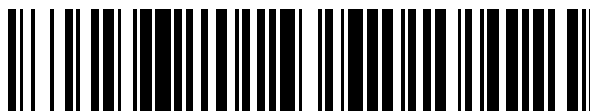


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 589 679**

51 Int. Cl.:

G01F 1/00 (2006.01)
G01F 25/00 (2006.01)
A61M 25/00 (2006.01)
G01F 1/68 (2006.01)
G01F 3/36 (2006.01)
G01F 5/00 (2006.01)
A61B 5/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **04.04.2011 PCT/IL2011/000289**
87 Fecha y número de publicación internacional: **10.11.2011 WO11138774**
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.04.2011 E 11777354 (9)**
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.07.2016 EP 2567199**

54 Título: **Medidor de caudal**

30 Prioridad:

03.05.2010 IL 20561410

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
15.11.2016

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**GRINSTEIN, MOR;
MANTINBAND, JACK YEHOSHUA;
BENTOV, SHMUEL y
ADLER, MICHAEL**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 589 679 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

Medidor de caudal

Campo de la invención

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

Antecedentes de la invención

10 La medida de flujo es importante en muchos campos. Por ejemplo, muchos procesos industriales necesitan de la medida del flujo a través de varios conductos con el fin de controlar el proceso de manera apropiada. Otros usos que necesitan de la medida de un líquido o de un gas incluyen la entrega de un producto a un consumidor, tal como gas, combustible y agua. En el campo médico, la medida de líquidos se aplica en algunas ocasiones al gasto urinario de un paciente.

15 La mayor parte de los sistemas de medida de flujo se basan en diversas suposiciones relativas a las propiedades del líquido que va a ser medido y no funcionarán o deberán ser ajustadas para enfrentarse a desviaciones respecto a las propiedades supuestas. Por ejemplo, una técnica bien conocida utiliza los principios de la transferencia de calor aplicando la Ley de King para determinar el caudal. Mediante esta estrategia, las propiedades térmicas del líquido que va a ser medido necesitan conocerse con antelación.

20 Los medidores de flujo basados en transferencia de calor miden típicamente el flujo de manera continua utilizando un elemento de calentamiento y dos sensores de temperatura (uno aguas arriba y otro aguas abajo con respecto a, o de manera adyacente a, el calentador). Mediante la medida del diferencial de temperatura entre los dos termómetros, se calcula el flujo. De manera alternativa, la temperatura se mantiene constante en el calentador y se monitoriza la energía requerida para conseguirlo, a partir de lo cual puede calcularse el flujo.

25 La Figura 1 muestra de manera esquemática la disposición básica de un medidor de flujo másico de tipo térmico de la técnica anterior. Un líquido fluye a través de un tubo 100 en una dirección indicada por las flechas. En cierta ubicación en la pared del tubo está situado un elemento 120 de calentamiento con un sensor 110 de temperatura, que mide la temperatura T_i , y un sensor 112 de temperatura, que mide la temperatura T_j , ubicados aguas arriba y aguas abajo del calentador 120, respectivamente. Las líneas 130, 131, y 132 isotermas muestran simbólicamente la distribución de temperatura como resultado del suministro de energía al elemento de calentamiento, de manera que $T_{130} > T_{131} > T_{132}$.

El cálculo para la determinación del caudal se lleva a cabo según la fórmula:

30
$$Q = C_p \cdot \rho \cdot V \cdot \Delta T$$
 ecuación 1

Observando que:

$$Q = I \cdot v \cdot t$$

Sustituyendo y dividiendo ambos miembros de la ecuación por t , se llega a:

$$I \cdot v = C_p \cdot \rho \cdot \dot{V} \cdot \Delta T$$
 ecuación 2

35 Y observando que:

$$Q = I \cdot v \cdot t$$

Despejando ahora \dot{V} , se llega a:

$$\dot{V} = (I \cdot v) \div (C_p \cdot \rho \cdot \Delta T)$$
 ecuación 3

donde los símbolos utilizados se definen en la tabla siguiente:

| Símbolo | Significado | Unidades |
|-----------|------------------------------------|-----------------------|
| V | Volumen | [l] Litros |
| \dot{V} | Flujo volumétrico (volumen/tiempo) | [l/min] Litros/minuto |
| Q | Energía, trabajo | [J] Julios |

| | | |
|------------|--|-------------------------------|
| ρ | Densidad | [g/l] gramos/litro |
| C_p | Calor específico (bajo presión constante) | [J/(g. °C)] Julios/(gramo·°C) |
| T | Temperatura Instantánea | [°C] grados Celsius |
| T_i | Temperatura Instantánea de líquido antes del calentador (aguas arriba) | [°C] grados Celsius |
| T_j | Temperatura Instantánea de líquido después de o en el calentador (aguas abajo) | [°C] grados Celsius |
| I | Corriente eléctrica | [A] Amperios |
| V | Tensión eléctrica | [V] Voltios |
| ΔT | Diferencia de temperatura $T_j - T_i$ | [°C] grados Celsius |
| t | Tiempo | [s] segundos |

Un tipo de medidor de flujo por transferencia de calor relacionado, conocido, entre otras denominaciones, como un medidor de flujo de temperatura constante, utiliza una disposición similar a la mostrada en la Figura 1 con la excepción de que el sensor 112 de temperatura es adyacente a, o es una parte integrante de, el elemento 120 de calentamiento. En esta configuración, el elemento 120 de calentamiento se calienta hasta una temperatura T_j diferencial constante prefijada (medida por el sensor 112) por encima de la temperatura T_i medida por el sensor 110. Cuando el flujo va variando, la cantidad de calor evacuada por el flujo varía. La temperatura del calentador 120 se mantiene constante mediante el ajuste de la corriente eléctrica (suponiendo que la tensión es constante) aplicada al mismo. La variación de la corriente eléctrica (I) requerida para mantener un diferencial ΔT de temperatura constante proporciona un medio para calcular el flujo, tal como se muestra en la ecuación 3.

Tal como se pudo apreciar en los párrafos anteriores, con el fin de medir el caudal de manera precisa utilizando un medidor de flujo por transferencia de calor, la densidad y la capacidad calorífica del líquido medido deben conocerse con precisión.

En algunas aplicaciones, no existe un conocimiento *a priori* de las propiedades del líquido, como por ejemplo su capacidad calorífica y su densidad. Algunos líquidos pueden tener propiedades variables - por ejemplo, la orina es un líquido cuyos componentes constitutivos pueden variar de persona a persona, y, para una única persona, pueden variar en el tiempo. Como ejemplo adicional, la leche puede tener un contenido en grasas variable. En algunas aplicaciones, tal como en una terminal de combustible, puede utilizarse la misma tubería para transferir diferentes tipos de combustible o gas o incluso a veces, bien intencionadamente o bien por error, mezclas de productos gaseosos y líquidos. En todas estas situaciones, las lecturas de medidores de flujo de tipo térmico convencionales serán imprecisas y para mejorar los resultados los medidores de flujo deben ser recalibrados sobre la base bien de suposiciones que deben realizarse sobre las propiedades del líquido o bien sobre medidas empíricas.

En algunos casos, la orina de pacientes en cama se mide de manera manual, de forma que la orina fluye a través de un catéter hasta un recipiente de recogida de orina y el personal del hospital estima de manera visual el gasto urinario (ml/h) del paciente a partir de la inspección visual del recipiente de recogida de orina. En la práctica, esta disposición es laboriosa e imprecisa, ya que el personal del hospital debe determinar de manera manual la cantidad de orina por hora y la naturaleza dinámica de los escenarios de cuidados intensivos dificultan llevar a cabo una medida puntual. Se necesita una solución sencilla y fácil de llevar a cabo para medir el flujo urinario para ayudar a una medida precisa y puntual del gasto urinario.

A partir del documento US 6.536.273, que describe un sensor de caudal de tipo térmico que puede utilizarse con líquidos de composición variable, puede conseguirse una comprensión rápida de la técnica anterior relacionada. El sensor comprende dos elementos: un sensor de flujo de tipo térmico convencional y una celda de medida de conductividad térmica. La celda de medida de conductividad térmica se utiliza para determinar la composición del líquido y el resultado de las medidas llevadas a cabo por esta celda se combina con otras medidas de calibración para corregir las medidas llevadas a cabo por el sensor de flujo teniendo en cuenta las propiedades del líquido. El documento WO 2004/100788 describe aparatos y un método para medir el flujo urinario extraído de un paciente a través de un dispositivo de catéter de tracto urinario.

Es por lo tanto un propósito de la invención proporcionar medidores de caudal simples, económicamente rentables, y precisos, que permitan la medida del caudal de un líquido sin necesidad de conocer previamente las características físicoquímicas (posiblemente dinámicas) del líquido que va a ser medido.

Es otro propósito de la invención proporcionar sistemas médicos que comprendan los medidores de caudal de la

invención que posibiliten la monitorización del caudal de un líquido biológico de un paciente.

Es un propósito adicional de la invención proporcionar un método para determinar el caudal de un líquido sin necesidad de conocer con antelación las propiedades físicoquímicas posiblemente dinámicas del líquido ensayado.

Según avance la descripción, se apreciarán fines y ventajas adicionales de esta invención.

5 Resumen de la invención

En un primer aspecto, la invención es un aparato para medir el caudal volumétrico a través de un conducto de un líquido que tiene propiedades variables y comprende los componentes siguientes:

- a) al menos un elemento de calentamiento o de enfriamiento adaptado para añadir o retirar una cantidad conocida de calor a o desde el mencionado líquido; y
- 10 b) al menos un sensor de temperatura adaptado para medir la temperatura instantánea del mencionado líquido; y
- c) un elemento de entre los siguientes o más de uno:
 - 15 i. dos válvulas ubicadas en el mencionado conducto y separadas entre sí por una cierta distancia, donde dichas válvulas crean una sección de dicho conducto que tiene un volumen conocido en el cual el mencionado líquido puede ser aislado y mantenido estacionario;
 - ii. una sección del mencionado conducto dividido en al menos dos sub-conductos que están unidos de manera hermética en sus extremos aguas arriba y aguas abajo y un mecanismo para gestionar el flujo del líquido a través de dichos sub-conductos de tal manera que pueda aislarse y mantenerse estacionario un volumen conocido de dicho líquido en al menos uno de dichos sub-conductos;
 - 20 iii. una cámara interna hueca mantenida en posición dentro del mencionado conducto mediante un elemento de sujeción o más de uno y un pistón cilíndrico sólido que comprende un orificio coaxial perforado a través de su centro; donde dicha cámara interna hueca está cerrada en el lado aguas arriba con la excepción de un orificio de entrada coaxial que está o bien abierto o bien bloqueado por una válvula que se activa por contacto con dicho pistón, que está adaptado para poder moverse en direcciones aguas arriba y aguas abajo en el seno de dicho conducto; donde cuando dicha válvula bloquea el mencionado orificio de entrada de la mencionada cámara interna dicha cámara interna contiene un volumen conocido del mencionado líquido que está aislado y mantenido estacionario; y
 - 25 iv. un primer segmento del mencionado conducto que tiene una sección transversal pequeña seguido de un segundo segmento de dicho conducto que tiene una sección transversal grande que está seguido a su vez por un tercer segmento de conducto que tiene una sección transversal pequeña, donde el ratio de la sección transversal del mencionado segundo segmento en relación al de los segmentos primero y tercero es tal que la velocidad del líquido que fluye a través de dicho segundo segmento es significativamente más reducida en relación a las velocidades del líquido que fluye a través de los mencionados segmentos primero y tercero;
 - 30
- 35 en el que, al menos uno de los mencionados elementos de calentamiento o de enfriamiento y al menos uno de los mencionados sensores de temperatura está en contacto térmico con el mencionado volumen conocido del mencionado líquido que está aislado y mantenido estacionario o que está fluyendo con una velocidad significativamente reducida, determinándose de este modo el valor de un coeficiente agregado, que es igual a la densidad multiplicada por el calor específico de dicho líquido, directamente a partir de
- 40 medidas de la temperatura instantánea, de dicho volumen conocido de líquido que está aislado y mantenido estacionario o que está fluyendo con una velocidad significativamente reducida, y de las mencionadas cantidades conocidas de calor que son añadidas o retiradas del mencionado volumen conocido del mencionado líquido que está aislado y mantenido estacionario o que está fluyendo con una velocidad significativamente reducida; y
- 45 en el que, al menos uno de los mencionados elementos de calentamiento o de enfriamiento y al menos uno de los mencionados sensores de temperatura está en contacto térmico con el mencionado líquido que está fluyendo a través del mencionado conducto, determinándose de este modo el mencionado caudal volumétrico directamente a partir de medidas del ritmo con la que se añade o se retira el calor del mencionado líquido que fluye, de medidas de la temperatura instantánea de dicho líquido que fluye, y del mencionado coeficiente agregado, sin necesidad de utilizar tablas de consulta, coeficientes de un polinomio que define una curva de correlación, o fuentes de
- 50 información similares.

Realizaciones del aparato de la invención comprenden un sistema de control que comprende al menos uno de los componentes siguientes: un procesador, un medio de entrada, unidades de memoria, dispositivos de visualización, y un medio de salida. Los componentes del sistema de control están configurados para llevar a cabo al menos una de

las tareas siguientes:

- a) activar al menos una válvula ubicada en el conducto en una ubicación en la cual puede utilizarse para derivar un volumen conocido de líquido que fluye en el conducto hacia adentro de la cámara y/o para mantener estacionario el volumen conocido de líquido;
- 5 b) activar al menos un elemento de calentamiento o de enfriamiento;
- c) recibir datos de sensores de temperatura y de otros tipos de sensores o medidores que estén presentes en el aparato;
- d) utilizar los datos recibidos para determinar el caudal volumétrico;
- 10 e) almacenar y mostrar a un usuario información relacionada con el funcionamiento del aparato y con las propiedades del líquido que se está midiendo o determinando por parte de los componentes del aparato;
- f) enviar valores instantáneos o históricos de temperaturas medidas y otra información relativa al líquido y al aparato a ubicaciones remotas;
- g) enviar señales que pueden utilizarse como entradas a otros sistemas; y
- 15 h) enviar alarmas si ocurren cambios predeterminados en el caudal o en otras propiedades del líquido medidas.

En realizaciones del aparato que comprenden sub-conductos, al menos uno de los sub-conductos puede comprender sensores que están en contacto con líquido que fluye a través de o está atrapado en el sub-conducto y que están adaptados para medir al menos una de las propiedades siguientes del líquido: conductividad eléctrica, osmolaridad, osmolalidad, pH, biomarcadores, electrolitos, peso específico, densidad específica, conductividad, presencia de y concentración de: creatinina, urea, ácido úrico, glóbulos blancos, glóbulos rojos, glucosa, cuerpos cetónicos, número/concentración de iones.

Realizaciones del aparato de la invención pueden comprender al menos uno de los elementos siguientes:

- a) un elemento de retención de burbujas ubicado aguas arriba de la ubicación de medida;
- b) una membrana permeable a gases ubicada aguas arriba de la ubicación de medida;
- 25 c) una válvula de retención ubicada aguas abajo de la ubicación de medida; y
- d) una válvula de retención ubicada aguas arriba de la ubicación de medida.

Realizaciones del aparato de la invención pueden estar adaptadas para estar bien conectadas a o bien constituir una parte integrante de un catéter o un tubo de drenaje conectados a un paciente. En realizaciones de la invención, la orina fluye a través del catéter o del tubo de drenaje y el sistema de control del aparato está adaptado para monitorizar la temperatura de la orina y para enviar una alarma si se producen cambios que exceden un ritmo de cambio predeterminado.

En un segundo aspecto, la invención es un método para medir el caudal volumétrico a través de un conducto de un líquido que tiene propiedades variables. El método comprende los pasos siguientes:

- 35 a) modificar una sección de dicho conducto para formar una cámara en la que un volumen conocido del mencionado líquido puede aislarse y bien mantenerse estacionario o bien sufrir una reducción significativa en su velocidad;
- b) aislar y mantener estacionario, o reducir significativamente la velocidad de, un volumen conocido de líquido en dicha cámara;
- 40 c) leer la temperatura determinada por un sensor de temperatura en contacto térmico con el volumen conocido de líquido que está aislado y mantenido estacionario o que está fluyendo con una velocidad significativamente reducida para medir una temperatura inicial de dicho volumen conocido de líquido;
- d) activar un elemento de calentamiento o de enfriamiento en contacto térmico con el mencionado volumen conocido de líquido que está aislado y mantenido estacionario o que fluye con una velocidad significativamente reducida para añadir o retirar una cantidad conocida de calor del mencionado volumen conocido de líquido;
- 45 e) leer la temperatura determinada por un sensor de temperatura en contacto térmico con el mencionado volumen conocido de líquido que está aislado y mantenido estacionario o que está fluyendo con una velocidad significativamente reducida para medir una temperatura final de dicho líquido después de que la mencionada cantidad conocida de calor haya sido añadida o retirada del volumen conocido de líquido

mencionado;

- f) determinar el valor de un coeficiente agregado, que es igual a la densidad multiplicada por el calor específico de dicho líquido, a partir del mencionado volumen conocido de dicho líquido, de la mencionada cantidad conocida de calor, y de la diferencia entre las mencionadas temperaturas inicial y final;
- 5 g) activar un medidor de flujo de tipo térmico que comprende un elemento de calentamiento o de enfriamiento en contacto térmico con el mencionado líquido que fluye en el mencionado conducto, donde dicho elemento de calentamiento o de enfriamiento está adaptado para añadir o retirar una cantidad conocida de calor del mencionado líquido que fluye, y al menos un sensor de temperatura en contacto térmico con el mencionado líquido que fluye en el mencionado conducto, donde dicho sensor de temperatura está adaptado para medir la temperatura instantánea del mencionado líquido que fluye;
- 10 h) determinar el mencionado caudal volumétrico directamente a partir de medidas del ritmo con el que se añade o se retira calor del mencionado líquido que fluye, del valor del mencionado coeficiente agregado, y de medidas de las temperaturas instantáneas, sin necesidad de utilizar tablas de consulta, coeficientes de un polinomio que define una curva de correlación, o fuentes de información similares.
- 15 En un tercer aspecto de la invención, se proporciona un método para medir el caudal volumétrico a través de un conducto de un líquido que tiene propiedades variables, donde el método comprende los pasos siguientes:
- a) modificar una sección de dicho conducto para formar una cámara en la que un volumen conocido del mencionado líquido puede aislarse y bien mantenerse estacionario o bien sufrir una reducción significativa en su velocidad;
- 20 b) aislar y mantener estacionario, o reducir significativamente la velocidad de, un volumen conocido de líquido en dicha cámara;
- c) leer la temperatura determinada por un sensor de temperatura en contacto térmico con el volumen conocido de líquido que está aislado y mantenido estacionario o que está fluyendo con una velocidad significativamente reducida para medir una temperatura inicial de dicho volumen conocido de líquido;
- 25 d) activar un elemento de calentamiento o de enfriamiento en contacto térmico con el mencionado volumen conocido de líquido que está aislado y mantenido estacionario o que fluye con una velocidad significativamente reducida y medir la cantidad de calor que es añadida o retirada del mencionado volumen conocido de líquido;
- 30 e) leer la temperatura determinada por un sensor de temperatura en contacto térmico con el mencionado volumen conocido de líquido que está aislado y mantenido estacionario o que está fluyendo con una velocidad significativamente reducida para determinar el momento en el que se alcanza una temperatura final predeterminada, en cuyo instante se desactiva el mencionado elemento de calentamiento o de enfriamiento;
- 35 f) determinar el valor de un coeficiente agregado, que es igual a la densidad multiplicada por el calor específico de dicho líquido, a partir del mencionado volumen conocido de dicho líquido, de la mencionada cantidad medida de calor, y de la diferencia predeterminada entre las mencionadas temperaturas inicial y final;
- g) activar un medidor de flujo de tipo térmico que comprende un elemento de calentamiento o de enfriamiento en contacto térmico con el mencionado líquido que fluye en el mencionado conducto, donde dicho elemento de calentamiento o de enfriamiento está adaptado para añadir o retirar una cantidad conocida de calor del mencionado líquido que fluye, y al menos un sensor de temperatura en contacto térmico con el mencionado líquido que fluye en el mencionado conducto, donde dicho sensor de temperatura está adaptado para medir la temperatura instantánea del mencionado líquido que fluye;
- 40 h) determinar el mencionado caudal volumétrico directamente a partir de medidas del ritmo con el que se añade o se retira calor del mencionado líquido que fluye, del valor del mencionado coeficiente agregado, y de medidas de las temperaturas instantáneas, sin necesidad de utilizar tablas de consulta, coeficientes de un polinomio que define una curva de correlación, o fuentes de información similares.
- 45

En realizaciones de los métodos del segundo o del tercer aspecto, los pasos que van del paso b al paso f se llevan a cabo de manera simultánea con el paso g y el paso h en secciones diferentes del conducto.

- 50 En realizaciones del método del segundo o del tercer aspecto, el método está adaptado para medir el flujo volumétrico de un líquido a través de un catéter o de un tubo de drenaje conectados a un paciente. En algunas de estas realizaciones, el líquido es orina.

La presente invención también concierne a un método para medir el caudal volumétrico que tiene propiedades variables de un líquido a través de un conducto, donde dicho método comprende los pasos siguientes:

- 5
- a) modificar una sección de dicho conducto para formar una cámara en la que un volumen conocido del mencionado líquido puede aislarse y bien mantenerse estacionario o bien sufrir una reducción significativa en su velocidad;
- b) aislar y mantener estacionario, o reducir significativamente la velocidad de, un volumen conocido de líquido en dicha cámara;
- c) leer la temperatura determinada por un sensor de temperatura en contacto térmico con el volumen conocido de líquido que está aislado y mantenido estacionario o que está fluyendo con una velocidad significativamente reducida para medir una temperatura inicial de dicho volumen conocido de líquido;
- 10
- d) activar un elemento de calentamiento o de enfriamiento en contacto térmico con el mencionado volumen conocido de líquido que está aislado y mantenido estacionario o que fluye con una velocidad significativamente reducida para añadir o retirar calor del mencionado volumen de líquido conocido;
- e) leer la temperatura determinada por un sensor de temperatura en contacto térmico con el mencionado volumen conocido de líquido que está aislado y mantenido estacionario o que está fluyendo con una velocidad significativamente reducida para determinar el momento en el que se alcanza una temperatura final predeterminada en cuyo instante se desactiva el mencionado elemento de calentamiento o de enfriamiento;
- 15
- f) reanudar el flujo de líquido fresco a través de la mencionada ubicación en el conducto que está adaptado para aislar el líquido y mantenerlo estacionario o bien hacerlo fluir con una velocidad significativamente reducida y activar un contador de tiempo de manera simultánea en el instante en el que dicho flujo del líquido fresco se inicia;
- 20
- g) medir el período de tiempo que transcurre hasta que la temperatura del líquido que fluye en la mencionada ubicación cambia desde la mencionada temperatura final de nuevo hasta un valor de temperatura umbral; y
- h) determinar el mencionado caudal volumétrico a partir del mencionado volumen conocido del mencionado líquido y del mencionado periodo de tiempo medido según la ecuación
- 25
- caudal volumétrico = volumen conocido dividido por el período de tiempo medido.

Breve descripción de los dibujos

Las características y ventajas de la invención descritas anteriormente y otras características y ventajas se apreciarán mejor a través de los ejemplos que siguen, y haciendo referencia a los dibujos anexos, en los cuales:

- 30
- La Figura 1 muestra de manera esquemática la disposición básica de un medidor de flujo por transferencia de calor de la técnica anterior;
 - La Figura 2 muestra de manera esquemática una sección de conducto que comprende componentes utilizados para medir el flujo de un líquido que fluye a través del mismo utilizando técnicas de transferencia de calor;
- 35
- La Figura 3 muestra de manera esquemática una sección de un conducto de líquido con una sección transversal circular dividido en dos sub-conductos;
 - La Figura 4 muestra de manera esquemática una realización básica de un medidor de flujo másico de tipo térmico con capacidad de auto-calibrado de acuerdo con la presente invención;
- 40
- Las Figuras 5A y 5B ilustran de manera esquemática una realización en la que en un cierto punto el conducto se bifurca en una rama superior y una rama inferior, que vuelven a juntarse en una ubicación aguas abajo;
 - Las Figuras 5C, 5D y 5E ilustran de manera esquemática realizaciones de válvulas que están adaptadas para dirigir el flujo desde un conducto principal a uno de entre una pluralidad de sub-conductos bloqueando a su vez el flujo a los sub-conductos restantes;
- 45
- Las Figuras 6A y 6B ilustran de manera esquemática otra realización del aparato de medida de flujo de la invención;
 - La Figura 7 ilustra de manera esquemática un método para medir el caudal;
 - La Figura 8 ilustra de manera esquemática una realización de la invención en la que las medidas de flujo y la calibración pueden llevarse a cabo sin interrumpir el flujo de líquido a través del conducto; y
- 50
- La Figura 9 ilustra de manera esquemática un sistema para medir el flujo de orina de un paciente cateterizado.

Descripción detallada de realizaciones preferidas

La presente invención consiste en medidores de caudal que son capaces de medir de manera precisa el caudal volumétrico de un líquido sin necesidad de un conocimiento previo de las características físicoquímicas del líquido, por ejemplo, para el propósito de calibración del caudal másico térmico. Una aplicación de los medidores de flujo de la invención consiste en incorporarlos en un sistema de medida de caudal de orina excretada por un paciente cateterizado. También existen otras aplicaciones y están incluidas en el seno del alcance de esta invención.

Considérese ahora la capacidad calorífica C_p del líquido que fluye en un conducto. C_p se define de esta manera:

$$C_p = \frac{Q}{\rho V \Delta T}$$

que puede reorganizarse para obtener:

$$\rho \cdot C_p = \frac{Q}{V \Delta T}$$

Podemos definir ahora un coeficiente agregado y , que representa las propiedades del líquido.

$$y = \rho \cdot C_p$$

Sustituyendo y por $\rho \cdot C_p$, se obtiene:

$$y = \frac{Q}{V \Delta T}$$

ecuación 4

De la ecuación 4 puede apreciarse que si se cumplen las condiciones siguientes:

- un volumen V conocido del líquido está aislado en una celda que contiene un elemento de calentamiento y un sensor de temperatura; y
- el calor Q que entra en la celda es conocido bien mediante una medida o bien mediante una dosificación; y
- el cambio en la temperatura ΔT es conocido mediante una medida;

entonces existe suficiente información para determinar el coeficiente y sin necesidad de conocer la densidad o el calor específico del líquido medido de manera individual.

Si sustituimos ahora en la ecuación 3, se obtiene:

$$\dot{V} = (I \cdot v) \div (y \cdot \Delta T)$$

ecuación 5

Los valores de I , v , t , y ΔT pueden medirse utilizando un medidor de flujo de tipo térmico tal como se describe en relación a la Figura 1. Un volumen conocido del líquido puede aislarse y pueden llevarse a cabo medidas para medir las propiedades variables del líquido que fluye en un conducto, es decir, el coeficiente y . A continuación, utilizando la ecuación 5, puede determinarse el valor del caudal \dot{V} corregido para las propiedades variables del líquido.

De acuerdo con una realización, el aparato está configurado de tal manera que una sección del conducto a través del cual fluye líquido está adaptada para permitir que una parte de la corriente de líquido se separe de la corriente principal y entre en una cámara que puede cerrarse, permitiendo de este modo la determinación del coeficiente y . Al mismo tiempo, el líquido puede continuar fluyendo a través del conducto y pueden llevarse a cabo medidas en el líquido que fluye para obtener el resto de los datos necesarios como entradas en la ecuación 5. De manera alternativa, la cámara puede cerrarse para medir el valor del coeficiente y e inmediatamente después de lo cual la cámara se abre permitiendo llevar a cabo medidas en el líquido que fluye para obtener el resto de los datos necesarios utilizando el mismo elemento de calentamiento y los mismos sensores de temperatura utilizados para medir el coeficiente y .

Es importante darse cuenta de que el método de la invención permite determinar el valor real del caudal \dot{V} directamente utilizando sólo parámetros medidos. Esto es así al contrario que en los métodos de la técnica anterior para determinar el caudal másico que dependen de tablas de consulta, coeficientes de un polinomio que define una curva de correlación, o fuentes de información similares para proporcionar valores basados en la densidad y el calor específico de la composición supuesta del líquido y típicamente deducidos de una calibración empírica individual del medidor de caudal con el líquido de interés.

El método de la invención también permite la selección automática de un conjunto apropiado de datos de correlación

para ser aplicados sobre la base del valor medido del coeficiente y .

Debe apreciarse que la capacidad calorífica es una propiedad intrínseca del líquido que se está considerando. Esta propiedad también varía con la presión y la temperatura del líquido, así como con su volumen. Cuando se trata de agua, por ejemplo, el aumento en volumen es despreciable. El coeficiente de dilatación térmica (CTE, *Coefficient of Thermal Expansion*) para el agua pura a 20°C tiene un valor de 207×10^{-6} (0,000207); por lo tanto, si la temperatura sube en 10°C, el cambio en volumen es de alrededor de 0,00207, lo que supone alrededor de un 0,2%. Por lo tanto, el método de la invención es correcto para agua y para otros líquidos, como por ejemplo orina, con un CTE despreciable. De manera similar, los cambios en C_p para variaciones de presión y temperatura sobre intervalos escogidos de manera apropiada son despreciables.

La Figura 2 muestra de manera esquemática una sección de un conducto 200 (por ejemplo, un tubo o una tubería) que comprende componentes utilizados para medir el flujo másico térmico de un líquido que fluye a su través en la dirección indicada por la flecha. Un sensor 210 de temperatura está ubicado aguas arriba de un elemento 220 de calentamiento. El valor de la temperatura medida por el sensor 210 puede proporcionarse a una unidad de control o de visualización utilizando los cables 211. El elemento 220 de calentamiento está ubicado dentro del conducto 200 insertado directamente dentro del líquido que fluye o en una porción conductora de calor de la pared del conducto. Se suministra energía eléctrica al elemento 220 de calentamiento mediante la aplicación de una tensión eléctrica a través de los cables 221. En un lugar adyacente al elemento 220 de calentamiento se encuentra un segundo sensor 212 de temperatura que mide la temperatura del líquido aguas abajo del elemento 220 de calentamiento. La temperatura medida por el sensor 212 se proporciona a través de los cables 213. Preferiblemente, la sección del conducto que contiene al elemento 220 de calentamiento y a los sensores 210, 212 de temperatura está aislada térmicamente de su entorno utilizando el aislante 230.

En la presente memoria, las diversas realizaciones del aparato se describen genéricamente como si comprendiesen un elemento de calentamiento eléctrico, pero el aparato no debe estar limitado de este modo. Pueden utilizarse fuentes de calor alternativas para elevar la temperatura del líquido, como por ejemplo fuentes basadas en ultrasonido o radiofrecuencia u otro tipo de energía electromagnética. En todas las realizaciones descritas en la presente memoria, en lugar de utilizar un elemento de calentamiento para elevar la temperatura del líquido para el propósito de llevar a cabo las medidas, pueden obtenerse resultados equivalentes utilizando un elemento de enfriamiento para disminuir la temperatura del líquido. Por lo tanto, en la presente memoria debe entenderse que el uso de expresiones tales como “elemento de calentamiento” se aplica de manera equivalente a “elementos de enfriamiento” y viceversa. El enfriamiento del líquido en la ubicación de las medidas puede conseguirse mediante muchos métodos diferentes, como por ejemplo utilizando un dispositivo Peltier, un ventilador, o una tubería serpentín a través de la cual circula fluido refrigerante o líquido frío.

Aunque el elemento de calentamiento y el sensor de temperatura se describen en la presente memoria como elementos separados por la conveniencia de describir sus funciones respectivas, resultan posibles realizaciones en las que un único elemento, como por ejemplo un termistor de autocalentamiento o un detector de temperatura resistivo (RTD, *Resistive Thermal Device*), pueden utilizarse para permitir ambas funciones de calentamiento y de medida de temperatura.

El aparato mostrado en la Figura 2 puede utilizarse para determinar el flujo tal como se describió más arriba (técnica anterior). Sin embargo, también puede utilizarse de un modo similar para determinar el coeficiente y que se acaba de definir. Con el fin de determinar el valor del coeficiente y , se proporciona una válvula para cerrar la sección del conducto 200 en el que se aplica calor y se llevan a cabo las medidas de temperatura de tal manera que un volumen conocido de líquido queda atrapado, aislado y estacionario. Cuando se proporcionan esas condiciones, puede utilizarse la ecuación 4 para calcular el coeficiente y . Este valor se utiliza para calibrar un medidor de transferencia de calor, que puede estar ubicado en cualquier otro lugar en el conducto. De esta manera, el medidor de transferencia de calor puede ser actualizado periódicamente de manera dinámica para medir de forma precisa el flujo de un líquido con propiedades variables en el tiempo. Además de proporcionar un medio para compensar las medidas de flujo frente a cambios cualesquiera en las propiedades del líquido, el coeficiente y puede tener también significación en diversas aplicaciones. Por ejemplo, cuando se mide el flujo urinario en un catéter, el coeficiente y puede tener significación clínica útil como un indicador de la salud del paciente.

Considérese un conducto de líquido simple con líquidos fluyendo a su través desde un lugar aguas arriba hacia un lugar aguas abajo. En algún punto, el conducto puede bifurcarse en dos sub-conductos o más de dos unidos herméticamente al conducto principal a través de los cuales el líquido continúa fluyendo. Más allá, aguas abajo, los sub-conductos pueden volver a juntarse para formar de nuevo un conducto simple. Además, puede introducirse un mecanismo para gestionar el flujo a través de los sub-conductos, de tal manera que, en cualquier instante de tiempo dado, el líquido no tiene por qué estar fluyendo a través de todos ellos. Esto resulta útil cuando es deseable aislar una porción del líquido para un propósito de entre varios propósitos, que incluyen pero que no están limitados a medir propiedades del líquido o alterar propiedades de la porción aislada del líquido. Mientras que algunos de los ejemplos que siguen discuten el caso de dos conductos paralelos, en la práctica puede utilizarse cualquier número de conductos. Por ejemplo, el flujo puede estar dirigido a través de un conducto utilizado para analizar un conjunto de propiedades líquidas y a continuación ser dirigido a un segundo conducto para un propósito diferente y a continuación a un tercer conducto para mantener el flujo mientras los dos primeros conductos permanecen cerrados.

De una manera similar, pueden aislarse un número cualquiera de muestras mientras se mantiene el flujo a través del sistema.

La Figura 3 muestra de manera esquemática una sección de un conducto 200 de líquido con una sección transversal circular. Una sección del conducto está dividida en un sub-conducto 240 superior y un sub-conducto 250 inferior. Una aleta 260 móvil en un extremo de la sección dividida puede utilizarse para cerrar un extremo bien del sub-canal superior o bien del sub-canal inferior o bien ninguno de ellos. Cuando se cierra un sub-conducto, un volumen conocido de líquido queda atrapado en su interior. Al mismo tiempo que una cantidad de líquido queda atrapada en un sub-conducto, el otro sub-conducto queda abierto, de tal manera que el líquido puede continuar fluyendo. Con esta realización, la aleta puede estar ubicada bien en el extremo aguas arriba o bien en el extremo aguas abajo del sub-conducto - la aleta, cuando se cierra, atraparé el líquido en ese sub-conducto bien evitando que entre nuevo líquido o bien evitando que el líquido atrapado escape. Por supuesto, los dos sub-canales pueden estar en otras configuraciones, como por ejemplo en paralelo.

La Figura 4 muestra de manera esquemática una realización básica de un medidor de flujo másico de tipo térmico con capacidad de auto-calibrado de acuerdo con la presente descripción. Esta realización utiliza el conducto mostrado en la Figura 3. El sub-conducto 250 inferior se utilizará como cámara de aislamiento de volumen conocido en la que se llevarán a cabo las medidas del coeficiente γ . Tanto el sub-conducto 240 superior como el sub-conducto 250 inferior contienen una disposición de sensores de temperatura y de elementos de calentamiento idéntica a la mostrada en la Figura 2. En realizaciones, la disposición de sensores de temperatura y elementos de calentamiento que están ubicados en el sub-conducto 240 superior puede variar y estar ubicados en cualquier lugar bien aguas arriba o bien aguas abajo en el conducto 200 principal; sin embargo, especialmente si el caudal es relativamente alto y/o las propiedades del líquido cambian rápidamente en el tiempo, las medidas en el líquido que fluye y en el líquido aislado deberían llevarse a cabo de manera cercana físicamente y temporalmente para asegurar unos resultados precisos.

En algunas aplicaciones puede resultar necesario asegurar que las burbujas son eliminadas del líquido para garantizar que el conducto está lleno de líquido en el lugar donde se van a llevar a cabo las medidas. En una aplicación tal, puede utilizarse un elemento de retención de burbujas o más de uno preferiblemente aguas arriba de las ubicaciones de medida. De manera alternativa, puede ubicarse un medio para permitir el escape de gases, tal como una membrana permeable a gases, aguas arriba de la ubicación de medida.

Para algunas orientaciones de conducto y caudales de flujo, el conducto o el sub-conducto pueden no estar completamente llenos en la ubicación de medida. Por lo tanto, para algunas aplicaciones debería instalarse una válvula de retención aguas abajo del punto de medida con el fin de crear una presión de retorno suficiente para asegurar el llenado completo del conducto en la ubicación de las medidas. En algunas aplicaciones, puede instalarse una válvula de retención aguas arriba de la ubicación de medida, por ejemplo con el fin de evitar que un sistema automatizado intente llevar a cabo medidas si el caudal es inferior a un cierto valor. Para la mayor parte de las aplicaciones, resulta suficiente una simple válvula de retención de tipo mecánico que se abra cuando se supera una presión prefijada; sin embargo, en aplicaciones en las que la orientación del conducto y/o el caudal varían dentro de un intervalo amplio de variables resulta deseable utilizar una válvula de retención de tipo más sofisticado, como por ejemplo una que se abra mediante una señal proveniente de un sensor de nivel de líquido en el conducto en la ubicación de medida.

Tal como se mencionó anteriormente, también resulta posible utilizar el mismo conjunto de sensores y de calentadores para medir el coeficiente γ y cuando el líquido está atrapado y para medir después el flujo cuando el líquido no está atrapado, habiendo tenido en cuenta cualquier recalibración necesaria debida al valor medido del coeficiente γ . Además, en una situación en la que el flujo puede detenerse temporalmente sin causar daño, el sistema descrito anteriormente puede utilizarse sin necesidad de un sub-canal secundario para mantener el flujo. En situaciones en las que la detención del flujo puede causar daño, como por ejemplo si ello genera un aumento de la presión, el uso de un canal secundario para mantener el flujo soluciona el problema.

Todos los cables 211, 213, 221 están conectados a un sistema de control que comprende un procesador adaptado para activar los elementos de calentamiento en instantes de tiempo y niveles de tensión eléctrica predeterminados, para recibir datos de los sensores de temperatura, voltímetros y amperímetros y para utilizar estos datos para determinar el caudal. El sistema de control también puede comprender un medio para abrir y cerrar la aleta para aislar parte del líquido, un medio de entrada, como por ejemplo un teclado, un teclado numérico, una pantalla táctil, para permitir a un usuario controlar parámetros tales como el tiempo de aplicación y/o la cantidad de energía calorífica que debería aplicarse y la frecuencia con la que se llevan a cabo las medidas. El sistema de control también puede comprender una unidad de memoria o más de una, unidades de visualización, y un medio de salida para almacenar y mostrar al usuario parámetros del sistema. El medio de salida comprende dispositivos de comunicación que pueden estar adaptados para enviar los datos instantáneos o históricos a ubicaciones remotas utilizando tecnologías cableadas o inalámbricas. Además, el sistema de control puede estar adaptado para utilizar el medio de salida para enviar señales que proporcionan entradas a otros sistemas. Por ejemplo, en un escenario industrial, las señales pueden activar válvulas para detener el flujo de una disolución cuando un volumen predeterminado de un componente ha entrado en una cámara de mezcla.

En un escenario hospitalario, el sistema de control puede estar adaptado para enviar una alarma a una sala de enfermería si el flujo de orina a una bolsa de recogida correspondiente a un paciente cateterizado disminuye por debajo de una tasa predeterminada, o para enviar una alarma si ocurre alguna irregularidad en el caudal de una medicina que está siendo administrada por vía intravenosa. Cuando el aparato se utiliza para medidas de orina, los sensores de temperatura comunican la temperatura de la orina. Como tal esto podría no resultar útil, ya que la orina se habrá enfriado en su camino hasta el sensor, pero algunos cambios en la temperatura pueden ser significativos - por ejemplo, una subida en uno o dos grados puede dar una indicación inmediata de fiebre, sin esperar a la toma periódica de temperatura por parte del personal, que puede tener lugar horas después. El sistema de control de la invención puede estar adaptado para monitorizar la temperatura de la orina y para enviar una alarma a la sala de enfermería si se producen cambios que exceden una tasa predeterminada.

También resultan posibles muchas otras disposiciones para aislar una porción del líquido que fluye, bien mediante un medio para detener el flujo o bien bifurcándolo, tal como resultará obvio a una persona entrenada en la técnica. Tales disposiciones pueden tomar muchas formas. Se describirán a continuación algunos ejemplos de realizaciones diferentes. Los elementos de calentamiento y los sensores de temperatura han sido omitidos en la descripción de la mayoría de las realizaciones que se describen a continuación; sin embargo, debe entenderse que están presentes y se utilizan *mutatis mutandis* en ubicaciones similares y modos similares a los que se han descrito en relación a la Figura 4.

Las Figuras 5A y 5B ilustran de manera esquemática una realización en la que en un cierto punto el conducto 300 se bifurca en una rama 310 superior y una rama 320 inferior, que vuelven a juntarse en una ubicación aguas abajo. Pueden proporcionarse una, dos o tres válvulas tal como se muestra en la Figura 5A. Si sólo está presente la válvula 330, entonces, cuando se abre, el líquido que fluye a través del conducto 300 continúa fluyendo a través de ambas ramas y cuando la válvula 330 se cierra el líquido fluye de manera continua a través de la rama 310 y el líquido en la rama 320 queda aislado, permitiendo la medida del valor del coeficiente γ . Si ambas válvulas 330 y 332 están presentes, entonces el líquido puede aislarse en cualquiera de las ramas 310 o 320. La válvula 334 cerrada conjuntamente con la válvula 332 garantiza que el líquido aislado en la rama 310 superior no está en contacto de ninguna manera con el líquido que fluye en el resto del sistema. Esto proporciona una ubicación, es decir, la rama 310, en la que puede medirse el coeficiente γ y en completo aislamiento con respecto al líquido que fluye. En realizaciones de la presente descripción, cuando deben llevarse a cabo medidas, la válvula 334 puede cerrarse primero y la válvula 332 se cierra después de transcurrido un período de tiempo predeterminado o solamente cuando unos sensores indican que la rama 310 está completamente llena de líquido. Si existe una posibilidad de que haya aire junto con el líquido en la tubería, puede ubicarse un orificio de ventilación en la rama 310 para liberar aire atrapado. Debe apreciarse que cuando se utiliza la válvula 334, pueden necesitarse medidas para tener en cuenta la dilatación térmica, dependiendo de la aplicación.

En la realización mostrada en la Figura 5B, la configuración del conducto es el mismo que el de la Figura 5A pero sin embargo sólo existe una válvula 336 ubicada en el conducto 300 principal en la bifurcación. La válvula 336, que puede ser, por ejemplo, una válvula de núcleo giratorio cilíndrica o de cojinete rotativo, está adaptada para dirigir el flujo hacia una u otra de las ramas 310, 320 a la vez que cierra la entrada a la contraria, aislando de este modo el líquido en ella. Ejemplos de una sección transversal de la válvula 336 tal como la que se acaba de describir se muestran en las Figuras 5C y 5D. Pueden utilizarse otros tipos de válvula multipuerto tal como se conocen en la técnica para conseguir el mismo propósito.

La Figura 5E ilustra de manera esquemática una válvula que puede ser apropiada para dirigir el flujo a una única salida correspondiente a tres ramas de un canal trifurcado. Existe disponibilidad comercial de muchos tipos de válvulas o bien pueden adaptarse por parte de una persona entrenada en la técnica para cumplir los requerimientos de dirigir el flujo desde un conducto principal a un sub-conducto de entre una pluralidad de sub-conductos mientras se bloquea el flujo en los sub-conductos restantes. Cuando deben llevarse a cabo múltiples tipos de medidas en modo paralelo o en modo serie, resulta deseable la existencia de múltiples conductos para múltiples muestras. Por ejemplo, dependiendo del líquido cuyo caudal está siendo medido, pueden incorporarse sensores dentro de los sub-conductos para medir todas o alguna de las siguientes propiedades del líquido: conductividad eléctrica, osmolaridad, osmolalidad, pH, biomarcadores, electrolitos, peso específico, densidad específica, conductividad térmica, presencia y concentración de: creatinina, urea, ácido úrico, glóbulos blancos, glóbulos rojos, glucosa, cuerpos cetónicos, iones, como por ejemplo Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Cl^- .

Las Figuras 6A y 6B ilustran de manera esquemática un aparato de medida de flujo de acuerdo con un primer aspecto de la invención. En el aparato, el conducto 400 de líquido conduce el líquido en la dirección mostrada por la flecha grande. Dentro del conducto 400 está ubicada una cámara 430 interna. La cámara 430 interna tiene forma cilíndrica para encajar con la forma del conducto 400. Es hueca y está cerrada en el lado aguas arriba con la excepción de un orificio de entrada coaxial que está o bien abierto o bien bloqueado por una válvula 435 que normalmente está cerrada. La cámara 430 interna se mantiene en su posición gracias a un elemento 410 de sujeción o más de uno que está diseñado para sostener la cámara 430 interna en la posición correcta ofreciendo a la vez una resistencia mínima al flujo del líquido alrededor de la parte externa de la cámara interna. La cámara 430 interna contiene el elemento de calentamiento y los sensores de temperatura utilizados para llevar a cabo las medidas. Ubicado en el interior del conducto 400 aguas arriba de la cámara 430 interna se encuentra un pistón 420. El pistón 420 es un cilindro sólido con un orificio 425 coaxial perforado a través de su centro. El pistón 420 está

construido de manera que permite que el líquido fluya a través del orificio 425 pero no alrededor del pistón entre su superficie externa y la superficie interna de la pared del conducto 400. El pistón 420 puede ser desplazado hacia adelante o hacia atrás entre la posición mostrada en la Figura 6A y la posición mostrada en la Figura 6B. Cuando el pistón 420 está en la posición mostrada en la Figura 6B, la válvula 435 está abierta, permitiendo que el líquido fluya a través de la cámara 430 interna. En esta configuración, pueden llevarse a cabo las medidas de flujo. Cuando el pistón 420 está en la posición mostrada en la Figura 6A, la válvula 435 está cerrada y el líquido fluye alrededor de la parte externa de la cámara 430 interna mientras que el líquido que se encuentra dentro de la cámara 430 interna está atrapado. En esta configuración, pueden llevarse a cabo las medidas para determinar el parámetro y que se utiliza para calibrar la medida de flujo. Una válvula 435 de entrada con las propiedades descritas puede construirse con un mecanismo de bola y muelle, un pistón cargado por resorte, o con cualesquiera de los otros medios conocidos en la técnica. El pistón 420 puede ser desplazado de manera mecánica mediante el uso de una bobina eléctrica, como por ejemplo un solenoide, nano-motores, o mediante otro medio de los que se conocen en la técnica.

La Figura 7 ilustra de manera esquemática un método para medir directamente el caudal sin la necesidad de determinar y utilizar un valor del coeficiente y descrito anteriormente en la presente memoria. Inicialmente, la válvula 610 cierra la rama 620 del conducto 600, atrapando el líquido en su seno, permitiendo a su vez que el líquido continúe fluyendo a través de la rama 630. El líquido atrapado en la rama 620, que de manera preferible está aislada térmicamente para evitar la transferencia de calor hacia el entorno y desde el entorno, se encuentra a una temperatura T_i inicial que es medida por el sensor 624 de temperatura. El líquido atrapado es calentado por el calentador 622 hasta una temperatura T_j dada, medida por el sensor 624 de temperatura. La válvula 610 es entonces invertida de tal manera que se reanuda el flujo del líquido a través de la rama 620 y se cierra la rama 630. De manera simultánea, se inicia un contador de tiempo. Cuando el sensor 624 de temperatura mide un desplazamiento en la temperatura desde T_j de nuevo hasta un valor umbral de temperatura que puede ser igual, aunque no necesariamente, a T_i , se lleva a cabo la lectura del tiempo transcurrido por parte del contador de tiempo. El tiempo leído, junto con el volumen conocido del líquido desplazado en la rama 620 por el líquido que fluye hacia adentro de la misma desde el conducto 600, se utiliza para calcular el caudal (volumen/tiempo) muestreado. El umbral es un valor que se encuentra entre T_i y T_j y que resulta ser "lo suficientemente alto" o "lo suficientemente bajo" para indicar la transición de una cantidad de líquido de interés. El uso de un umbral resulta necesario debido a que el líquido no se calienta de una manera "rectangular" y puede enfriarse ligeramente mientras circula - de tal manera que la transición no es una función de tipo escalón sino que es un gradiente. Para propósitos de cálculo del flujo, determinar el umbral que resulta apropiado utilizar es una simple cuestión de ensayo empírico que depende de la aplicación. El umbral no es una temperatura meramente estática, sino que también puede ser una función de la velocidad de cambio, puesto que flujos diferentes la afectarán de manera diferente.

Este método para medir el caudal hace posible mantener un registro del caudal posiblemente cambiante sin necesidad de medirlo de manera continua. La interpolación entre los caudales de flujo de muestra medidos en instantes diferentes se utiliza para calcular el caudal global del líquido a través del conducto 600. El proceso de toma de muestras se repite a un ritmo apropiado para el caudal cambiante del líquido y para los requerimientos de precisión de la aplicación. Por ejemplo, un caudal que cambia de manera frecuente podría ser muestreado con una frecuencia mayor, mientras que un caudal que cambie con menor frecuencia podría mostrarse con una frecuencia menor. Se requiere una precisión mayor, el caudal puede ser muestreado de manera más frecuente.

Debe apreciarse que, de acuerdo con esta realización, los datos recogidos mientras el líquido está atrapado en la rama 620 también pueden utilizarse para calcular el coeficiente y , que puede tener un interés clínico u otro interés, pero que no resulta esencial para determinar el caudal, que depende enteramente del desplazamiento del segmento de líquido calentado (o enfriado) por parte de líquido a su temperatura "natural" es decir, el líquido que viene a continuación, que no ha sido calentado o enfriado.

Debería apreciarse que este método descrito en relación a la Figura 7 sólo puede aplicarse cuando la temperatura del líquido medido no cambia rápidamente ni en gran cantidad de grados. Por ejemplo, cuando se llevan a cabo medidas del caudal de orina, si la temperatura sube o baja debido a la fiebre, el cambio incremental introducido por el calentador 622 debe ser lo suficientemente grande en comparación al causado por la fiebre como para que las medidas de flujo resulten precisas. Puede utilizarse ensayo empírico para verificar que se satisfacen las condiciones apropiadas para utilizar el método. Tales métodos empíricos pueden consistir, por ejemplo, en observar el comportamiento de la curva de enfriamiento después de que el líquido se caliente en la cámara 620 y cuánto baja la temperatura. También puede utilizarse una monitorización de la temperatura de partida. Por ejemplo, si se observa que la temperatura T_i inicial aumenta con el tiempo. En general, para medidas de orina, la temperatura no cambiará tan rápidamente como para que la temperatura de la orina que desplaza a la orina calentada en la rama 620 sea radicalmente diferente de la temperatura T_i inicial de la cantidad de orina que fue calentada en el ciclo anterior.

Como alternativa a detener completamente el flujo para el propósito de medir el coeficiente y , otra realización de la invención implica reducir significativamente la velocidad del flujo en una región del conducto, permitiendo de este modo que se lleve a cabo la medida en su seno. Una realización tal se ilustra en la Figura 8. Tal como se muestra, el conducto tiene un segmento 800 de sección transversal pequeña seguido por un segmento 810 de sección transversal grande que está seguido a su vez por un segundo segmento de sección transversal pequeña. También se observan en la figura el elemento 820 de calentamiento y los sensores 830 y 832 de temperatura. Para el propósito de ilustrar esta realización, se asume que los dos segmentos de sección transversal pequeña tienen el

5 mismo diámetro, D1, y que el segmento de sección transversal grande tiene un diámetro D2. El conducto está configurado para minimizar la turbulencia en las transiciones entre las secciones de acuerdo con los principios conocidos en la técnica y de acuerdo con el intervalo esperado de velocidades de flujo que debe manejarse. La velocidad V2 de flujo a través del segmento 810 de sección transversal grande del conducto será inferior a la velocidad V1 a través del segmento 800 de sección transversal pequeña, de acuerdo con la relación inversa de los cuadrados de los diámetros. De manera específica, la velocidad a través del segmento 810 de sección transversal grande tendrá un valor que vendrá dado por la ecuación siguiente:

$$V2 = V1 \frac{D1^2}{D2^2} \quad \text{ecuación 6}$$

10 Tal como puede observarse, el conducto puede estar configurado de tal manera que consiga cualquier reducción de velocidad deseada del líquido a través del segmento de sección transversal grande. Por ejemplo, cuando el segmento de sección transversal grande tiene un diámetro un orden de magnitud mayor que el del segmento de sección transversal pequeña, la velocidad en el segmento de sección transversal grande será dos órdenes de magnitud más pequeña.

15 Para el propósito de ilustración, considérese el ejemplo en el que el diámetro D1 tiene un valor de 3 mm y el diámetro D2 tiene un valor de 10 mm y el caudal tiene un valor de 1 cc/minuto. La velocidad V1 será de aproximadamente 14,15 cm/minuto. De acuerdo con la Ecuación 6, la velocidad V2 en el segmento de sección transversal grande será de aproximadamente 1,273 cm/minuto. Si el diámetro D2 aumenta hasta adoptar un valor de 15 mm, la velocidad V2 será de aproximadamente 0,566 cm/minuto; para un diámetro D2 = 20 mm, V2 será de aproximadamente 0,318 cm/min; y para un diámetro D2 = 30 mm, V2 será de aproximadamente 0,1415 cm/minuto.

20 Puesto que el segmento de sección transversal grande contiene una porción del líquido moviéndose a una velocidad relativamente muy baja, puede tratarse como si fuese una cámara en la que el líquido ha sido aislado, mientras que a la vez se tienen en cuenta los parámetros conocidos de la configuración y las consecuencias de la misma con respecto al flujo a través de la cámara durante la toma de medidas en la misma.

25 La medida del coeficiente y puede llevarse a cabo en la cámara 810 creada según los principios descritos anteriormente, con las siguientes modificaciones: la cantidad de calor introducida dentro de la cámara es una función del tiempo durante el cual se aplica un pulso de energía. Puede utilizarse una temporización juiciosa del pulso para medir el coeficiente y. Por ejemplo, la aplicación de un pulso breve y de mucha potencia producirá un aumento correspondiente en la temperatura, y el coeficiente y podrá calcularse de acuerdo con la Ecuación 4, donde la duración del pulso es lo suficientemente breve como para que el cambio en los contenidos de la cámara sea despreciable. Por ejemplo, en el último ejemplo citado anteriormente ($d_1 = 3$ mm y $d_2 = 30$ mm, caudal de 1 cc/minuto), y utilizando una cámara 810 con una longitud de 10 mm, el volumen de la cámara tendrá un valor de aproximadamente 7 cm³. Cada segundo, el volumen de líquido intercambiado en la cámara será de aproximadamente 0,017 cm³, o menos del 0,24% del volumen de la cámara. Por lo tanto, durante un pulso que tenga una duración igual o inferior a 4 segundos, se intercambiará menos del 1% del volumen de la cámara. Por lo tanto, puede considerarse que el líquido contenido en el seno de la cámara está detenido para una medida temporizada de manera apropiada tal como se describió anteriormente.

40 Como consideración adicional en relación a las realizaciones descritas previamente, mientras que en ciertas aplicaciones resulta preferible disponer de un aparato en el que el flujo continúe fluyendo sin impedimento a través de un conducto alternativo, también resulta posible aislar el líquido simplemente interrumpiendo el flujo en un conducto individual. En cualquiera de los casos, deben llevarse a cabo operaciones en el líquido aislado en una porción de un conducto cerrado para el propósito de determinar las propiedades del mismo y para deducir el caudal del líquido. La porción cerrada puede estar cerrada en un extremo o en ambos extremos, dependiendo de las necesidades de la aplicación.

45 Lo descrito anteriormente representa algunas de las posibles realizaciones. Existen muchas otras realizaciones de un aparato para controlar el flujo del líquido a través de un conducto en las que una porción o más de una de líquido puede estar aislado, tal como resultará obvio para aquellas personas entrenadas en la técnica.

50 Estas realizaciones pueden proporcionarse "integradas" en tuberías de flujo dedicadas o como unidades separadas que pueden incorporarse en la tubería de flujo. Por ejemplo, para medir el flujo de orina, la unidad puede tener las conexiones estándar en ambos extremos que permiten su conexión de manera intercalada entre el catéter y la bolsa de recogida o bien puede estar incorporada en un catéter o en un tubo de drenaje que conduce a un contenedor de recogida.

55 La Figura 9 ilustra de manera esquemática una realización de un sistema 900 para medir el flujo de orina de un paciente cateterizado (no mostrado en la Figura). En la Figura se muestran un catéter 910, una unidad 914 de sensorización, un tubo 918 de drenaje, una bolsa 920 de recogida, y un sistema 930 de control. El elemento 912 de retención de burbujas y la válvula 916 de retención son componentes opcionales del sistema 900.

La unidad 914 de sensorización representa la ubicación en la que se llevan a cabo las medidas. La unidad 914 de

sensorización comprende uno o más elementos de calentamiento o medios de enfriamiento y sensores de temperatura. Puede estar constituida por una cualquiera de las realizaciones de la invención, ejemplos de las cuales se ilustran en la presente memoria, como por ejemplo las mostradas en las Figuras 2 y 8.

5 El sistema 930 de control comprende un medio de entrada para proporcionar instrucciones y datos, software y circuitería asociada para activar el calentador/enfriador y los sensores de temperatura en la unidad 914 de sensorización, y, de manera opcional, software y circuitería eléctrica asociada y componentes para procesar datos obtenidos en la unidad 914 de sensorización, componentes para mostrar los resultados en un dispositivo visualizador o bien como señales acústicas o para comunicarlas a sistemas externos.

10

15

REIVINDICACIONES

1.- Un aparato para medir el caudal volumétrico a través de un conducto (200, 300, 400, 600, 800) de un líquido que tiene propiedades variables, donde dicho aparato comprende los componentes siguientes:

- 5 a) al menos un elemento (220, 622, 820) de calentamiento o de enfriamiento adaptado para añadir o retirar una cantidad conocida de calor a o desde el mencionado líquido; y
- b) al menos un sensor (210, 212, 624, 830, 832) de temperatura adaptado para medir la temperatura instantánea del mencionado líquido; y
- c) un elemento de entre los siguientes, o más de uno:
 - 10 i. dos válvulas ubicadas en el mencionado conducto (200) y separadas entre sí por una cierta distancia, donde dichas válvulas crean una sección de dicho conducto (200) que tiene un volumen conocido en el cual el mencionado líquido puede ser aislado y mantenido estacionario;
 - 15 ii. una sección del mencionado conducto (200, 300, 600) dividido en al menos dos sub-conductos (240, 250, 310, 320, 620, 630) que están unidos de manera hermética en sus extremos aguas arriba y aguas abajo y un mecanismo (260, 330, 332, 334, 336, 610) para gestionar el flujo del líquido a través de dichos sub-conductos (240, 250, 310, 320, 620, 630) de tal manera que pueda aislarse y mantenerse estacionario un volumen conocido de dicho líquido en al menos uno de dichos sub-conductos (240, 250, 310, 320, 620, 630);
 - 20 iii. una cámara (430) interna hueca mantenida en posición dentro del mencionado conducto (400) mediante un elemento (410) de sujeción o más de uno y un pistón (420) cilíndrico sólido que comprende un orificio (425) coaxial perforado a través de su centro; donde dicha cámara (430) interna hueca está cerrada en el lado aguas arriba con la excepción de un orificio de entrada coaxial que está o bien abierto o bien bloqueado por una válvula (435) que se activa por contacto con dicho pistón (420), que está adaptado para poder moverse en direcciones aguas arriba y aguas abajo en el seno de dicho conducto (400); donde cuando dicha válvula (435) bloquea el mencionado orificio de entrada de la mencionada cámara (430) interna, dicha cámara interna contiene un volumen conocido del mencionado líquido que está aislado y mantenido estacionario; y
 - 25 iv. un primer segmento del mencionado conducto (800) que tiene una sección transversal pequeña seguido de un segundo segmento de dicho conducto (810) que tiene una sección transversal grande que está seguido a su vez por un tercer segmento (800) de conducto que tiene una sección transversal pequeña, donde el ratio de la sección transversal del mencionado segundo segmento (810) en relación al de los segmentos (800) primero y tercero es tal que la velocidad del líquido que fluye a través de dicho segundo segmento (810) es significativamente reducida en relación a las velocidades del líquido que fluye a través de los mencionados segmentos (800) primero y tercero;
 - 30

35 en el que, al menos uno de los mencionados elementos (220, 622, 820) de calentamiento o de enfriamiento y al menos uno de los mencionados sensores (210, 212, 624, 830, 832) de temperatura está en contacto térmico con el mencionado volumen conocido del mencionado líquido que está aislado y mantenido estacionario o que está fluyendo con una velocidad significativamente reducida, determinándose de este modo el valor de un coeficiente agregado, que es igual a la densidad multiplicada por el calor específico de dicho líquido, directamente a partir de medidas de la temperatura instantánea, de dicho volumen conocido de líquido que está aislado y mantenido estacionario o que está fluyendo con una velocidad significativamente reducida, y de las mencionadas cantidades conocidas de calor que son añadidas o retiradas del mencionado volumen conocido del mencionado líquido que está aislado y mantenido estacionario o que está fluyendo con una velocidad significativamente reducida; y

45 en el que, al menos uno de los mencionados elementos de calentamiento o de enfriamiento y al menos uno de los mencionados sensores de temperatura está en contacto térmico con el mencionado líquido que está fluyendo a través del mencionado conducto, determinándose de este modo el mencionado caudal volumétrico directamente a partir de medidas del ritmo con el que se añade o se retira el calor del mencionado líquido que fluye, de medidas de la temperatura instantánea de dicho líquido que fluye, y del mencionado coeficiente agregado, sin necesidad de utilizar tablas de consulta, coeficientes de un polinomio que define una curva de correlación, o fuentes de información similares.

50 2.- El aparato de la reivindicación 1, que comprende un sistema (930) de control que comprende al menos uno de los componentes siguientes: un procesador, un medio de entrada, unidades de memoria, dispositivos de visualización, y un medio de salida, en el que dichos componentes del mencionado sistema (930) de control están configurados para llevar a cabo al menos una de las tareas siguientes:

- 55 a) activar al menos una válvula (330, 332, 334, 336, 610) ubicada en el conducto (300, 600) en una ubicación en la cual puede utilizarse para derivar un volumen conocido de líquido que fluye en dicho conducto (300, 600) hacia adentro de una rama (310, 320, 620, 630) de dicho conducto (300, 600) y/o para mantener

estacionario el volumen conocido de líquido;

- b) activar al menos un elemento (220, 622, 820) de calentamiento o de enfriamiento;
- 5 c) recibir datos de sensores (210, 220, 624, 830, 832) de temperatura; de elementos (220, 622, 820) de calentamiento o de enfriamiento; y de otros tipos de sensores o medidores que estén presentes en el mencionado aparato adaptados para medir al menos una de las propiedades siguientes del mencionado líquido: conductividad eléctrica, osmolaridad, osmolalidad, pH, biomarcadores, electrolitos, peso específico, densidad específica, conductividad térmica, presencia de y concentración de: creatinina, urea, ácido úrico, glóbulos blancos, glóbulos rojos, glucosa, cuerpos cetónicos, número/concentración de iones;
- d) utilizar los datos recibidos para determinar el caudal volumétrico;
- 10 e) almacenar y mostrar a un usuario información relacionada con el funcionamiento del aparato y con las propiedades del líquido que se está midiendo o determinando por parte de los componentes del aparato;
- f) 15 enviar a ubicaciones remotas valores instantáneos o históricos de temperaturas medidas y otra información relativa al mencionado líquido recibida de sensores adaptados para medir al menos una de las propiedades siguientes del mencionado líquido: conductividad eléctrica, osmolaridad, osmolalidad, pH, biomarcadores, electrolitos, peso específico, densidad específica, conductividad térmica, presencia de y concentración de: creatinina, urea, ácido úrico, glóbulos blancos, glóbulos rojos, glucosa, cuerpos cetónicos, número/concentración de iones;
- g) enviar señales que pueden utilizarse como entradas a otros sistemas; y
- h) 20 enviar alarmas si ocurren cambios predeterminados en el caudal o en otras propiedades del líquido medidas.

3.- El aparato de la reivindicación 1.c.ii., en el que al menos uno de los sub-conductos (240, 250, 310, 320, 620, 630) comprende sensores en contacto con líquido que fluye a través de, o está atrapado en, dicho su conducto (240, 250, 310, 320, 620, 630), donde dichos sensores están adaptados para medir al menos una de las propiedades siguientes de dicho líquido: conductividad eléctrica, osmolaridad, osmolalidad, pH, biomarcadores, electrolitos, peso específico, densidad específica, conductividad térmica, presencia de y concentración de: creatinina, urea, ácido úrico, glóbulos blancos, glóbulos rojos, glucosa, cuerpos cetónicos, número/concentración de iones.

4.- El aparato de la reivindicación 1 que comprende al menos uno de los elementos siguientes:

- a) un elemento (912) de retención de burbujas ubicado aguas arriba de la ubicación de medida;
- b) una membrana permeable a gases ubicada aguas arriba de la ubicación de medida;
- 30 c) una válvula (916) de retención ubicada aguas abajo de la ubicación de medida; y
- d) una válvula de retención ubicada aguas arriba de la ubicación de medida.

5.- El aparato de la reivindicación 1, en el que dicho aparato está adaptado para estar bien conectado a, o bien constituir una parte integrante de, un catéter (910) o un tubo (918) de drenaje conectados a un paciente.

6.- El aparato de la reivindicación 5, en el que fluye orina a través del catéter (910) o del tubo (920) de drenaje y en el que el sistema (930) de control del aparato está adaptado para monitorizar la temperatura de la orina y para enviar una alarma si se producen cambios que exceden una velocidad predeterminada.

7.- Un método para medir el caudal volumétrico a través de un conducto (200, 300, 400, 600, 800) de un líquido que tiene propiedades variables, donde dicho método comprende los pasos siguientes:

- a) 40 modificar una sección de dicho conducto (200, 300, 400, 600, 800) para formar una cámara en la que un volumen conocido del mencionado líquido puede aislarse y bien mantenerse estacionario o bien sufrir una reducción significativa en su velocidad;
- b) aislar y mantener estacionario, o reducir significativamente la velocidad de, un volumen conocido de líquido en dicha cámara;
- c) 45 leer la temperatura determinada por un sensor (210, 212, 624, 830, 832) de temperatura en contacto térmico con el volumen conocido de líquido que está aislado y mantenido estacionario o que está fluyendo con una velocidad significativamente reducida para medir una temperatura inicial de dicho volumen conocido de líquido;
- d) 50 activar un elemento (220, 622, 820) de calentamiento o de enfriamiento en contacto térmico con el mencionado volumen conocido de líquido que está aislado y mantenido estacionario o que fluye con una velocidad significativamente reducida para añadir o retirar una cantidad conocida de calor del mencionado

volumen conocido de líquido;

- 5 e) leer la temperatura determinada por un sensor (210, 212, 624, 830, 832) de temperatura en contacto térmico con el mencionado volumen conocido de líquido que está aislado y mantenido estacionario o que está fluyendo con una velocidad significativamente reducida para medir una temperatura final de dicho líquido después de que la mencionada cantidad conocida de calor haya sido añadida o retirada del volumen conocido de líquido mencionado;
- 10 f) determinar el valor de un coeficiente agregado, que es igual a la densidad multiplicada por el calor específico de dicho líquido, a partir del mencionado volumen conocido de dicho líquido, de la mencionada cantidad conocida de calor, y de la diferencia entre las mencionadas temperaturas inicial y final;
- 15 g) activar un medidor de flujo de tipo térmico que comprende un elemento (220, 622, 820) de calentamiento o de enfriamiento en contacto térmico con el mencionado líquido que fluye en el mencionado conducto (200, 300, 400, 600, 800), donde dicho elemento (220, 622, 820) de calentamiento o de enfriamiento está adaptado para añadir o retirar una cantidad conocida de calor del mencionado líquido que fluye, y al menos un sensor (210, 212, 624, 830, 832) de temperatura en contacto térmico con el mencionado líquido que fluye en el mencionado conducto (200, 300, 400, 600, 800), donde dicho sensor (210, 212, 624, 830, 832) de temperatura está adaptado para medir la temperatura instantánea del mencionado líquido que fluye;
- 20 h) determinar el mencionado caudal volumétrico directamente a partir de medidas del ritmo con el que se añade o se retira calor del mencionado líquido que fluye, del valor del mencionado coeficiente agregado, y de medidas de las temperaturas instantáneas, sin necesidad de utilizar tablas de consulta, coeficientes de un polinomio que define una curva de correlación, o fuentes de información similares.

8.- Un método para medir el caudal volumétrico a través de un conducto (200, 300, 400, 600, 800) de un líquido que tiene propiedades variables, donde el método comprende los pasos siguientes:

- 25 a) modificar una sección de dicho conducto (200, 300, 400, 600, 800) para formar una cámara en la que un volumen conocido del mencionado líquido puede aislarse y o bien mantenerse estacionario o bien sufrir una reducción significativa en su velocidad;
- b) aislar y mantener estacionario, o reducir significativamente la velocidad de, un volumen conocido de líquido en dicha cámara;
- 30 c) leer la temperatura determinada por un sensor (210, 212, 624, 830, 832) de temperatura en contacto térmico con el volumen conocido de líquido que está aislado y mantenido estacionario o que está fluyendo con una velocidad significativamente reducida para medir una temperatura inicial de dicho volumen conocido de líquido;
- 35 d) activar un elemento (220, 622, 820) de calentamiento o de enfriamiento en contacto térmico con el mencionado volumen conocido de líquido que está aislado y mantenido estacionario o que fluye con una velocidad significativamente reducida y medir la cantidad de calor que es añadida o retirada del mencionado volumen conocido de líquido;
- 40 e) leer la temperatura determinada por un sensor (210, 212, 624, 830, 832) de temperatura en contacto térmico con el mencionado volumen conocido de líquido que está aislado y mantenido estacionario o que está fluyendo con una velocidad significativamente reducida para determinar el momento en el que se alcanza una temperatura final predeterminada, en cuyo instante se desactiva el mencionado elemento de calentamiento o de enfriamiento;
- 45 f) determinar el valor de un coeficiente agregado, que es igual a la densidad multiplicada por el calor específico de dicho líquido, a partir del mencionado volumen conocido de dicho líquido, de la mencionada cantidad medida de calor, y de la diferencia predeterminada entre las mencionadas temperaturas inicial y final;
- 50 g) activar un medidor de flujo de tipo térmico que comprende un elemento (220, 622, 820) de calentamiento o de enfriamiento en contacto térmico con el mencionado líquido que fluye en el mencionado conducto (200, 300, 400, 600, 800), donde dicho elemento de calentamiento o de enfriamiento está adaptado para añadir o retirar una cantidad conocida de calor del mencionado líquido que fluye, y al menos un sensor (210, 212, 624, 830, 832) de temperatura en contacto térmico con el mencionado líquido que fluye en el mencionado conducto (200, 300, 400, 600, 800), donde dicho sensor de temperatura está adaptado para medir la temperatura instantánea del mencionado líquido que fluye;
- 55 h) determinar el mencionado caudal volumétrico directamente a partir de medidas del ritmo con el que se añade o se retira calor del mencionado líquido que fluye, del valor del mencionado coeficiente agregado, y de medidas de las temperaturas instantáneas, sin necesidad de utilizar tablas de consulta, coeficientes de un polinomio que define una curva de correlación, o fuentes de información similares.

9.- El método de una cualquiera de las reivindicaciones 7 u 8, en el que los pasos que van del paso b al paso f se llevan a cabo de manera simultánea con el paso g y el paso h en secciones diferentes del conducto (200, 300, 400, 600, 800).

5 10.- Un método para medir el caudal volumétrico a través de un conducto (200, 300, 400, 600, 800) de un líquido que tiene propiedades variables, donde dicho método comprende los pasos siguientes:

- a) modificar una sección de dicho conducto (200, 300, 400, 600, 800) para formar una cámara en la que un volumen conocido del mencionado líquido puede aislarse y bien mantenerse estacionario o bien sufrir una reducción significativa en su velocidad;
- 10 b) aislar y mantener estacionario, o reducir significativamente la velocidad de, un volumen conocido de líquido en dicha cámara;
- c) leer la temperatura determinada por un sensor (210, 212, 624, 830, 832) de temperatura en contacto térmico con el volumen conocido de líquido que está aislado y mantenido estacionario o que está fluyendo con una velocidad significativamente reducida para medir una temperatura inicial de dicho volumen conocido de líquido;
- 15 d) activar un elemento (220, 622, 820) de calentamiento o de enfriamiento en contacto térmico con el mencionado volumen conocido de líquido que está aislado y mantenido estacionario o que fluye con una velocidad significativamente reducida para añadir o retirar calor del mencionado volumen de líquido conocido;
- 20 e) leer la temperatura determinada por un sensor (210, 212, 624, 830, 832) de temperatura en contacto térmico con el mencionado volumen conocido de líquido que está aislado y mantenido estacionario o que está fluyendo con una velocidad significativamente reducida para determinar el momento en el que se alcanza una temperatura final predeterminada en cuyo instante se desactiva el mencionado elemento (220, 622, 820) de calentamiento o de enfriamiento;
- 25 f) reanudar el flujo de líquido fresco a través de la mencionada ubicación en el conducto (200, 300, 400, 600, 800) que está adaptada para aislar el líquido y mantenerlo estacionario o bien hacerlo fluir con una velocidad significativamente reducida y activar un contador de tiempo de manera simultánea en el instante en el que dicho flujo del líquido fresco se inicia;
- g) medir el período de tiempo que transcurre hasta que la temperatura del líquido que fluye en la mencionada ubicación cambia desde la mencionada temperatura final de nuevo hasta un valor de temperatura umbral; y
- 30 h) determinar el mencionado caudal volumétrico a partir del mencionado volumen conocido del mencionado líquido y del mencionado período de tiempo medido según la ecuación:

caudal volumétrico = volumen conocido dividido por el período de tiempo medido.

11.- El método de una cualquiera de las reivindicaciones 7 u 8, donde dicho método está adaptado para medir el flujo volumétrico de un líquido a través de un catéter (910) o de un tubo (918) de drenaje conectados a un paciente.

35 12.- El método de la reivindicación 11, en el que el líquido es orina.

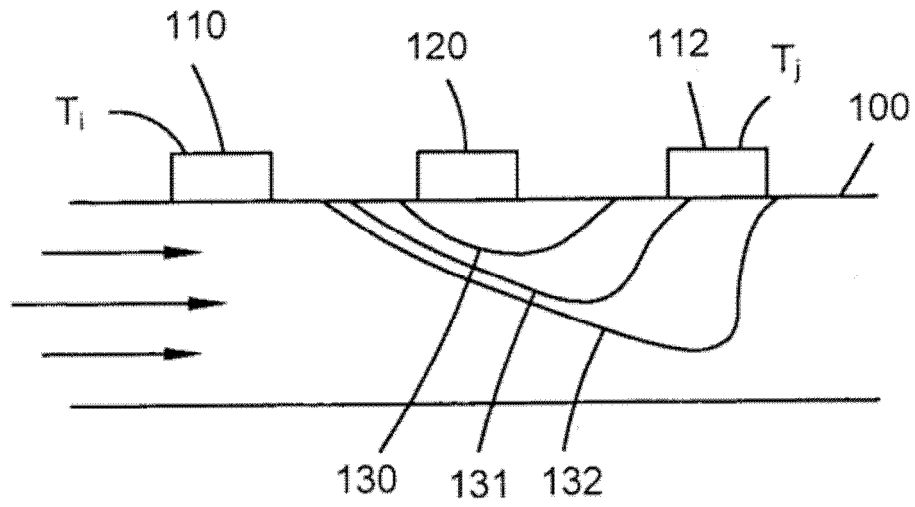


Fig. 1
Técnica Anterior

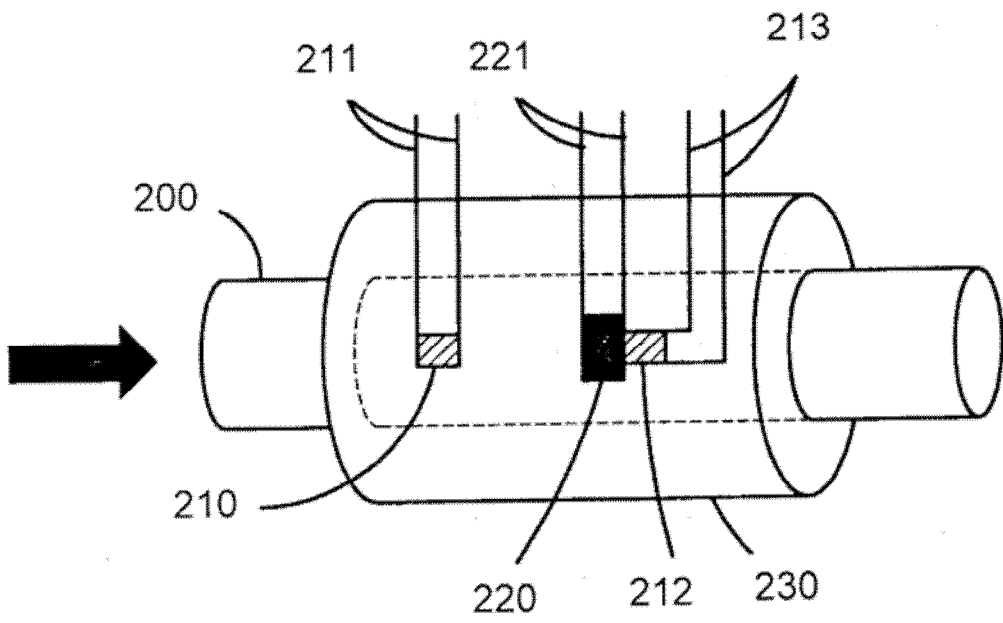


Fig. 2

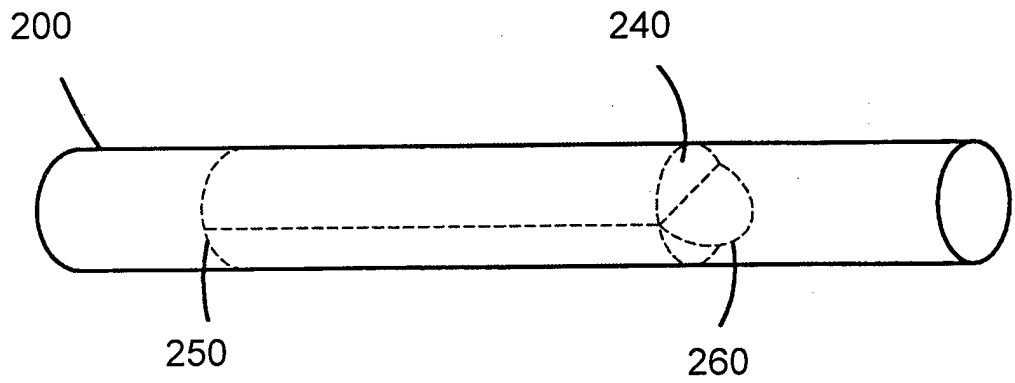


Fig. 3

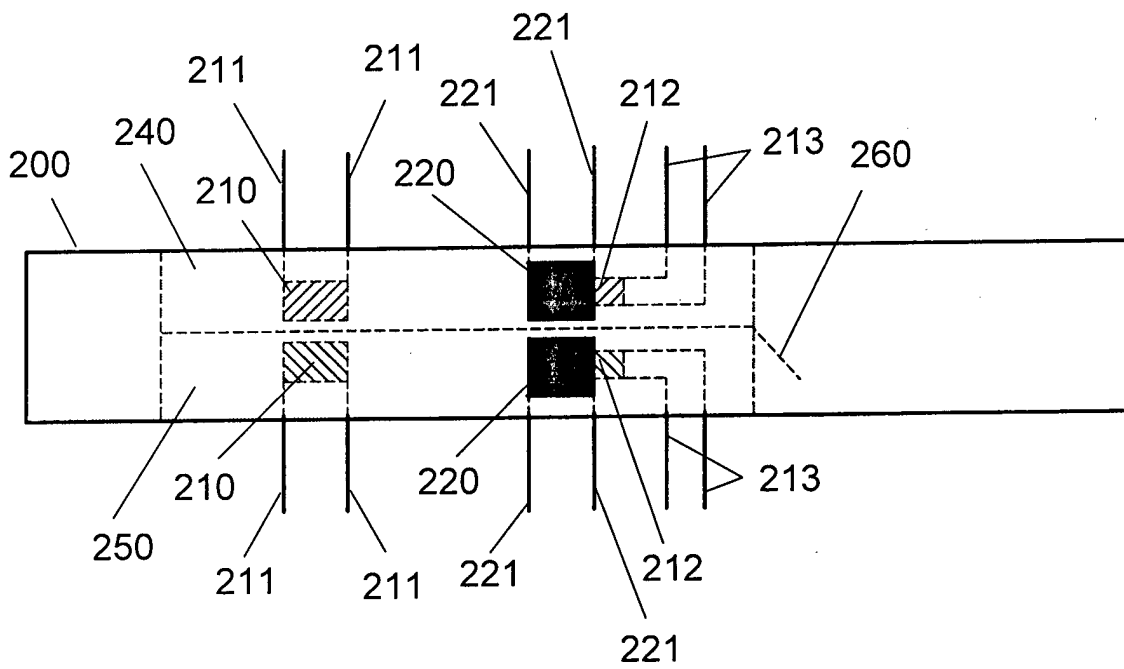


Fig. 4

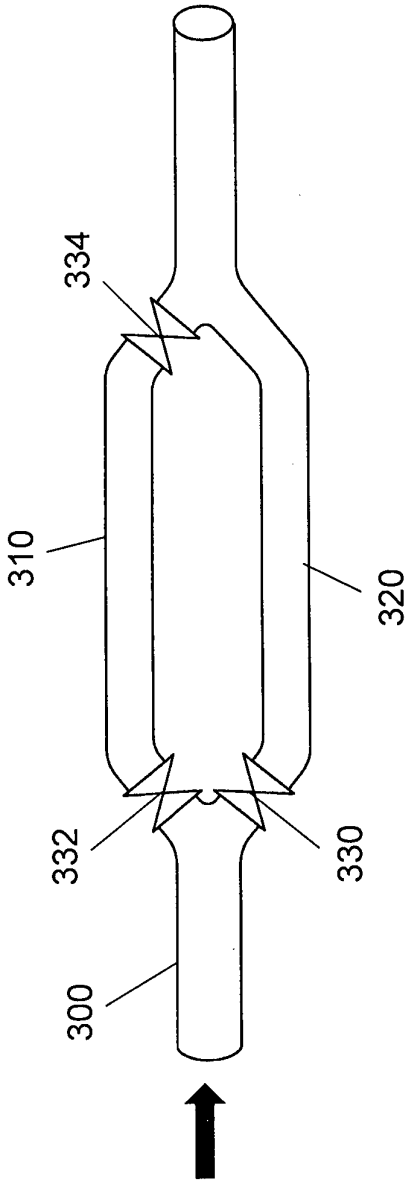


Fig. 5A

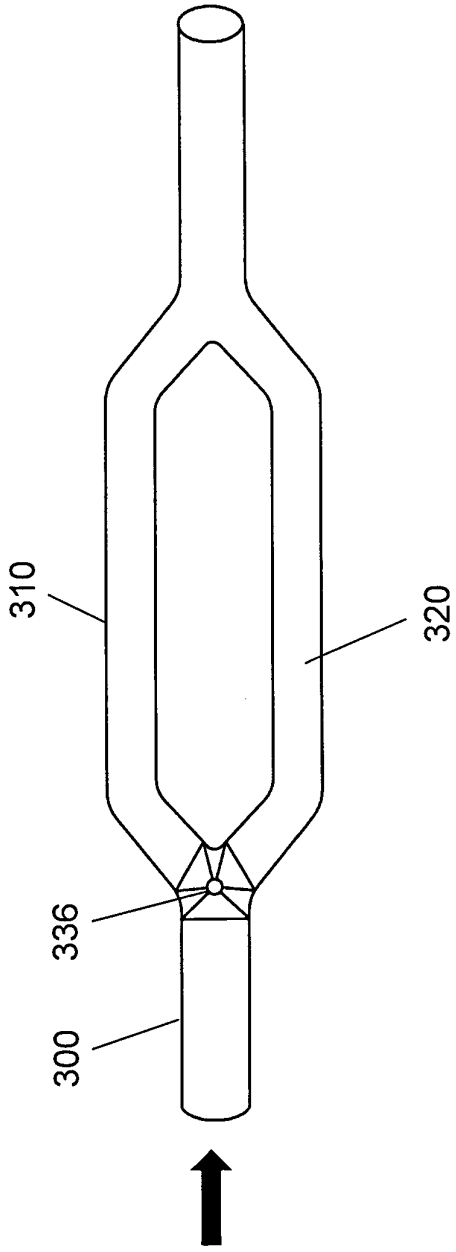


Fig. 5B

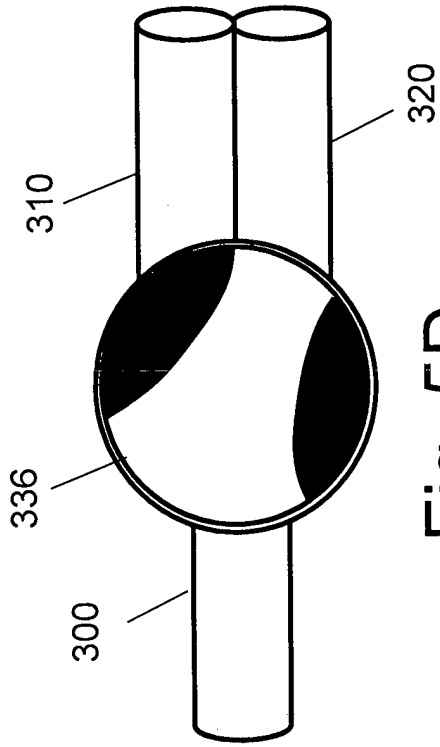


Fig. 5D

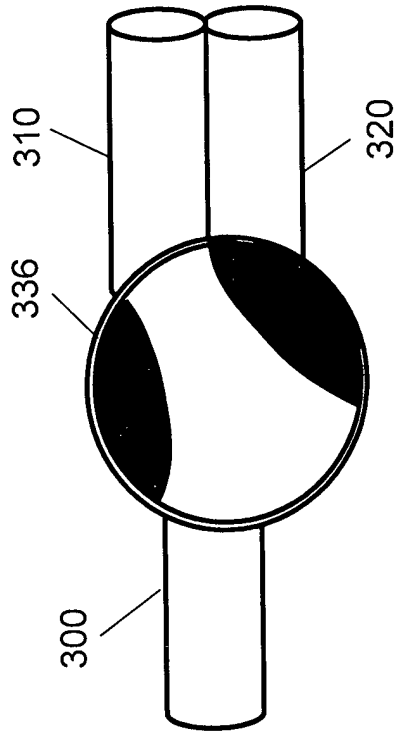


Fig. 5C

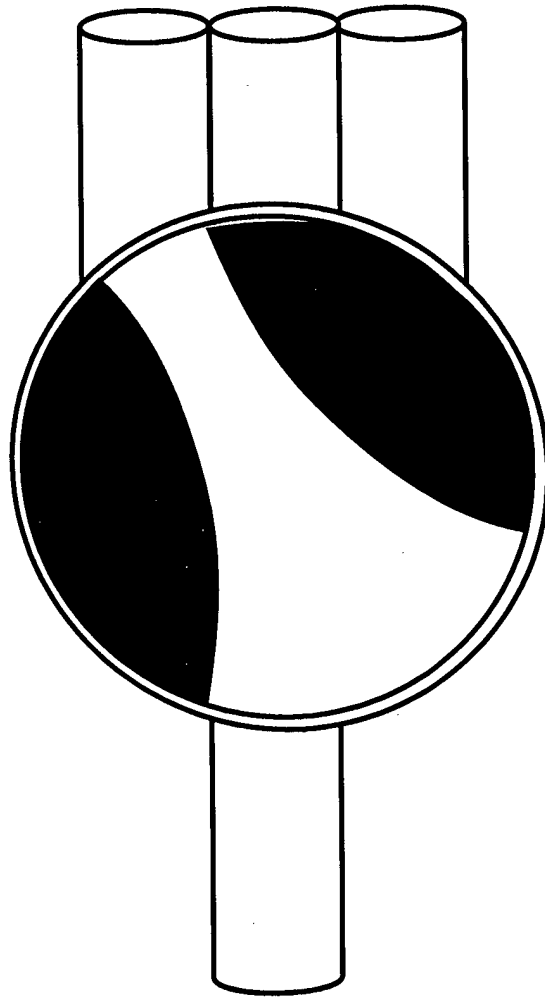


Fig. 5E

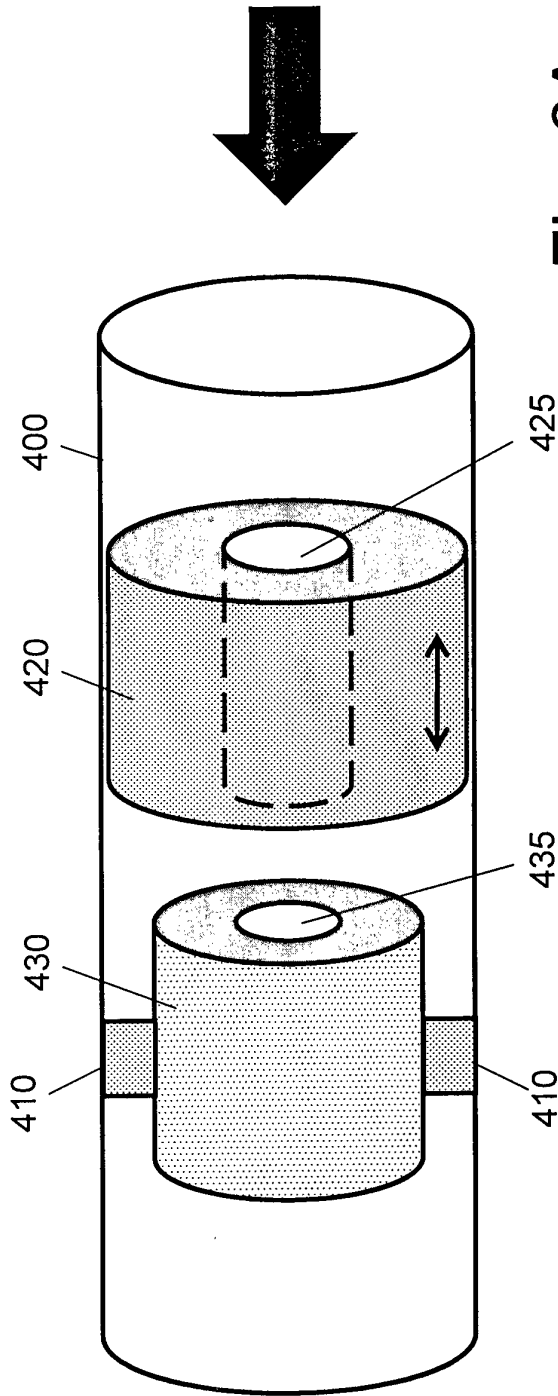


Fig. 6A

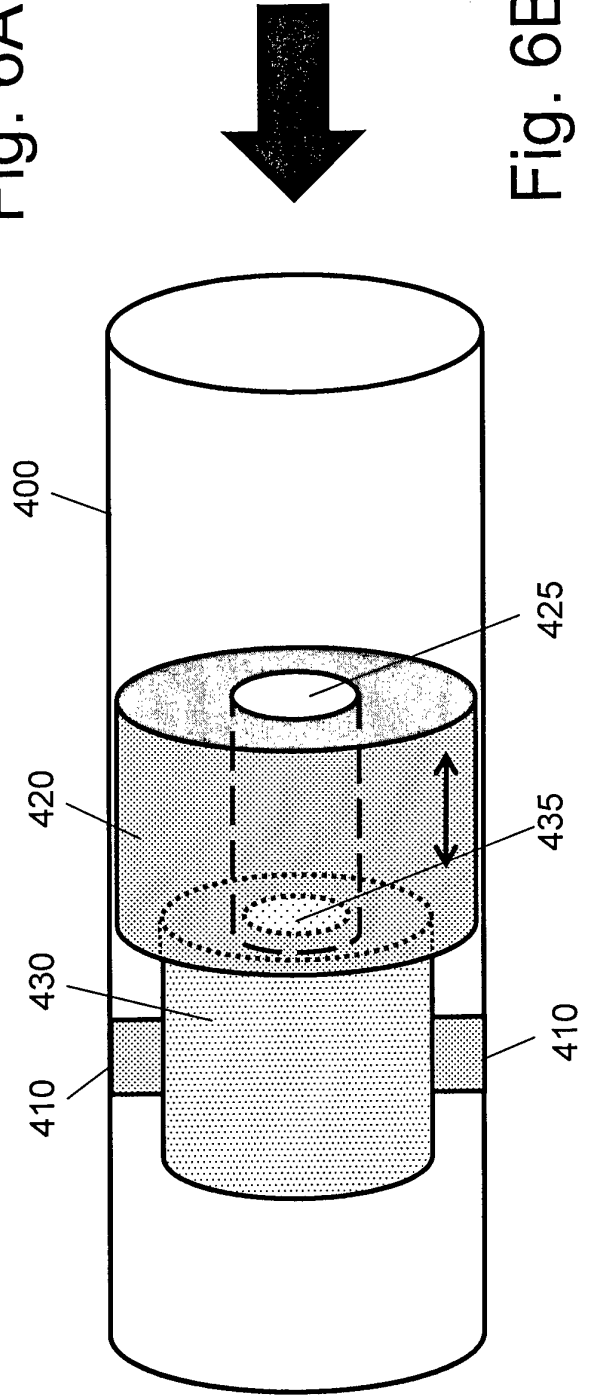


Fig. 6B

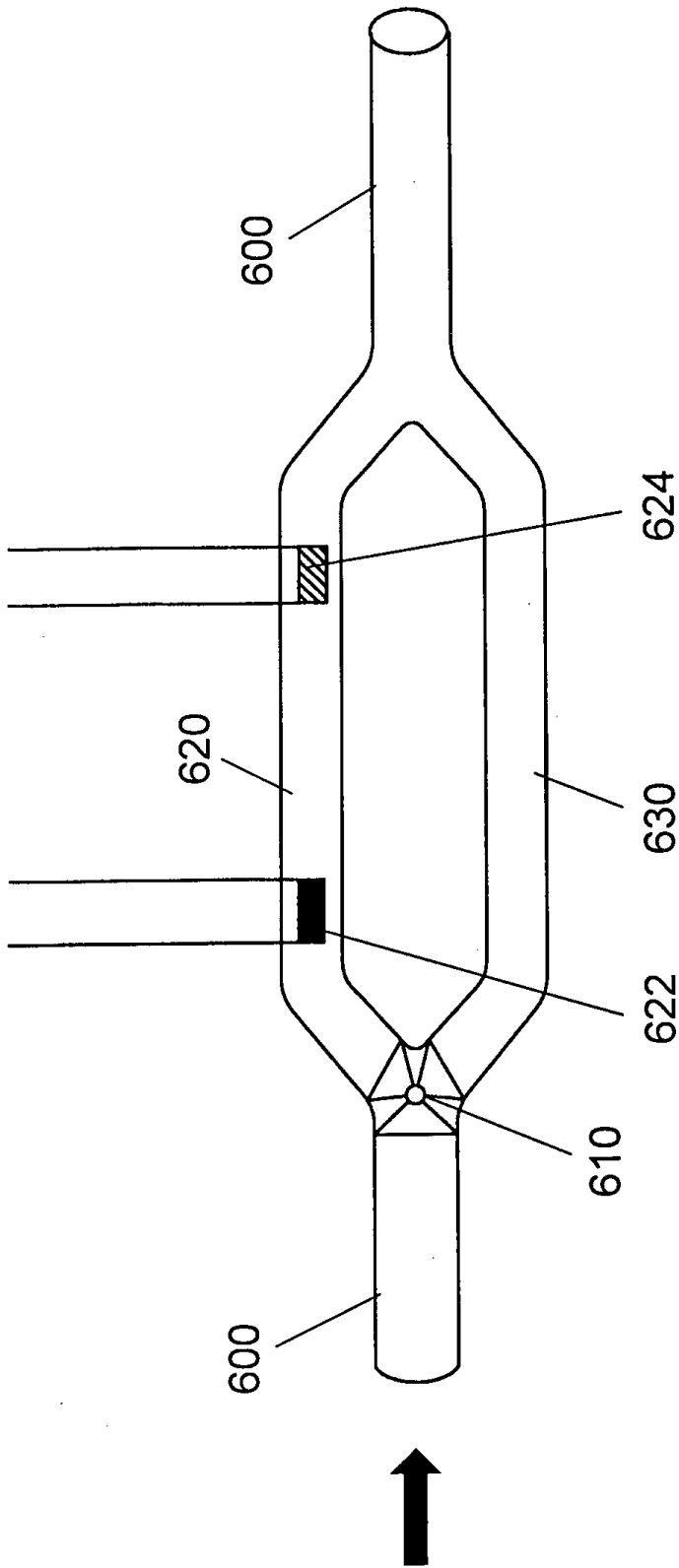


Fig. 7

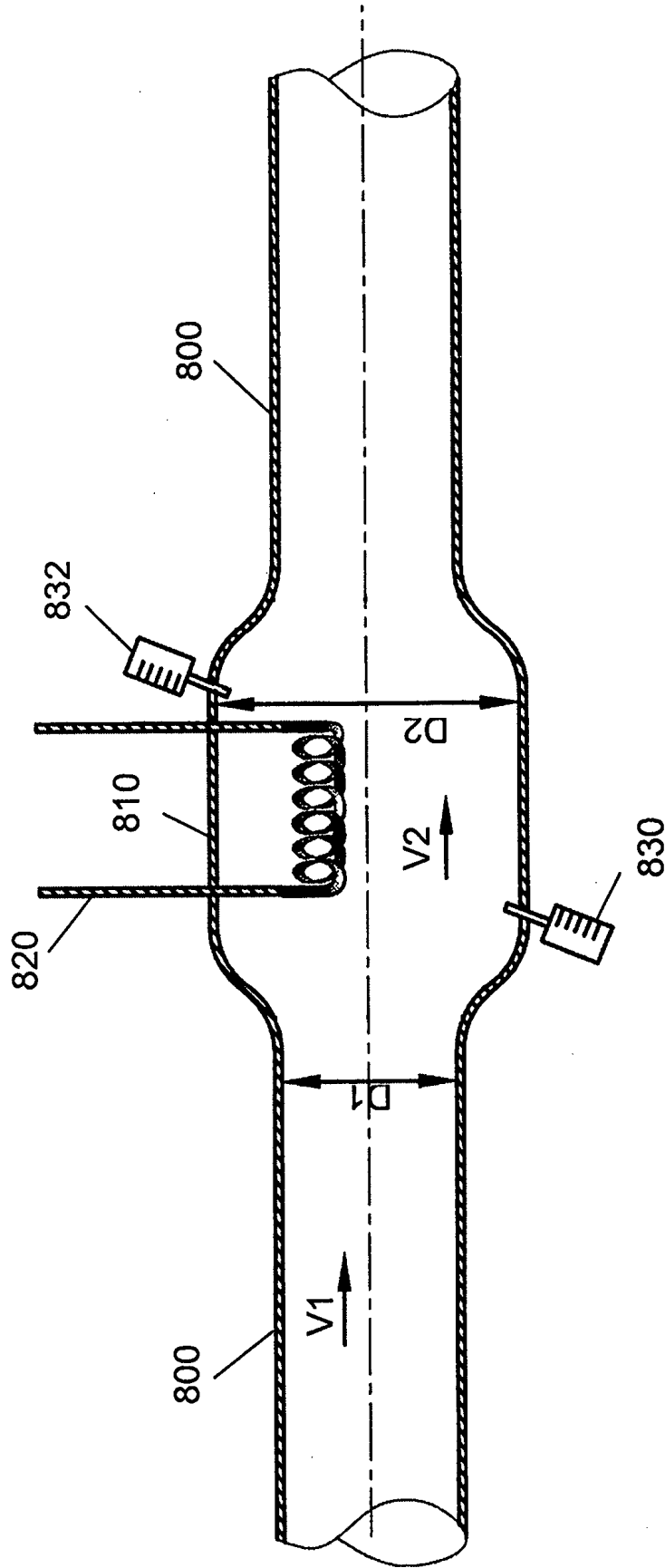


Fig. 8

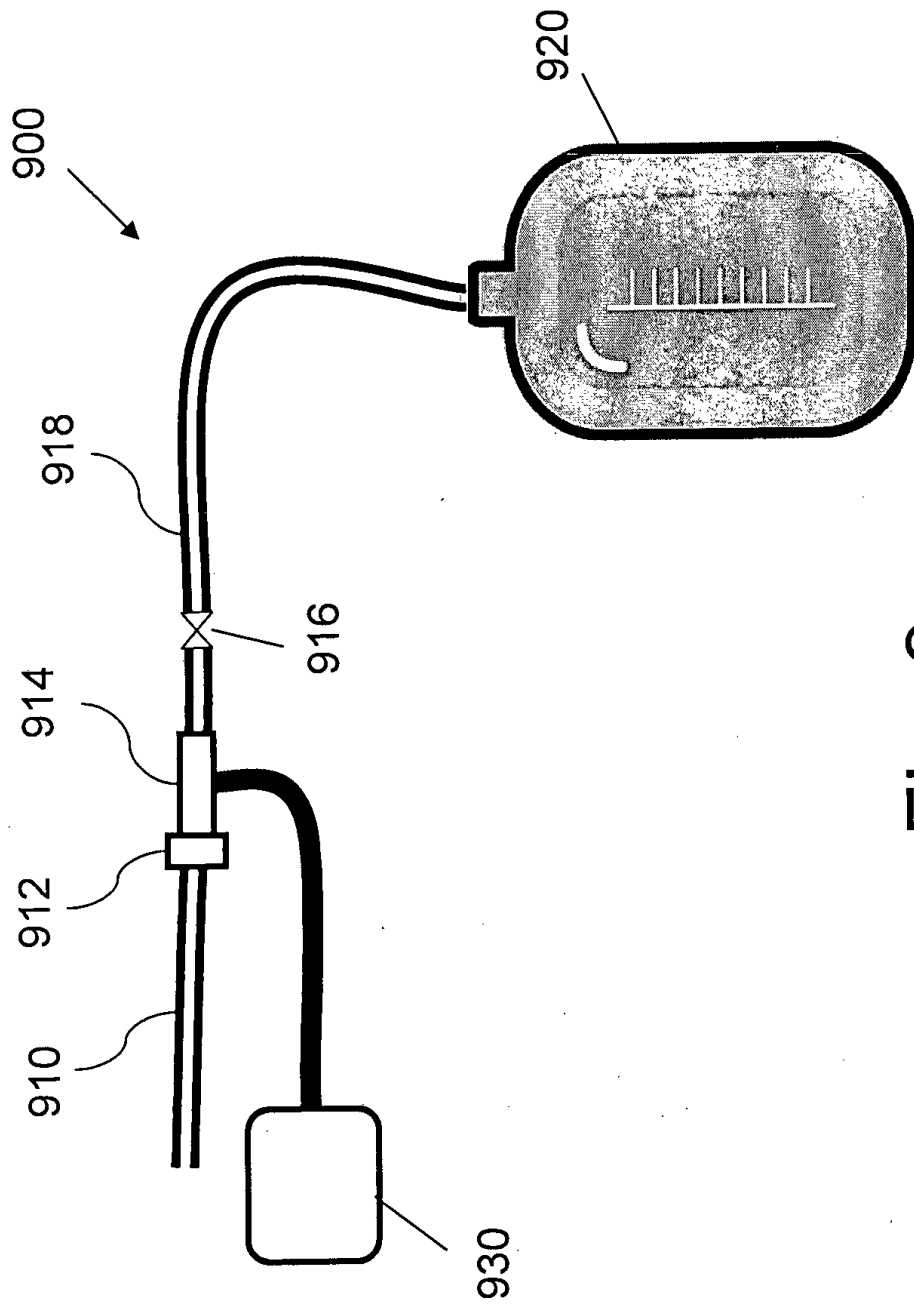


Fig. 9