

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 765 008**

51 Int. Cl.:

G01F 1/68	(2006.01)
A61B 5/20	(2006.01)
G01F 1/684	(2006.01)
G01F 1/69	(2006.01)
G01F 1/696	(2006.01)
G01F 1/698	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.06.2012 PCT/IL2012/000249**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **27.12.2012 WO12176194**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.06.2012 E 12802162 (3)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.10.2019 EP 2724124**

54 Título: **Método y aparato para medir el caudal de un líquido**

30 Prioridad:

23.06.2011 IL 21376711

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

05.06.2020

73 Titular/es:

**RENALSENSE LTD. (100.0%)
3 Hamarpe Street
Jerusalem 91450, IL**

72 Inventor/es:

**MANTINBAND, JACK YEHOASHUA y
ADLER, MICHAEL**

74 Agente/Representante:

SÁNCHEZ SILVA, Jesús Eladio

ES 2 765 008 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método y aparato para medir el caudal de un líquido

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere al campo de los medidores de caudal. Específicamente, la invención se refiere a medidores de caudal que permiten la determinación precisa del caudal volumétrico de un líquido.

10 Antecedentes de la invención

La medición del caudal es importante en muchos campos. Por ejemplo, muchos procesos industriales requieren la medición del caudal a través de varios conductos para controlar el proceso de manera adecuada. Otros usos que requieren la medición de un líquido o gas incluyen la entrega de un producto a un consumidor, como gas, petróleo y agua.

15

En el campo médico, la medición de líquidos a veces se aplica al flujo de orina de un paciente o a un medicamento que se administra por vía intravenosa. La lesión renal aguda (IRA) es un problema común en pacientes hospitalizados, particularmente en cuidados críticos y en el quirófano. Sin embargo, solo recientemente la profesión médica ha formulado criterios para evaluar y clasificar el riesgo y la progresión de la IRA. Estos criterios especifican cinco etapas principales en la progresión de la IRA: riesgo, lesión, falla, pérdida, enfermedad renal en etapa final (conocida por sus iniciales como los criterios de RIFLE). Basado en el éxito de RIFLE, la Red de Lesiones Renales Agudas - AKIN - fue formada por un cuadro internacional de médicos líderes enfocados en el tema de AKI. AKIN ha respaldado y promovido RIFLE. Además, también propusieron modificaciones menores a los criterios de RIFLE a los que se refieren como criterios de AKIN. Los criterios de RIFLE-AKIN proporcionan herramientas valiosas para prevenir la AKI. Estos criterios incluyen mediciones de compensación de creatinina y la producción de orina. La compensación de creatinina es un indicador muy tardío que muestra solo que AKI ya ha ocurrido. La producción de orina como una medida de la función renal generalmente se evalúa diariamente o por turnos (por ejemplo, cada ocho horas).

20

25

30

Los medidores de caudal de transferencia térmica suelen medir el caudal de forma continua utilizando un elemento de calentamiento y dos sensores de temperatura (uno aguas arriba y otro aguas abajo o adyacentes al calentador). Al medir el diferencial de temperatura entre los dos termómetros, se calcula el caudal. Alternativamente, la temperatura se mantiene a un valor constante por encima de la temperatura ambiente del fluido en el calentador y se controla la energía requerida para hacerlo, a partir de la cual se puede calcular el caudal.

35

La Figura 1 muestra esquemáticamente la disposición básica de un medidor de caudal másico térmico de la técnica anterior. Otros ejemplos se pueden encontrar en WO 2004/100788 A1 o en US 2009/0000396 A1. Un líquido fluye a través de un tubo 100 en la dirección indicada por las flechas. En algún lugar en una pared del tubo o en el interior del tubo se coloca un elemento de calentamiento 120. El sensor de temperatura 110, que mide la temperatura T_i , y el sensor de temperatura 112, que mide la temperatura T_j , se encuentran respectivamente aguas arriba y aguas abajo del calentador 120. Las líneas isotérmicas 130, 131 y 132 muestran simbólicamente la distribución de temperatura como resultado de la entrada de energía al elemento de calentamiento, donde $T_{130} > T_{131} > T_{132}$.

40

Los símbolos utilizados en este documento se definen en la siguiente tabla:

45

Símbolo	Significado	Unidades
V	Volumen	[l] Litros
\dot{V}	Caudal volumétrico (volumen/tiempo)	$\left[\frac{l}{min}\right]$ Litros/minuto
Q	Energía, trabajo	[J] Jules
ρ	Densidad	$\left[\frac{g}{l}\right]$ gramos/litro
C_p	Capacidad calorífica específica (bajo presión constante)	$\left[\frac{J}{g \cdot ^\circ C}\right]$ Jules/(gramo °C)
T	Temperatura	[°C] grados Celsius
T_i	Temperatura del líquido antes del calentador (aguas arriba)	[°C] grados Celsius
T_j	Temperatura del líquido después o en el calentador (aguas abajo)	[°C] grados Celsius
I	Corriente eléctrica	[A] Amperes
v	Potencial eléctrico	[V] Voltios
ΔT	Diferencia de temperatura $T_j - T_i$	[°C] grados Celsius
t	Tiempo	[s] segundos

50

55

60

Un tipo relacionado de medidor de caudal de transferencia térmica, conocido, *entre otros*, como un medidor de caudal de temperatura constante, utiliza una disposición similar al que se muestra en la Figura 1, con la excepción de que el sensor de temperatura 112 está adyacente al elemento de calentamiento o es parte integral del mismo 120. En esta configuración, el elemento de calentamiento 120 se calienta a una temperatura diferencial constante establecida T_j (medida por el sensor

65

112) por encima de la temperatura T_i medida por el sensor 110. La cantidad de calor arrastrado por el fluido que fluye depende del caudal. La temperatura del calentador 120 se mantiene constante ajustando la corriente aplicada al mismo. El valor de la corriente eléctrica (I) requerida para mantener un diferencial de temperatura constante ΔT proporciona un medio para calcular el caudal, como se muestra en la ecuación 3.

5

En la disposición básica anterior de un medidor de caudal másico térmico de la técnica anterior, se aplica una cantidad de calor al fluido calentando el elemento 120 hasta que la temperatura alcanza un valor T_j . En este punto, el elemento de calentamiento se apaga y se mide el tiempo hasta que la temperatura vuelve al valor original T_i . El tiempo del primer punto de medición se conoce con precisión, pero es difícil determinar el tiempo exacto en el que debe tomarse la segunda medición, ya que la temperatura cambia relativamente lento a medida que se acerca a su valor de estado estable. Además, cuando se realizan mediciones repetidas del caudal, la temperatura ambiente del líquido puede aumentar lentamente, por lo que no se obtiene un valor exacto de T_i del líquido. Además, el uso de un medidor de caudal másico térmico de la técnica anterior, que requiere que la energía se aplique continuamente al elemento de calentamiento, no es energéticamente eficiente.

10

15

Por lo tanto, un objetivo de la presente invención es proporcionar un método simple y preciso para determinar el caudal de un líquido.

20

Es otro objetivo de la invención proporcionar un medidor de caudal simple, rentable y preciso.

Es otro objetivo de la invención proporcionar un medidor de caudal que tenga un requerimiento mínimo de energía.

Otros propósitos y ventajas de esta invención aparecerán a medida que avance la descripción.

25

Resumen de la invención

En un primer aspecto, la invención es un aparato para medir el caudal volumétrico de un líquido a través de un conducto. El aparato comprende los siguientes componentes:

30

a) un elemento de calentamiento en contacto térmico con el líquido en el conducto, el elemento de calentamiento adaptado para suministrar una cantidad conocida de calor en un período de tiempo conocido al líquido que fluye;

b) un sensor de temperatura adaptado para medir la temperatura instantánea del elemento de calentamiento; y

35

c) un sistema de control que comprende al menos uno de los siguientes componentes: un procesador, medios de entrada, una unidad de memoria, dispositivos de visualización y medios de salida, en donde:

40

i) el procesador del sistema de control está configurado para aplicar energía al elemento de calentamiento para suministrar la cantidad conocida de calor comenzando en el tiempo t_1 y terminando en el tiempo t_2 ;

ii) el procesador del sistema de control está configurado para recibir una medición inicial de la temperatura instantánea T_i y una medición final de la temperatura instantánea T_j del elemento de calentamiento desde el sensor de temperatura, en donde T_j se mide un período de tiempo conocido después de que se mide la temperatura T_i ; y

45

iii) la unidad de memoria del sistema de control comprende tablas de calibración, gráficos o relaciones matemáticas que se pueden usar para determinar los valores del caudal que corresponden a los valores medidos del cambio en la temperatura del líquido que fluye para una cantidad conocida de calor entregado en un período de tiempo conocido para el líquido que fluye;

50

caracterizado porque el aparato está configurado para medir T_i después de t_1 y el aparato está configurado para medir T_j antes de t_2 .

55

Las realizaciones del aparato comprenden además un dispositivo de visualización, en el que los componentes del sistema de control están configurados para llevar a cabo al menos uno de los siguientes:

60

a) la unidad de memoria y el dispositivo de visualización del sistema de control están configurados para almacenar y mostrar a un usuario información relacionada con el funcionamiento del aparato y las propiedades del líquido que los componentes del aparato miden o determinan;

b) los medios de salida del sistema de control están configurados para enviar valores instantáneos o históricos de temperaturas medidas y otra información relativa al líquido y al aparato a ubicaciones remotas;

65

c) los medios de salida del sistema de control están configurados para enviar señales que pueden usarse como entrada a otros sistemas; y

d) los medios de salida del sistema de control están configurados para enviar alarmas si hay cambios predeterminados en el caudal u otras propiedades medidas del líquido.

5 Las realizaciones del aparato comprenden al menos uno de:

a) una trampa de burbujas ubicada aguas arriba de una ubicación en la que se mide el caudal volumétrico;

10 b) una membrana permeable a los gases ubicada aguas arriba de la ubicación en la que se mide el caudal volumétrico.

Las realizaciones del aparato están adaptadas para estar conectadas o ser parte integral de un conducto.

15 En realizaciones del aparato, el conducto es un catéter o tubo de drenaje que sale de un paciente.

En realizaciones del aparato, el procesador del sistema de control está configurado para usar mediciones del caudal de orina para proporcionar una evaluación continua y en tiempo real de la función renal y una alerta temprana de afecciones relacionadas con la lesión renal aguda.

20 En un segundo aspecto, la invención es un método para medir en tiempo real el caudal volumétrico de un líquido a través de un conducto mediante el uso de un aparato que comprende un elemento de calentamiento en contacto térmico con el líquido que fluye y adaptado para suministrar una cantidad conocida de calor en un período de tiempo conocido para el líquido que fluye, un sensor de temperatura adaptado para medir la temperatura instantánea del elemento de calentamiento y un sistema de control que comprende un procesador y una unidad de memoria. El método comprende las siguientes etapas:

25 i) aplicar energía al elemento de calentamiento comenzando en el tiempo t_1 y terminando en el tiempo t_2 ;

30 ii) midiendo uno de:

a) una temperatura T_i del elemento de calentamiento y una temperatura T_j del elemento de calentamiento un período conocido de tiempo después de la temperatura T_i se mide; y

35 b) la temperatura del elemento de calentamiento varias veces, obteniendo así un conjunto de puntos de datos que representan la curva de aumento de temperatura; y

40 iii) retirar de la memoria una tabla de calibración, gráfico o relación matemática que se construyó para la cantidad conocida de calor y determinar a partir de la tabla, gráfico o relación matemática el valor del caudal que corresponde a uno de:

a) el valor medido de $T_j - T_i$; y

b) la curva de aumento de temperatura;

45 caracterizado porque todas las mediciones de la temperatura del elemento de calentamiento se realizan después de t_1 y antes de t_2 .

Las realizaciones del método del segundo aspecto están adaptadas para medir el caudal volumétrico de un líquido a través de un catéter o un tubo de drenaje que sale de un paciente.

50 En realizaciones del método del segundo aspecto, el líquido es orina.

En realizaciones del método del segundo aspecto, las mediciones se usan para detectar el riesgo de daño renal agudo y sus etapas.

55 En un tercer aspecto, la invención es un método para usar un elemento de calentamiento en contacto térmico con líquido que fluye a través de un conducto y está adaptado para suministrar una cantidad conocida de calor en un período de tiempo conocido al líquido que fluye y un sensor de temperatura adaptado para medir la temperatura instantánea del elemento de calentamiento para construir una tabla de calibración, gráfico o relación matemática que se puede usar para determinar el valor del caudal que corresponde a un valor medido del cambio de temperatura del líquido que fluye para una cantidad conocida de calor entregado por el elemento de calentamiento en un período de tiempo conocido al líquido que fluye. El método comprende las siguientes etapas:

60 a) ajustar el caudal a un valor constante conocido;

65

b) aplicar energía al elemento de calentamiento comenzando en el tiempo t_1 y terminando en el tiempo t_2 ;

c) medir la temperatura T_i del elemento de calentamiento;

5 d) medir la temperatura T_j del elemento de calentamiento un período de tiempo conocido después de medir la temperatura T_i ;

10 e) almacenar los valores del caudal, el valor de la cantidad de calor suministrado al líquido que fluye en el período de tiempo conocido entre las mediciones de T_i y T_j , y el valor de $T_j - T_i$ en una unidad de memoria; y

f) repetir las etapas de la a a la e para diferentes valores conocidos de caudal;

caracterizado porque T_i se mide después de t_1 y T_j se mide antes de t_2 .

15 Breve descripción de los dibujos

Las características y ventajas anteriores y otras de la invención serán más evidentes a través de los siguientes ejemplos, y con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

20 - La Figura 1 muestra esquemáticamente la disposición básica de un medidor de caudal de transferencia térmica de la técnica anterior;

25 - La Figura 2 muestra esquemáticamente una sección de conducto que comprende componentes usados para medir el caudal de un líquido que fluye a través del mismo de acuerdo con una realización de la invención;

- La Figura 3A, la Figura 3B y la Figura 3C muestran esquemáticamente gráficos de un solo pulso de calentamiento aplicado al aparato y el correspondiente cambio de temperatura frente al tiempo;

30 - La Figura 4 muestra esquemáticamente una serie de tres pulsos de calentamiento consecutivos y el correspondiente cambio de temperatura frente al tiempo;

- La Figura 5 muestra esquemáticamente gráficos de la potencia aplicada al aparato y el cambio de temperatura integral frente al tiempo; y

35 - La Figura 6 ilustra esquemáticamente un sistema para medir el caudal de orina de un paciente cateterizado de acuerdo con una realización de la invención.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas

40 La presente invención es un método y un aparato para medir el caudal de un líquido a través de un conducto. El aparato se basa en un medidor de caudal que está adaptado para medir con precisión el caudal volumétrico de un líquido en un método simple, rentable y eficiente y preciso utilizando solo un sensor de temperatura. El método se basa en aplicar un pulso de energía térmica al líquido que fluye y medir el aumento de temperatura en función del tiempo y la entrada de energía. Al comparar estas mediciones con una tabla de calibración realizada realizando mediciones similares para caudales conocidos, se puede determinar el caudal. Una aplicación, que se describirá para ilustrar las características del método y aparato de la invención, es la medición del caudal de orina excretada por un paciente cateterizado.

50 La Figura 2 muestra esquemáticamente una sección del conducto 200 (por ejemplo, tubería, catéter o tubería) que comprende componentes utilizados para medir el caudal másico térmico de un líquido que fluye a través del mismo en la dirección indicada por la flecha. El elemento de calentamiento 220 se muestra ubicado dentro del conducto 200 insertado directamente en el líquido que fluye. En otra realización, el elemento 220 está ubicado en una porción de pared conductora de calor del conducto. Se suministra energía eléctrica al elemento de calentamiento 220 aplicando un voltaje a través de los cables 221. Adyacente o integral con el elemento de calentamiento 220 hay un sensor de temperatura 212 que mide la temperatura del elemento de calentamiento 220. La temperatura medida por el sensor 212 se lee a través de los cables 213. Para minimizar la pérdida de calor, la sección del conducto que contiene el elemento de calentamiento 220 y el sensor de temperatura 212 se aísla térmicamente del entorno utilizando aislamiento 230 opcional.

60 Se pueden usar muchas fuentes diferentes de calor para el elemento de calentamiento 220. Los posibles medios de calentamiento 220 incluyen, por ejemplo, resistencias y termistores eléctricos o intercambiadores de calor medidos adecuadamente adaptados. La medición de la entrada de energía y la forma de aplicarla al elemento de calentamiento 220 se logra mediante técnicas que son bien conocidas en la técnica de acuerdo con la fuente de calor utilizada.

65 Los sensores térmicos que pueden usarse en los medidores de caudal de la presente invención incluyen, por ejemplo, transistores, termopares, termistores, termopilas y otros tipos de sensores térmicos que se conocen actualmente en la técnica o que se pueden conocer en el futuro.

5 Aunque el elemento de calentamiento y el sensor de temperatura se describen en este documento como elementos separados para conveniencia de la descripción de sus funciones respectivas, son posibles realizaciones en donde un solo elemento, por ejemplo, un termistor de autocalentamiento o un dispositivo térmico resistivo (RTD), se puede utilizar para habilitar ambas funciones de calentamiento y medición de temperatura.

10 En algunas aplicaciones, puede ser necesario asegurarse de que las burbujas que afectarían la precisión de las mediciones se eliminen del líquido en el lugar donde se realizan las mediciones. Para lograr esto, se pueden emplear preferiblemente una o más trampas de burbujas aguas arriba de las ubicaciones de medición. Alternativamente, o en combinación con la trampa de burbujas, los medios de ventilación para permitir que los gases escapen del conducto, como una membrana permeable a los gases, se pueden ubicar preferiblemente aguas arriba de la ubicación de medición.

15 En algunas orientaciones de conductos y caudales, el conducto o subconducto puede no llenarse en la ubicación de medición. Por lo tanto, para algunas aplicaciones, se debe instalar una válvula de retención aguas abajo del punto de medición para crear una contrapresión suficiente para asegurar el llenado completo del conducto en la ubicación de las mediciones.

20 Los cables, 213, 221 están conectados a un sistema de control que comprende un circuito eléctrico o un procesador adaptado para activar el elemento de calentamiento en momentos predeterminados, para recibir datos de los sensores y dispositivos de temperatura, por ejemplo, amperímetros para medir la entrada de energía al elemento de calentamiento, y para utilizar estos datos para determinar el caudal. El sistema de control también puede comprender medios de entrada, por ejemplo, un teclado pequeño, un teclado regular, botones, interruptores, una pantalla táctil, un panel táctil, una bola de seguimiento, un mouse u otro dispositivo puntero u otros medios de entrada para permitir que un usuario controle parámetros tales como la cantidad de tiempo y/o cantidad de energía térmica que se debe aplicar y la frecuencia con que se realizan las mediciones. El sistema de control también comprende una o más unidades de memoria, y el sistema de control también puede comprender unidades de visualización y medios de salida para almacenar y mostrar a los parámetros de usuario del sistema. Los medios de salida pueden comprender dispositivos de comunicación que pueden adaptarse para enviar los datos instantáneos o históricos a ubicaciones remotas mediante el uso de tecnologías cableadas o inalámbricas. Además, el sistema de control puede adaptarse para usar los medios de salida para enviar señales que proporcionan entrada a otros sistemas. Por ejemplo, en un entorno hospitalario, el sistema de control se puede adaptar para enviar una alarma a la estación de enfermería si el flujo de orina de un paciente cateterizado a una bolsa de recolección cae por debajo de una tasa predeterminada, o para enviar una alarma si hay alguna irregularidad ocurre en el flujo de un medicamento que se administra por vía intravenosa. En el caso de la medición de orina, el sistema de control puede adaptarse para usar las mediciones para proporcionar una evaluación continua y en tiempo real de la función renal y una alerta temprana de afecciones relacionadas con la IRA.

Como en la técnica anterior, el caudal se determina mediante el uso de la ecuación conocida.

40 Según el método de la presente invención, se supone que, para un líquido dado, ρ y C_p , que representan las propiedades del líquido, son constantes y, en consecuencia, el cambio de temperatura (ΔT) es una función del caudal (y viceversa) y para Q constante, a medida que uno aumenta, el otro disminuye. Por ejemplo, cuando el caudal es mayor, se transfiere más calor del elemento de calentamiento y ΔT (es decir, la medida en que el elemento de calentamiento alcanza una temperatura más alta en relación con el estado no calentado (ambiente)) es menor. Por el contrario, cuando el caudal es más lento, se transfiere menos calor del elemento de calentamiento y ΔT es mayor.

45 Una realización del aparato de la invención se ilustra con referencia a la Figura 2. Un ejemplo del método que no forma parte de la invención se ilustra con referencia a la Figura 3A.

50 La temperatura del elemento de calentamiento 220 se mide primero por el sensor de temperatura 212. Esta medida se indica como T_i en la curva superior (Temperatura vs. tiempo) en la Figura 3A. Después de la medición de la temperatura T_i , una cantidad conocida o medida, o dosis, de la energía se aplica al elemento de calentamiento 220 de una manera apropiada a la fuente de calor. Finalmente, la temperatura T_j del elemento de calentamiento se mide inmediatamente después de completar la dosis medida de energía, en el tiempo designado t_2 .

55 Las dosis de energía se pueden aplicar al elemento de calentamiento 220 de varias maneras, por ejemplo, la energía eléctrica se puede aplicar a un elemento de calentamiento resistivo de una de las siguientes maneras:

60 a) aplicando un nivel de potencia establecido (por ejemplo, Voltios) durante un período de tiempo establecido, por ejemplo, 1 W por 60 segundos o 50 mW por 10 segundos, dependiendo del elemento de calentamiento y el sensor de temperatura utilizado; o

b) descargando un circuito de condensador que se ha cargado desde un primer nivel de voltaje dado a un segundo nivel de voltaje dado; o

65 c) mediante el uso de un circuito de refuerzo de la bobina que comprende un transistor para suministrar una serie medida de "pulsos" de corriente que se combinan para dar un "macro pulso" específico.

La Figura 3A ilustra sustancialmente un período de medición. En este ejemplo que no forma parte de la invención, la curva de potencia (curva inferior que muestra la potencia de entrada frente al tiempo) ilustra que se aplica un pulso de potencia de calentamiento cuadrado que comienza en el tiempo t_1 correspondiente a la temperatura T_1 y termina en el tiempo t_2 correspondiente a la temperatura T_2 . Esto da como resultado la curva de detección de desarrollo de temperatura que se muestra en la parte superior. En este caso, el cambio de temperatura se mide durante toda la duración del pulso, es decir, $\Delta T = T_2 - T_1 = T_j - T_i$.

Las mediciones de temperatura para determinar ΔT no están vinculadas a la duración del pulso de calentamiento. Una realización de la presente invención se ilustra con referencia a la Figura 3B, en la que

T_i se mide en un momento posterior a t_1 y T_j se mide antes de t_2 . El pulso de calentamiento no es necesariamente rectangular como se ilustra en la Figura 3A y la Figura 3B. El pulso se puede aplicar de varias maneras y tiene una variedad de formas de onda diferentes, como una curva de pulso de descarga de condensador, como se muestra en la Figura 3C, que es otro ejemplo que no forma parte de la invención.

La Figura 3B ilustra dos características importantes de la invención. En primer lugar, se puede ver en los gráficos de temperatura frente a tiempo que después de que se haya aplicado el pulso de calentamiento, es decir, comenzando en t_2 , puede tomar un tiempo relativamente largo para que el fluido que pasa por el elemento de calentamiento regrese su temperatura aproximadamente a su temperatura máxima. valor inicial en t_3 . En la técnica anterior, es necesario esperar hasta que la temperatura vuelva a estar dentro de un rango estrecho de la temperatura original (ambiente) antes de que se pueda realizar otra medición. Además, hay condiciones en las que la temperatura ambiente está cambiando naturalmente. Por ejemplo, para los fluidos corporales, la temperatura corporal del paciente varía naturalmente y la temperatura de los biofluidos excretados, como la orina, variará correspondientemente. De manera similar, la temperatura ambiente puede variar y esto puede afectar la temperatura del fluido. En tales condiciones, sin un sensor de temperatura de referencia adicional, es imposible saber si la lectura de temperatura refleja la temperatura ambiente actual del líquido.

En la presente invención no es necesario esperar hasta t_3 para aplicar el siguiente pulso de calentamiento y comenzar otro ciclo de medición. Además, la temperatura inicial para la primera medición no tiene que ser la misma que la de la segunda medición. Esto se ilustra en la Figura 4, que muestra una serie de tres pulsos de calentamiento consecutivos.

Con el fin de determinar el caudal, se realizan una serie de mediciones como las anteriores en las que, para un valor dado de Q , los valores de ΔT para varios valores de caudal conocidos se llevan a cabo con el aparato específico de la invención. Esto produce una tabla de datos derivada empíricamente que asigna el caudal a ΔT (o a un conjunto de puntos que representan una curva de desarrollo de calor). Los datos de calibración son específicos para el conducto, el líquido en el conducto, los componentes del aparato particular de la invención y el valor de Q . Debido a la forma en que se obtiene, los datos de calibración también tienen en cuenta la pérdida de calor. al conducto y al medio ambiente. La tabla derivada se puede usar para determinar una relación matemática en forma de una ecuación. La tabla o el gráfico de calibración (o un conjunto de tablas o gráficos, cada uno para un valor diferente de Q) se almacenan en una memoria del procesador del sistema de control desde el que se pueden recuperar de la memoria para determinar automáticamente el caudal del valor medido de ΔT .

La frecuencia de las mediciones depende de las propiedades del flujo de fluido que se está midiendo, por ejemplo, si se espera que el caudal sea constante o que varíe rápidamente, y de la importancia de cualquier cambio en el caudal, es decir, es importante saberlo tan pronto como sea posible de cualquier cambio. En una realización, el operador del aparato determina la frecuencia, por ejemplo, una vez cada hora. Según otra realización de la invención, la frecuencia de los ciclos de medición es una función de la tasa de cambio de caudal esperada o real. Así, por ejemplo, las mediciones se pueden realizar con mayor frecuencia durante el día cuando se espera que el cambio en el caudal sea relativamente alto y con menos frecuencia en la noche cuando se espera que el cambio en el caudal sea relativamente bajo.

El sistema de control también puede determinar automáticamente el tiempo de las mediciones. En una realización, después de aplicar un pulso de calentamiento, el sistema de control está programado para detectar cuándo la temperatura del líquido que fluye vuelve a su valor de estado estable. Cuando el sistema de control detecta el retorno al estado estable, reactiva automáticamente el elemento de calentamiento para comenzar otro ciclo de mediciones. En otra realización, el sistema de control puede determinar el tiempo de una medición en función del cambio en el caudal entre un número predeterminado de mediciones anteriores

La cantidad de energía que se debe suministrar al elemento de calentamiento depende de las propiedades del líquido y del caudal. Los valores apropiados de energía en el pulso pueden determinarse empíricamente para una aplicación dada. Cuando los caudales son altos, la dosis de calentamiento que se aplica puede aumentarse para mejorar la relación señal/ruido. En realizaciones de la invención, el procesador del sistema de control puede adaptarse para ajustar automáticamente la cantidad de energía aplicada de acuerdo con el caudal medido en el último pulso de calentamiento o de acuerdo con los caudales promedio o la extrapolación de una tendencia medida en un número de pulsos anteriores, o cuando una medición previa indica un calentamiento insuficiente (es decir, ΔT está por debajo de un valor específico) o un calentamiento excesivo (es decir, ΔT es mayor que un valor específico).

5 De acuerdo con una realización de la invención ilustrada en la Figura 5, la temperatura se mide múltiples veces durante el pulso de calentamiento, obteniendo así un conjunto de puntos de datos que representan la curva de aumento de temperatura. El valor de la integral de la curva resultante entre t_1 y t_2 se puede usar como una medida del caudal. Para un valor dado de Q en un pulso, se espera que el valor de esta integral disminuya al aumentar el caudal ya que a medida que el caudal aumenta, se pierde más calor y la curva de temperatura no aumenta como lo haría a caudales más bajos. En consecuencia, el área bajo la curva de temperatura entre t_1 y t_2 es menor. Al igual que en las otras realizaciones, las mediciones de calibración se pueden realizar utilizando caudales conocidos para construir tablas de búsqueda que relacionen el valor medido de la integral con un caudal desconocido.

10 La unidad de sensor, es decir, el elemento de calentamiento y el sensor de temperatura, del aparato de la invención se puede proporcionar como "incorporado" a líneas de flujo dedicadas o como unidades separadas que se pueden unir a líneas de flujo existentes. Por ejemplo, para medir el flujo de orina, la unidad puede tener conexiones estándar que le permitan conectarse al catéter en un lado y un tubo de drenaje, por ejemplo, a una bolsa de recolección en el otro lado. En otras realizaciones, puede incorporarse como parte integral de un catéter o de un tubo de drenaje.

15 La Figura 6 ilustra esquemáticamente una realización de un sistema 400 para medir el caudal de orina de un paciente cateterizado (no mostrado en la figura). En la Figura se muestran el catéter 410, la unidad de sensor 414 (mostrada en detalle en la Figura 2), el tubo de drenaje 418, la bolsa de recogida 420 y el sistema de control 430. Un componente opcional del sistema 400 es la trampa de burbujas 412.

20 Aunque las realizaciones de la invención se han descrito a modo de ilustración, se entenderá que la invención se puede llevar a cabo con muchas variaciones, modificaciones y adaptaciones, sin exceder el alcance de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato para medir el caudal volumétrico de un líquido a través de un conducto (200), dicho aparato comprende los siguientes componentes:
 - 5 a) un elemento de calentamiento (220) en contacto térmico con dicho líquido en dicho conducto, dicho elemento de calentamiento adaptado para suministrar pulsos de energía térmica que comprende una cantidad conocida de calor a dicho líquido que fluye;
 - b) un sensor de temperatura (212) adaptado para medir la temperatura instantánea de dicho elemento de calentamiento; y
 - 10 c) un sistema de control (430) que comprende un procesador, una unidad de memoria y al menos uno de los siguientes componentes: medios de entrada, dispositivos de visualización y medios de salida, en donde:
 - i) dicho procesador de dicho sistema de control (430) está configurado para activar dicho elemento de calentamiento (220) para suministrar dicha cantidad conocida de calor comenzando en el tiempo t_1 y terminando en el tiempo t_2 ;
 - 15 ii) dicho procesador de dicho sistema de control (430) está configurado para recibir una medición inicial de la temperatura instantánea T_i de dicho elemento de calentamiento (220) y una medición final de la temperatura instantánea T_f de dicho elemento de calentamiento (220) dicho sensor de temperatura (212);
 - 20 iii) dicha unidad de memoria comprende datos de calibración que relacionan caudales con valores de $T_f - T_i$, en donde dichos datos de calibración son específicos para dicho conducto (200), dicho líquido en dicho conducto (200), dicho aparato y el valor del calor energía entregada a dicho líquido que fluye entre mediciones de T_i y T_f ; y
 - 25 iv) dicho procesador de dicho sistema de control (430) está configurado para recuperar de dicha unidad de memoria dichos datos de calibración almacenados previamente que relacionan cambios en la temperatura de dicho elemento de calentamiento con caudales conocidos de dicho líquido;

caracterizado porque dicho aparato está configurado para medir T_i después de t_1 y dicho aparato está configurado para medir T_f antes de t_2 y dicho procesador de dicho sistema de control está configurado para usar dicha cantidad conocida de calor entregado a dicho líquido que fluye entre mediciones de T_i y T_f , dichos valores de $T_f - T_i$, y dichos datos de calibración almacenados previamente para determinar el caudal volumétrico.
- 35 2. El aparato de la reivindicación 1, en donde el sistema de control (430) comprende además dispositivos de visualización y los componentes de dicho sistema de control (430) están configurados para llevar a cabo al menos una de las siguientes:
 - a) dicha unidad de memoria y dispositivos de visualización de dicho sistema de control están configurados para almacenar y mostrar a un usuario información relacionada con el funcionamiento de dicho aparato y las propiedades de dicho líquido que se miden o determinan mediante componentes de dicho aparato;
 - b) dichos medios de salida de dicho sistema de control (430) están configurados para enviar valores instantáneos o históricos de temperaturas medidas y otra información relativa a dicho líquido y dicho aparato a ubicaciones remotas;
 - 40 c) dichos medios de salida de dicho sistema de control (430) están configurados para enviar señales que pueden usarse como entrada a otros sistemas; y
 - d) dichos medios de salida de dicho control (430) están configurados para enviar alarmas si hay cambios predeterminados en el caudal u otras propiedades medidas de dicho líquido.
- 45 3. El aparato de la reivindicación 1 que comprende al menos uno de:
 - a) una trampa de burbujas (412) ubicada aguas arriba de la ubicación en la que se realizan las mediciones;
 - 50 b) una membrana permeable a los gases ubicada aguas arriba de la ubicación en la que se realizan dichas mediciones.
- 55 4. El aparato de la reivindicación 1, en donde dicho aparato está adaptado para estar conectado o ser parte integral del conducto (200).
5. El aparato de la reivindicación 4, en donde dicho conducto es un catéter (410) o tubo de drenaje que proviene de un paciente.
- 60 6. El aparato de la reivindicación 5, en donde el procesador del sistema de control (430) está configurado para usar mediciones del caudal de orina para proporcionar una evaluación continua y en tiempo real de la función renal y una alerta temprana de afecciones relacionadas con enfermedades agudas. lesión renal.
- 65 7. Un método para usar el aparato de la reivindicación 1 para la medición en tiempo real del caudal volumétrico de un líquido a través de un conducto (200); dicho método comprende las siguientes etapas:
 - i) aplicar un impulso de energía a dicho elemento de calentamiento (220) comenzando en el tiempo t_1 y terminando en el tiempo t_2 ;
 - ii) medir uno de:

- 5
- a) una temperatura T_i de dicho elemento de calentamiento (220), una temperatura T_j de dicho elemento de calentamiento (220) después de medir dicha temperatura T_i , y determinar a partir de las mediciones $\Delta T = T_j - T_i$; y
- b) la temperatura de dicho elemento de calentamiento (220) varias veces, obteniendo así un conjunto de puntos de datos que representan la curva de aumento de temperatura;
- iii) retirar de dicha memoria una tabla de calibración, gráfico o relación matemática que se construyó para dicha cantidad conocida de calor y determinar a partir de dicha tabla, gráfico o relación matemática el valor del caudal que corresponde a uno de:
- 10
- a) dicho valor medido de $\Delta T = T_j - T_i$; y
- b) dicha curva de aumento de temperatura;
- caracterizado porque todas las mediciones de la temperatura de dicho elemento de calentamiento (220) se realizan después de t_1 y antes de t_2 .
8. El método de la reivindicación 7, en donde dicho método está adaptado para medir el caudal volumétrico de un líquido a través de un catéter (410) o un tubo de drenaje (418) que sale de un paciente.
- 15
9. El método de la reivindicación 8, en donde el líquido es orina.
10. El método de la reivindicación 9, en donde las mediciones se usan para detectar el riesgo de daño renal agudo y sus etapas.
- 20
11. Un método para usar el aparato de la reivindicación 1 para construir una tabla de calibración, gráfico o relación matemática que puede usarse para determinar el valor del caudal que corresponde a un valor medido de ΔT para una cantidad conocida de calor entregado por dicho elemento de calentamiento, dicho método comprende las siguientes etapas:
- 25
- a) ajustar el caudal a un valor constante conocido;
- b) aplicar energía a dicho elemento de calentamiento comenzando en el tiempo t_1 y terminando en el tiempo t_2 ;
- c) medir la temperatura T_i de dicho elemento de calentamiento (220);
- 30
- d) medir la temperatura T_j de dicho elemento de calentamiento (220) después de medir dicha temperatura T_i ;
- e) determinar $\Delta T = T_j - T_i$;
- f) almacenar los valores de dicho caudal, el valor de dicha cantidad de calor entregado a dicho líquido que fluye entre mediciones de T_i y T_j , y el valor de $T_j - T_i = \Delta T$ en una unidad de memoria; y
- 35
- g) repetir los pasos a al f para diferentes valores conocidos de caudal;
- caracterizado porque T_i se mide después de t_1 y T_j se mide antes de t_2 .**

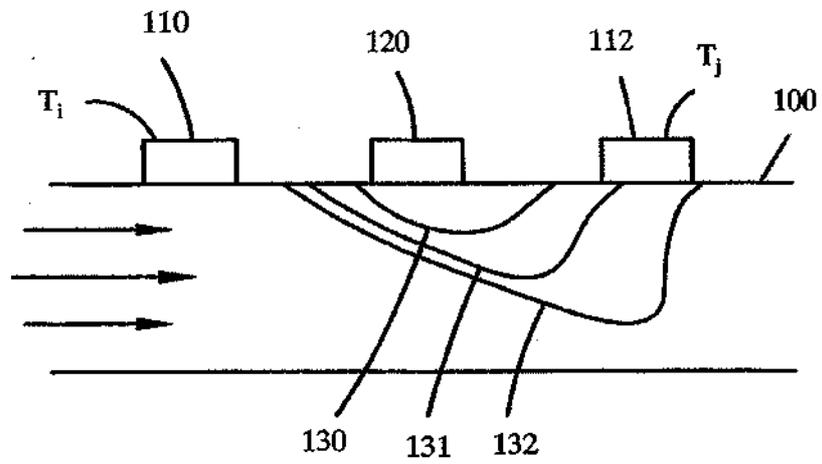


Figura 1

Técnica Anterior

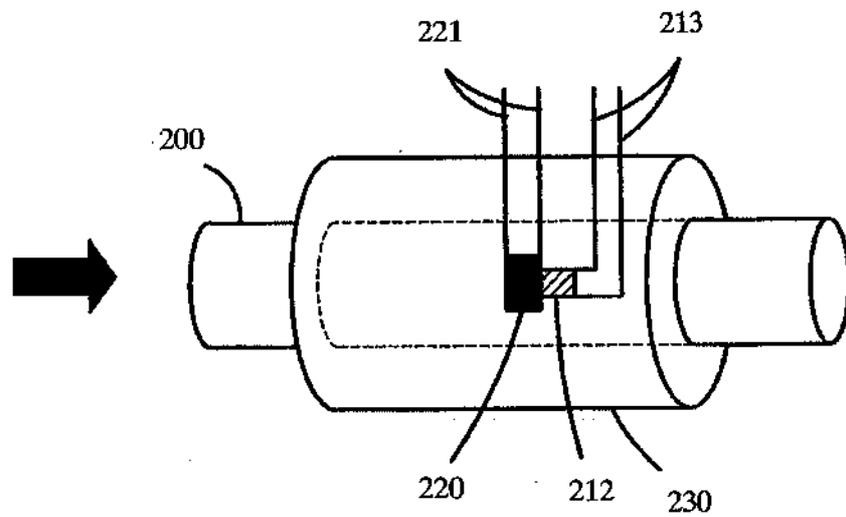


Figura 2

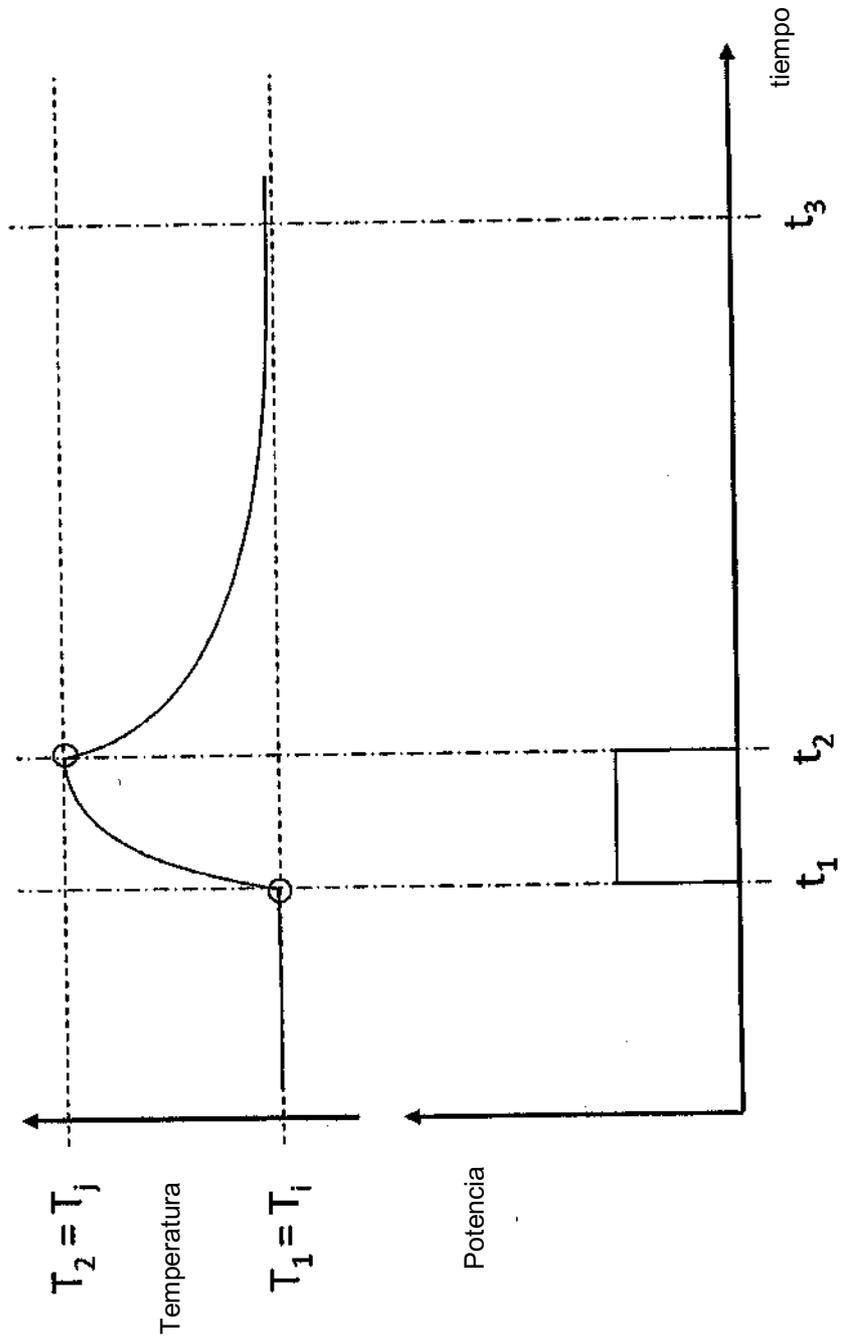


Figura 3A

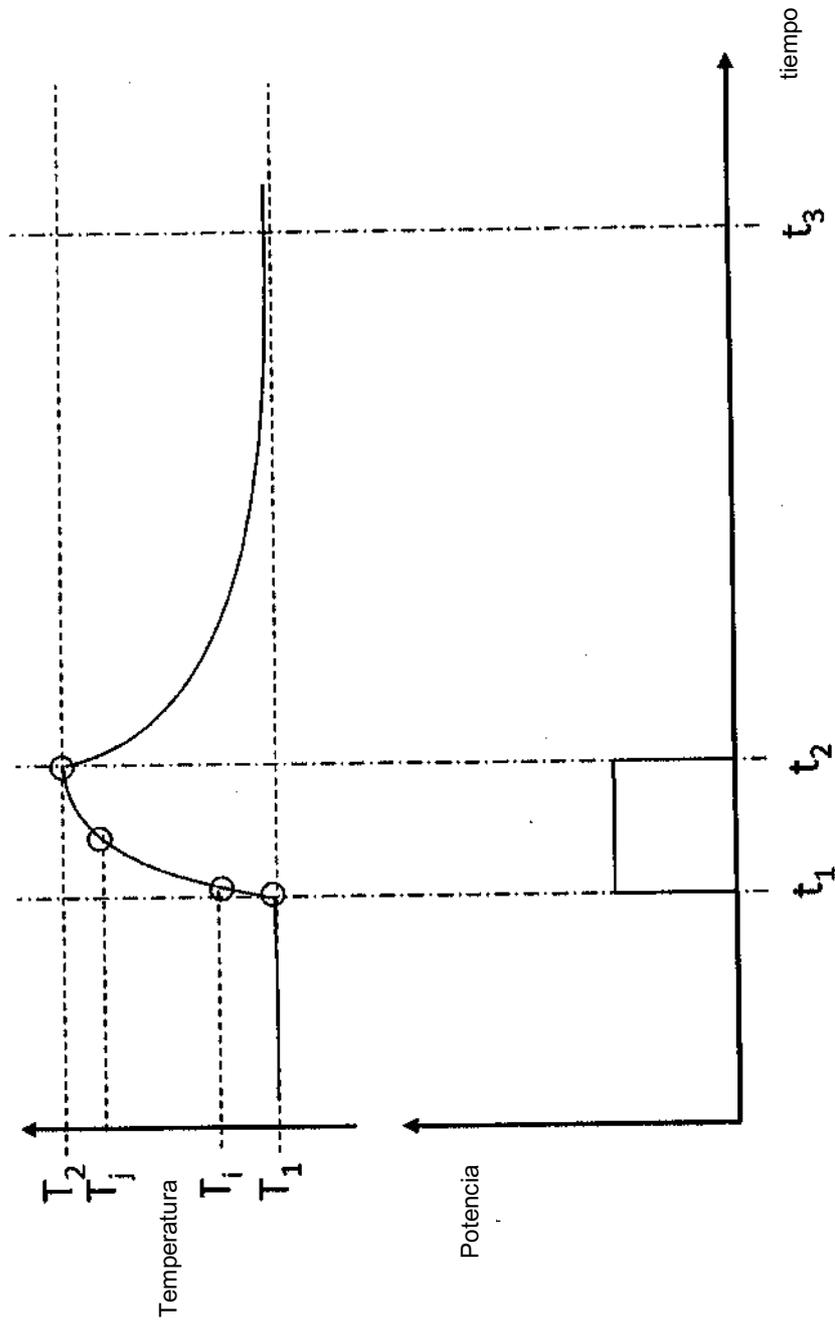


Figura 3B

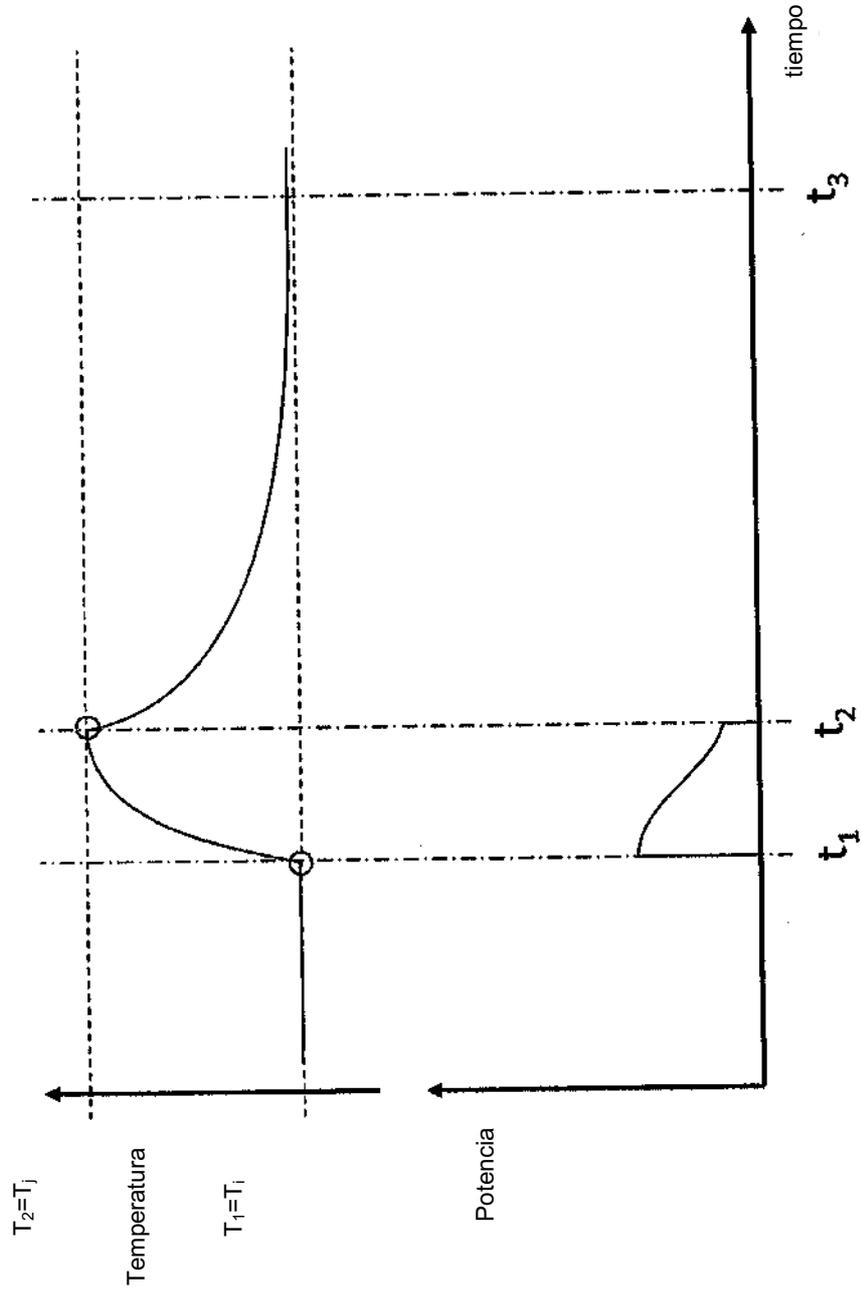


Figura 3C

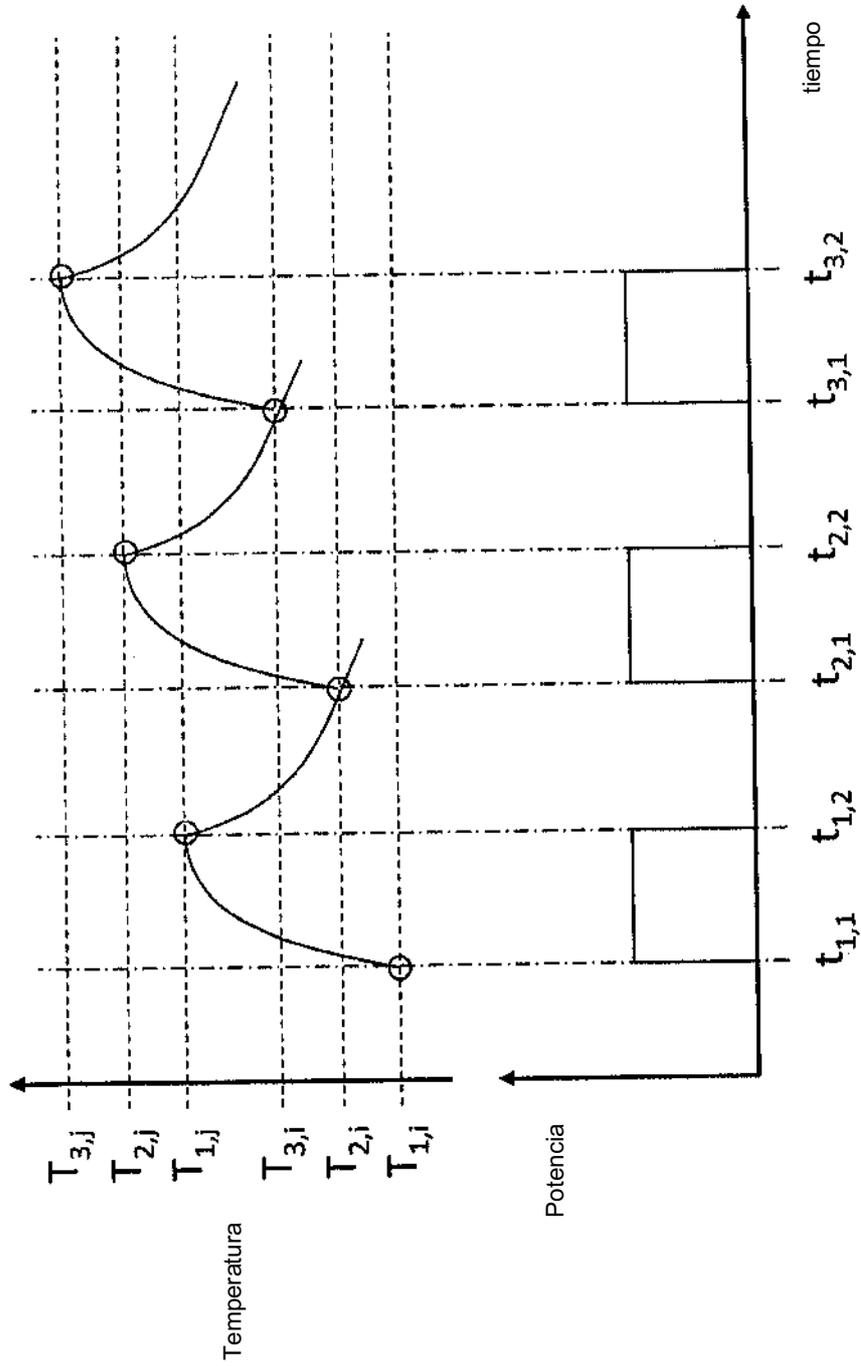


Figura 4

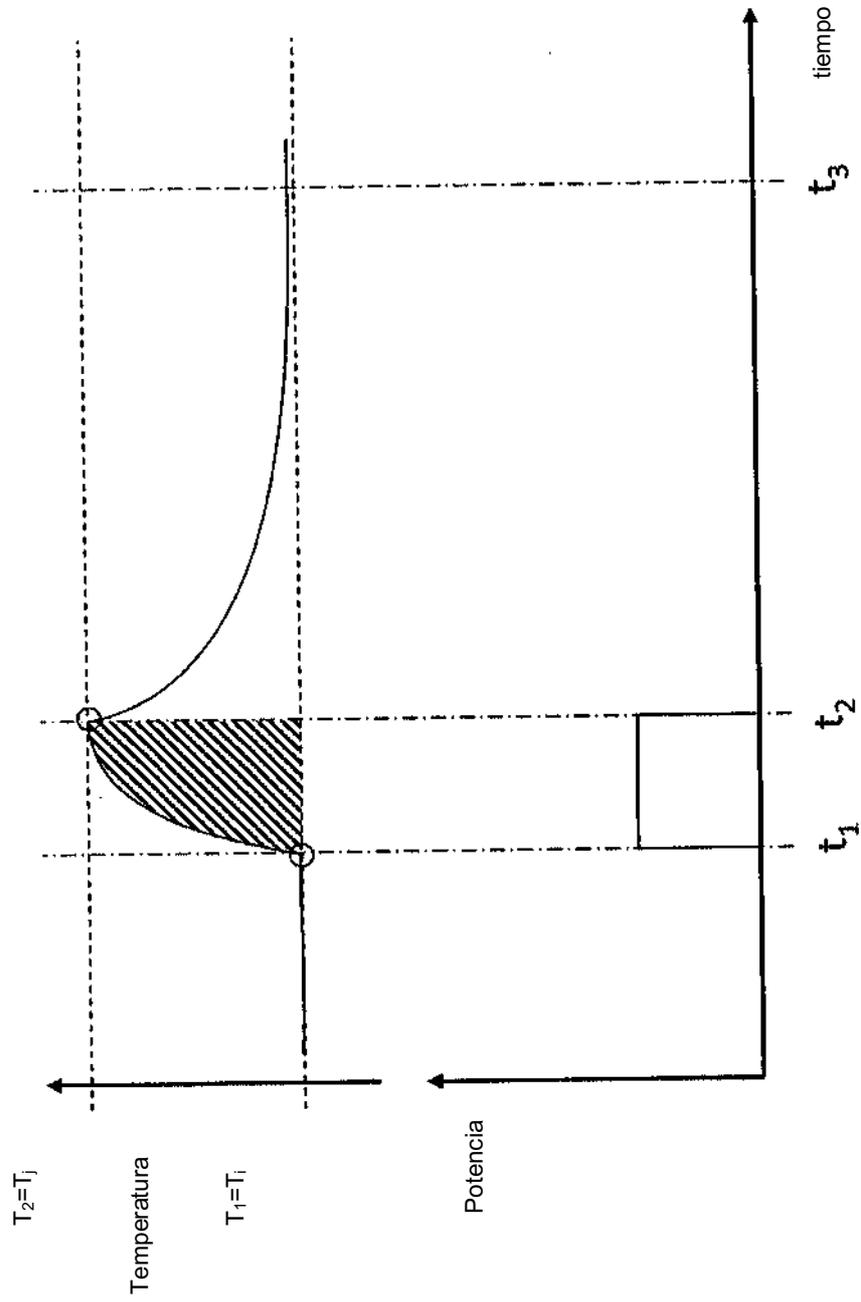


Figura 5

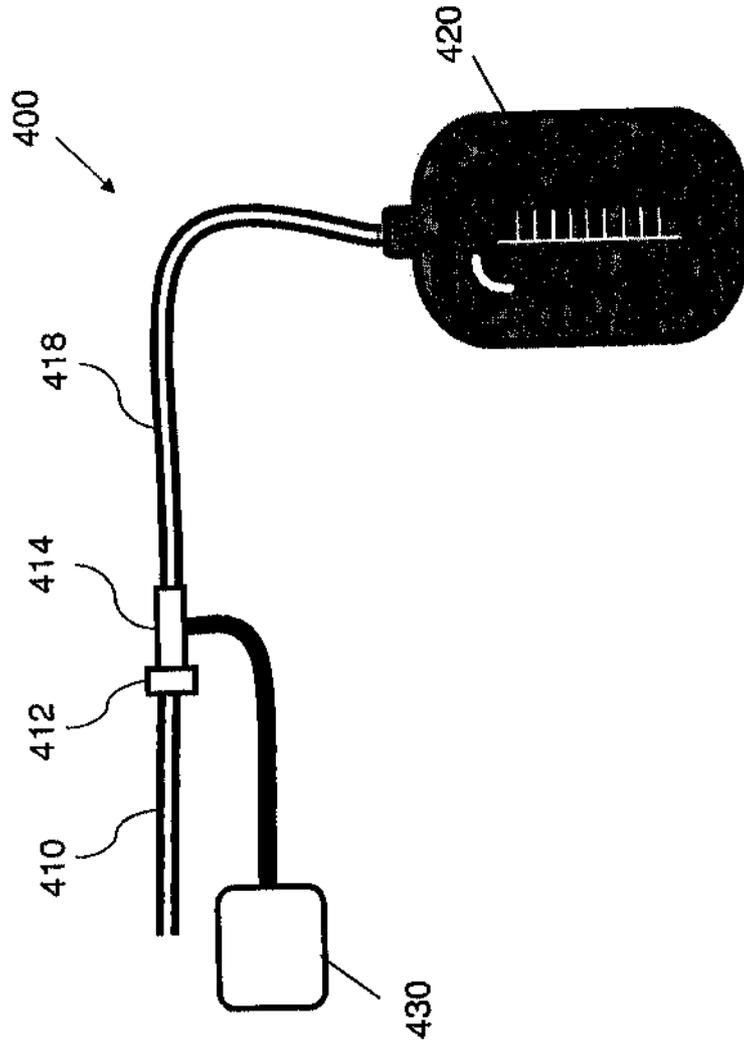


Figura 6