

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 537 934**

51 Int. Cl.:

G01M 3/04 (2006.01)

F22B 37/42 (2006.01)

G01M 3/22 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.02.1999 E 99906902 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.04.2015 EP 1068502**

54 Título: **Procedimientos y aparato para supervisión de equipos de procesado de agua**

30 Prioridad:

31.03.1998 US 52031

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

15.06.2015

73 Titular/es:

**BETZDEARBORN INC (100.0%)
4636 SOMERTON ROAD, P.O. BOX 3002
TREVOSE, PA 19053-6783, US**

72 Inventor/es:

**CHEN, HAIWEN;
HONG, KE y
GUNTHER, JOHN, C.**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 537 934 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

Procedimientos y aparato para supervisión de equipos de procesado de agua

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a procedimientos y sistemas para supervisar el equipo de procesado de aguas industriales. Más particularmente, la invención se refiere a la detección de fugas en el equipo de procesado de agua tales como calderas de recuperación de licor negro.

Antecedentes de la invención

10 Una caldera es un aparato en el que se añade agua o algún otro líquido acuoso de control de temperatura al cual se añade agua de relleno y del cual se retira la purga y se vaporiza para dar lugar a un vapor por medio de la aplicación de calor desde un horno o sistema de procesado de generación de calor. En la mayoría de los casos, el líquido de control de temperatura se pone en contacto estrecho e indirecto con el sistema de procesado para facilitar la transferencia de calor. La fuga en la caldera puede tener como resultado no solo la contaminación y obstrucción del líquido de control de temperatura y el sistema de procesado, sino también reacciones físicas no deseadas. Esto resulta particularmente cierto para las calderas de recuperación de licor negro usadas en muchas fábricas de papel.

15 En las calderas de recuperación de licor negro, la fuga o escape del líquido acuoso de control de temperatura procedente del denominado "lado de agua" de la caldera hacia el "lado de llama" altamente cáustico, puede tener como resultado explosiones violentas.

20 La técnica anterior proporciona numerosas técnicas para supervisión y control de fugas en las calderas de recuperación de licores negros y otros sistemas de caldera. Estos procedimientos usan diversas técnicas, de manera más particular dos clases de procedimientos de balance de masas, agente trazador químico y balances de masas de agua. Por ejemplo, la patente de EE.UU. Nº. 5.363.693; Nevruz, muestra procedimientos y un aparato para detectar fugas procedentes de sistemas de calderas de recuperación usando un balance de masas de flujos de agua de entrada y salida de la caldera. Posteriormente el procedimiento calcula los parámetros estadísticos a corto y largo plazo para el balance de flujo másico en el colector de vapor. A partir de estos cálculos, se calcula una función

25 de ensayo-t para comprobar si la media móvil a largo plazo y corto plazo de los balances de colector de vapor es significativamente diferente, lo que a su vez indica si se está produciendo fuga alguna en la caldera. Aunque los sistemas de detección de fugas de balance de masas de agua pueden resultar eficaces, como se describe en la patente de EE.UU. 5.663.489 (Thungstromy col.), generalmente son menos sensibles que los sistemas de trazador químico y no discriminan entre fugas en las partes crítica y no crítica de la caldera.

30 La patente de EE.UU. Nº 5.320.967 (Avallone y col.) es un ejemplo de otro procedimiento de balance de masas, concretamente los trazadores químicos. Avallone divulga un procedimiento de detección de fugas del sistema de caldera que implica introducir un trazador inerte en una proporción uniforme y conocida en el agua de alimentación, detectar una característica del trazador en la caldera en estado estacionario, convertir la característica detectada en un valor equivalente a la concentración del trazador en el líquido de control de temperatura, y activar una señal

35 cuando exista excesiva varianza en la concentración del trazador. No obstante, el procedimiento divulgado por Avallone y col. está limitado por su requisito de que el trazador se detecte (se perciba) cuando la caldera se encuentre en estado estacionario, lo cual se dice que ocurre únicamente cuando no existe cambio significativo en ninguno de los cinco parámetros de procedimiento: la concentración del trazador en la caldera; la tasa de purga; la tasa de agua de alimentación; la tasa de alimentación del trazador en la caldera; y la tasa de vapor en ausencia de fuga en la caldera.

40

45 La patente de EE.UU. Nº 5.565.619, Thungstrom y col., muestra procedimientos y un aparato para supervisar las fugas de calderas. Los procedimientos utilizan un compuesto de trazador que se añade al agua de caldera a una tasa que es proporcional a la tasa de agua de purga. La concentración esperada del trazador que abandona la caldera se calcula utilizando variables que no son de condición de equilibrio y se compara con la concentración real del trazador en la purga. Si existe una diferencia estadísticamente significativa entre las concentraciones real y esperada, se indica una condición de fuga.

50 Aunque este procedimiento de trazador químico es una mejora con respecto a Avallone ya que la caldera no necesita estar en un estado estacionario con el fin de detectar fugas, se han descubierto dos cuestiones relacionadas con este procedimiento. En primer lugar, este procedimiento asume que la masa de agua de la caldera es constante a medida que se producen cambios en la carga de vapor. Con fugas muy pequeñas, los cambios en la masa de agua de la caldera con cambios en la carga pueden conducir a falsas alarmas debido a cambios en la concentración de trazador. En segundo lugar, resulta difícil aplicar procedimientos estadísticos al rendimiento del procedimiento.

55 Por consiguiente, sigue siendo necesario en la técnica un sistema de detección de fugas basado en el trazador químico que no asuma que la masa de agua de la caldera sea constante y que pueda operar con controlador automático de nivel de agua. Además, es necesario un sistema de detección de fugas basado en trazador químico cuyo rendimiento se puede usar con procedimientos estadísticos.

Sumario de la invención

La presente invención proporciona procedimientos y sistemas para la detección de fugas en calderas a las cuales se añade un líquido de control de temperatura y de las cuales se retira un líquido, estando los procedimientos y sistemas de acuerdo con las reivindicaciones adjuntas del presente documento.

- 5 Por medio de la determinación del cambio en la tasa de complemento de agua de alimentación y el cambio en la concentración del trazador químico en el agua de la caldera, se pueden combinar estos números con las mediciones de tasa, masa y concentración para determinar la parte que no se ha tenido en cuenta para la tasa de agua (es decir, fuga).

Breve descripción del dibujo

- 10 La Figura 1 adjunta es una representación esquemática de un sistema de control de caldera de acuerdo con la invención.

Descripción detallada de la invención

- 15 La presente invención proporciona procedimientos y sistemas para detectar una fuga en una caldera que tiene un mecanismo automático de control de nivel de líquido en el que un líquido de control de temperatura de la caldera se complementa con agua de alimentación y se retira en forma de purga que comprende las etapas de:

- a) medir una tasa de adición de un trazador químico a dicho líquido de control de temperatura en la caldera;
- b) medir la tasa de retirada de dicha purga a partir de la caldera; caracterizada porque el procedimiento además comprende
- c) medir una concentración del trazador químico en dicho líquido de control de temperatura en la caldera;
- 20 d) medir una tasa de complemento de agua de alimentación al líquido de control de temperatura en la caldera;
- e) determinar el cambio en la tasa de dicho complemento de agua de alimentación con respecto al líquido de control de temperatura en la caldera tomando la derivada de dicho complemento de agua de alimentación con respecto al tiempo;
- f) determinar la masa de dicho líquido de control de temperatura en la caldera;
- 25 g) determinar el cambio de la concentración de dicho trazador químico en dicho líquido de control de temperatura en la caldera tomando la derivada de dicha concentración de trazador químico con respecto a tiempo;
- h) determinar la parte perdida de las tasas de agua usando la fórmula siguiente:

$$LK = a * \frac{ChFd}{Ch} - BD - b * \frac{d(FW)}{dt} - M * \frac{d(\ln(Ch))}{dt}$$

donde:

- 30 LK = parte perdida de la tasa de agua;
- a = una variable dependiente de la caldera;
- b = una variable dependiente de la caldera
- t = tiempo;
- ChFd = tasa de adición de un trazador químico a dicho líquido de control de temperatura en la caldera;
- 35 Ch = concentración de trazador químico en dicho líquido de control de temperatura en la caldera;
- BD = tasa con que dicha purga se retira de la caldera;
- FW = tasa de complemento de agua de alimentación con respecto al líquido de control de temperatura en la caldera; y
- M = masa de dicho líquido de control de temperatura en la caldera;
- 40 i) comparar dicha parte perdida para la tasa de agua frente a cero; e
- j) indicar la condición de fuga si dicha parte perdida para la tasa de agua es significativamente mayor que cero; en

el que

dichas tasas se determinan como peso por unidad de tiempo.

La presente invención también proporciona un sistema para detectar fugas en los sistemas de la caldera. El sistema de acuerdo con la presente invención comprende:

- 5 un medio para medir la tasa de adición de un trazador químico a dicho líquido de control de temperatura en la caldera;
- un medio para medir una concentración de trazador químico en dicho líquido de control de temperatura en la caldera;
- 10 un medio para medir una tasa de complemento de agua de alimentación al líquido de control de temperatura, caracterizado porque dicho sistema además comprende:
- un medio para medir una tasa de retirada de dicha purga a partir de la caldera;
- un medio para determinar el cambio de dicho complemento de agua de alimentación con respecto al líquido de control de temperatura en la caldera tomando la derivada de dicho complemento de agua de alimentación con respecto al tiempo;
- 15 un medio para determinar la masa de dicho líquido de control de temperatura en la caldera;
- un medio para determinar el cambio de concentración de dicho trazador químico en dicho líquido de control de temperatura en la caldera tomando la derivada de dicha concentración de trazador químico con respecto al tiempo;
- un medio para comparar dicha cantidad perdida para la tasa de agua con respecto a cero; y
- 20 un medio para indicar una condición de fuga si dicha cantidad perdida para la tasa de agua es significativamente mayor que cero; en el que
- dichas tasas se determinan en forma de peso por unidad de tiempo; y
- la cantidad perdida para las tasas de agua usando la fórmula siguiente:

$$LK = a * \frac{ChFd}{Ch} - BD - b * \frac{d(FW)}{dt} - M * \frac{d(\ln(Ch))}{dt}$$

donde:

- 25 LK = parte perdida de la tasa de agua;
- a = una variable dependiente de la caldera;
- b = una variable dependiente de la caldera
- t = tiempo;
- ChFd = tasa de adición de un trazador químico a dicho líquido de control de temperatura en la caldera;
- 30 Ch = concentración de trazador químico en dicho líquido de control de temperatura en la caldera;
- BD = tasa con que dicha purga se retira de la caldera;
- FW = tasa de complemento de agua de alimentación con respecto al líquido de control de temperatura en la caldera; y
- M = masa de dicho líquido de control de temperatura en la caldera;
- 35 Los procedimientos y sistemas de la presente invención se pueden usar para supervisar prácticamente cualquier tipo de equipo al cual se añade líquido y a partir del cual se retira líquido. Preferentemente, los procedimientos y el aparato de la invención se usan para supervisar calderas, especialmente calderas de recuperación de licor negro. Las calderas representativas se divulgan por medio de las patentes de EE.UU. Nos. 3.447.895 (Nelson y col.), 4.462.319 (Larson) y 4.498.333 (Parthasarathy) y 4.502.322 (Tero).
- 40 La Figura 1 muestra un sistema de supervisión ejemplar de acuerdo con la invención, en el que un primer medio de contención ("lado de agua") o "caldera" 10 que contiene líquido 12 de control de temperatura está adyacente a y en comunicación térmica con un segundo medio 14 de contención ("lado de llama") que normalmente contiene vapores

calientes y un lecho de fundición en masa fundida. La caldera 10 está en comunicación de fluido con la tubería 18 de purga para la descarga de la purga hasta el puerto 20 de descarga y con la tubería 22 de vapor para la descarga de vapor hasta el medio 24 de condensación. Se controla la descarga de la purga a través de la actuación de la válvula 26 de purga, que se puede operar manualmente o bajo el control de un ordenador externo o algún otro medio de procesado (no mostrado). No resulta necesario que la válvula de purga se encuentre bajo el control del sistema de la invención. Entre la caldera 10 y la válvula 26, la tubería 18 de purga se encuentra en comunicación de fluido con el medio 34 de control para proporcionar información sobre el caudal de purga. Aguas abajo de la válvula 26, se desvía parte del flujo de purga hasta el medio 30 de enfriamiento para la toma de muestra y análisis. El medio 32 de medición, tal como un analizador continuo basado en espectroscopia UV/visible, está aguas abajo del medio 30 de control para proporcionar un medio para determinar la concentración de trazador en la purga. Los medios 32 y 34 de medición, a su vez, están en comunicación eléctrica con el medio 28 de procesado.

El monitor 34 de flujo de purga puede usar cualquier número de caudalímetros diseñados para el uso de líquido a temperatura elevada incluyendo medidores de placa de orificios, medidores de supresión de vórtice, medidores de boquilla de flujo, medidores venturi, medidores de indicador de tensión, medidores doppler (tiempo de tránsito), medidores de turbina, medidores de mag y dispositivos de tipo piloto. El medio 30 de enfriamiento puede ser cualquier número de enfriadores de muestra con suficiente agua de refrigeración que fluye a través de los mismos para rebajar la temperatura del agua de la muestra hasta un valor de temperatura ambiente. El medio 32 de medición seleccionado depende del trazador que se use. Por ejemplo, con un trazador de molibdato se pueden usar un analizador FPA 800 fabricado por Tytronics (Waltham, MA). Alternativamente, si se usa un fosfato como trazador combinado y sustancia química de tratamiento, se puede usar un analizador de fosfato de la Serie 5000 Hach (Loveland, CO).

La caldera 10 también se encuentra en comunicación de fluido con la fuente 36 de agua de alimentación por medio de la tubería 38 de alimentación. Como se muestra en la Figura 1, la tubería 38 de alimentación se encuentra en comunicación de fluido con la fuente 40 de trazador por medio de la tubería 42 de alimentación de sustancia química. Alternativamente, la fuente 40 de trazador está directamente acoplada con la caldera 10 por medio de la alimentación 44 de sustancia química. En cualquier realización, la cantidad absoluta de trazador añadido a la caldera 10 se controla y se registra gracias al medio 28 de procesado. La fuente 40 de trazador puede contener un trazador o una mezcla de trazador y otras sustancias químicas de tratamiento que se deben alimentar en la caldera. Aguas abajo de la fuente 40 de trazador, un aparato 46 de medición de flujo ("conjunto de purga") proporciona una medición precisa y un control del flujo de trazador que se inyecta en la tubería 38 de agua de alimentación por medio de una bomba 48 accionada por medios eléctricos. Tanto el conjunto 46 como la bomba 48 están en comunicación eléctrica con el medio 28 de procesado. El conjunto 46 de purga proporciona una señal de retroalimentación al medio 28 de procesado que, a su vez, controla la tasa de bombeo de la bomba 48 para garantizar una alimentación verificada de las sustancias químicas a las tuberías 42 o 44 de alimentación. El medio 28 de procesado y el conjunto 46 de purga asociado preferentemente están contruidos de acuerdo con las consideraciones de la patente de EE.UU. N° 4.897.797, cedida al mismo cesionario que la presente invención.

Durante la operación normal, la adición controlada de agua de alimentación a la caldera 10 compensa la retirada de purga y vapor, y mantiene el volumen deseado de líquido 12 de control de temperatura dentro de la caldera 10. De acuerdo con la presente invención, el líquido de control de temperatura se complementa de forma adicional con una cantidad conocida de al menos un trazador. Los trazadores de acuerdo con la invención son compuestos orgánicos y/o inorgánicos que son solubles en el agua de alimentación, líquido de control de temperatura y purga en las condiciones de operación encontradas. Los trazadores deberían ser térmicamente estables y no volátiles. En determinadas realizaciones, el trazador seleccionado es un tratamiento químico reactivo añadido a la caldera para, por ejemplo, controlar la corrosión o la deposición de incrustaciones. En otras realizaciones, el trazador es sustancialmente no reactivo con (es decir, inerte frente) el agua de alimentación, el líquido de control de temperatura, la purga y las superficies de contacto del equipo de procedimiento. Es preferible que el agua de alimentación introducida en el equipo de procedimiento aguas arriba de la inyección del trazador esté sustancialmente libre de trazador, es decir, que contenga menos de aproximadamente 0,002 ppm del trazador y/o que tenga una concentración de trazador menor de aproximadamente uno por ciento de la concentración de trazador del líquido de control de temperatura.

Los trazadores de acuerdo con la invención poseen al menos una propiedad física que permite su detección en muestras de la purga. Los trazadores preferidos absorben y/o emiten cantidades medibles de luz (o forman productos de reacción que absorben y/o emiten cantidades medibles de luz) en proporción a la cantidad de trazador presente. Preferentemente, los trazadores se detectan por medio de al menos una técnica analítica seleccionada entre electroquímica, espectrofotometría UV/visible o espectroscopia de emisión de fluorescencia. Los trazadores representativos incluyen los trazadores divulgados en las patentes de EE.UU. Nos. 4.783.314 (Hoots y col.), 4.966.711 (Hoots y col.), 5.041.386 (Pierce y col.), 5.200.106 (Hoots y col.), 5.304.800 (Hoots y col.) y 5.320.967 (Avallone y col.). Los trazadores preferidos son compuestos de metales de transición y de tratamiento químico que contienen fosfato y litio, incluyendo sales, iones, oxi-aniones, cationes y complejos de metales que pertenecen al Grupo VIII de la Tabla Periódica. Se prefieren particularmente los compuestos que contienen molibdeno, incluyendo las sales de molibdeno tales como molibdato de sodio.

5 Se pueden añadir los trazadores al líquido de control de temperatura en cualquier número de formas. Por ejemplo, se pueden añadir soluciones que contienen trazadores directamente al líquido de control de temperatura, se pueden pre-mezclar con el agua de alimentación que se añade al líquido de control de temperatura, o se pueden pre-mezclar con sustancias químicas de tratamiento y posteriormente se pueden añadir al agua de alimentación. En general, la cantidad de trazador añadido debería ser suficiente para establecer una concentración de trazador de aproximadamente 0,2 a aproximadamente 20 ppm en el líquido de control de temperatura y, además, en la purga.

10 Una consecuencia natural de la generación de vapor en la caldera es una concentración de componentes no volátiles entrantes. Para controlar este efecto de "ciclado", normalmente se retiran uno o más volúmenes de líquido de control de temperatura relativamente concentrado de la caldera en forma de purga y se añaden los volúmenes correspondientes de agua de alimentación relativamente diluida. De acuerdo con la presente invención, la purga bien se somete a toma de muestra a intervalos regulares o irregulares conocidos o bien se evalúa de forma continua para determinar la concentración medida de trazador presente en la misma. Esta determinación se puede llevar a cabo, por ejemplo, por medio de comparación directa o indirecta de la cantidad de luz absorbida o emitida por la purga con la cantidad de luz absorbida o emitida por las soluciones patrón que contienen concentraciones conocidas de trazador y otros solutos encontrados en la purga. Alternativamente, la purga se mezcla con un reactivo que reacciona con el trazador e imparte un color a la purga en proporción a su concentración de trazador. La concentración de trazador se puede determinar por medio de comparación del color con el color de una o más soluciones patrón preparadas por medio de mezcla de soluciones que contienen concentraciones conocidas del trazador con el reactivo.

20 Los procedimientos anteriores de balance de masas químico que emplean trazadores químicos para la detección de fugas presentan diversas limitaciones. Solamente comparan la concentración química calculada en la caldera y la lectura de corriente real. Cuando tiene lugar una fuga, la lectura de concentración real disminuye gradualmente hasta que alcanza un límite predeterminado que activa la alarma de fuga. El tiempo necesario para este procedimiento es bastante prolongado (6 horas o más).

25 Otra cuestión son las falsas alarmas provocadas por cambios en las condiciones del sistema de caldera. Si la caldera no se encuentra en operación en condiciones estables tales como las existentes durante los arranques, oscilaciones de carga y similares, la masa de agua de caldera cambiará, provocando que la concentración química de trazador sea diferente del valor calculado, y generando una falsa alarma. Estos efectos durarán un determinado período de tiempo antes poder reanudar la detección de fugas durante el funcionamiento normal.

30 Además, los procedimientos previos de balances de masas químico no permiten el cálculo del tamaño de fuga.

La ecuación fundamental del balance de masas químico es:

$$\frac{d(M * Ch)}{dt} = ChFd - (BD + LK) * Ch \quad (1)$$

donde

M = masa de agua de la caldera

35 Ch = concentración de trazador químico en la caldera

ChFd = tasa de alimentación del trazador químico

BD = tasa de purga

LK = cantidad perdida para la tasa de agua

t = tiempo

40 Tomando la derivada al lado izquierdo se obtiene:

$$\frac{dM}{dt} * Ch + M * \frac{d(Ch)}{dt} = ChFd - (BD + LK) * Ch \quad (1')$$

45 En las calderas con mecanismos de control automático de nivel de colector de vapor (o nivel de líquido), se mantiene la siguiente relación entre masa de agua de la caldera (M) y tasa de entrada de agua de alimentación (FW):

$$\frac{dM}{dt} = b * \frac{d(FW)}{dt} \quad (2)$$

5 donde la unidad b es la unidad de tiempo y es un parámetro particular con respecto a la caldera individual. Se puede calcular b usando un ajuste de mínimos cuadrados en los datos históricos de la caldera, por ejemplo, en el valor de los datos de un mes.

Insertando la ecuación (2) en la ecuación (1') se obtiene:

$$b * \frac{d(FW)}{dt} * Ch + M * \frac{d(Ch)}{dt} = ChFd - (BD + LK) * Ch \quad (2')$$

10

o,

$$LK * Ch = ChFd - BD * Ch - b * \frac{d(FW)}{dt} * Ch - M * \frac{d(Ch)}{dt} \quad (3)$$

15 Dividiendo la ecuación (3) entre la concentración Ch de trazador químico, se obtiene:

$$LK = \frac{ChFd}{Ch} - BD - b * \frac{d(FW)}{dt} - M * \frac{d(\ln(Ch))}{dt} \quad (3')$$

20 En la práctica, con frecuencia existe un desajuste entre las mediciones de flujo químico de influente y efluente. Esto requiere la introducción de un factor "a" adimensional para equilibrar la entrada química y la salida química. De este modo, la ecuación (3) se convierten en:

$$LK = a * \frac{ChFd}{Ch} - BD - b * \frac{d(FW)}{dt} - M * \frac{d(\ln(Ch))}{dt} \quad (4)$$

25 donde a y b son parámetros que dependen de la caldera así como también la masa de agua de la caldera, M.

Se puede determinar el término a partiendo de la medición de la tasa de alimentación de trazador químico, la concentración de trazador químico y la tasa de purga en condiciones de ausencia de fuga, sin oscilaciones de carga y siendo la tasa de alimentación de trazador químico estable durante aproximadamente 12 a 48 horas. En estas condiciones, la ecuación (4) es:

$$0 = a * \frac{ChFd}{Ch} - BD$$

30

o

$$a = \frac{BD * Ch}{ChFd} \quad (5)$$

5 El término b es el tiempo de retardo entre el vapor y el agua de alimentación, que se puede calcular encontrando el tiempo de retardo para la correlación máxima entre vapor y agua de alimentación. Es preciso medir éstos en condiciones de ausencia de fuga y oscilación de carga suficiente (al menos bien un 50 % del valor nominal de vapor, o bien un 70 % de sus posibles condiciones normales de intervalo de oscilación).

10 El término M es el valor nominal de la masa de agua de la caldera. Se puede calcular M por medio de la introducción de una fuga con una tasa de fuga fija, LK, al tiempo que se mantiene la oscilación de carga de la caldera libre y se mantienen ChFD y BD constantes (lo cual se debería hacer una vez que se haya calculado el Término a). Como tal, la ecuación (4) se convierte en:

$$M * \frac{d(Ch)}{dt} = a * ChFd - (BD + LK) * Ch \quad (6)$$

La solución de Ch para la ecuación diferencial lineal de primer orden es:

15

$$Ch(t) = \alpha * \frac{\text{Exp}(-\frac{(BD + LK)}{M} * t)}{M} + a * \frac{ChFd}{(BD + LK)} \quad (7)$$

donde α se determina por medio de la condición inicial de la ecuación (6).

20 Posteriormente, se ajusta $Ch(t) - a * ChFd / (BD + LK)$ para una función exponencial, $\alpha * \text{Exp}(\beta * t)$. Comparando β y $-(BD + LK) / M$ se obtiene:

$$M = \frac{-(BD + LK)}{\beta} \quad (8)$$

25 Nótese que el término, $\ln(Ch(t) - a * ChFd / (BD + LK))$ se puede ajustar a una función lineal, $A * t + B$, entonces

$$M = -(BD + LK) / A \quad (8')$$

30 Nótese que $Ch(t)$ también se puede ajustar a una suma de una función exponencial y una constante, $\alpha * \text{Exp}(\beta * t) + \gamma$. A continuación, M se determina por medio de la Ecuación (8) pero también

$$a = \gamma \frac{(BD + LK)}{ChFd} \quad (9)$$

Adicionalmente, se puede simular la fuga aumentando la tasa de purga en una cantidad fija al tiempo que se mantiene ChFD sin modificación alguna y la oscilación de carga de la caldera libre una vez que la caldera ha alcanzado una condición estable.

5 En determinadas situaciones, se puede retirar también el trazador químico del vapor, así como también de la purga. Esto se puede considerar en los procedimientos de la presente invención y se puede incorporar en la ecuación (4) por medio de la adición de una tasa de retirada de vapor a la tasa de purga. Si existen flujos químicos múltiples de influente y/o efluente al interior/desde la caldera, el procedimiento se generaliza de manera obvia.

10 Durante el período inicial de muchos episodios de fuga, la concentración química en la purga con frecuencia varía muy poco en respuesta a la fuga, debido al tiempo característico prolongado del sistema de caldera, $M/(BD+LK)$. Para dichas fugas, el cambio inducido por la fuga en los términos no diferenciados de la ecuación de balance de masas químico será relativamente pequeño y, de este modo, la proporción de señal con respecto a ruido del indicador de fuga química vendrá dominada por lo bien que se pueda estimar la derivada de la concentración química total dentro del agua de la caldera, es decir, $d(M*Ch)/dt$. En tales condiciones, se puede re-escribir (4) como:

$$\begin{aligned} LK &\equiv -b * d(FW)/dt - M * d(\ln(Ch))/dt \\ &= d/dt (-b * FW - M * \ln(Ch)) \end{aligned}$$

En general, dada cualquier función tomada como muestra de forma discreta, $z(t)$ (en nuestro caso $z(t) = -b * FW - M * \ln(Ch)$), una forma común de estimar su derivada es usando diferencias hacia atrás:

$$z'(t) \cong (z_i - z_{i-1})/dt$$

20 En este caso, dt es el intervalo de tiempo entre las muestras. Aplicando quizás el filtro de datos más simple, la media móvil de igual ponderación, con respecto a la secuencia de dicha derivada estima:

$$\begin{aligned} \text{Estimación de Derivada}_i &= \text{Media Móvil } ((z_i - z_{i-1})/dt) \\ &= ((z_i - z_{i-1})/dt + (z_{i-1} - z_{i-2})/dt + \dots + (z_{i-(N-1)} - z_{i-N})/dt)/N \\ &= (z_i - z_{i-N})/(N*dt) \end{aligned}$$

25 Nótese que todos los valores de z_i en la suma excepto el primero y el último se cancelan. De este modo, si únicamente se usa una media móvil individual (filtración sencilla) de la primera estimación de derivada basada en la diferencia, únicamente se obtiene información procedente de los puntos primero y último en la pendiente de los inventores. Es decir, cualquier información descarta cualquier información acerca de que los puntos del medio pueden contener aproximadamente la pendiente. Esto contrasta con una estimación de la pendiente basada en un ajuste por mínimos cuadrados de la tendencia lineal con respecto a la secuencia original z_i , en la cual cada punto contribuye a determinar la pendiente.

No obstante, los inventores pueden mejorar esta situación si se produce la alimentación del rendimiento de secuencia procedente de esta primera media móvil en una segunda media móvil (filtración doble):

$$\begin{aligned} 35 \text{ Estimación Derivada Mejor}_i &= \text{Media Móvil (Media Móvil } ((z_i - z_{i-1})/dt)) = \\ &= \text{Media Móvil } ((z_i - z_{i-N})/(N*dt)) \\ &= ((z_i + z_{i-1} + \dots + z_{i-(N-1)})/N - (z_{i-N} + z_{i-N-1} + \dots + z_{i-N-(N-1)})/N)/(N*dt) \end{aligned}$$

40 Nótese que se puede interpretar la estadística anterior como la diferencia entre la media móvil de N puntos y la misma media móvil del punto N retardada por N puntos, dividida entre $N*dt$ (el tiempo entre los centros de estas dos ventanas de datos). Nótese también como, por medio del uso de filtración doble, todos los puntos de datos - no solo los dos puntos al comienzo y al final de la ventana de datos - contribuyen a, y de este modo ayudan a reducir la variabilidad de, la estimación de derivada de los inventores.

La estadística anterior es una aproximación bien conocida "fácil de calcular a mano" de la pendiente de la línea de

tendencia de "mejor ajuste" a todos los puntos de datos $2 \cdot N$. No obstante, la estimación de pendiente anterior, aunque resulte estadísticamente más eficaz, asumiendo los errores de ruido blanco sobre $z(t)$, no es tan eficaz como la estimación de pendiente producida por un ajuste real de mínimos cuadrados.

5 En la práctica, con frecuencia se usa una media móvil ponderada exponencialmente (EWMA) en lugar de una media móvil de igual ponderación, para los filtros de datos. Aunque el análisis resulta más complicado con EWMA, el mecanismo esencial a través del cual la filtración doble mejora las estimaciones de derivada - y además la detección de fugas - es el mismo. Además, se puede mostrar que el EWMA doble de una primera estimación de derivada basada en diferencias, en lugar de ser justo una aproximación de la estimación de pendiente de mínimos cuadrados, es una estimación de pendiente de mínimos cuadrados, y de este modo, cabría pensar, en una eficacia incluso mayor en la estimación de la pendiente. Los procedimientos anteriores fallaron a la hora de reconocer la importancia de dicha estimación de derivada eficaz para sacar la información sobre fugas contenida en los datos y, de este modo, aumentar la proporción de señal con respecto a ruido y mejorar los límites de detección de fugas. Se han observado aumentos en la proporción de señal con respecto a ruido de dos o más debidos al uso de esta técnica de filtración doble.

15

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para detectar una fuga en una caldera (10) que tiene un mecanismo automático de control de nivel de líquido en el que un líquido de control de temperatura (12) de la caldera se complementa con agua (36) de alimentación y se retira como purga (18) que comprende las etapas de:
- 5 a) medir (46) una tasa de adición de un trazador (40) químico a dicho líquido (12) de control de temperatura en la caldera (10);
- b) medir (32) la tasa a la cual se retira dicha purga de la caldera, **caracterizado porque** el procedimiento comprende:
- 10 c) medir (32) una concentración de trazador (40) químico en dicho líquido (12) de control de temperatura en la caldera;
- d) medir una tasa de complemento de agua (36) de alimentación al líquido de control de temperatura en la caldera (10);
- e) determinar el cambio en la tasa de dicho complemento de agua (36) de alimentación al líquido (12) de control de temperatura en la caldera (10) tomando la derivada de dicho complemento de agua de alimentación con respecto al tiempo;
- 15 f) determinar la masa de dicho líquido (12) de control de temperatura en la caldera (10);
- g) determinar el cambio de concentración de dicho trazador (40) químico en dicho líquido (12) de control de temperatura en la caldera (10) tomando la derivada de dicha concentración de trazador químico con respecto al tiempo;
- 20 h) determinar la cantidad perdida para las tasas de agua usando la fórmula siguiente:

$$LK = a * \frac{ChFd}{Ch} - BD - b * \frac{d(FW)}{dt} - M * \frac{d(\ln(Ch))}{dt}$$

donde:

- LK = cantidad perdida para la tasa de agua;
- a = una variable dependiente de la caldera;
- 25 b = una variable dependiente de la caldera;
- t = tiempo;
- ChFd = tasa de adición de un trazador químico a dicho líquido de control de temperatura en la caldera;
- Ch = concentración de trazador químico en dicho líquido de control de temperatura en la caldera;
- BD = tasa con la cual se retira dicha purga de la caldera;
- 30 FW = tasa de complemento de agua de alimentación al líquido de control de temperatura en la caldera; y
- M = masa de dicho líquido de control de temperatura en la caldera;
- i) comparar dicha cantidad perdida para la tasa de agua con cero; e
- j) indicar una condición de fuga si dicha cantidad perdida para la tasa de agua es significativamente mayor que cero; en el que
- 35 dichas tasas se determinan como peso por unidad de tiempo.
2. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que dicho líquido (12) de control de temperatura se retira de forma adicional como vapor.
3. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que dicha medición de las etapas (a), (c) y (d) es por medio de caudalímetros.
- 40 4. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que dichas determinaciones de las etapas (e) y (g) se llevan a cabo por ordenador (28).

5. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que dicha caldera (10) es una caldera de recuperación de licor negro.
6. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que dicho trazador (40) químico es un compuesto de metal de transición.
- 5 7. El procedimiento de la reivindicación 6, en el que dicho trazador (40) químico es un compuesto que contiene molibdeno.
8. El procedimiento de la reivindicación 7, en el que dicho trazador (40) químico es una sal de molibdeno.
9. El procedimiento de la reivindicación 8, en el que dicho trazador (40) químico es molibdato de sodio.
10. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que dicho trazador (40) químico es una sustancia química que contiene litio o fosfato.
- 10 11. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la variable a dependiente de la caldera se obtiene de acuerdo con la fórmula

$$a = BD * \frac{Ch}{ChFd}$$

- 15 12. Un sistema para detectar una fuga en una caldera (10) en el que se complementa un líquido de control de temperatura de la caldera con agua (36) de alimentación y se retira como purga (18) que comprende:
- un medio (46) para medir una tasa de adición de un trazador (40) químico a dicho líquido (12) de control de temperatura en la caldera;
- un medio (34) para medir una tasa con la cual se retira dicha purga de la caldera, **caracterizado porque** dicho sistema comprende además:
- 20 un medio (32) para medir una concentración de trazador (40) químico en dicho líquido (12) de control de temperatura en la caldera;
- un medio para medir una tasa de complemento de agua de alimentación al líquido (12) de control de temperatura en la caldera (10);
- 25 un medio para determinar el cambio en la tasa de dicho complemento de dicho agua (36) de alimentación al líquido (12) de control de temperatura en la caldera (10) tomando la derivada de dicho complemento de agua de alimentación con respecto al tiempo;
- un medio para determinar la masa de dicho líquido (12) de control de temperatura en la caldera (10);
- un medio para determinar el cambio de concentración de dicho trazador (40) químico en dicho líquido (12) de control de temperatura en la caldera (10) tomando la derivada de dicha concentración de trazador químico con respecto a
- 30 tiempo;
- un medio para comparar dicha cantidad perdida para la tasa de agua con cero; y
- un medio para indicar una condición de fuga si dicha cantidad perdida para la tasa de agua es significativamente mayor que cero; en el que
- dichas tasas se determinan como peso por unidad de tiempo; y
- 35 la cantidad perdida para las tasas de agua usando la fórmula siguiente:

$$LK = a * \frac{ChFd}{Ch} - BD - b * \frac{d(FW)}{dt} - M * \frac{d(\ln(Ch))}{dt}$$

donde:

- LK = cantidad perdida para la tasa de agua;
- a = una variable dependiente de la caldera;
- 40 b = una variable dependiente de la caldera;
- t = tiempo;

ES 2 537 934 T3

ChFd = tasa de adición de un trazador químico a dicho líquido de control de temperatura en la caldera;

Ch = concentración del trazador químico en dicho líquido de control de temperatura en la caldera;

BD = tasa con la cual se retira dicha purga de la caldera;

FW = tasa de complemento de agua de alimentación al líquido de control de temperatura en la caldera; y

5 M = masa de dicho líquido de control de temperatura en la caldera;

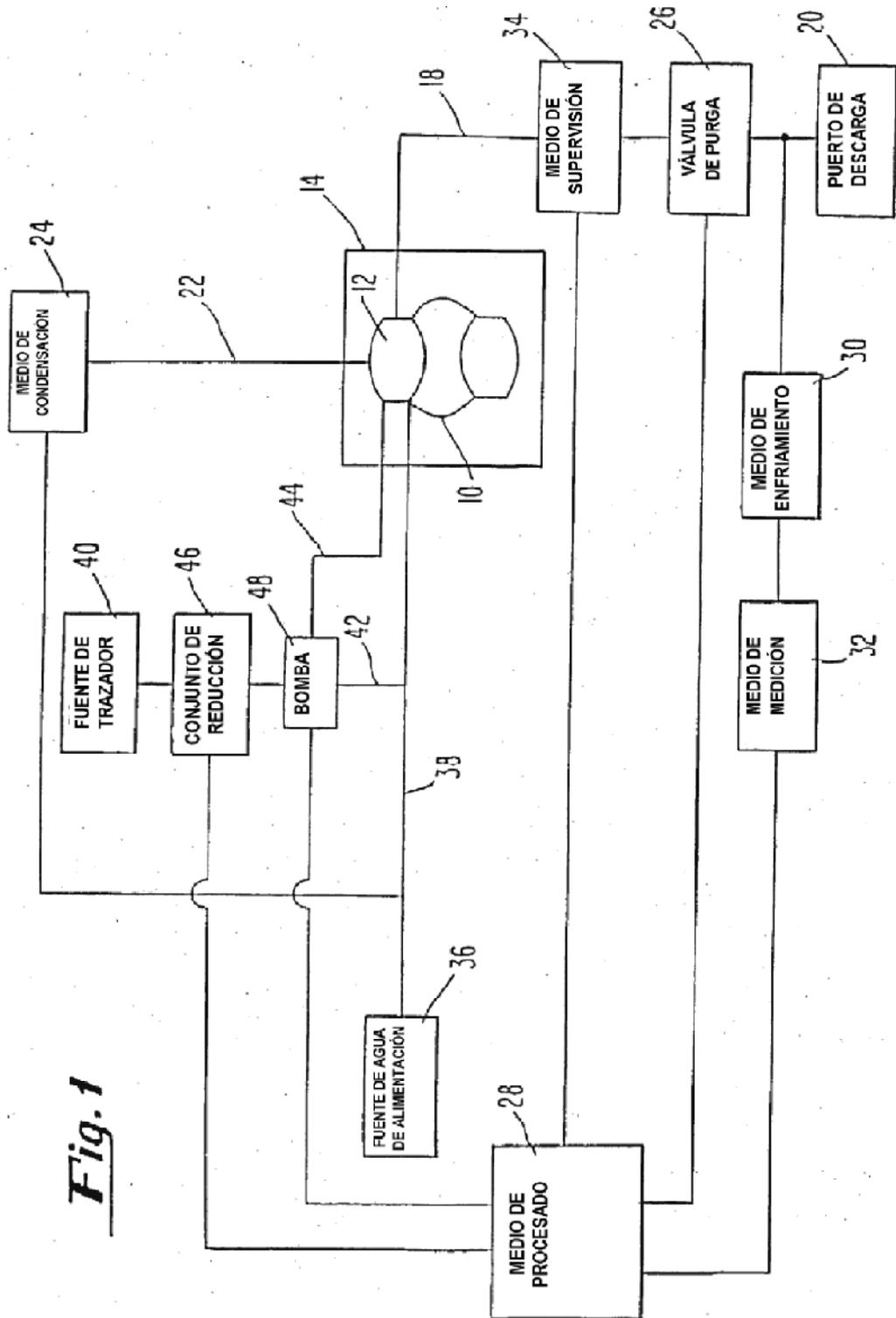


Fig. 1