El método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la caída de presión máxima para cada ventana (W) se determina con respecto a un valor promedio de las caídas de presión medidas ($M[i]_p$) de al menos algunos de los puntos de datos medidos ($M[i]$) de la ventana, o
 en el que la caída de presión máxima para cada ventana (W) se determina con respecto a una caída de presión medida ($M[i]_p$) y/o una caída de presión máxima de al menos una ventana anterior.

55 6. El método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la estimación del flujo de aire para cada punto de datos medido ($M[i]$) comprende
 derivar el flujo de aire estimado ($Q[i]$) de cada punto de datos medido ($M[i]$) basado en una caída de presión medida ($M[i]_p$) de ese punto de datos medido y una función característica del filtro,
 en donde la función característica describe el flujo de aire (Q) en función de la caída de presión (P) para el filtro.

60 7. El método según la reivindicación 6, en el que la estimación del flujo de aire para cada punto de datos medido ($M[i]$) comprende
 proporcionar un factor de escala basado en la caída de presión máxima ($\text{valores_max}[i]$) y la caída de presión medida ($M[i]_p$) de los puntos de datos medidos ($M[i]$), y
 usar el factor de escala para ajustar una función característica del filtro cuando está limpio.

8. El método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además predecir el flujo de

aire para al menos uno, preferiblemente algunos, de los puntos de datos predichos.

5 9. El método según la reivindicación 8, en el que el flujo de aire previsto de los puntos de datos predichos es un valor fijo derivado basado en los flujos de aire estimados (Q[i]) para al menos algunos de los puntos de datos medidos (M[i]) o en el que el flujo de aire predicho de los puntos de datos predichos es un valor respectivo derivado basado en al menos uno, preferiblemente algunos, de los puntos de datos predichos.

10 10. El método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el segundo factor (Energía_{coste_anual}[i]) se deriva en función del flujo de aire estimado (Q[i]) de cada punto de datos medido (M[i]) y/o el flujo de aire previsto para los puntos de datos predichos, o en el que el segundo factor (Energía_{coste_anual}[i]) se calcula como la suma de los consumos de recursos de cada intervalo (M[i+1]_t-M[i]_t) entre los puntos de datos medidos (M[i]).

15 11. El método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el primer factor (Filtro_{coste_anual}[i]) se determina como un producto del valor de hardware del filtro (C_{filtro}), un inverso del tiempo (M[i]_t) y opcionalmente una o más constantes.

20 12. El método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el segundo factor (Energía_{coste_anual}[i]) se determina como una suma de productos del valor de uso del filtro (C_{uso}), un flujo de aire (Q[i]), una caída de presión (M[i]_p), un intervalo de tiempo (M[i+1]_t-M[i]_t), un inverso de la eficiencia del ventilador (η), un inverso de un tiempo (M[i]_t), y opcionalmente una o más constantes.

25 13. El método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el segundo factor (Energía_{coste_anual}[i]) se determina de acuerdo con la fórmula

$$Energía_{coste_anual}[i] = \sum_{k=0}^i E[k] * \frac{(8760 * 3600)}{M[i]_t} * Precio_{kWh}$$

30 en la que Precio_{kWh} es el coste de energía por kilovatio hora, M[i]_t es el punto en el tiempo respectivo y

$$E[i] = \frac{CorrienteQ * M[i]_p * (M[i + 1]_t - M[i]_t)}{1000 * \eta}$$

$$i \leq pred_{inicio\ indice} \rightarrow CorrienteQ = Q[i]$$

$$i > pred_{inicio\ indice} \rightarrow CorrienteQ = \bar{Q}$$

35 en donde M[i]_p es la caída de presión, M[i+1]_t-M[i]_t es el intervalo de tiempo entre puntos de datos medidos M[i+1] y M[i], η es la eficiencia del ventilador y CorrienteQ es el flujo de aire estimado (Q[i]) del punto de datos medido (M[i]) o el promedio de al menos algunos de los flujos de aire estimados (Q[i]).

40 14. El método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el ciclo de vida óptimo se determina minimizando la fórmula

$$Tot_{coste_anual}[i] = Energía_{coste_anual}[i] + Filtro_{coste_anual}[i]$$

con respecto al tiempo (M[i]_t).

45 15. Un sistema para monitorizar un filtro (10) en un sistema de ventilación (1), que comprende:

- medios para recibir un valor de hardware del filtro, que representa una cantidad de un recurso asociado al menos a la producción del filtro,
- medios para recibir un valor de uso del filtro, que representa una cantidad de dicho recurso asociado con el uso del filtro,
- 50 medios de medición (12a, 12b) para medir una caída de presión sobre el filtro durante el uso del sistema de ventilación (1), y
- medios de procesamiento (30) para determinar un ciclo de vida óptimo del filtro de acuerdo con el método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

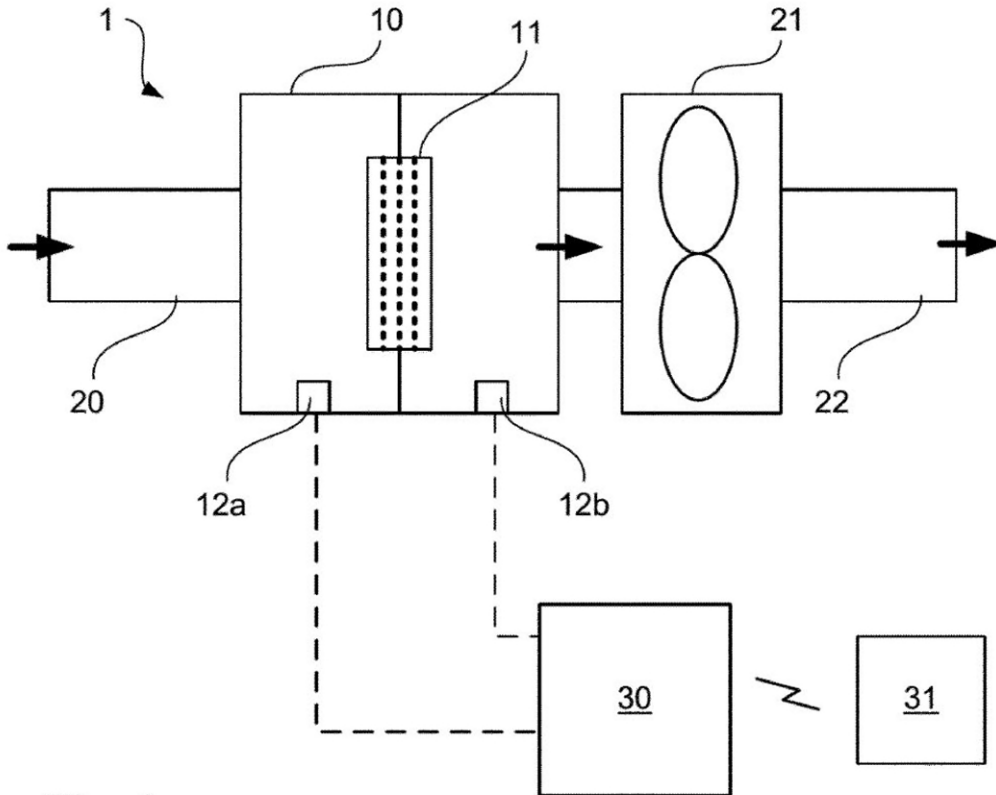


Fig 1

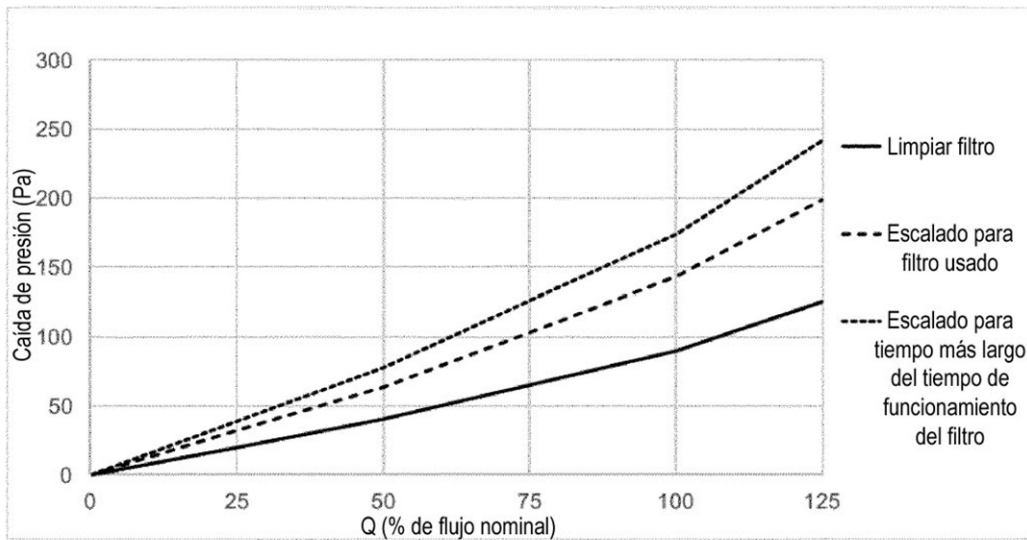


Fig 2

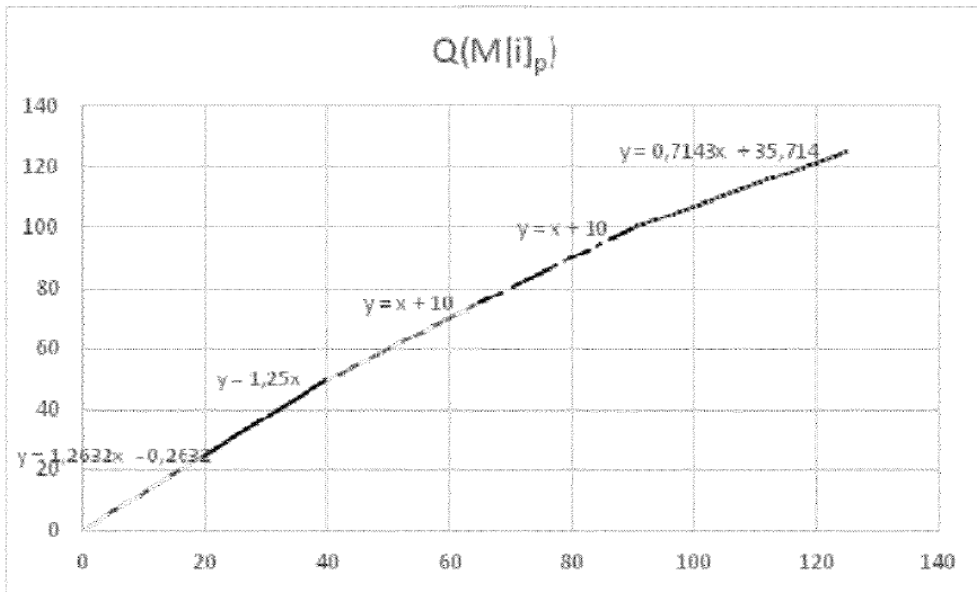


Fig 3

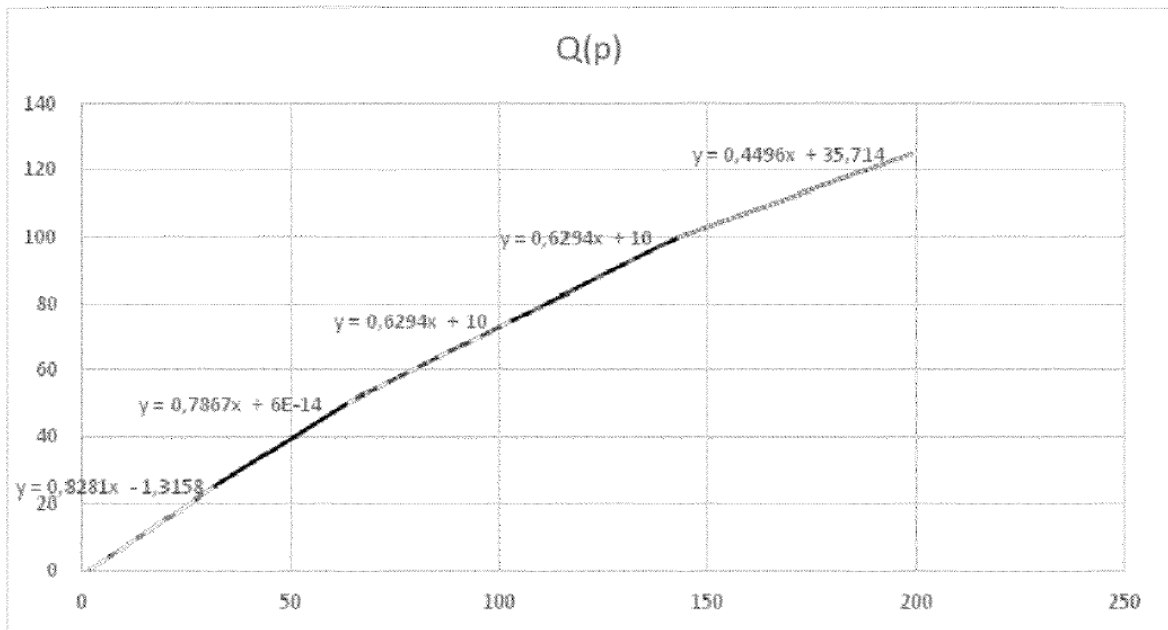


Fig 4

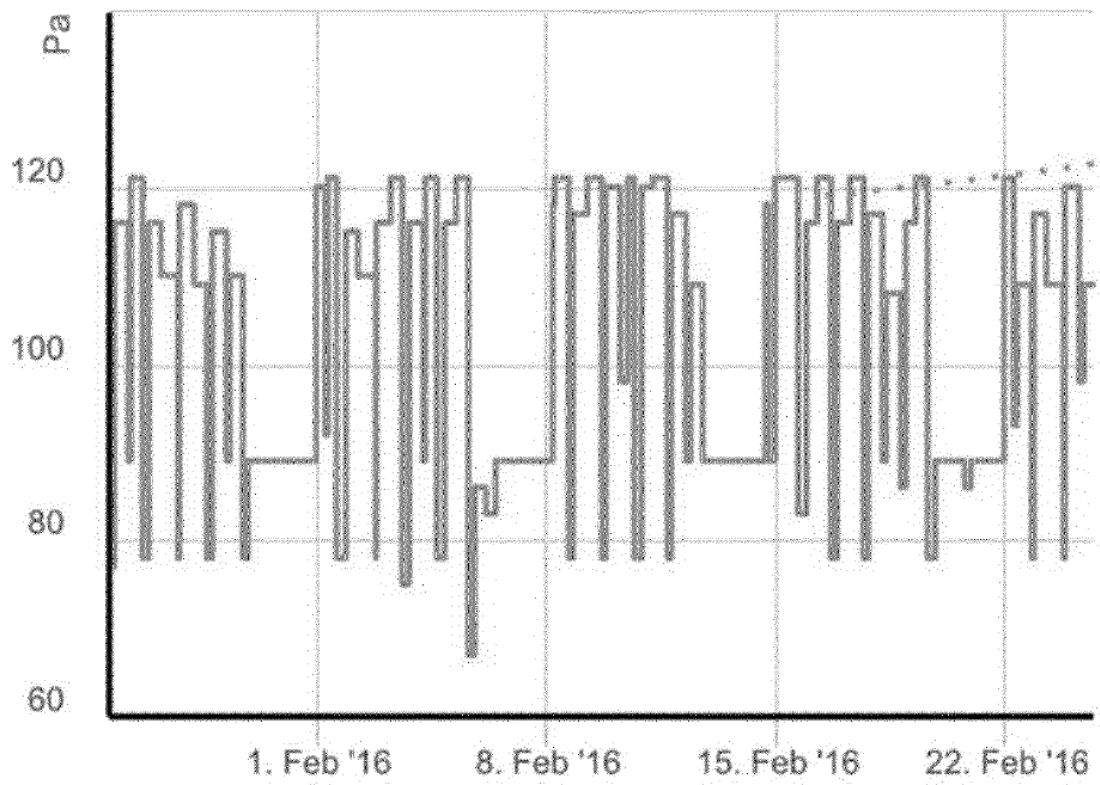


Fig 5