



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 299 212**

51 Int. Cl.:
G01M 3/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **98935826 .2**

86 Fecha de presentación : **21.07.1998**

87 Número de publicación de la solicitud: **1017977**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **12.07.2000**

54 Título: **Procedimiento y aparato para controlar un equipo de tratamiento de agua.**

30 Prioridad: **26.09.1997 US 938419**
25.03.1998 US 47602

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.05.2008

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.05.2008

73 Titular/es: **GE Betz, Inc.**
4636 Somerton Road, P.O. Box 3002
Treose, Pennsylvania 19053-6783, US

72 Inventor/es: **Chen, Haiwen;**
Burgmayer, Paul, R. y
Hong, Ke

74 Agente: **Carpintero López, Francisco**

ES 2 299 212 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

Procedimiento y aparato para controlar un equipo de tratamiento de agua.

5 Campo de la invención

La presente invención se dirige a procedimientos y aparato para controlar equipos industriales de tratamiento de agua. Más particularmente, la invención se dirige a la detección de fugas en equipos de tratamiento de agua tales como calderas de recuperación de licores negros.

10 Antecedentes de la invención

Una caldera es un aparato en el que agua, o algún otro líquido acuoso de control de temperatura al que se ha añadido agua de acondicionado y del que se retira una purga, se vaporiza como vapor de agua mediante aplicación de calor procedente de un horno o sistema de generación de calor. En la mayoría de los casos, el líquido de control de temperatura se pone en contacto estrecho, indirecto con el sistema de tratamiento para facilitar la transferencia de calor. Una fuga en una caldera puede dar como resultado no solo contaminación y ensuciamiento del líquido de control de temperatura y del sistema de tratamiento, sino también reacciones físicas no deseadas. Esto es particularmente cierto para las calderas de recuperación de licores negros que se usan en muchas fábricas de papel. En calderas de recuperación de licores negros, el escape o fuga de líquido acuoso de control de temperatura desde el denominado “lado del agua” de la caldera hasta el “lado del fuego” caliente, muy cáustico, puede dar como resultado violentas explosiones.

La técnica anterior proporciona numerosas técnicas para vigilar y controlar fugas en calderas de recuperación de licores negros y otros sistemas de calderas. Por ejemplo, la patente de EE.UU. N° 5.320.967 (Avallone, y col.) describe un procedimiento de detección de fugas de sistemas de calderas que implica introducir un trazador inerte en la caldera en una proporción conocida y uniforme respecto al agua de alimentación, observar una propiedad del trazador en la caldera en estado estacionario, convertir la propiedad observada en un valor equivalente a la concentración del trazador en el líquido de control de temperatura, y activar una señal cuando haya una varianza excesiva en la concentración del trazador. Sin embargo, el procedimiento descrito por Avallone, y col., está limitado por su requisito de que el trazador sea detectado (observado) cuando la caldera está en estado estacionario, lo que se supone que sólo sucede cuando no hay cambio significativo en ninguno de los cinco parámetros del procedimiento: la concentración del trazador en la caldera; el caudal de purga; el caudal de agua de alimentación; el caudal de trazador que se alimenta a la caldera; y el caudal de vapor de agua en ausencia de fuga de la caldera.

Otras limitaciones adicionales incluyen los costes de los productos químicos del trazador y del equipo de medición tanto para los productos químicos del trazador que entra como para analizar la purga.

La patente de EE.UU. N° 5.363.693, Nevruz, enseña procedimientos y aparato para detectar fugas en sistemas de calderas de recuperación de productos químicos. Los procedimientos utilizan mediciones de masa a la entrada y la salida de una caldera de recuperación y el cálculo de estadísticas a corto y largo del balance de materia del flujo másico. A partir de estos cálculos se calcula la función de un test de la t para ver el desplazamiento tanto a corto plazo como a largo plazo de las medias de los balances de materia son significativamente diferentes, lo que indicaría a su vez si se está produciendo una fuga en la caldera. Aunque este procedimiento proporciona correcciones en la entrada de sensor provocadas por la deriva y el desajuste del sensor de flujo, se siguen produciendo graves desajustes en la señal de detección de fugas durante los cambios en los parámetros del procedimiento, concretamente cambios en el caudal de vapor de agua.

En consecuencia, continúa existiendo en la técnica la necesidad de procedimientos de detección de fugas más flexibles que se puedan emplear en sistemas de calderas que no estén en estado estacionario, esto es, cuando uno o más parámetros del procedimiento son susceptibles de cambiar.

Resumen de la invención

La presente invención es como se define en las reivindicaciones y proporciona procedimientos y aparatos para la detección de fugas en calderas a las que se añade un líquido de control de temperatura y de las que se retira líquido. El líquido de control de temperatura se complementa con agua de alimentación y se mide este caudal aportado. El líquido de control de temperatura también se retira como purga, vapor de agua principal y vapor de agua deshollinador, y también se miden estos caudales de salida. La relación entre el caudal de entrada de agua y el caudal de salida de agua se determina respecto de los caudales de aporte y retirada. En las calderas que tienen moderadores, este suplemento incluirá tanto la adición del moderador como del agua de alimentación.

Se determinan y se corrigen los desajustes entre los caudales de entrada y salida de agua. Así, el caudal de agua no contabilizado se puede determinar utilizando las cantidades conocidas de aporte y retirada. La comparación entre cero y esta cantidad deducida (por ejemplo, el caudal de agua no contabilizado es mayor que 0) indica que está presente en la caldera una condición de fuga.

Breve descripción de los dibujos

La fig. 1 que se acompaña es una representación esquemática de un sistema de vigilancia de caldera según la invención.

5

Descripción detallada de la invención

La presente invención proporciona procedimientos y aparatos para detectar una fuga en una caldera que tiene un mecanismo automático de control de nivel de líquido en la que un líquido de control de temperatura en un medio de confinamiento se complementa con agua de alimentación y se retira en forma de purga, vapor de agua principal, y vapor de agua deshollinador, y que comprende las etapas de:

- a) medir un caudal asociado a dicho aporte de agua de alimentación para obtener datos;
- 15 b) medir un caudal asociado a dicha retirada de purga, vapor de agua principal y vapor de agua deshollinador para obtener datos;
- c) corregir los desajustes entre dicho medio de aporte y dicho medio de retirada;
- 20 d) determinar el caudal de agua no contabilizado a partir de los datos obtenidos en las etapas (a), (b) y (c); en la que la determinación del caudal de agua no contabilizado es como se expone en la reivindicación 1;
- e) comparar dicho caudal de agua no contabilizado con cero;
- 25 f) indicar una condición de fuga si dicho caudal de agua no contabilizado es mayor que cero.

La presente invención también proporciona un aparato para indicar fugas en calderas según se expone en la reivindicación 11. Un aparato según la invención comprende: medios de medición en comunicación con medios de suplemento de agua de alimentación; medios de medición en contacto con medios de retirada de purga, vapor de agua deshollinador y vapor de agua principal; medios de corrección para determinar los desajustes entre el caudal de entrada de agua y el caudal de salida de agua respecto de los caudales de suplemento y retirada; y medios de deducción en comunicación con los medios de medición para deducir el caudal de agua no contabilizado; y medios de comparación para determinar si existe una condición de fuga.

35 Los procedimientos y aparatos de la invención se usan para vigilar y detectar fugas en calderas, especialmente en calderas de recuperación de licores negros. Calderas representativas se describen en las patentes de EE.UU. N^{os} 3.447.895, Nelson y col.; 4.462.319, Larson; 4.498.333, Parthasarathy; y 4.502.322, Tero.

Un sistema de vigilancia ejemplar según la presente invención se muestra en la Figura 1, en la que un primer medio de confinamiento del “lado del agua” de una “caldera” 10 que contiene líquido de control de temperatura 12 está adyacente y en comunicación térmica con un segundo medio 14 de confinamiento del “lado del fuego” que contiene típicamente vapores calientes y un lecho fundido. La caldera 10 está en comunicación fluida con la tubería 18 de purga para la descarga de la purga a la compuerta 20 de salida y con la tubería 22 de vapor de agua para la descarga de vapor de agua al medio de condensación 24. La descarga de purga se controla a través de accionamiento de la válvula 26 de purga, que se puede hacer funcionar manualmente o bajo el control de un ordenador externo o algún otro medio de procedimiento (que no se muestra). No es necesario que la válvula de purga esté bajo el control ni vigilada por el sistema de la invención. Entre la caldera 10 y la válvula 26, la tubería 18 de purga está en comunicación fluida con el medio de vigilancia 34 para proporcionar información sobre el caudal de purga. Los medios de medición 32 y 34, a su vez, están en comunicación eléctrica con el medio de procedimiento 28. La caldera 10 también está en comunicación fluida con la fuente 36 de agua de alimentación por la vía de la tubería 38 de alimentación.

55 Durante el funcionamiento normal, la adición controlada de agua de alimentación a la caldera 10 compensa la retirada de purga y vapor de agua, y mantiene un volumen deseado de líquido 12 de control de temperatura dentro de la caldera 10. Una consecuencia natural de la generación de vapor de agua en una caldera es la concentración de componentes entrantes, no volátiles. Para controlar este efecto de “ciclo ascendente”, uno o más volúmenes de líquido de control de temperatura relativamente concentrado, se retiran típicamente de la caldera como purga y se añaden los correspondientes volúmenes de agua de alimentación relativamente diluida. Según la presente invención, la purga se mide a intervalos regulares o irregulares o se vigila continuamente para determinar el peso de agua retirada como purga.

60

Los procedimientos de la invención son particularmente eficaces para aquellos medios de confinamiento que tienen un mecanismo automático de control de nivel de agua. Estos mecanismos se encuentran en calderas y funcionan mediante la observación de un cambio en la cantidad de volumen de agua presente en la caldera. Cuando sale agua de la caldera, el sensor indica que el nivel de agua ha bajado y envía una señal de modo que se pueda rellenar automáticamente.

65

En sistemas de calderas que tienen un mecanismo automático de control de nivel de agua se pueden calcular los coeficientes a, b y c usando un ajuste por mínimos cuadrados de los datos históricos de la caldera. Estos datos

ES 2 299 212 T3

“históricos” pueden ser los que se recopilen durante aproximadamente un mes antes de aplicar los procedimientos y aparatos de la presente invención. El ajuste por mínimos cuadrados es un mecanismo ampliamente usado para extraer significado de un conjunto de observaciones relacionadas. En el caso de una caldera, a, b y c se pueden calcular a partir de observación y recopilación los datos de flujo de líquido de entrada y salida de la caldera usando un mecanismo de ajuste por mínimos cuadrados. Esta recopilación de datos también se ajusta a las etapas de la presente invención respecto a los diversos caudales medidos. Los coeficientes a, b y c son particulares de cada caldera e incluso variarán en diferentes calderas del mismo modelo y fabricante.

La ecuación fundamental del balance de materia de agua en un medio de confinamiento, tal como una caldera, es:

$$\frac{dM}{dt} = I - O - U \quad (1)$$

donde:

M = Masa de agua confinada

I = Caudal de entrada de agua (como agua de alimentación)

O = Caudal de salida de agua (como purga, vapor de agua principal y vapor de agua deshollinador)

U = Caudal de agua no contabilizado (como fuga)

t = Tiempo.

En una situación ideal, si no cambia la masa de agua confinada y no hay caudal de agua no contabilizado (dM/dt y U son ambos iguales a cero), entonces el caudal de entrada de agua debería ser igual al caudal de salida de agua ($I = O$). Sin embargo, debido a la discrepancia de calibración entre medidores, la relación entre I y O es generalmente de la forma de

$$I = a * O + c \quad (2)$$

donde a y c son constantes que se pueden determinar o parámetros dependientes de la caldera. La importancia de a y c es la de corregir la discrepancia de calibración al tiempo que evita tener que realizar técnicas tradicionales de calibración. En lugar de calibrar periódicamente cada medidor individual, solamente se necesita realizar la tarea más fácil de recalcular a y c.

Incorporando estos términos en el cálculo, la ecuación de balance de materia de agua es

$$\frac{dM}{dt} = I - a * O - c - U \quad (3)$$

Dado que I y O se pueden medir, para calcular U, se tiene que calcular dM/dt . En sistemas de calderas que tienen mecanismo automático de control de nivel de agua, mediante observación, dM/dt es proporcional de dI/dt , o

$$\frac{dM}{dt} = b * \frac{dI}{dt} \quad (4)$$

donde b es una constante que se puede determinar, como a y c, que se pueden calcular usando un ajuste por mínimos cuadrados de los datos históricos de la caldera, por ejemplo, un mes de datos. La importancia del término b en el cálculo de dM/dt está en la eliminación de la demora de tiempo entre la entrada (I) y la salida (O).

La combinación de las ecuaciones (3) y (4) da las siguientes relaciones:

$$U = I - a * O - b * \frac{dI}{dt} - c \quad (5)$$

ES 2 299 212 T3

Si el caudal de agua no contabilizado (U) es mayor que cero (dentro de una varianza estadísticamente significativa), se indica una condición de fuga. Así, si U es un número positivo, entonces el operario de la caldera inicia una investigación sobre las posibles causas. Esto implica típicamente el examen físico y/o acústico de la caldera y, dependiendo de la magnitud de la varianza, la parada completa de la caldera.

5 Matemáticamente, V(i), el valor de cualquier variable V en el punto del dato i-ésimo, se puede escribir como:

$$10 \quad V(i) = V(i-1) + (V(i) - V(i-1)) = V(i-1) + 1 * \frac{dV(i)}{dt} \quad (6)$$

De modo similar,

$$15 \quad V(i) = V(i-2) + (V(i) - V(i-1)) + (V(i-1) - V(i-2)) \\ \approx V(i-2) + 2 * \frac{dV(i)}{dt}, \text{Etc.} \quad (7)$$

En general,

$$25 \quad V(i) \approx V(i-b) + b * \frac{dV(i)}{dt} \quad (8)$$

o

$$30 \quad V(i) - b * \frac{dV(i)}{dt} \approx V(i-b) \quad (9)$$

35 Así, la Fórmula (5) en la iteración (i) llega a ser

$$40 \quad U(i) = I(i-b) - a * O(i) - c \quad (10)$$

El término de la ecuación (5) $b * \frac{dI}{dt}$, está diseñado para eliminar la demora de tiempo entre el Caudal de Entrada (I) y el Caudal de Salida (O). Aplicando la fórmula (9) a este término y esta ecuación, se consigue un medio mejorado para calcular y determinar la presencia de una fuga. Esta mejora aumenta mucho la relación de señal a ruido al detectar fugas. Así, la corrección de los desajustes puede ser del índice de tiempo y/o de la magnitud de las señales de flujo.

La mejora se puede determinar mediante los siguientes cálculos. Para simplificar el cálculo, hay cinco suposiciones: 1) no hay fuga presente; 2) sin oscilación de carga, ambas entrada (I) y salida (O) son variables aleatorias y no están correlacionadas; 3) ambas I y O tienen el mismo nivel de ruido, es decir, sus desviaciones típicas = σ ; 4) dado que a está próxima a 1, se supone que a es 1; y 5) c es 0 dado que no afectará al nivel de ruido.

Por consiguiente, estadísticamente, la Fórmula (5) se puede escribir como:

$$55 \quad \text{Ruido 1 (i)} = I(i) - O(i) - b * (I(i) - I(i-1)) = (1-b) * I(i) + b * I(i-1) - O(i) \quad (11)$$

y la Fórmula (10) como

$$60 \quad \text{Ruido 2 (i)} = I(i-b) - O(i) \quad (12)$$

Mediante las suposiciones anteriormente expuestas y los cálculos estándar:

$$65 \quad \sigma_{\text{Ruido 1}} = \sqrt{(1-b)^2 \sigma^2 + b^2 \sigma^2} + \sigma = \sqrt{2 - 2 * b + 2 * b^2} * \sigma \\ = \sqrt{1-b + b^2} * \sqrt{2} * \sigma \quad (13)$$

y

$$\sigma_{\text{Ruido } 2} = \sqrt{\sigma^2 + \sigma^2} = \sqrt{2} * \sigma \quad (14)$$

Esto significa que la medida de $\sigma_{\text{Ruido } 1}$ es aproximadamente la raíz cuadrada de $(1-b+b^2)$ multiplicada por $\sigma_{\text{Ruido } 2}$. Un valor típico de b es -3. Así, la medida de $\sigma_{\text{Ruido } 1}$ es aproximadamente 3,5 $\sigma_{\text{Ruido } 2}$.

En el momento del experimento, dado que los datos futuros no se pueden usar y b no es habitualmente un número entero, la Fórmula (10) se modifica a:

$$U(\text{Ahora}) = \alpha * I(\text{Ahora}) + \beta * I(\text{Ahora} - 1) - a * O(\text{Ahora} - \gamma) - C \quad (15)$$

donde:

$$\beta = b - \text{Suelo}(b)$$

$$\alpha = 1 - \beta$$

$$\gamma = \text{abs}(\text{Suelo}(b))$$

De manera que si $b = -3,7$, entonces

$$\beta = b - \text{Suelo}(b) = -3,7 - \text{Suelo}(-3,7) = -3,7 - (-4) = 0,3$$

$$\alpha = 1 - \beta = 1 - 0,3 = 0,7 \text{ y}$$

$$\gamma = \text{abs}(\text{Suelo}(b)) = \text{abs}(\text{Suelo}(-3,7)) = \text{abs}(-4) = 4.$$

Ejemplos

Se recopilaron datos en una caldera industrial Northeastern a lo largo de un período de 50 horas. Durante este período, se midieron el caudal de agua de alimentación, el caudal de vapor de agua y la purga.

Usando un ajuste por mínimos cuadrados de los datos históricos recopilados antes de este período de 50 horas, se calcularon el parámetro de oscilación de carga de vapor de agua, b, y los parámetros para correcciones de discrepancia de calibración entre caudalímetros, a y c. Estos valores fueron: $a = 0,89$, $b = -4$, y $c = -2$.

Al emplear la ecuación (1), la severa oscilación de carga de esta caldera hizo que pareciera que en el momento de la oscilación de carga había una fuga presente. Sin embargo, después de la oscilación de carga, el uso de la ecuación (1) indicó que la aparente "fuga" había desaparecido. La aplicación de los procedimientos anteriormente detallados con los parámetros dependientes de la caldera calculados, a, b y c, indicó que no había fuga presente. Los procedimientos de la presente invención proporcionaron mayor precisión que la aproximación tradicional.

ES 2 299 212 T3

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento 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 en un medio de confinamiento se complementa con agua de alimentación y se retira como purga, vapor de agua principal y vapor de agua deshollinador que comprende las etapas de:

- a) medir un caudal asociado a dicho suplemento de agua de alimentación para obtener datos;
- b) medir un caudal asociado a dicha retirada de purga, vapor de agua principal y vapor de agua deshollinador para obtener datos;
- c) corregir los desajustes entre dicho medio de aporte y dicho medio de retirada;
- d) determinar el caudal de agua no contabilizado a partir de los datos obtenidos en las etapas (a), (b) y (c); en la que la determinación del caudal de agua no contabilizado se deduce según la fórmula:

$$U(i) = I(i - b) - a * O(i) - c$$

donde

U = caudal de agua no contabilizado;

i = índice de tiempo;

I = caudal de entrada de agua;

b = una constante que se puede determinar;

a = una constante que se puede determinar;

O = caudal de salida de agua; y

c = una constante que se puede determinar;

- e) comparar dicho caudal de agua no contabilizado con cero; y
- f) indicar una condición de fuga si dicho caudal de agua no contabilizado es mayor que cero.

2. El procedimiento según se reivindica en la reivindicación 1 en el que dicho caudal en las etapas (a) y (b) está en peso por unidad de tiempo.

3. El procedimiento según se reivindica en la reivindicación 1 en el que dicha caldera es una caldera de recuperación de licores negros.

4. El procedimiento según se reivindica en la reivindicación 1 en el que dicha condición de fuga se indica por medios electrónicos.

5. El procedimiento según se reivindica en la reivindicación 1 en el que dichas mediciones en las etapas (a) y (b) se hacen mediante caudalímetros.

6. El procedimiento según se reivindica en la reivindicación 1 en el que dichas determinaciones en las etapas (c), (d) (e) se hacen mediante un ordenador.

7. El procedimiento según se reivindica en la reivindicación 1 en el que dicha corrección de los desajustes es del índice de tiempo y/o la magnitud de las señales de flujo.

8. El procedimiento según se reivindica en la reivindicación 1 en el que b se ajusta al índice de muestreo de datos.

9. El procedimiento según se reivindica en la reivindicación 1 en el que comparar dicho caudal de agua no contabilizado deducido es comparar con cero.

10. El procedimiento según se reivindica en la reivindicación 9 que comprende adicionalmente analizar físicamente dicha caldera en respuesta a una diferencia positiva entre dicho caudal de agua no contabilizado y cero.

11. Un sistema para detectar una fuga en una caldera (10) que tiene un mecanismo automático de control de nivel de líquido en el que un líquido (12) de control de temperatura en un medio (14) de confinamiento se complementa con

ES 2 299 212 T3

agua (36) de alimentación y se retira como purga, vapor de agua principal y vapor de agua deshollinador, comprendiendo dicho sistema: Medios (32) de medición en comunicación con dicho suplemento para medir el caudal asociado a dicho suplemento de agua de alimentación;

5 Medios (34) de medición en comunicación con dicho medio (14) de confinamiento para vigilar un caudal asociado a dicha retirada de purga, vapor de agua principal y vapor de agua deshollinador;

Medios de corrección en comunicación con dichos medios de suplemento y de retirada para determinar los desajustes entre el caudal de entrada de agua y el caudal de salida de agua;

10 Medios de determinación en comunicación con medios de medición de dicho suplemento y dicha retirada, y dicho medio de corrección para determinar el caudal de agua no contabilizado; en los que la determinación del caudal de agua no contabilizado se deduce según la fórmula:

15
$$U(i) = I(i - b) - a * O(i) - c$$

donde

20 U = caudal de agua no contabilizado;

i = índice de tiempo;

I = caudal de entrada de agua;

25 b = una constante que se puede determinar;

a = una constante que se puede determinar;

30 O = caudal de salida de agua; y

c = una constante que se puede determinar;

35 Medios de comparación en comunicación con dicho medio de determinación de caudal de agua no contabilizado para comparar dicho medio de determinación de caudal con cero.

12. El sistema según se reivindica en la reivindicación 11 en el que dichos medios de medición están en comunicación eléctrica con dicho medio de suplemento y dicho medio de confinación.

40 13. El sistema según se reivindica en la reivindicación 11 en el que dichos medio de determinación comprenden un ordenador.

14. El sistema según se reivindica en la reivindicación 11 en el que dichos medios de comparación comprenden un ordenador.

45

50

55

60

65

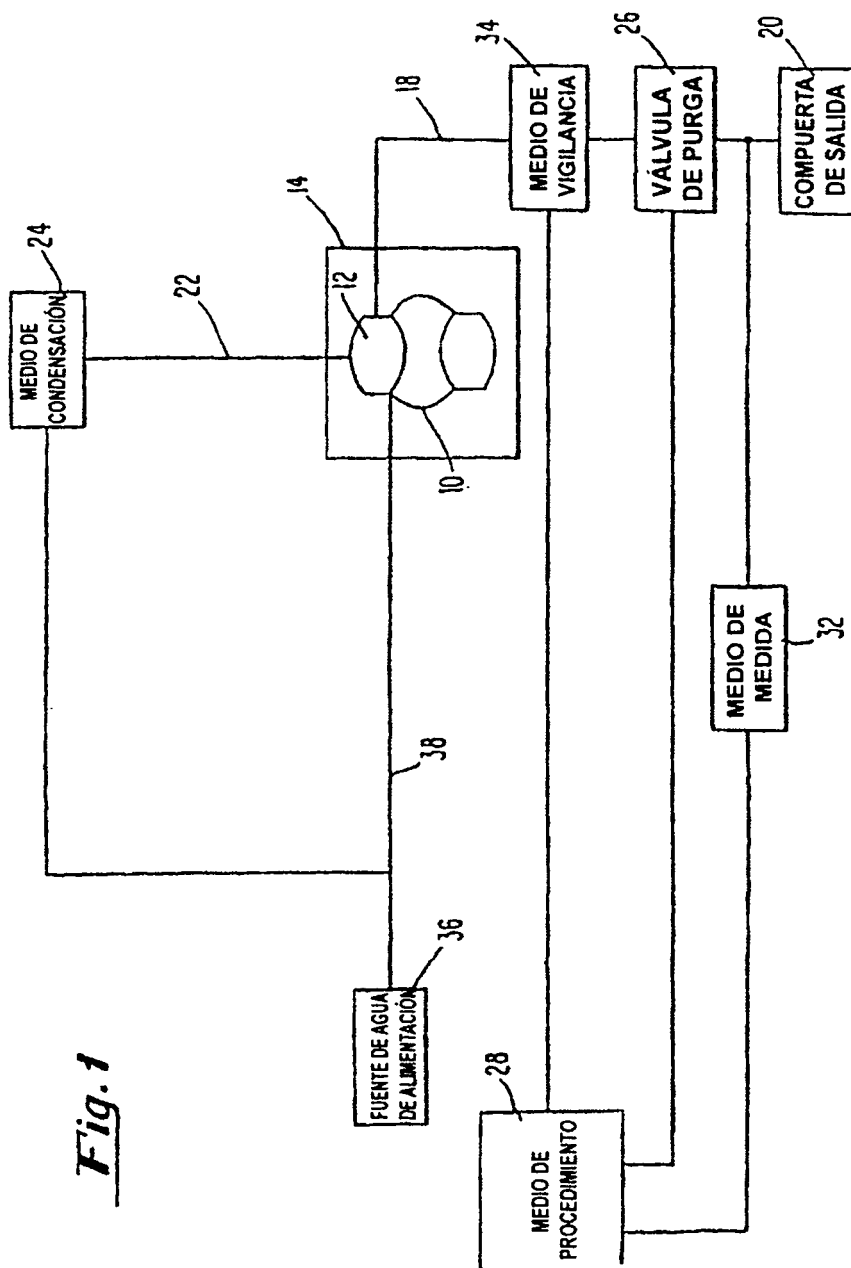


Fig. 1