



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 337 528**

51 Int. Cl.:

A61M 16/10 (2006.01)

A61M 16/16 (2006.01)

G05D 23/00 (2006.01)

A61F 7/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **08167307 .1**

96 Fecha de presentación : **22.10.2008**

97 Número de publicación de la solicitud: **2055338**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **06.05.2009**

54 Título: **Ajuste del coeficiente PID para el control en bucle cerrado de un calentador respiratorio.**

30 Prioridad: **29.10.2007 US 927013**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
26.04.2010

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
26.04.2010

73 Titular/es: **Smiths Medical ASD, Inc.**
160 Weymouth Street
Rockland, Massachusetts 02370, US

72 Inventor/es: **McGhin, Cary E. y**
Wasinger, Jerry F.

74 Agente: **Lehmann Novo, María Isabel**

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

Ajuste del coeficiente PID para el control en bucle cerrado de un calentador respiratorio.

5 **Campo del invento**

El presente invento se refiere a un control de realimentación para el calentamiento de un gas respiratorio y, más particularmente al control PID en bucle cerrado del mismo.

10 **Antecedentes del invento**

Los sistemas respiratorios proporcionan un gas respirable, tal como oxígeno, gas anestésico y/o aire directamente a la boca, nariz o vías aéreas de un paciente como asistencia o para facilitar la respiración del paciente. Puede utilizarse un ventilador como parte del sistema respiratorio para impulsar al gas respirable hacia el paciente a través de un conducto o manguera de la rama de inspiración de un circuito de respiración. El circuito de respiración puede incluir un conducto o manguera de una rama de expiración para llevar el aire y otro gas o gases expulsados desde el paciente de nuevo al ventilador.

Típicamente, se desea calentar el gas respirable e incorporarle humedad antes de suministrarlo al paciente. A tal fin, muchos sistemas respiratorios incluyen un sistema de humidificación que tiene una cámara para contener agua y una unidad calentadora en la cual puede montarse la cámara de forma separable. La unidad calentadora incluye un calentador, que puede estar constituido por uno o más elementos de calentamiento y una placa metálica que define una placa caliente. Una pared de la cámara, tal como la superficie inferior de la cámara, es térmicamente conductora y se encuentra en contacto térmico con la placa caliente del calentador para, así, calentar el agua de la cámara. La cámara puede rellenarse manualmente o puede estar prevista una fuente de agua para rellenar selectivamente la cámara a medida que se vacía. El gas respirable se acopla a la cámara y es hecho pasar a través de ella para ser calentado y humidificado. Ejemplos de disposiciones de cámara y unidad calentadora se muestran en las patentes norteamericanas núms. 6.988.497 y 5.943.473. La rama de inspiración lleva el gas calentado y humidificado al paciente y la rama de expiración, si existe, lleva el aire exhalado y, posiblemente, otros gases desde el paciente. La rama de inspiración y/o la rama de expiración pueden calentarse mediante, por ejemplo, circuitos calentadores, que pueden estar constituidos por hilos que corran interiormente y a lo largo de la manguera o conducto. Un ejemplo de un circuito de respiración con ramas calentadas se muestra en la patente norteamericana núm. 6.078.730. En algunas realizaciones, la o las ramas pueden no estar calentadas.

El documento US 2003/0209246 A1 se refiere a un aparato para entregar aire calentado y humidificado al tracto respiratorio de un paciente humano. A tal fin, se calienta agua en una unidad de suministro y el gas que ha de entregarse al paciente se calienta mediante el agua calentada.

En una disposición de calentamiento típica, se establece un punto de regulación de la temperatura, tal como mediante un termostato o similar. Cuando la temperatura cae por debajo del punto de regulación se conecta o se incrementa la energía para el calentador, con objeto de llevar la temperatura de nuevo hasta el punto de regulación. Si la temperatura aumenta por encima del punto de regulación, se reduce o se interrumpe la energía para el elemento calentador a fin de permitir que la temperatura descienda hasta el punto de regulación. En muchas aplicaciones, es posible proporcionar un control más preciso de la temperatura mediante el uso de un control más sofisticado basado en el PID o control proporcional-integral-derivativo. Como es bien sabido, los controles de realimentación funcionan obteniendo una señal de entrada indicativa del estado corriente de una variable del sistema, obteniendo una señal de diferencia o de error entre la señal de entrada y el punto de regulación que representa el valor deseado y entregando como salida una señal de corrección a utilizar por el sistema para llevarle hacia el punto de regulación. Con el control de realimentación PID, el bucle de realimentación incluye cálculos que implican coeficientes determinados empíricamente o de otra manera para cada uno de los aspectos proporcional, integral y derivada de la señal de error.

Los coeficientes de control de realimentación PID se determinan, típicamente, con relación a la naturaleza de las variables que pueden afectar al comportamiento del sistema. En el contexto de un sistema respiratorio, el valor de entrada se toma a partir de las temperaturas medidas, y la salida se utiliza para regular la energía alimentada al calentador en un esfuerzo de llevar la temperatura hacia el punto de regulación. Generalmente, variables tales como el caudal y/o el nivel de humedad no se vigilan ni se tienen en cuenta con fines de control, si bien pueden tener impacto sobre el control fiable del o de los elementos de calentamiento y pueden afectar a la temperatura y al nivel de humedad del gas que llega al paciente. A modo de ejemplo, los coeficientes pueden determinarse suponiendo que el caudal estará, siempre, dentro de un cierto intervalo. Si el caudal realmente es menor, se eliminará de la cámara, al pasar el gas por ella, menos calor del que se preveía, lo que puede tener como consecuencia grandes oscilaciones de la temperatura resultante, incluyendo variaciones de la temperatura indeseablemente por encima o por debajo del punto de regulación. Similarmente, si el caudal es realmente mayor que el supuesto, se eliminará más calor del que se preveía, y puede que el control no sea capaz de llevar la temperatura al punto de regulación deseado. El reto es, por tanto, proporcionar un control de realimentación PID fiable dependiendo de las mediciones de temperatura en un entorno en el que las variaciones del caudal y/o del nivel de humedad no son conocidas o no pueden determinarse directamente, pero pueden influir sobre el comportamiento del sistema.

Sumario del invento

El presente invento proporciona un control de realimentación PID fiable dependiente de las mediciones de temperatura en un sistema respiratorio sin necesidad de mediciones de caudal. A tal fin y, de acuerdo con los principios del presente invento, los coeficientes a utilizar para el control de realimentación PID se ajustan basándose en la diferencia existente entre la aportación de calor y la salida de calor en relación con el punto de regulación, particularmente cuando el calentador trabaja en un proceso de calentamiento, tal como a partir de un estado relativamente frío. La aportación de calor puede obtenerse midiendo la temperatura del calentador y la salida de calor puede obtenerse midiendo la temperatura en la salida de la cámara. A este respecto, se ha determinado que la diferencia de temperatura entre el calentador y la salida de la cámara con relación a un punto de regulación durante un proceso de calentamiento, es indicativa del probable caudal de gas a través de la cámara. Los coeficientes pueden ajustarse, entonces, para lograr la correlación con el caudal probable y utilizarse para un funcionamiento normal, o estable, del control de realimentación PID. Sigue sin ser necesario vigilar directamente el caudal o el nivel de humedad.

El control puede comenzar, inicialmente con un conjunto de coeficientes correlacionados con un primer caudal. En una realización particular del invento, cada una de una franja de caudales tiene un conjunto de coeficientes PID asociados con ella, y los coeficientes se ajustan seleccionando el conjunto de coeficientes apropiado con relación a la diferencia entre la aportación de calor y la salida de calor basándose en la diferencia de temperatura medida entre el calentador y la salida de la cámara en relación con el punto de regulación. En esa realización, en un proceso de calentamiento, los coeficientes se establecen, inicialmente, para que correspondan a los de la franja de caudales más bajos si el calentamiento se produce en la puesta en marcha del sistema o se establecen para que correspondan a los coeficientes utilizados en último lugar si, por ejemplo, el calentamiento tiene lugar tras una pausa del funcionamiento. Después de permitir que el sistema funcione durante un cierto tiempo ("el intervalo de calentamiento"), se obtiene (en ese momento o basándose en una media de lecturas durante un período de tiempo en el transcurso del intervalo de calentamiento) la diferencia de temperatura entre la aportación de calor (tal como la temperatura medida en el calentador) y la salida de calor (tal como la temperatura medida en la salida de la cámara) y se la compara con un límite inferior y un límite superior basándose en la temperatura del punto de regulación. Si la diferencia de temperatura está en o por debajo del límite inferior, entonces se ajustan los coeficientes según los adecuados para un menor caudal (tal como a la siguiente franja de caudales más bajos) para uso durante el funcionamiento en estado estable del control PID. Si la temperatura medida está en o por encima del límite superior, los coeficientes se ajustan de acuerdo con los adecuados para un caudal superior (tal como en la siguiente franja de caudales más altos), para uso durante el funcionamiento en estado estable del control PID.

En una realización ventajosa, se utilizan tres franjas de caudales, una para los caudales más bajos (tales como de menos de 5 lpm), una para los caudales más altos (tales como de más de 10 lpm) y una para los caudales intermedios (tales como de 5-10 lpm). En esa realización, si la diferencia de temperatura es igual o menor que el límite inferior, han de utilizarse los coeficientes PID para la franja de caudales más bajos, si es igual o mayor que el límite superior, han de utilizarse los coeficientes PID para la franja de caudales más altos y, si se encuentra entre los límites inferior y superior, han de utilizarse los coeficientes PID para la franja intermedia. Si es necesario, los coeficientes se ajustan, así, a partir del conjunto que está siendo utilizado corrientemente durante el proceso de calentamiento, hasta el conjunto para la franja de caudales apropiada a utilizar durante el funcionamiento en estado estable.

El ajustar los coeficientes durante el proceso de calentamiento, por ejemplo merced a la selección de un conjunto de coeficientes basada en las mediciones de temperatura fácilmente obtenidas, indicativas de la diferencia entre la aportación de calor y la salida de calor, permite fijar los coeficientes que han de utilizarse durante un funcionamiento en estado estable basándose en el probable caudal del sistema, sin vigilar directamente ni obtener el caudal o similar. Además, el ajustar los coeficientes durante un proceso de calentamiento puede reducir significativamente el tiempo necesario para que el calentador consiga la temperatura deseada.

En algunas circunstancias, puede ser deseable, también, ajustar los coeficientes durante el funcionamiento en estado estable del sistema. Si bien los coeficientes podrían ajustarse de vez en cuando utilizando el mismo proceso que se utilizó durante el proceso de calentamiento, el empleo de un proceso de calentamiento durante un funcionamiento en estado estable puede no ser ventajoso, particularmente cuando el circuito de respiración no está calentado. Para ello, y de acuerdo con otro aspecto del presente invento, los coeficientes pueden ajustarse durante el funcionamiento en estado estable basándose en el comportamiento de la temperatura medida en relación con el punto de regulación. En particular, se ha determinado que si el caudal se aparta del que se consideraba probable durante el proceso de calentamiento, probablemente se darán una de dos condiciones. Si el caudal real es menor que el caudal probable relacionado con el conjunto corriente de coeficientes, el error entre la temperatura medida y el punto de regulación presentará una desviación estándar, o error rms, indicativo de oscilaciones o variaciones de la temperatura por encima y por debajo del punto de regulación. Si la desviación estándar supera un umbral mínimo aceptable, los coeficientes se ajustarán para un caudal probable más bajo. Si, por otra parte, el caudal real es mayor que el caudal probable relacionado con el conjunto corriente de coeficientes, el error entre la temperatura medida y el punto de regulación será relativamente constante, pero mayor que un umbral mínimo aceptable. Si se diese esa condición, los coeficientes se ajustarían para un caudal probable más elevado.

El ajustar los coeficientes durante el funcionamiento en estado estable en virtud de errores determinados a partir de mediciones de temperatura fácilmente obtenidas en relación con la temperatura del punto de regulación, hace posible

ajustar los coeficientes durante el funcionamiento en estado estable basándose en cambios o desplazamientos del caudal probable del sistema sin, tampoco, vigilar ni obtener directamente caudales o similares.

En virtud de lo que antecede, se proporciona así un control de realimentación PID fiable dependiente de mediciones de temperatura en un sistema respiratorio sin necesidad de mediciones de caudal. Estos y otros objetos, ventajas y características del invento resultarán más fácilmente evidentes para los expertos normales en la técnica a partir de una revisión de la siguiente descripción detallada tomada en conjunto con los dibujos anejos.

Breve descripción de los dibujos

Los dibujos adjuntos, que se incorporan a esta memoria descriptiva y forman parte de ella, ilustran una realización del invento y, junto con la descripción general del invento antes ofrecida y la descripción detallada de la realización que se da en lo que sigue, sirve para explicar los principios del presente invento.

La fig. 1 es un diagrama de un sistema respiratorio con humidificación que incorpora principios del presente invento;

la fig. 2 es un diagrama esquemático de la unidad calentadora de la fig. 1;

la fig. 3 es un diagrama de un control de realimentación PID incorporado en el controlador de la unidad calentadora de la fig. 2, con el fin de explicar los principios del presente invento;

la fig. 4 es una gráfica de proceso de un proceso de calentamiento para ajustar los coeficientes a utilizar en el control de realimentación PID de la fig. 3, de acuerdo con los principios del presente invento;

la fig. 5 es una gráfica de proceso de otro proceso de calentamiento para ajustar los coeficientes a utilizar por el control de realimentación PID de la fig. 3, de acuerdo con los principios del presente invento; y

la fig. 6 es una gráfica de proceso de un proceso de estado estable para ajustar los coeficientes del control de realimentación PID de la fig. 3, de acuerdo con los principios del presente invento.

Descripción detallada de los dibujos

La fig. 1 representa un sistema respiratorio 10 ilustrativo para suministrar gases respirables a un paciente 12. En la realización ilustrada, el sistema respiratorio 10 incluye un ventilador 14, un sistema calentador 16 que tiene una unidad calentadora 18, un recipiente calentable para agua, tal como una cámara desechable 20, y un circuito 21 de respiración que tiene un primer conducto o manguera 22 alargada que define una rama de inspiración 22 y un segundo conducto o manguera 24 alargada que define una rama de expiración 24 (si bien en algunas realizaciones, el circuito de respiración 21 puede no incluir una rama de expiración). El ventilador 14 impulsa un gas respirable, tal como oxígeno, gas anestésico y/o aire, a través del conducto 26 para gas y a una entrada de aire de la cámara 20. En la cámara 20 se recibe agua 27 que se vierte manual o automáticamente desde un suministro de agua 28 tal como una bolsa o una botella y que puede estar en comunicación con la atmósfera. La cámara 20 es calentada por la unidad calentadora 18 para calentar el agua 27 en ella contenida. También puede producirse vapor de agua calentado 29 dentro de la cámara 20, por encima del nivel del agua 27 de la misma. El gas procedente del conducto 26 para sobre o a través del agua 27 calentada y/o a través del vapor de agua 29 calentado para ser calentado y humidificado antes de salir de la cámara 20 en forma de gas calentado y humidificado. Ejemplos de sistemas calentadores se muestran en las antes mencionadas patentes norteamericanas núms. 6.988.497 y 5.943.473 y en las solicitudes de patente norteamericanas, también en tramitación, núm. 11/469.086, presentada el 31 de Agosto de 2006, publicada como documento US 2008/0054497 y núm. 11/469.113, presentada el 31 de Agosto de 2006, publicada como documento US 2008/0054500.

El gas calentado y humidificado circula desde la cámara 20 hasta el paciente 12 pasando por la rama de inspiración 22. Un primer extremo de la rama de inspiración 22 está acoplado a la cámara 20 mediante una junta o miembro de conexión 30 y un segundo extremo de la rama de inspiración 22 está acoplado a un accesorio de respiración 32 que facilita la entrega del gas que es hecho pasar por él hasta el paciente 12. El accesorio de respiración 32 puede acoplarse a un aparato invasivo tal como un tubo endotraqueal o a un aparato no invasivo tal como una mascarilla (no se muestra ninguno de ellos) que favorezca la entrega del gas. Además, el gas puede calentarse mientras pasa por la rama de inspiración 22 al accesorio de respiración 32 mediante un circuito calentador 34 asociado con la rama de inspiración 22. La rama de expiración 24 permite que el aire exhalado y otros gases expulsados desde el paciente 12 pasen de vuelta al ventilador 14 y de allí a la atmósfera o a otro sitio. Otro circuito calentador 36 puede estar asociado, también, con la rama de expiración 24 para calentar el gas expulsado. En la realización mostrada en este documento, el circuito calentador 34 y el circuito calentador 36 pueden estar constituidos, cada uno, por uno o más hilos calentadores alargados que se extienden a modo de hélice a lo largo y alrededor de su rama asociada, si bien pueden ser posibles otras configuraciones de circuito calentador.

El sistema respiratorio 10 puede incluir, también, un cable 38 de temperatura del paciente (PTC) con uno o más dispositivos sensibles a la temperatura tales como sondas que contengan termistancias, como en 40, para proporcionar realimentación térmica en forma de lecturas de temperatura a la unidad calentadora 18 con fines que se describirán más adelante. El cable 38 de temperatura incluye un primer cable 42 de comunicaciones y un segundo cable 44 de

comunicaciones. Una de las sondas 40 de temperatura está acoplada a la junta 30 en la entrada a la rama de inspiración 22 para proporcionar una lectura de temperatura a través del primer cable 42 de comunicaciones, indicativa de la temperatura real medida del gas calentado y humidificado que sale de la cámara 20 (“la temperatura de salida”). La temperatura de salida puede verse como una salida de calor de la cámara 20 y puede utilizarse como valor de salida de calor. Otra de las sondas 40 está acoplada al accesorio de respiración 32, tal como en la salida de la rama de inspiración 22, para proporcionar una lectura de temperatura a través de un segundo cable de comunicaciones 44, indicativa de la temperatura real medida del gas humidificado que se le suministra al paciente (“la temperatura en el paciente”). El primer cable 42 de comunicaciones tiene un extremo 48 acoplado eléctricamente a la unidad calentadora 18 para comunicar la temperatura de salida a la unidad calentadora 18. De forma similar, el segundo cable 44 de comunicaciones tiene un extremo 50 acoplado eléctricamente a la unidad calentadora 18 para comunicar la temperatura en el paciente a la unidad calentadora 18. Los extremos 48 y 50 pueden estar asegurados juntos, ventajosamente, a través de un conectador 52 para facilitar el acoplamiento de los cables primero y segundo, 42, 44, a un enchufe de acoplamiento (no mostrado) en la unidad calentadora 18. Otros detalles de un cable 38 adecuado y de las sondas 40 se describen en la solicitud de patente norteamericana, presentada al mismo tiempo que ésta, número de serie 11/927.020, titulada “Sonda de temperatura de acoplamiento doble”, publicada como documento US 2009/0110029 y en la solicitud de patente norteamericana, presentada al mismo tiempo que ésta, número de serie 11/927.077, titulada “Termistancia protegida del ambiente para sistema respiratorio”, publicada como documento US 2009/0110378.

Las lecturas de temperatura de salida y de temperatura en el paciente se acoplan a un controlador 54 de la unidad calentadora 18 como en 55. El controlador 54 está asociado operativamente con un calentador 56, como en 57. Un dispositivo sensible a la temperatura, tal como una termistancia 58 (fig. 2), acoplado térmicamente al calentador 56 proporciona lecturas de la temperatura real medida del calentador 56 al controlador 54 (“la temperatura de entrada”). La temperatura de entrada es representativa de la aportación de calor a la cámara 20 y puede utilizarse como valor de entrada de calor. Un ejemplo de un calentador 56 adecuado se describe en la la solicitud de patente norteamericana, presentada al mismo tiempo que ésta, número de serie 11/926.982, titulada “Calentador de placa caliente para sistema respiratorio”, referencia del Agente núm. MDXCP-27US. El controlador 54 utiliza la temperatura de entrada como se explicará en lo que sigue para regular la energía alimentada al calentador 56 con el fin de intentar mantener la temperatura del agua 27 contenida en la cámara 20 en un valor deseado en relación con un punto de regulación establecido con el fin de calentar y humidificar en forma deseable el o las gases respirables que pasan por la cámara 20. El controlador 54 puede estar, también, asociado operativamente con circuitos calentadores 34, 36 como en 60, 62 y, también, puede estar destinado a la activación selectiva, independiente, de los circuitos calentadores 34, 36.

Como se ve con mayor detalle en la fig. 2, el controlador 54 incluye un procesador 70 que puede ser un microprocesador u otro dispositivo lógico programable u ordenador. El procesador 70 recibe las lecturas de temperatura de entrada a través de un convertidor A/D 72 procedentes del dispositivo 58 sensible a la temperatura acoplado al calentador 56, y emite como salida señales a través de un circuito de control 74, tal como un modulador de anchura de impulsos (“PWM”), para activar un interruptor de potencia 76, tal como un TRIAC, para activar selectivamente el calentador 56 con el fin de regular su temperatura. Las lecturas de temperatura de salida y las lecturas de temperatura en el paciente, procedentes de respectivas sondas 40, pueden acoplarse también al procesador 70 mediante respectivos convertidores A/D 72. Similarmente, las señales procedentes del procesador 70 pueden acoplarse a través de otros circuitos de control 74 respectivos y otros interruptores de potencia 76 para activar selectivamente los circuitos calentadores 34 y 36, si tales circuitos calentadores están presentes y han de utilizarse. El controlador 54 incluye, también, una memoria 80 para almacenar los algoritmos o programas operativos y los datos de control utilizados por el procesador 70 así como datos de entrada, tales como la temperatura del punto de regulación, obtenidos a partir de un usuario (no mostrado) a través de un teclado o un dial de entrada, como en 82. Como se apreciará, si bien los diversos dispositivos se muestran acoplados de forma independiente al procesador 70, pueden comunicarse a través de una o más líneas generales de transmisión.

Ventajosamente, el procesador 70 incorpora un control 100 de realimentación PID como se muestra diagramáticamente en la fig. 3. Para ello, el control 100 de realimentación PID adopta la forma de un bucle de realimentación destinado a comparar una temperatura T_{sp} de punto de regulación como en 102, que puede estar almacenada en la memoria 80, con la lectura de temperatura apropiada procedente del dispositivo sensible a la temperatura aplicable (tal como una de las sondas 40 o la termistancia 58) como la obtenida a partir del convertidor de A/D 72 aplicable. La comparación se consigue en un bloque sumador 104 para generar una señal E de error o de diferencia (tal como en grados Celsius) que representa la desviación de la temperatura medida respecto de la temperatura del punto de regulación aplicable. La señal de error E se acopla mediante el algoritmo 106 de realimentación PID que genera una señal de corrección C (tal como en vatios) que se utiliza para activar el circuito de control 74 para modular el interruptor de potencia 76 conectándolo y desconectándolo o haciendo variar su conductancia en la forma deseada para activar así, selectivamente, el calentador 56 en una forma proyectada para calentar y humidificar del modo deseado el gas que pasa por la cámara 20.

El circuito de control 74, el interruptor 76, el comportamiento de la cámara 20 y el agua 27 en ella contenida, y el dispositivo 58 sensible a la temperatura introducen retardos de tiempo que son tenidos en cuenta por el convertidor A/D 72 promediando las lecturas procedentes del dispositivo 58 sensible a la temperatura en varios intervalos, por ejemplo cinco, con un algoritmo o circuito 108 de promediado y digitalizados con un algoritmo 110 o circuito de retención de orden cero para proporcionar la salida al elemento sumador 104. El algoritmo 106 se desarrolla en el dominio de transferencia z e incluye un algoritmo 112 o circuito de retardo de orden cero de la señal de error E que, luego, es procesada para generar la señal de corrección C mediante una combinación de una magnitud escalada de

una proporción de la señal de error E, una magnitud escalada de la integral de la señal de error E y una magnitud escalada de la derivada de la señal de error E, como comprenderán generalmente los familiarizados con los controles de realimentación. El cambio de escala de cada aspecto se basa en un coeficiente correspondiente, denominándose K_p el coeficiente para el aspecto proporcional, denominándose K_i el coeficiente para el aspecto integral y denominándose K_d el coeficiente para el aspecto derivada.

El aspecto proporcional se obtiene multiplicando la salida del retenedor 112 de orden cero de la señal de error E por K_p . El aspecto integral se obtiene sumando la salida del retenedor 112 de orden cero de la señal de error E corriente con un valor de la salida previa del bloque sumador 104 retardada en, por ejemplo, 1/100 de segundo. El valor acumulado del circuito sumador o algoritmo 120 se multiplica por K_i para obtener el término integral del algoritmo PID. El aspecto derivada se consigue obteniendo la diferencia entre la salida del retenedor 112 de orden cero para E en el instante t y el valor retardado de E determinado en el circuito sustractor o algoritmo 122, y multiplicando ese resultado por K_d . Los tres aspectos se suman entonces lógicamente como en el circuito sumador o algoritmo 124 para producir la señal de corrección C. La siguiente es una fórmula representativa de lo que antecede:

$$C = K_p E(t) + K_d (dE(t)/dt) + K_i \int E(t)dt$$

Un área de interés la constituyen los coeficientes utilizados en el algoritmo de realimentación PID 106. Si bien el control 100 de realimentación PID proporcionará normalmente el deseado y ventajoso control de la temperatura, el caudal del gas a través de la cámara 20 puede influir sobre la fiabilidad de ese control y, por ello, puede afectar al nivel de humedad y a la temperatura del gas que llega al paciente 12. El caudal de gas a través de la cámara 20 puede variar de 1 o 2 litros por minuto (lpm) a entre 50 y 100 lpm, usualmente dentro de 2 lpm a 7 lpm. A medida que circula el gas a través de la cámara 20, se elimina energía térmica del agua 27, aproximadamente de forma proporcional al caudal del gas. Para aumentar la temperatura del agua 27 hasta el nivel deseado, el calentador 56 debe suministrar suficiente calor para compensar el absorbido por el gas que pasa por la cámara 20. Así, a caudales de aire bajos, se necesita menos calor para calentar el agua, mientras que para caudales altos, es necesaria una cantidad de calor mucho mayor para incrementar la temperatura del agua. Otra variable que depende del caudal es la constante de tiempo térmica del agua. A caudales altos, el sistema cambiará la temperatura mucho más deprisa que cuando el caudal es bajo.

El caudal del gas no está, generalmente, disponible para el controlador 54, por lo que se había pensado establecer y programar en la memoria 80 un único conjunto, fijo, de coeficientes basados en el caudal típico esperado para el sistema 10. Pero el conjunto de coeficientes programados en la memoria 80 podría basarse en un caudal demasiado alto o demasiado bajo con respecto al caudal real. A modo de ejemplo, si los coeficientes se seleccionan sobre el supuesto de que el caudal siempre se encontrará dentro de un cierto intervalo, si el caudal fuese, realmente, más bajo se retiraría de la cámara 20, cuando el gas pasa por ella, menos calor de lo que era previsible. El resultado puede suponer fuertes oscilaciones de la temperatura resultante, incluyendo desplazamientos de la temperatura indeseablemente por encima o por debajo del punto de regulación. Similarmente, si el caudal fuese realmente más alto que el caudal supuesto, se retirará más calor del previsto y puede que el control 100 no sea capaz de llevar la temperatura hasta el punto de regulación deseado. El reto es, por tanto, proporcionar un control de realimentación PID fiable basándose en mediciones de la temperatura en un entorno en el que las variaciones del caudal y/o del nivel de humedad no se conocen o no pueden determinarse directamente, pero pueden influir sobre el comportamiento del sistema.

De acuerdo con los principios del presente invento, los coeficientes se ajustan en relación con la diferencia entre la aportación de calor y la salida de calor, particularmente cuando el calentador 56 se encuentra en proceso de calentamiento, tal como desde un estado relativamente frío. Un proceso o algoritmo de calentamiento 200 utilizado para seleccionar los coeficientes para un funcionamiento en estado estable, se describirá con referencia a la fig. 4. Con el sistema 10 funcionando con un conjunto de coeficientes preseleccionado, en el paso 202, puede determinarse la aportación de calor obteniendo una lectura de la temperatura de entrada procedente del dispositivo 58 sensible a la temperatura y puede determinarse la salida de calor obteniendo una lectura de la temperatura de salida a partir de la sonda 40 acoplada a la salida de la cámara 20, ambas obtenidas a partir del respectivo convertidor A/D 72 aplicable. Aunque se muestra como un paso, el paso 202 podría estar constituido, realmente, por múltiples pasos. En el paso 204, se determina una diferencia de calor, tal como la diferencia entre la temperatura de entrada y la temperatura de salida (T_d). La diferencia de calor T_d se compara en el paso 206 con la temperatura T_{sp} del punto de regulación para proporcionar una indicación acerca de si los coeficientes que corrientemente se utilizan en el control 100 se correlacionan apropiadamente con el probable caudal del gas a través de la cámara 20. A este respecto, si la diferencia T_d se aparta de una relación esperada con la temperatura T_{sp} del punto de regulación, entonces el caudal no se aproxima, probablemente, lo suficiente al caudal de los coeficientes corrientes y debe ajustarse al caudal probable. Para ello, si T_d es demasiado baja con relación a T_{sp} , es probable que el caudal sea menor que el esperado, de forma que los coeficientes han de ajustarse para un caudal inferior en el paso 208. Similarmente, si T_d es demasiado alta con respecto a T_{sp} , es probable que el caudal sea superior al esperado, de modo que los coeficientes han de ajustarse para un caudal superior en el paso 210. Si la relación entre T_d y T_{sp} es aceptable, entonces no se realiza cambio alguno en el paso 212.

Como se describirá en conexión con otro proceso 220 de calentamiento ilustrado en la fig. 5, puede obtenerse ventajosamente T_d después de transcurrido un período de tiempo suficiente ("intervalo de calentamiento") para que el calentador 56 haya superado probablemente diversas influencias exteriores aparte del caudal y puede obtenerse, ventajosamente por una comparación de temperaturas de entrada y de salida medias para un segmento de tiempo seleccionado en el intervalo de calentamiento. Para los fines del proceso de la fig. 5, se han predeterminado y alma-

ES 2 337 528 T3

cenado en la memoria 80 tres conjuntos de coeficientes, tal como en una tabla o similar. Cada conjunto corresponde a una franja de caudales seleccionada, tales como un primer conjunto para caudales bajos (tales como menores de 5 lpm), un segundo conjunto para caudales altos (tales como superiores a 10 lpm), y un tercer conjunto para caudales intermedios (tales como de desde 5 lpm a 10 lpm). Asimismo, se establecen límites inferior y superior (LB y UB, respectivamente) en relación fija con el punto de regulación T_{sp} de temperatura y se ejecuta el proceso de la fig. 5 para ajustar los coeficientes basándose en la relación de T_d con los límites LB y UB.

Los límites y conjuntos de coeficientes se determinan empíricamente para la disposición y los componentes particulares del sistema 10 empleados con el fin de obtener el deseado comportamiento del mismo. Para ello, los coeficientes para una realización con un circuito 21 de respiración calentado se determinan para que sean:

<u>Franja de caudal</u>	<u>K_p</u>	<u>K_i</u>	<u>K_d</u>
Menos de 5 lpm	25	0,001	1000
De 5 lpm a 10 lpm	100	0,001	500
Más de 10 lpm	250	0,0025	250

Los coeficientes para una realización en la que el circuito de respiración no está calentado se determinan para que sean:

<u>Franja de caudal</u>	<u>K_p</u>	<u>K_i</u>	<u>K_d</u>
Menos de 5 lpm	15	0,01	3000
De 5 lpm a 10 lpm	25	0,015	3000
Más de 10 lpm	75	0,025	3000

El controlador 54 puede adaptarse para determinar si se está utilizando un circuito 21 de respiración calentado como se describe en la solicitud de patente norteamericana, presentada concurrentemente, número de serie 11/927.004, titulada "Detección de circuito de respiración calentado", publicada como US 2009/0107982. Alternativamente, se proporciona una entrada de usuario (no mostrada) al controlador 54 para indicar si el circuito 21 de respiración está calentado.

Los límites LB y UB se correlacionan con el punto de regulación T_{sp} de acuerdo con lo siguiente:

$$UB = 2,0399 T_{sp} - 36,3292$$

$$LB = 1,2675 T_{sp} - 21,1213$$

Volviendo a la fig. 5, en el paso 222 se selecciona un conjunto de coeficientes para una franja particular de caudales para el funcionamiento inicial del sistema 10 durante el proceso de calentamiento 220. Si se activa por primera vez el sistema 10, de tal manera que se espera que el calentador 56 esté frío, en el paso 222 pueden seleccionarse los coeficientes para la franja de caudales bajos. Si el sistema 10 ya estaba en funcionamiento, y había sido detenido temporalmente, el proceso de calentamiento 220 se iniciará de nuevo si el circuito 21 de respiración incluye una rama 22 de inspiración calentada, o se iniciará de nuevo si la rama de inspiración 22 no está calentada pero la temperatura en el paciente percibida en la sonda 40 es menor de 30°C. Si la rama de inspiración 22 no está calentada y la temperatura en el paciente según la sonda 40 es de 30°C o superior, se continúa con los coeficientes para la última franja de caudales utilizada antes de la detención temporal y el proceso se desvía hasta su final (paso 236). Si el sistema 10 no se encuentra detenido temporalmente, en el paso 224, con el sistema 10 en funcionamiento, la aportación de calor puede determinarse obteniendo una lectura de la temperatura de entrada a partir del dispositivo 58 sensible a la temperatura y puede determinarse la salida de calor obteniendo una lectura de la temperatura de salida a partir de la sonda 40 acoplada a la salida de la cámara 20, obtenidas ambas a partir del respectivo convertidor A/D 72 aplicable. Si bien se ilustra como un paso, el paso 224 podría estar constituido, realmente, por dos pasos. En el paso 226, se determina una diferencia de calor, tal como la diferencia (T_d) existente entre la temperatura de entrada y la temperatura de salida. En el paso 228, la diferencia de calor T_d se acumula y se promedia, tal como durante un segmento móvil de tiempo de un minuto.

En el paso 230, se realiza la determinación de si se ha alcanzado el final del intervalo de calentamiento que, en la realización mostrada en este documento, ha sido establecido en diez minutos o 600 segundos. Si no se ha alcanzado el término del intervalo de calentamiento, el proceso retorna al paso 224. El bucle entre los pasos 224 y 230 tiene lugar,

ES 2 337 528 T3

aproximadamente, cada segundo, de tal modo que en segmentos móviles de 10 segundos se toman diez lecturas. Sin embargo, si se ha llegado al final del intervalo de calentamiento en el paso 230, el proceso continúa al paso 232, en el que la diferencia de calor media se compara con LB y con UB que, así, resulta en la comparación de la diferencia de calor T_d con el punto de regulación de la temperatura, T_{sp} . A este respecto, si en el paso 232 la diferencia de calor media es igual o menor que LB, entonces los coeficientes se ajustan (ajuste que puede incluir su mantenimiento) a los coeficientes para la franja de caudales bajos en el paso 234, y el proceso de calentamiento termina en 236, continuándose el funcionamiento en estado estable con los coeficientes ajustados. Sin embargo, si en el paso 232 la diferencia de calor media es igual o mayor que UB, los coeficientes se ajustan (ajuste que puede incluir su mantenimiento) a los coeficientes para la franja de caudales altos en el paso 238 y el proceso termina, continuándose el funcionamiento en estado estable con los coeficientes ajustados. Además, si en el paso 232, la diferencia de calor media está comprendida entre LB y UB, los coeficientes se ajustan (ajuste que puede incluir su mantenimiento) a los coeficientes para la franja de caudales intermedios en el paso 240 y el proceso termina continuándose el funcionamiento en estado estable con los coeficientes ajustados. Para ajustar los coeficientes, puede obtenerse el conjunto apropiado a partir de la tabla de memoria 80 y cargarse en una parte de la memoria 80 utilizada durante el funcionamiento del procesador 70. Se apreciará también que las franjas de caudales podrían seleccionarse para caudales bajos si la diferencia fuese menor que LB, para caudales altos si la diferencia fuese mayor que UB y para caudales intermedios si la diferencia se encontrase entre LB y UB o fuese igual a cualquiera de ellos.

En uso, se activa el sistema 10 y se utiliza un conjunto de coeficientes, tales como el conjunto de caudales bajos, para iniciar el calentamiento del calentador 56. Se ejecuta el proceso de calentamiento de la fig. 4 o de la fig. 5 con el fin de ajustar los coeficientes del control de realimentación PID para el caudal que, probablemente, encuentre el sistema 10. Después, se continuará el funcionamiento en estado estable utilizando los coeficientes ajustados durante el proceso de calentamiento. Si se interrumpe el funcionamiento en estado estable, por ejemplo por una pausa en el funcionamiento del sistema 10, el proceso de calentamiento para ajustar los coeficientes puede ejecutarse de nuevo antes de seguir con el funcionamiento en estado estable o se puede saltar dicho proceso, como antes se ha explicado.

El ajuste de los coeficientes durante el proceso de calentamiento, por ejemplo mediante la selección de coeficientes basada en mediciones de temperatura fácilmente obtenidas, indicativas de la relación entre el punto de regulación y la diferencia entre la aportación de calor y la salida de calor, hace posible establecer los coeficientes a utilizar durante el funcionamiento en estado estable basándose en el probable caudal del sistema, sin obtener ni vigilar directamente el caudal o similar. Además, el ajuste de los coeficientes durante el proceso de calentamiento puede reducir en forma significativa el tiempo necesario para que el calentador alcance la temperatura deseada.

Asimismo, si bien no es crítico, puede resultar ventajoso ajustar los coeficientes durante el funcionamiento en estado estable teniendo en cuenta la relación de la temperatura medida con la temperatura del punto de regulación, en lugar de la diferencia de calor entre las temperaturas de entrada y de salida. Para ello, y con referencia a la fig. 6, se describe un proceso 250 en estado estable en el que los coeficientes pueden ajustarse durante el funcionamiento en estado estable basándose en el comportamiento de la temperatura medida (ya sea la temperatura en el paciente cuando el circuito de respiración 21 no está calentado, ya sea la temperatura de salida cuando el circuito de respiración está calentado) con relación al punto de regulación (que se fija a la temperatura en el paciente cuando el circuito de respiración 21 no está calentado o a la temperatura de salida cuando el circuito de respiración está calentado).

En el paso 252 se obtiene una lectura de temperatura tomada de la sonda 40 apropiada. En el paso 254 se determina una señal de error E que refleja la diferencia entre la temperatura medida y el punto de regulación esperado para esa temperatura. En el proceso 250 en estado estable, el ajuste de los coeficientes no tiene por qué ejecutarse con mucha frecuencia y, así, en el paso 256, las señales de error se acumulan y se promedian, tal como durante un segmento móvil de tiempo de cinco minutos. En el paso 258 se lleva a cabo la determinación de si se ha alcanzado el término de un intervalo de actualización que, en la realización mostrada en este documento, se establece en treinta minutos. Si no se ha alcanzado el final del intervalo de actualización, el proceso vuelve al paso 252. El bucle entre los pasos 252 y 258 se produce cada diez segundos, de tal modo que se toman treinta lecturas cada segmento de cinco minutos. Sin embargo, si se ha alcanzado el final del intervalo de actualización en el paso 258, el proceso continúa hasta el paso 260, en el que se evalúan las señales de error promediadas en cuanto a una diferencia de estado estable y una desviación estándar o error rms.

En particular, puede utilizarse el proceso 250 para determinar si el caudal se ha desviado del que se consideraba probable durante el proceso de calentamiento (o un conjunto predeterminado de coeficientes si no se ejecutó un proceso de calentamiento) basándose en que es de esperar que, en tales circunstancias, se presentará, probablemente, una de dos condiciones. Si el caudal real es menor que el caudal probable relacionado con el conjunto corriente de coeficientes, el error entre la temperatura medida y el punto de regulación presentará una desviación estándar, o error rms, indicativa de oscilaciones o desplazamientos de la temperatura por encima y por debajo del punto de regulación. Si en el paso 260 se determinase que la desviación estándar supera un umbral mínimo aceptable, tal como $0,5^{\circ}\text{C}$ a modo de ejemplo, entonces los coeficientes se ajustarán para un caudal probable más bajo, tal como seleccionando, en el paso 262, los coeficientes para la siguiente franja de caudales más bajos, y el proceso puede retornar al paso 252 para repetirse.

Si, por otra parte, el caudal real es más alto que el caudal probable relacionado con el conjunto corriente de coeficientes, el error entre la temperatura medida y el punto de regulación será relativamente constante, pero estará por debajo del punto de regulación. Si se diese tal condición, en el paso 260 se determinará que el error de estado estable supera un umbral mínimo, tal como -1°C , a modo de ejemplo, y los coeficientes se ajustarán para un caudal

probable más alto seleccionando en el paso 264, por ejemplo, los coeficientes para la siguiente franja de caudales más altos, antes de retornar al paso 252. Si no se da ninguna de estas condiciones, es decir, si tanto la desviación estándar como el error de estado estable no son demasiado altos, entonces no se necesita ajuste alguno de los coeficientes y, en el paso 266, el proceso puede retornar al paso 252.

En uso, durante el funcionamiento en estado estable del sistema 10, pueden medirse la temperatura y el error a partir del punto de regulación aplicable evaluados para el error de estado estable y la desviación estándar. Si ninguno supera un umbral mínimo respectivo, entonces se ajustan los coeficientes. El ajustar los coeficientes durante el funcionamiento en estado estable a consecuencia de errores determinados a partir de mediciones de temperatura fácilmente obtenidas en función de la temperatura del punto de regulación, hace posible ajustar los coeficientes durante el funcionamiento en estado estable basándose en cambios del caudal probable del sistema, igualmente sin vigilar ni obtener directamente caudales o similares.

La unidad calentadora 18 puede incluir, también, una fuente de alimentación (PS) para proporcionar uno o más niveles de voltaje de corriente continua regulada para uso en la activación de varios aspectos del controlador 54. El calentador 56 puede ser activado con corriente alterna directamente o a través de una toma AC1 de un transformador (TR), y los circuitos calentadores 34, 36 pueden ser activados a través de la fuente de alimentación PS o a través de tomas del transformador (TR), regulando su funcionamiento los diversos interruptores 76 de potencia en la forma descrita. La unidad calentadora 18 puede incluir, también, uno o más dispositivos de presentación, controles de entrada tales como pulsadores y diales o similares, e indicadores de alarma (no se muestra ninguno de ellos) y, además, puede disponer de diversas entradas y salidas de interconexión, por ejemplo para acoplamiento a una fuente de corriente alterna (no representada) y a los circuitos calentadores 34, 36 y al cable PTC 38. El controlador 54 puede incluir, también, varios controles y funciones de gestión de potencia. Además, la unidad calentadora 18 puede estar montada con una montura de bloqueo autoalineable (que tampoco se ilustra). Algo de lo que antecede se muestra en la solicitud de patente norteamericana, presentada concurrentemente con esta, número de serie 11/927.000, titulada "Circuito de calibración de termistancias", publicada como US 2009/0110022; en la solicitud de patente norteamericana número de serie 11/927.038, titulada "Calentador para sistema respiratorio", publicada como US 2009/0107981; en la solicitud de patente norteamericana número de serie 11/927.044, titulada "Mecanismo de montaje bloqueable para una unidad calentadora para sistema respiratorio", publicada como US 2009/0108168; en la solicitud de patente norteamericana número de serie 11/927.054, titulada "Control de potencia redundante para sistemas calentadores respiratorios", publicada como US 2009/0107493; y en la solicitud de patente norteamericana número de serie 11/927.068, titulada "Gestión de fallos de potencia para unidad calentadora para sistema respiratorio", publicada como US 2009/0113238.

En virtud de lo que antecede, se proporciona un control de realimentación PID fiable basado en mediciones de temperatura en un sistema respiratorio que no necesita mediciones de caudal.

Si bien el invento se ha ilustrado mediante la descripción de una o más de sus realizaciones, y aunque éstas se han descrito con detalle considerable, con ellas no se pretende restringir ni limitar en modo alguno a dicho detalle el alcance de las reivindicaciones adjuntas. A los expertos en la técnica les resultarán fácilmente evidentes ventajas y modificaciones adicionales. Por ejemplo, los ajustes a los coeficientes pueden suponer cambios para todos ellos o para algunos de ellos. Asimismo, aunque una realización ventajosa solamente tiene un conjunto de coeficientes (a saber, el tercer conjunto) para una franja de caudales intermedios, podrían emplearse más franjas u otras franjas de caudales con conjuntos respectivos de coeficientes. Además, si bien se ha mostrado el ventilador 14 para impulsar al gas a través de la cámara 20, se apreciará que podrían emplearse otros sistemas de gas tales como un suministro de oxígeno hospitalario, una bomba CPAP o una bomba BiPAP, u otro sistema de bombeo de aire o de oxígeno. Además, cuando están presentes, los circuitos calentadores 34, 36 pueden ser controlados, cada uno, mediante un control de realimentación PID similar al de la fig. 3, procediendo el valor medido de la temperatura de la sonda 40 aplicable y activando la señal de corrección C el circuito de control 74 aplicable y el interruptor 76 para el respectivo circuito calentador 34 o 36. Sin embargo, puede que no sea necesario ajustar los coeficientes de ese o de esos controles de realimentación PID, de modo que los coeficientes puedan ser fijos. En una realización, los coeficientes para los controles de realimentación PID de los circuitos calentadores 34 y 36 están determinados para que sean $K_p=200$, $K_i=0,025$ y $K_d=1000$. Los circuitos calentadores 34, 36 pueden ser controlados en forma independiente con el fin de reducir la precipitación en las ramas 22 y/o 24 como se describe en la solicitud de patente norteamericana número de serie 11/926.990, titulada "Reducción de la precipitación en un circuito de respiración", publicada como US2009/0107496. Además, aunque no se muestra, las diversas temperaturas pueden vigilarse y el sistema 10 puede desconectarse y/o hacerse sonar una alarma si la lectura de la temperatura supera un valor máximo. Por lo tanto, el invento, en sus aspectos más amplios, no se limita a los detalles específicos, al aparato representativo ni a los métodos y ejemplos ilustrativos representados y descritos. En consecuencia, pueden introducirse variantes en dichos detalles sin, por ello, salirse del alcance del concepto general del invento del solicitante.

Habiéndose descrito el invento, lo que se reivindica es.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un método de controlar el calentamiento de un gas respirable en el que se utiliza un control de realimentación PID (100) que tiene un conjunto de coeficientes, que comprende calentar agua (27) en una cámara (20), y hacer pasar el gas a través de la cámara (20) para calentar el gas, **caracterizado** por ajustar los coeficientes basándose en una diferencia de calor entre la aportación de calor al agua (27) y la salida de calor de la cámara (20) en relación con un punto de regulación de la temperatura.
- 10 2. Un método como se reivindica en la reivindicación 1, que comprende además obtener un valor de entrada de calor y un valor de salida de calor y determinar la diferencia entre ellos.
- 15 3. Un método como se reivindica en la reivindicación 2, en el que la obtención de un valor de entrada de calor incluye obtener una lectura de temperatura de un calentador destinado a calentar el agua (27) contenida en la cámara (20), la obtención de un valor de salida de calor incluye obtener una lectura de temperatura del gas calentado, y la determinación de la diferencia incluye calcular una diferencia entre las lecturas de temperatura obtenidas.
- 20 4. Un método como se reivindica en la reivindicación 3, en el que los coeficientes se ajustan para corresponder a un caudal más bajo si la diferencia es demasiado pequeña en relación con el punto de regulación y para corresponder a un caudal más alto si la diferencia es demasiado grande en relación con el punto de regulación.
- 25 5. Un método como se reivindica en la reivindicación 1, en el que los coeficientes se ajustan para corresponder a un caudal más bajo si la relación implica que la diferencia de calor es demasiado pequeña en relación con el punto de regulación y para corresponder a un caudal más alto si la relación implica que la diferencia de calor es demasiado grande en relación con el punto de regulación.
- 30 6. Un método como se reivindica en la reivindicación 1, que comprende además comparar la diferencia de calor con límites superior e inferior relacionados con el punto de regulación y ajustar los coeficientes a un caudal más bajo si la diferencia de calor está por debajo del límite inferior y a un caudal superior si la diferencia de calor está por encima del límite superior.
- 35 7. Un método como se reivindica en la reivindicación 1, que comprende además comparar la diferencia de calor con límites superior e inferior relacionados con el punto de regulación y ajustar los coeficientes a un caudal más bajo si la diferencia de calor es igual o está por debajo del límite inferior y a un caudal superior si la diferencia de calor es igual o está por encima del límite superior.
- 40 8. Un método como se reivindica en la reivindicación 1, en el que se establecen una pluralidad de conjuntos de coeficientes, cada uno de ellos correspondiente a una franja respectiva de caudales, correspondiendo un primer conjunto de coeficientes a una franja de caudales bajos, correspondiendo un segundo conjunto de coeficientes a una franja de caudales altos, y correspondiendo al menos un tercer conjunto de coeficientes a una franja de caudales intermedios, comprendida entre las franjas de caudales bajos y altos, cuyo método comprende, además, trabajar inicialmente con un conjunto de coeficientes y en el que el ajuste de los coeficientes incluye seleccionar uno de los conjuntos de coeficientes.
- 45 9. Un método como se reivindica en la reivindicación 8, en el que los límites inferior y superior se establecen en relación con el punto de regulación, seleccionándose el primer conjunto de coeficientes si la diferencia de calor está por debajo del límite inferior, seleccionándose el segundo conjunto de coeficientes si la diferencia de calor está por encima del límite superior, y seleccionándose el tercer conjunto de coeficientes si la diferencia de calor se encuentra entre los límites superior e inferior.
- 50 10. Un método como se reivindica en la reivindicación 9, en el que se selecciona el primer conjunto de coeficientes si la diferencia de calor es igual o está por debajo del límite inferior.
- 55 11. Un método como se reivindica en la reivindicación 10, en el que se selecciona el segundo conjunto de coeficientes si la diferencia de calor es igual o está por encima del límite superior.
- 60 12. Un método como se reivindica en la reivindicación 9, en el que se selecciona el segundo conjunto de coeficientes si la diferencia de calor es igual o está por encima del límite superior.
- 65 13. Un método como se reivindica en la reivindicación 8, en el que el funcionamiento inicial se produce con el primer conjunto de coeficientes.
14. Un método como se reivindica en la reivindicación 8, en el que la obtención de un valor de aportación de calor incluye obtener una lectura de temperatura de un calentador destinado a calentar el agua contenida en la cámara, la obtención de un valor de salida de calor incluye obtener una lectura de temperatura del gas calentado, y la determinación de una diferencia incluye calcular una diferencia entre las lecturas de temperatura obtenidas, cuya diferencia se utiliza para seleccionar el conjunto de coeficientes.

15. Un método como se reivindica en la reivindicación 8, en el que el punto de regulación se correlaciona con una temperatura deseada del gas cuando éste sale de la cámara.

16. Un método como se reivindica en la reivindicación 8, que comprende además reajustar los coeficientes seleccionando uno de los conjuntos de coeficientes en relación con una señal de error entre una temperatura de punto de regulación y una temperatura real medida.

17. Un método como se reivindica en la reivindicación 16, en el que se selecciona el conjunto de coeficientes para una franja siguiente de caudales más bajos si una desviación estándar de la señal de error supera un umbral mínimo.

18. Un método como se reivindica en la reivindicación 16, en el que se selecciona el conjunto de coeficientes para una franja siguiente de caudales más altos si un estado estable de la señal de error supera un umbral mínimo.

19. Un método como se reivindica en la reivindicación 16, en el que el punto de regulación se correlaciona con una temperatura deseada del gas que sale de la cámara (20).

20. Un método como se reivindica en cualquier reivindicación precedentes, que comprende además reajustar los coeficientes en relación con una señal de error entre una temperatura de punto de regulación y una temperatura real medida.

21. Un método como se reivindica en la reivindicación 20, en el que los coeficientes se reajustan para un caudal más alto si una desviación estándar de la señal de error supera un umbral mínimo.

22. Un método como se reivindica en la reivindicación 20, en el que los coeficientes se reajustan para un caudal más bajo si un estado estable de la señal de error supera un umbral mínimo.

23. Un método de controlar el calentamiento de un gas respirable en el que se utiliza un control (100) de realimentación PID que tiene un conjunto de coeficientes, que comprende calentar agua (27) contenida en una cámara (20) y hacer pasar el gas a través de la cámara (20) para calentar el gas, **caracterizado** por ajustar los coeficientes en relación con una señal de error entre una temperatura de punto de regulación y una temperatura real medida.

24. Un método como se reivindica en la reivindicación 23, en el que los coeficientes se ajustan para un caudal más bajo si una desviación estándar de la señal de error supera un umbral mínimo.

25. Un método como se reivindica en la reivindicación 23, en el que los coeficientes se ajustan para un caudal más alto si un estado estable de la señal de error supera un umbral mínimo.

26. Un método como se reivindica en la reivindicación 23, en el que la temperatura de punto de regulación corresponde a una temperatura deseada del gas cuando sale de la cámara (20), cuyo método comprende además obtener la temperatura real medida midiendo la temperatura del gas cuando sale de la cámara (20).

27. Un sistema calentador para calentar un gas respirable que comprende un calentador (56) destinado a calentar agua (27) en una cámara (20) a través de la cual será hecho pasar el gas, un dispositivo (58) sensible a la temperatura destinado a proporcionar una señal indicativa de la aportación de calor a dicha agua (27) desde el calentador (56), una entrada (55) destinada a recibir una señal indicativa de la salida de calor desde dicha cámara (20), y un controlador (54) destinado a regular el calentador (56) y que tiene un control (100) de realimentación PID que utiliza un conjunto de coeficientes, incluyendo el controlador (54) un procesador (70), **caracterizado** porque el procesador (70) está destinado a ajustar los coeficientes basándose en una diferencia de calor correspondiente a la diferencia existente entre las señales indicativas de la aportación de calor a dicha agua (27) a partir del calentador (56) y las señales indicativas de la salida de calor desde dicha cámara (20) en relación con un punto de regulación de temperatura.

28. Un sistema calentador como se reivindica en la reivindicación 27, en el que procesador (70) está destinado a ajustar los coeficientes para que correspondan a un caudal más bajo si la diferencia es demasiado pequeña en relación con el punto de regulación y para que correspondan a un caudal más alto si la diferencia es demasiado grande en relación con el punto de regulación.

29. Un sistema calentador como se reivindica en la reivindicación 27, en el que el procesador (70) está destinado a comparar la diferencia con límites superior e inferior relacionados con el punto de regulación y a ajustar los coeficientes a un caudal más bajo si la diferencia está por debajo del límite inferior y a un caudal más alto si la diferencia está por encima del límite superior.

30. Un sistema calentador como se reivindica en la reivindicación 27, en el que el procesador (70) está destinado a comparar la diferencia con límites superior e inferior relacionados con el punto de regulación y a ajustar los coeficientes a un caudal más bajo si la diferencia es igual o está por debajo del límite inferior y a un caudal más alto si la diferencia es igual o está por encima del límite superior.

31. Un sistema calentador como se reivindica en la reivindicación 27, que comprende además una memoria (80) para almacenar una pluralidad de conjuntos de coeficientes, cada uno de los cuales corresponde a una franja respectiva

ES 2 337 528 T3

de caudales, correspondiendo un primer conjunto de coeficientes a una franja de caudales bajos, correspondiendo un segundo conjunto de coeficientes a una franja de caudales altos, y correspondiendo al menos un tercer conjunto de coeficientes a una franja de caudales intermedios, comprendida entre las franjas de caudales bajos y altos, estando destinado el control (100) de realimentación PID a funcionar con un conjunto de coeficientes y estando destinado el procesador (70) a seleccionar uno de los conjuntos de coeficientes de la memoria (80) con el fin de ajustar los coeficientes.

32. Un sistema calentador como se reivindica en la reivindicación 31, en el que el procesador (70) está destinado a determinar límites inferior y superior en relación con el punto de regulación y a seleccionar el primer conjunto de coeficientes si la diferencia está por debajo del límite inferior, el segundo conjunto de coeficientes si la diferencia está por encima del límite superior, y el tercer conjunto de coeficientes si la diferencia está comprendida entre los límites superior e inferior.

33. Un sistema calentador como se reivindica en la reivindicación 32, en el que el procesador (70) está destinado a seleccionar el primer conjunto de coeficientes si la diferencia es igual o está por debajo del límite inferior.

34. Un sistema calentador como se reivindica en la reivindicación 32, en el que el procesador (70) está destinado a seleccionar el segundo conjunto de coeficientes si la diferencia es igual o está por encima del límite superior.

35. Un sistema calentador como se reivindica en la reivindicación 31, en el que el procesador (70) está destinado a seleccionar el primer conjunto de coeficientes para el funcionamiento inicial del control (100) de realimentación PID.

36. Un sistema calentador como se reivindica en la reivindicación 31, en el que el procesador (70) está destinado a reajustar los coeficientes seleccionando uno de los conjuntos de coeficientes en relación con una señal de error entre una temperatura de punto de regulación y una señal indicativa de la salida de calor de dicha cámara (20) en dicha entrada.

37. Un sistema calentador como se reivindica en la reivindicación 27, en el que procesador (70) está destinado a reajustar los coeficientes seleccionando uno de los conjuntos de coeficientes en relación con una señal de error entre una temperatura de punto de regulación y una señal indicativa de la salida de calor de dicha cámara (20) en dicha entrada.

38. Un sistema calentador para calentar un gas respirable, que comprende un calentador (56) destinado a calentar agua (27) en una cámara (20) a través de la cual será hecho pasar el gas, una entrada (55) destinada a recibir una señal indicativa de una temperatura; y un controlador (54) destinado a regular el calentador (56) y que tiene un control (100) de realimentación PID que utiliza un conjunto de coeficientes, incluyendo el controlador (54) un procesador (70) destinado a ajustar los coeficientes en relación con una señal de error entre una temperatura de punto de regulación y la señal indicativa de una temperatura en la entrada (55).

39. Un sistema calentador como se reivindica en la reivindicación 38, en el que el procesador (70) está destinado a ajustar los coeficientes para un caudal más alto si una desviación estándar de la señal de error supera un umbral mínimo.

40. Un sistema calentador como se reivindica en la reivindicación 38, en el que el procesador (70) está destinado a ajustar los coeficientes para un caudal más bajo si un estado estable de la señal de error supera un umbral mínimo.

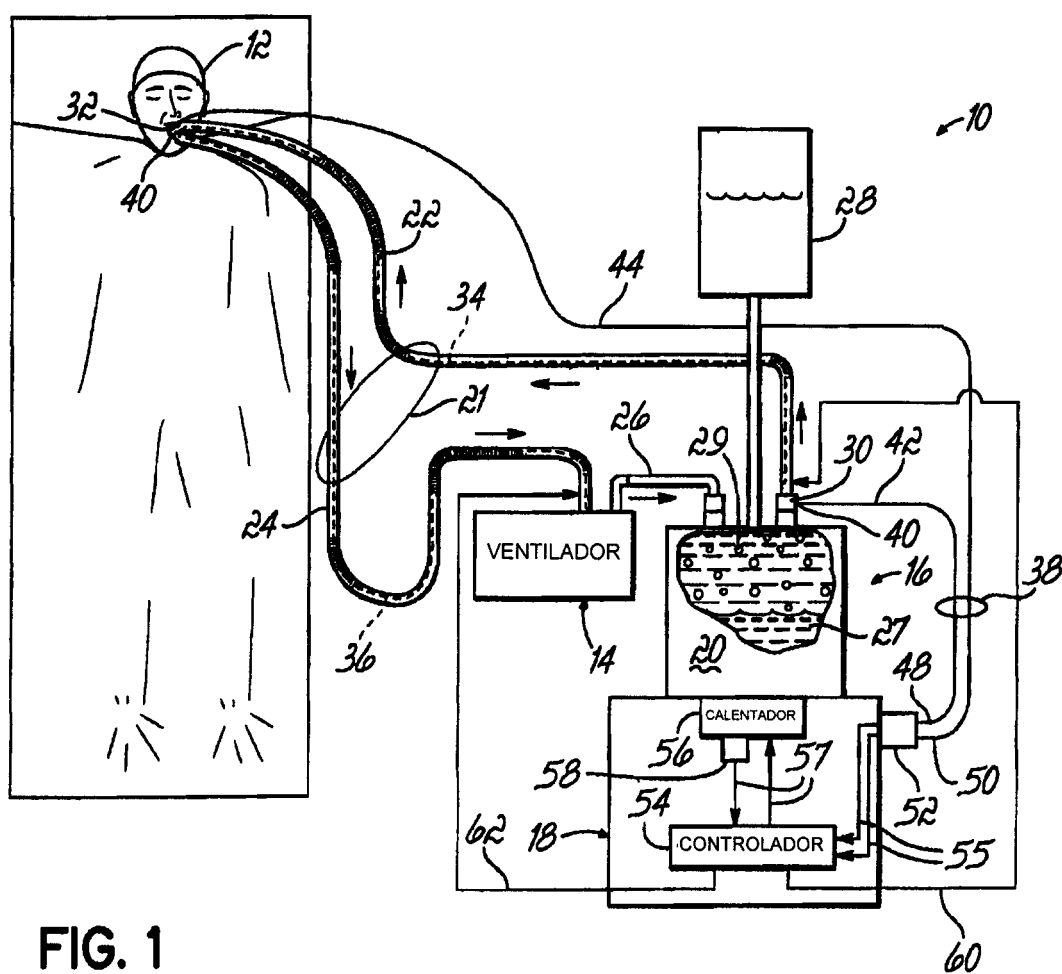


FIG. 1

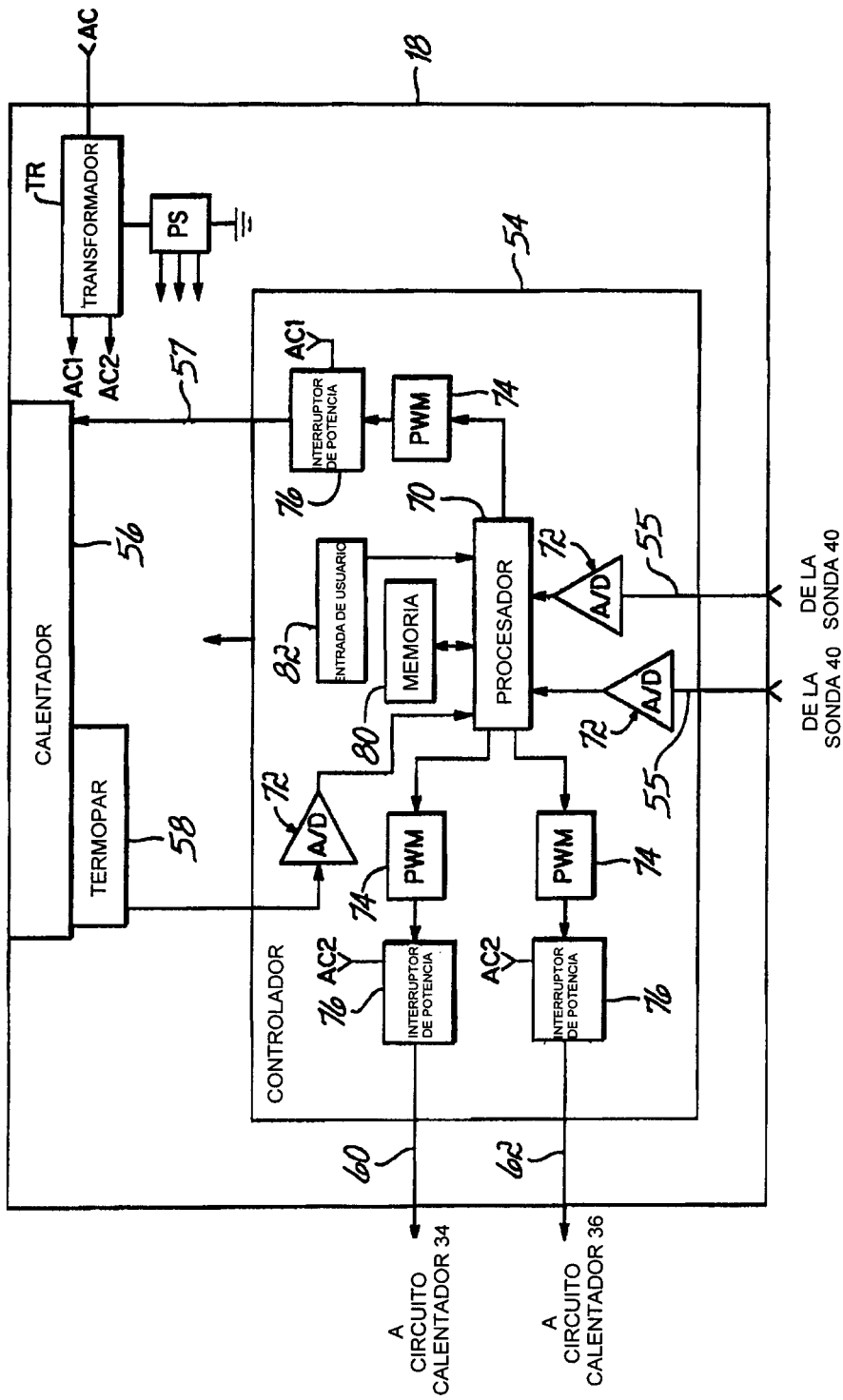


FIG. 2

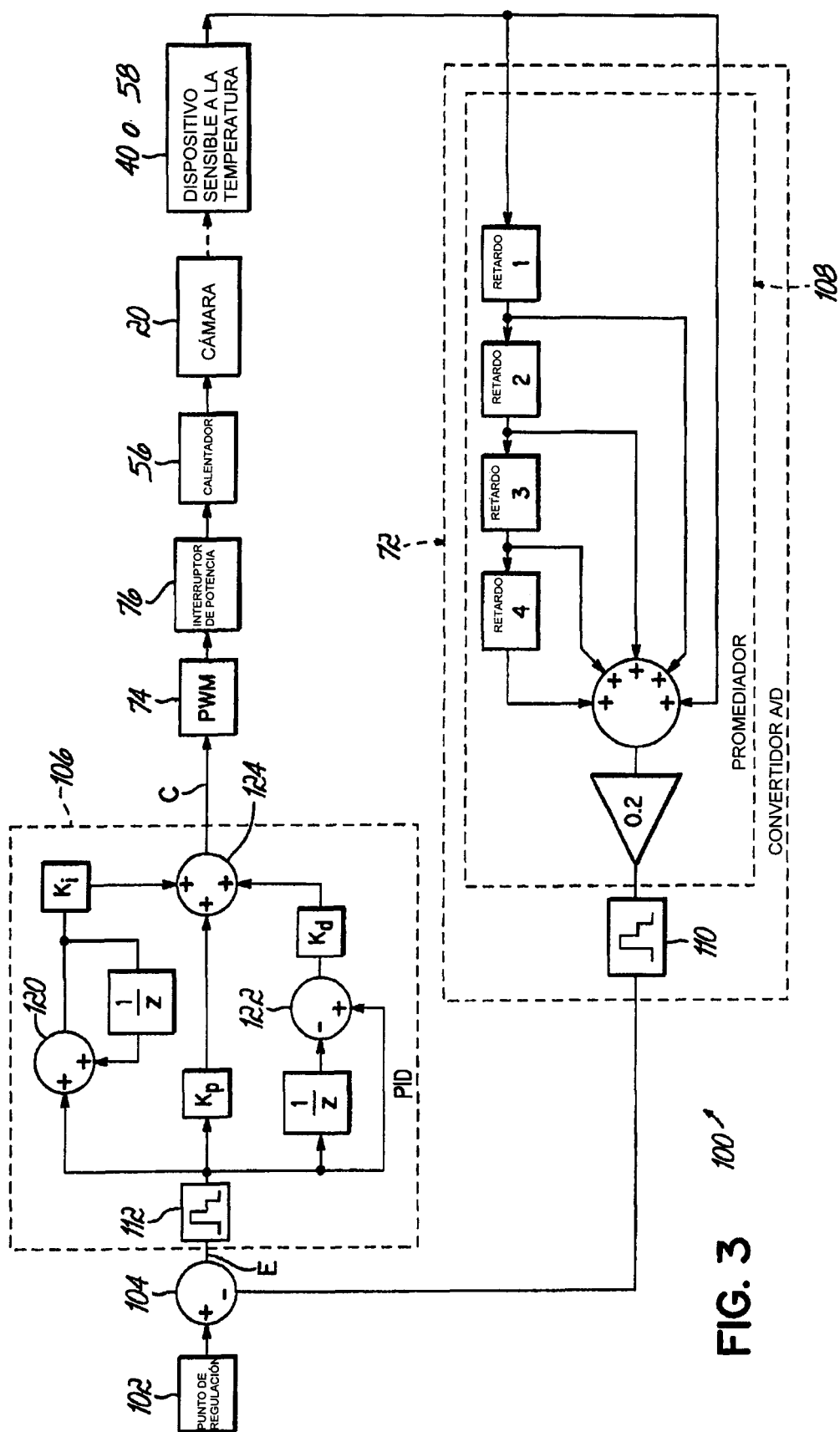


FIG. 3 100

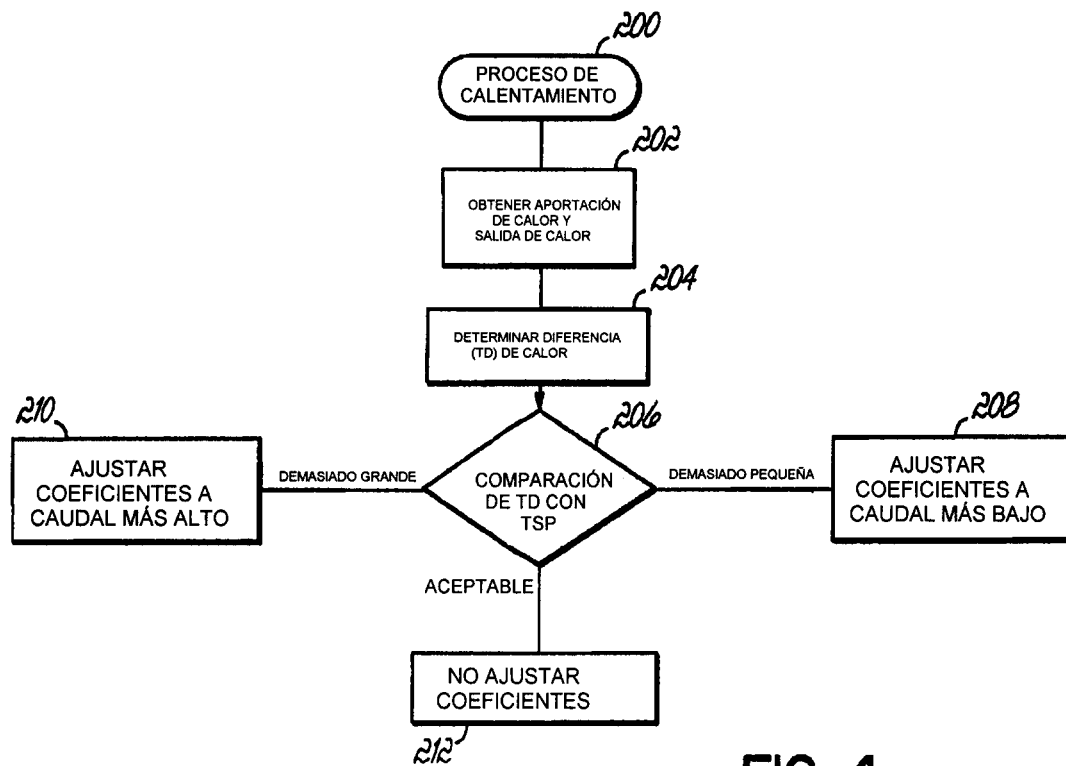


FIG. 4

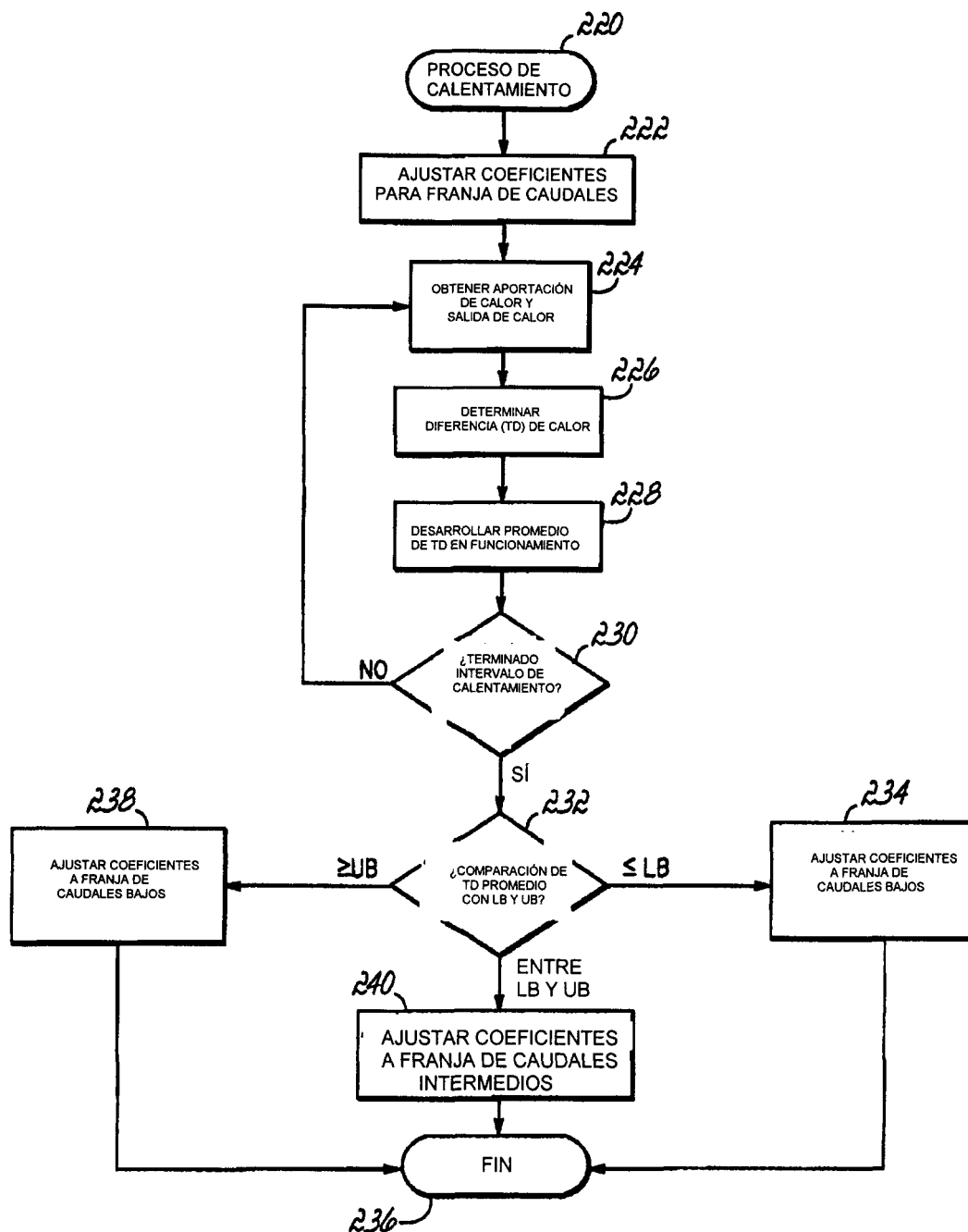


FIG. 5

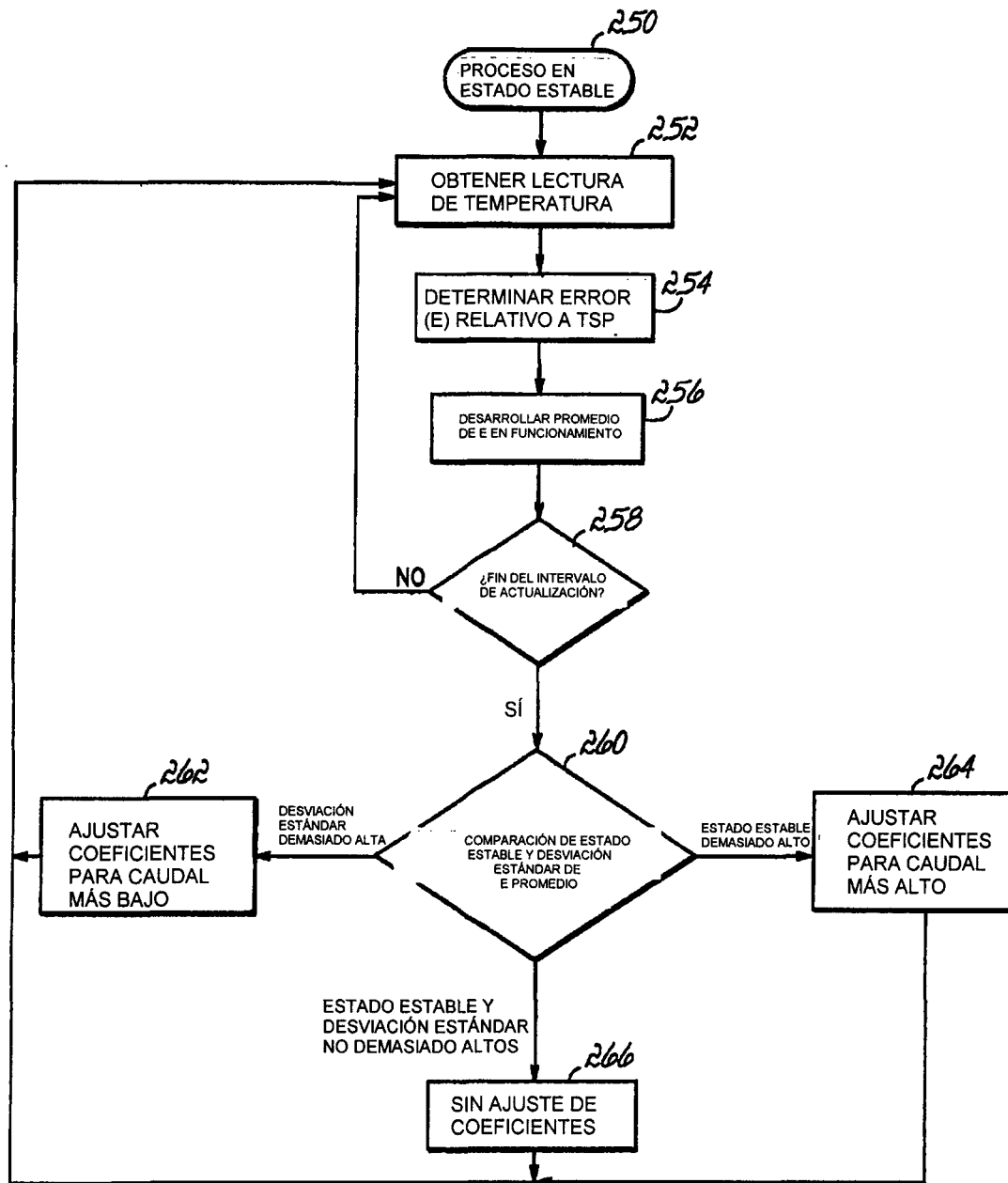


FIG. 6