

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 663 600**

51 Int. Cl.:

G01F 1/78 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.01.2012 E 12151684 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.02.2018 EP 2485019**

54 Título: **Caudalímetro másico**

30 Prioridad:

20.01.2011 US 201113010560

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

16.04.2018

73 Titular/es:

**MEGGITT SA (100.0%)
Route de Moncor 4
1701 Fribourg, CH**

72 Inventor/es:

SCHMID, FELIX

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 663 600 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

Caudalímetro másico

5 La presente invención se refiere a un caudalímetro másico.

El caudalímetro de momento angular clásico tiene cuatro componentes principales: un árbol principal que puede hacerse rotar por una turbina o un motor; un enderezador de flujo estacionario; un impulsor (rueda de momento); y un tambor de rueda de velocidad. Durante el funcionamiento, el fluido fluye a través de la turbina haciendo que la turbina rote. La turbina está conectada al árbol y, por lo tanto, el árbol rota al unísono con la turbina.

A continuación, el fluido pasa a través de un enderezador de flujo estacionario. El enderezador de flujo estacionario no está acoplado al árbol ni a la turbina. El fin del enderezador de flujo es eliminar la mayor cantidad de momento angular del fluido que sea posible debido a que el momento angular no contabilizado provocará un error en la medición. Por ejemplo, pueden presentarse turbulencias o remolinos en el fluido debidos a cualquier número de elementos, incluidos los doblamientos en la tubería por la que se desplaza el fluido o la turbina. Los enderezadores de flujo ayudan a eliminar las turbulencias y los remolinos. Idealmente, cuando el fluido sale del enderezador de flujo estacionario, se ha eliminado todo el momento angular con respecto al eje de rotación del caudalímetro.

Por último, el fluido pasa a través del impulsor y el tambor. Habitualmente, el impulsor está localizado dentro del tambor para formar un conjunto de medición. El tambor forma un compartimento exterior del conjunto de medición y el impulsor está localizado en el interior del tambor. Tanto el impulsor como el tambor rotan alrededor del eje. Sin embargo, el tambor y el impulsor se conectan al caudalímetro de diferentes maneras. El tambor se fija rígidamente al árbol, de tal manera que se fuerza al tambor a rotar al unísono con la turbina y el árbol. El impulsor se une a un miembro rotatorio del caudalímetro, por ejemplo, el árbol o el tambor, mediante un elemento de resorte, tal como un resorte de torsión.

El fluido, que idealmente sale del enderezador de flujo sin ningún momento angular con respecto al árbol, entra en el impulsor y el tambor. El impulsor y el tambor rotan con la misma velocidad que el árbol. En consecuencia, el fluido se acelera para coincidir con la rotación del impulsor y el tambor. Sin embargo, debido a que el impulsor se une al árbol u otro miembro rotatorio del caudalímetro a través de un resorte, se hace que el impulsor vaya retrasado con respecto al tambor. La rotación forzada del impulsor cambia la velocidad de rotación del fluido a medida que pasa y aumenta el momento angular del fluido. El aumento del momento angular del fluido puede medirse calibrando el resorte que conecta el impulsor al árbol para obtener el par requerido para forzar al impulsor a rotar a medida que pasa el fluido. La ecuación para el par es:

$$T = \dot{m} * \omega * r^2$$

donde: T = par; \dot{m} = caudal másico; ω = velocidad angular; y r = radio de giro del flujo másico.

Un método para medir el par a través del resorte es medir el desfase del impulsor con respecto al tambor, ya que ambos rotan alrededor del eje del árbol. Aunque tanto el tambor como el impulsor tenderán a rotar a la misma velocidad, el par transmitido por el fluido sobre el impulsor hará que el resorte se desvíe, lo que dará como resultado que el impulsor vaya retrasado con respecto al tambor, ya que ambos rotan alrededor con el árbol. El desfase puede medirse y, a partir del mismo, puede calcularse el par requerido a transmitir al impulsor para aumentar el momento angular del fluido.

Un método habitual para medir el desfase entre el impulsor y el tambor es colocar un imán en el exterior tanto del impulsor como del tambor. Las bobinas de cable estacionarias pueden colocarse a continuación de manera que se acerquen a los imanes a medida que rotan el impulsor y el tambor. Los imanes rotatorios inducirán un pequeño pulso eléctrico en las bobinas eléctricas cada vez que pasen. El pulso eléctrico puede detectarse mediante circuitería electrónica y el desfase en la fase se determina en función de cuándo el imán asociado con el tambor y cuándo el imán asociado con el impulsor pasan por sus bobinas respectivas. El desfase puede usarse para calcular el par basándose en la constante de resorte. Para cualquier constante de resorte dada, cuanto menor es el cambio de fase, menor es el par requerido para hacer rotar el impulsor a través del fluido. Por el contrario, cuanto mayor es el cambio de fase, mayor es el par requerido para hacer rotar el impulsor a través del fluido. El par requerido para cambiar el momento angular del fluido puede traducirse a continuación en el caudal másico del fluido. El tiempo Δt

$$\Delta t = \frac{\zeta}{\omega} \quad \zeta = \frac{T}{c} = \frac{\dot{m} * \omega * r^2}{c}$$

entre dos pulsos debido a un desfase de fase o ángulo de desfase ζ es donde y

$$\Delta t = \frac{r^2}{c} \cdot \dot{m}$$

c es la constante de resorte. Sustituyendo ζ da proporcional a \dot{m} .

o $\Delta t = k \cdot \dot{m}$ que muestra Δt siendo directamente

5 El diseño anteriormente descrito usa los principios de conservación del momento para medir el caudal másico del fluido que se desplaza a través del caudalímetro. Idealmente, el fluido sale del enderezador de flujo sin ninguna rotación alrededor del eje central del caudalímetro. A medida que el fluido pasa a través del impulsor y el tambor (o conjunto de medición), el fluido se acelera para rotar alrededor del eje central del caudalímetro. Debido a la física de la conservación, la cantidad de energía que se requiere para aumentar la rotación del fluido alrededor del eje del caudalímetro puede traducirse en el flujo másico del fluido que pasa a través del caudalímetro.

10 Aunque el diseño del caudalímetro descrito anteriormente puede medir el caudal másico de un fluido que pasa a su través, un número de errores que afectan a la precisión del dispositivo son inherentes en su diseño. Por ejemplo, a medida que el fluido pasa desde el enderezador de flujo al conjunto de impulsor y tambor, el fluido pasa a través de un plano de corte creado por la diferencia en la velocidad angular del impulsor rotatorio y el enderezador de flujo estacionario. La fuerza de corte creada en el plano de corte es una fuerza de fricción que aumenta la cantidad de energía necesaria para hacer rotar el líquido con el impulsor. Si la fuerza de corte es constante, puede excluirse de los cálculos y el caudal másico puede determinarse con relativa precisión. Sin embargo, la fuerza de corte depende de la viscosidad del líquido que puede cambiar con la temperatura o de un fluido a otro. Incluso tipos similares de fluido de diferentes localizaciones o distribuidores, como por ejemplo queroseno para motores a reacción, pueden tener diferentes viscosidades. Por lo tanto, la fuerza de corte puede variar tanto con el tipo de fluido que pasa a través del caudalímetro como con la temperatura del fluido que fluye a través del caudalímetro. La fuerza de corte variable crea un error en el cálculo del flujo másico que es difícil de explicar. Una gran fuerza de corte variable puede evitar que el caudalímetro másico realice mediciones precisas.

25 Además, puede ser difícil eliminar o reducir la fuerza de corte con los diseños actuales. Con el fin de obtener un gran par de medición para maximizar la precisión del caudalímetro, debe maximizarse el momento angular añadido al fluido. Con el fin de maximizar el momento angular añadido al fluido a medida que pasa por el caudalímetro, debe maximizarse la distancia entre la trayectoria de flujo de fluido y el eje de rotación del caudalímetro. Maximizar la distancia desde el eje de rotación a la trayectoria de flujo también aumenta el error que provoca el par provocado por las fuerzas de corte debido a que se aumenta la longitud del brazo de torsión. Esto complica el proceso de tratar de minimizar el error de medición en los diseños actuales del caudalímetro másico.

35 En vista de lo anterior, un objeto de acuerdo con un aspecto del presente documento de patente es proporcionar un caudalímetro másico mejorado. Preferentemente, los diseños mejorados hacen frente, o al menos mejoran, uno o más de los problemas descritos anteriormente. Con este fin, se proporciona un caudalímetro másico. En una realización, el caudalímetro másico comprende una carcasa que incluye una entrada de fluido y una salida de fluido, definiendo la carcasa una cámara en su interior; un miembro rotatorio dispuesto en la cámara y que puede rotar alrededor de un eje; un dispositivo de momento dispuesto en la cámara y conectado al miembro rotatorio a través de una conexión que comprende un elemento de empuje con el fin de que pueda rotar alrededor del eje y pueda rotar en relación con el miembro rotatorio; y una trayectoria de fluido en comunicación de fluidos con la entrada de fluido y la salida de fluido, pasando la trayectoria de fluido a través tanto del miembro rotatorio como del dispositivo de momento, y entrando la trayectoria de fluido en el dispositivo de momento a una distancia radial r1 del eje y saliendo del dispositivo de momento a una distancia radial r2 del eje, y siendo r1 y r2 distancias diferentes.

45 En otra realización, el caudalímetro másico comprende además un segundo dispositivo de momento dispuesto en la cámara que también se conecta al miembro rotatorio a través de un elemento de empuje con el fin de que pueda rotar alrededor del eje y pueda rotar en relación con el miembro rotatorio. En algunas realizaciones, la trayectoria de fluido incluye además una tercera parte definida dentro del segundo dispositivo de momento, teniendo la tercera parte una entrada de fluido a una distancia radial r3 del eje y una salida de fluido a una distancia radial r4 del eje. En esta realización, la trayectoria de fluido también pasa a través del segundo dispositivo de momento y entra en el segundo dispositivo de momento a una distancia radial r3 del eje y sale del segundo dispositivo de momento a una distancia radial r4 del eje, siendo r3 y r4 distancias diferentes. En algunas realizaciones que incluyen más de un dispositivo de momento, el cambio en la distancia radial entre el radio de entrada r1 y el radio de salida r2 del primer dispositivo de momento es sustancialmente igual en magnitud y opuesto en dirección al cambio en la distancia radial entre el radio de entrada r3 y el radio de salida r4 del segundo dispositivo de momento.

60 En otra realización más, el caudalímetro másico comprende, además, un enderezador de flujo interpuesto en la trayectoria de fluido entre la entrada y el dispositivo de momento en la cámara. Además, una parte de la trayectoria de fluido entre la entrada de fluido y el dispositivo de momento puede definirse por el enderezador de flujo. En algunas realizaciones, el enderezador de flujo está diseñado para estar en rotación fija con el miembro rotatorio. En otras realizaciones, los enderezadores de flujo pueden ser estacionarios. En otra realización más, el enderezador de flujo puede formar parte del miembro rotatorio. En algunas realizaciones, al menos una parte de la trayectoria de fluido dentro del miembro rotatorio está diseñada para ser un enderezador de flujo.

En ciertas realizaciones, una segunda cámara está definida en el miembro rotatorio y el dispositivo de momento está contenido dentro de la segunda cámara. La segunda cámara puede estar sellada o sin sellar con respecto al resto del caudalímetro.

5 Los componentes del caudalímetro másico en rotación fija pueden accionarse en cualquier número de maneras. En una realización, un proveedor de par está acoplado al miembro rotatorio. En ciertas realizaciones, se proporciona un árbol rotatorio que se extiende a lo largo del eje para acoplar operativamente el miembro rotatorio a un proveedor de par, tal como una turbina o un motor (eléctrico o de gas).

10 En algunas realizaciones, el elemento de empuje es un resorte, en particular, un resorte de torsión. En una realización, el resorte está dispuesto entre el dispositivo de momento y el árbol, de manera que el elemento de empuje conecta indirectamente el dispositivo de momento con el miembro rotatorio a través del árbol. En otras realizaciones, el elemento de empuje puede conectar directamente el dispositivo de momento al miembro rotatorio.

15 Preferentemente, un sensor está dispuesto operativamente para medir la desviación del elemento de empuje. En algunas realizaciones, el sensor mide la desviación del elemento de empuje determinando una diferencia de fase entre la rotación del dispositivo de momento y la rotación del miembro rotatorio. En otra realización, el sensor está dispuesto además para medir también la velocidad angular del dispositivo de momento. En otra realización más, el sensor mide directamente el par entre el miembro rotatorio y el dispositivo de momento. En otra realización, un sensor está dispuesto para medir una velocidad angular del dispositivo de momento. En otra realización, un sensor está dispuesto para medir una diferencia de fase rotatoria entre el miembro rotatorio y el dispositivo de momento. En una realización adicional, se emplean al menos dos de los sensores anteriores.

20 En diferentes realizaciones, la trayectoria de flujo a través del caudalímetro puede adoptar diferentes formas. En una realización, el radio de entrada r_1 de la trayectoria de flujo cuando entra en el dispositivo de momento es más pequeño que el radio de salida r_2 cuando abandona el dispositivo de momento.

25 En otra realización, la dirección de la trayectoria de flujo se invierte sustancialmente dentro del dispositivo de momento. En ciertas realizaciones donde la trayectoria de flujo se invierte dentro del dispositivo de momento, el fluido entra y sale del caudalímetro por el mismo lado. En otras realizaciones, el fluido puede entrar y salir del caudalímetro por lados adyacentes.

30 En algunas realizaciones, la entrada de fluido y la salida de fluido están en un mismo lado del dispositivo de momento. En ciertas realizaciones, la entrada de fluido y la salida de fluido están en un mismo lado de una carcasa del dispositivo de momento.

35 En una realización preferida, el dispositivo de momento y otros componentes internos están diseñados para rotar alrededor de un eje, sin embargo, en otras realizaciones, el miembro rotatorio y el dispositivo de momento están diseñados para hacerse oscilar hacia atrás y hacia delante por el proveedor de par.

40 En otra realización más, se proporciona un caudalímetro másico que comprende una carcasa que define una cámara en su interior, teniendo la carcasa una entrada de fluido y una salida de fluido; un miembro rotatorio dispuesto en la cámara para poder rotar alrededor de un eje; un dispositivo de momento dispuesto en la cámara y conectado al miembro rotatorio a través de un elemento de empuje con el fin de poder rotar alrededor del eje y poder rotar en relación con el miembro rotatorio; y una trayectoria de fluido que pasa a través de la carcasa desde la entrada de fluido a la salida de fluido, incluyendo la trayectoria de fluido una primera parte definida dentro del dispositivo de momento y una segunda parte definida dentro del miembro rotatorio, y teniendo la primera parte una entrada de fluido a una distancia radial r_1 desde el eje y una salida de fluido a una distancia radial r_2 desde el eje, y siendo r_1 y r_2 distancias diferentes.

45 En otra realización más, se proporciona un caudalímetro másico que comprende una carcasa que incluye una entrada de fluido y una salida de fluido, definiendo la carcasa una cámara en su interior; una trayectoria de fluido desde la entrada de fluido a la salida de fluido; un miembro rotatorio dispuesto en la cámara y que puede rotar alrededor de un eje; un dispositivo de momento dispuesto en la cámara y conectado al miembro rotatorio a través de un elemento de empuje con el fin de poder rotar alrededor del eje y poder rotar en relación con el miembro rotatorio atravesando la trayectoria de fluido el dispositivo de momento desde una entrada de fluido a una salida de fluido; y estando el caudalímetro másico diseñado para eliminar un plano de corte en la entrada de fluido y la salida de fluido cuando el dispositivo de momento y el miembro rotatorio se hacen rotar alrededor del eje.

50 En otra realización, se proporciona un caudalímetro másico que comprende una carcasa que incluye una entrada de fluido y una salida de fluido, definiendo la carcasa una cámara en su interior; un miembro rotatorio dispuesto en la cámara y que puede rotar alrededor de un eje; un dispositivo de momento dispuesto en la cámara y conectado al miembro rotatorio a través de un elemento de empuje con el fin de poder rotar alrededor del eje y poder rotar en relación con el miembro rotatorio; y una trayectoria de fluido en comunicación de fluidos con la entrada de fluido y la salida de fluido, entrando la trayectoria de fluido en el dispositivo de momento a una distancia radial r_1 del eje y

saliendo del dispositivo de momento a una distancia radial r_2 del eje, y siendo r_1 y r_2 distancias diferentes, e invirtiéndose sustancialmente la dirección de la trayectoria de fluido dentro del dispositivo de momento.

5 En otra realización más, se proporciona un caudalímetro másico que comprende un miembro rotatorio dispuesto para poder rotar alrededor de un eje; un dispositivo de momento dispuesto para poder rotar alrededor del eje y poder rotar en relación con el miembro rotatorio y en interacción con el miembro rotatorio a través de un elemento capaz de transmitir un par entre el miembro rotatorio y el dispositivo de momento; una trayectoria de fluido que pasa a través del dispositivo de momento, entrando la trayectoria de fluido en el dispositivo de momento a una distancia radial r_1 del eje en un primer lado y saliendo del dispositivo de momento a una distancia radial r_2 del eje en el primer lado, y siendo r_1 y r_2 distancias diferentes; y un medio para determinar el momento angular que el fluido ejerce sobre el dispositivo de momento.

15 En algunas realizaciones, el caudalímetro está incluido en una unidad de dosificación de combustible o un sistema de gestión de combustible.

20 Como se describe con todo detalle a continuación, los caudalímetros y los procesos relacionados del presente documento de patente permiten la medición eficaz del caudal másico de un fluido que fluye. Otros aspectos, objetos, características deseables y ventajas del caudalímetro y los métodos desvelados en el presente documento se entenderán mejor a partir de la descripción detallada y los dibujos siguientes, en los que se ilustran diversas realizaciones a modo de ejemplo. Sin embargo, debe entenderse expresamente que los dibujos tienen el único fin de ilustrar y no pretenden ser una definición de los límites de las realizaciones reivindicadas. En los dibujos:

la figura 1 ilustra un ejemplo de una unidad de dosificación de combustible que incluye un caudalímetro másico;

25 la figura 2 ilustra una vista en sección transversal de una realización de un caudalímetro rotatorio con un único dispositivo de momento;

30 la figura 3 ilustra una vista en sección transversal de una realización de un caudalímetro oscilante con múltiples dispositivos de momento;

la figura 4 ilustra una vista en sección transversal de una realización de un caudalímetro másico donde la dirección del flujo se invierte sustancialmente dentro del dispositivo de momento;

35 la figura 5 ilustra una vista en sección transversal de una realización de un caudalímetro en la que la trayectoria de flujo entra y sale del caudalímetro por el mismo lado.

40 La figura 1 ilustra un ejemplo de una unidad de dosificación de combustible (FMU) 100 que incluye un caudalímetro másico 130. La FMU 100 de la figura 1 es solo un ejemplo de un sistema en el que pueden usarse las realizaciones de un caudalímetro másico 130 descrito en el presente documento de patente. Con este fin, las realizaciones del caudalímetro másico 130 descrito en el presente documento pueden incluirse en cualquier sistema de flujo.

45 La FMU 100 habitualmente se asienta en un motor. El combustible se bombea por la bomba de tanque de combustible 102 a la FMU 100 en el motor. Una vez que el combustible alcanza la FMU 100, el combustible se impulsa por una bomba de baja presión 104 al filtro de combustible 106. En algunas realizaciones de la FMU 100, el filtro de combustible 106 puede colocarse fuera de la FMU 100 para facilitar el acceso de mantenimiento. Puede proporcionarse una válvula de derivación 108 en paralelo con el filtro de combustible 106 para permitir que se evite el filtro de combustible 106 en caso de obstrucción del filtro. A medida que se obstruye el filtro de combustible 106, aumenta la diferencia de presión a través del filtro de combustible 106. Cuando la diferencia de presión a través del filtro de combustible 106 se eleva por encima del umbral de la válvula de derivación 108, la válvula de derivación 108 se abre y permite que el combustible fluya más allá del filtro de combustible 106.

50 Después de que el combustible pasa el filtro de combustible, una bomba de alta presión 110 (normalmente una bomba de engranajes) presuriza el combustible. En la FMU 100 de la figura 1, se hace pasar el combustible a través de una pantalla de lavado 112. Una parte del flujo de combustible se desvía hacia los accionadores alimentados por combustible 114 (que pueden proporcionar, por ejemplo, el control de posición de las paletas de estator) por la pantalla de lavado 112. La pantalla de lavado 112 proporciona un fluido muy limpio a los accionadores alimentados por combustible 114. El combustible que se desvía y pasa a través de los accionadores alimentados por combustible 114 se devuelve a la entrada del filtro de combustible 106.

60 En la dirección de flujo principal, el combustible "menos limpio" restante va a la válvula de dosificación de combustible 116 que regula el flujo de combustible para la combustión. La válvula de presión delta 118 devuelve el combustible superfluo a la entrada del filtro de combustible 106. El flujo de combustible principal continúa a través del caudalímetro másico 130. En la realización mostrada en la figura 1, y preferentemente, el caudalímetro másico también puede colocarse fuera de la FMU 100. De manera similar a la colocación del filtro de combustible 106, colocar el caudalímetro másico 130 fuera de la FMU 100 permite que el caudalímetro másico 130 se repare o se reemplace fácilmente. Después de que el combustible pase a través del caudalímetro másico 130, el combustible

vuelve a la FMU 100 donde se usa una válvula de presión mínima 120 para mantener una presión mínima. A continuación, el combustible fluye hacia las boquillas de inyección de combustible 122 en las cámaras de combustión.

5 La figura 2 ilustra una vista en sección transversal de una realización de un caudalímetro rotatorio 10 con un único dispositivo de momento 14. El caudalímetro 10 es una realización de un componente de caudalímetro 130 que puede usarse en una FMU 100 como la ilustrada en la figura 1. Sin embargo, el caudalímetro 10 no está limitado a una FMU y puede usarse en cualquier sistema de flujo.

10 El caudalímetro 10 de la figura 2 incluye una carcasa 11, unos miembros rotatorios 12A y 12B, un dispositivo de momento 14 y un proveedor de par 21. En la realización mostrada en la figura 1, la carcasa 11 forma una cámara 13 que contiene los componentes internos que incluyen los miembros rotatorios 12A y 12B, el dispositivo de momento 14 y el proveedor de par 21. En otras realizaciones, la carcasa 11 puede contener más o menos componentes.

15 La figura 2 ilustra una sección transversal de la carcasa 11. La carcasa 11 tiene una entrada de fluido 4 y una salida de fluido 6. En la realización preferida, la carcasa 11 y la cámara 13 definida en la misma son ambas cilíndricas. Una cámara cilíndrica 13 facilita el movimiento suave de los componentes internos en rotación. La carcasa 11 puede fabricarse de cualquier cantidad de piezas con el fin de facilitar la fabricación y el montaje del caudalímetro. En una realización preferida, la carcasa puede fabricarse de dos piezas. La primera pieza puede construirse en forma de cilindro, y la segunda pieza puede construirse en forma de una tapa para el cilindro. Preferentemente, el cilindro y la tapa están roscados de manera que puedan atornillarse juntos para sellar y formar la cámara 13. En una realización preferida que incluye un cilindro y una tapa, el cilindro incluye una pestaña, de manera que la tapa pueda atornillarse fácilmente en el cilindro para formar la cámara sellada 13. Puede usarse una junta tórica entre la tapa y el cilindro para sellar las dos piezas de la carcasa 11.

20
25 En otras realizaciones, pueden usarse otros diseños de carcasa 11. Por ejemplo, las piezas de la carcasa 11 pueden unirse a lo largo de una línea paralela al eje de rotación 24 en una configuración plegable. También son posibles otras configuraciones.

30 Preferentemente, la carcasa 11 está fabricada de un número mínimo de piezas para reducir el número de sellos necesarios. Menos piezas también pueden reducir los costes de fabricación y aumentar la fiabilidad.

La carcasa 11 define una cámara 13 en su interior. Durante el funcionamiento, el caudalímetro 10 puede estar sometido a altas presiones internas que serán absorbidas por la carcasa 11. En consecuencia, la carcasa 11 necesita sellarse contra fugas externas de presión. Los caudalímetros másicos pueden usarse en líneas de combustible de motores a reacción y otras áreas de presión extremadamente alta y, por lo tanto, puede ser necesario que soporten altas presiones. Las presiones en las líneas de combustible pueden superar los 96,53 bares. El sellado de las partes de la carcasa para formar la cámara 13 puede realizarse usando ajuste a presión, roscas, una junta tórica (no mostrada) u otras técnicas de sellado a presión usadas habitualmente.

35
40 La carcasa 11 puede fabricarse de cualquier material adecuado para manejar el fluido que el caudalímetro esté diseñado para soportar. Los posibles materiales para la construcción de la carcasa 11 incluyen plástico moldeado por inyección, aluminio y acero inoxidable, por nombrar algunos.

45 Como se muestra en la figura 2, localizados dentro de la cámara 13 formada por la carcasa 11 están los miembros rotatorios 12A y 12B. Un miembro rotatorio se define en el presente documento como cualquier componente del caudalímetro 10 que incluye una parte de la trayectoria de flujo 34 que interactúa con la entrada o la salida de trayectoria de flujo del dispositivo de momento y está diseñada para rotar con la misma velocidad angular que el dispositivo de momento 14 cuando el caudalímetro 10 está funcionando en una condición de estado estable.

50 Cuando el caudalímetro 10 de la figura 2 está en funcionamiento, el fluido entra en el caudalímetro 10 a través de la entrada de fluido 4. En la realización mostrada en la figura 2, el proveedor de par 21 es una turbina y el fluido pasa a través de la turbina que está conectada al árbol 8 que se extiende a lo largo del eje de rotación 24. A medida que se hace rotar la turbina por el fluido que fluye, también se hace rotar el árbol 8. En la realización mostrada en la figura 55 2, la trayectoria de flujo 34 pasa a través del miembro rotatorio 12A, el dispositivo de momento 14 y el miembro rotatorio 12B y, a continuación, el fluido sale del caudalímetro 10 a través de la salida de fluido 6.

En la realización mostrada en la figura 2, los miembros rotatorios 12A y 12B están conectados al árbol rotatorio 8 y, por lo tanto, rotan con el árbol. El dispositivo de momento 14 también está conectado al árbol rotatorio 8, sin embargo, el dispositivo de momento 14 se conecta al árbol rotatorio a través de un elemento de empuje 9 (resorte). En consecuencia, el dispositivo de momento 14 también se hará rotar con el árbol rotatorio 8 a medida que el fluido fluya a través del caudalímetro 10, sin embargo, el dispositivo de momento 14 adelantará o retrasará la rotación del árbol 8 y los miembros rotatorios 12A y 12B como se explica a continuación.

60
65 En la realización mostrada en la figura 2, el caudalímetro 10 tiene dos miembros rotatorios 12A y 12B. Sin embargo, en otras realizaciones, puede estar presente solo un miembro rotatorio. Por ejemplo, en algunas realizaciones, un

miembro rotatorio, o 12A o 12B, puede estar estacionario y no conectado al árbol rotatorio 8 y, por lo tanto, no ser un miembro rotatorio. En otras realizaciones, uno de los miembros rotatorios, o 12A o 12B, puede no estar presente en absoluto. Por ejemplo, la trayectoria de flujo 34 puede no pasar a través del miembro rotatorio 12B y puede salir del dispositivo de momento 14 directamente a la cavidad 13.

5 Como se muestra en la figura 2, los miembros rotatorios pueden realizarse de diversas formas diferentes. Por ejemplo, el miembro rotatorio 12B se muestra en la realización de la figura 2 como un cilindro con una cavidad 18 que encierra el dispositivo de momento 14. El miembro rotatorio 12B también puede denominarse rotor, tambor o dispositivo de soporte para el dispositivo de momento 14. En la realización mostrada en la figura 2, el dispositivo de momento 14 está colocado dentro de la cavidad 18 del miembro rotatorio 12B. En la realización ilustrada, el miembro rotatorio 12A actúa como un acondicionador de flujo e interactúa con el miembro rotatorio 12B para encerrar por completo el dispositivo de momento 14 en la cavidad 18, formando de este modo una segunda cámara.

15 En diversas realizaciones, o bien el miembro rotatorio 12A o el miembro rotatorio 12B también puede usarse para conectar el dispositivo de momento 14 al árbol rotatorio 8. Por ejemplo, el dispositivo de momento 14 puede conectarse o bien al miembro rotatorio 12A o al miembro rotatorio 12B a través del elemento de empuje, un resorte de torsión en la realización mostrada en la figura 2, en lugar de conectarse directamente al árbol rotatorio 8. Aunque el dispositivo de momento puede describirse conectado a un miembro rotatorio, esta conexión no tiene que ser una conexión directa. Una referencia al dispositivo de momento 14 que está conectado a un miembro rotatorio incluye cualquier conexión del dispositivo de momento 14 mediante un elemento de empuje 9 a cualquier otra parte del caudalímetro 10 que se acciona por el proveedor de par 21. Por ejemplo, aunque en la realización de la figura 2, el dispositivo de momento 14 se conecta directamente al árbol rotatorio 8 a través del elemento de empuje 9, la conexión mostrada en la figura 2 también puede describirse teniendo el dispositivo de momento conectado a un miembro rotatorio debido a que los miembros rotatorios 12A y 12B están conectados directamente al árbol rotatorio 8 que se acciona por el proveedor de par 21.

30 Como se muestra en la realización de la figura 2, un eje de rotación 24 se extiende desde un lado aguas arriba 26 del caudalímetro 10 a un lado aguas abajo 28 del caudalímetro 10. En la realización ilustrada, como se muestra por las flechas de rotación, el miembro rotatorio 12A, el miembro rotatorio 12B y el dispositivo de momento 14 están diseñados para rotar alrededor del eje 24. Sin embargo, en otras realizaciones, los miembros rotatorios y el dispositivo de momento 14 pueden oscilar hacia delante y hacia atrás alrededor del eje 24. Dependiendo de la realización, los miembros rotatorios y el dispositivo de momento 14 pueden rotar continuamente alrededor del eje 24 o pueden rotar un cierto número de grados y, a continuación, invertir la dirección y rotar hacia atrás en la otra dirección de forma oscilante.

35 La rotación de los miembros rotatorios 12A y 12B es una rotación forzada y puede accionarse por cualquier número de mecanismos de accionamiento o proveedores de par 21. Como se muestra en la figura 2, los miembros rotatorios pueden fijarse rígidamente a un árbol 8 que desciende por el eje de rotación 24. En otras realizaciones, un motor de accionamiento exterior a la carcasa 11 puede ser el proveedor de par 21 y hacer girar los miembros rotatorios alrededor del eje de rotación 24. El proveedor de par 21 puede ser una turbina, como en figura 2, un motor externo, o cualquier otro mecanismo de accionamiento adecuado para hacer rotar el árbol 8 y los miembros rotatorios de manera continua o de forma oscilante alterna hacia atrás y hacia delante.

45 En diferentes realizaciones, el proveedor de par 21 o sistema de accionamiento puede estar aguas arriba o aguas abajo del dispositivo de momento 14. Preferentemente, si se usa una turbina, la turbina está localizada aguas abajo del dispositivo de momento 14. Localizar la turbina u otro sistema de accionamiento aguas abajo del dispositivo de momento 14 ayuda a reducir cualquier turbulencia o remolino en el fluido que pueda introducirse por el mecanismo de accionamiento. Las turbulencias y remolinos pueden provocar errores en la medición del flujo másico y, por lo tanto, no son deseables. En ciertas realizaciones, tales como la mostrada en la figura 2, la turbina puede integrarse dentro de la carcasa 11 del caudalímetro 10. Si el caudalímetro está dentro de la carcasa 11, la turbina puede integrarse en uno de los miembros rotatorios 12A o 12B. En otras realizaciones, la turbina puede localizarse fuera de la carcasa 11 del caudalímetro 10.

55 Como se muestra en el ejemplo de la figura 2, los miembros rotatorios 12A y 12B pueden conectarse directamente al proveedor de par 21. En otras realizaciones, los miembros rotatorios pueden conectarse al proveedor de par 21 a través de una serie de engranajes para permitir que se configuren el par y la velocidad de rotación. Además, el sistema de engranajes puede ajustarse para permitir el ajuste de la relación de engranaje después de la construcción del caudalímetro 10 y/o durante el funcionamiento.

60 En la realización mostrada en la figura 2, el miembro rotatorio 12A también está diseñado para ser un acondicionador de flujo. Un acondicionador de flujo se usa para acondicionar el flujo antes de entrar en el dispositivo de momento 14. En la realización mostrada en la figura 2, el miembro rotatorio 12A está en rotación fija con el proveedor de par 21 y actúa como un acondicionador de flujo haciendo que el flujo rote con la misma velocidad angular que el dispositivo de momento 14 antes de que el flujo entre en el dispositivo de momento 14. En el ejemplo de la figura 2, se hace que el miembro rotatorio 12A rote debido a que está conectado al árbol rotatorio 8 que se extiende a lo largo del eje 24. Sin embargo, el miembro rotatorio 12A puede conectarse al miembro rotatorio 12B y

hacerse que rote como una pieza integrada conectada al árbol 8. En general, los miembros rotatorios 12A y 12B pueden diseñarse como una sola pieza integrada.

5 En otras realizaciones, el acondicionador de flujo puede estar separado de los miembros rotatorios y puede no estar integrado en un miembro rotatorio. Además, el acondicionador de flujo puede permanecer estacionario o hacerse que rote con los componentes rotatorios del caudalímetro 10.

10 El dispositivo de momento 14 puede ser cualquier dispositivo diseñado para medir el momento de un fluido a medida que pasa a través del caudalímetro 10. Por ejemplo, el dispositivo de momento 14 puede ser una rueda de momento. En la realización a modo de ejemplo de la figura 2, el dispositivo de momento 14 está completamente encerrado por el miembro rotatorio 12A y el miembro rotatorio 12B. Encerrando por completo el dispositivo de momento 14 con partes en rotación fija, la realización a modo de ejemplo reduce las fuerzas de corte experimentadas por el dispositivo de momento 14. En particular, los planos de corte se han movido desde las interfaces del dispositivo de momento 14 a las interfaces externas de los componentes en rotación fija con el mecanismo de accionamiento.

20 Un plano de corte se define como un plano o un área entre dos componentes adyacentes A y B del caudalímetro 10 en el que un cambio en un componente de velocidad tangencial de una partícula de fluido que pasa de A a B provoca una fuerza de corte o bien en A o en B. A menudo se producirá un plano de corte entre dos componentes adyacentes del caudalímetro 10 que no estén diseñados para rotar con la misma velocidad cuando el caudalímetro 10 haya alcanzado una condición de estado estable. Por ejemplo, puede existir un plano de corte a lo largo de donde la trayectoria de flujo 34 pasa de un componente estacionario a un componente que rota alrededor del eje de rotación 24. En la realización de la figura 2, los planos de corte están localizados en el lado aguas abajo del miembro rotatorio 12B y el lado aguas arriba del miembro rotatorio 12A. Por lo tanto, los planos de corte se han eliminado de las interfaces donde la trayectoria de flujo 34 entra y sale del dispositivo de momento 14.

30 Además, pueden experimentarse fuerzas de corte circunferenciales en los lados de los componentes rotatorios a medida que rotan alrededor del eje de rotación si los lados de los componentes rotatorios son adyacentes a un componente estacionario. Por ejemplo, pueden existir fuerzas de corte circunferenciales entre la circunferencia del miembro rotatorio 12A y la carcasa 11. En una realización a modo de ejemplo, el dispositivo de momento 14 también puede protegerse contra las fuerzas de corte circunferenciales. Como se muestra en la figura 2, el dispositivo de momento está completamente encerrado en la cavidad 18 y, por lo tanto, los lados del dispositivo de momento 14 están protegidos de las fuerzas de corte que de otro modo se provocarían por las paredes estacionarias de la carcasa 11.

35 Preferentemente, el dispositivo de momento 14 está completamente encerrado en una cavidad 18 que rota u oscila con la misma velocidad que el dispositivo de momento 14. Sin embargo, en otras realizaciones, el dispositivo de momento 14 no tiene que estar completamente encerrado. Por ejemplo, el miembro rotatorio 12A puede no enrollarse alrededor de y formar la cavidad 18. En consecuencia, cuando el dispositivo de momento 14 rota, los lados del dispositivo de momento 14 pueden someterse a fuerzas de corte circunferenciales con la pared estacionaria de la carcasa 11. En una realización alternativa donde el dispositivo de momento 14 no está completamente encerrado, puede aumentarse el hueco entre el dispositivo de momento 14 y las paredes de la carcasa 11 para reducir las fuerzas de corte circunferenciales que actúan sobre los lados del dispositivo de momento 14.

40 En otras realizaciones, los planos de corte pueden no eliminarse de ambos extremos del dispositivo de momento 14. Por ejemplo, en algunas realizaciones, puede que el miembro rotatorio 12A no esté presente y pueda sustituirse por un acondicionador de flujo estacionario que, en cambio, no rota alrededor del eje 24, en las que se sigue proporcionando el otro miembro rotatorio 12B. En consecuencia, existiría un plano de corte entre el lado aguas arriba del dispositivo de momento 14 y el acondicionador de flujo. Sin embargo, debido a que el radio de la trayectoria de flujo 34 desde el eje de rotación 24 es pequeño en la transición del acondicionador de flujo al dispositivo de momento 14, un plano de corte puede no provocar un gran error en la medición de masa por el dispositivo de momento 14. Por lo tanto, en algunas realizaciones, el miembro rotatorio 12A puede sustituirse por un acondicionador de flujo estacionario o estar totalmente ausente, en las que se sigue proporcionando el otro miembro rotatorio 12B.

55 El dispositivo de momento 14 incluye una trayectoria de flujo 34 que determina la trayectoria del fluido a través del dispositivo de momento 14. Un aspecto importante de la trayectoria de flujo 34 de las realizaciones descritas en el presente documento, es que la trayectoria de flujo 34 cambia la distancia radial del fluido desde el eje de rotación 24 mientras que el fluido está dentro del dispositivo de momento 14. La realización mostrada en la figura 2 tiene una única trayectoria de flujo 34. La trayectoria de flujo 34 tiene una sección transversal cilíndrica a lo largo del eje de rotación 24. La trayectoria de flujo 34 entra en el dispositivo de momento 14 en el lado aguas arriba 26 con un diámetro pequeño y sale del dispositivo de momento 14 en el lado aguas abajo 28 con un diámetro mayor. El cambio en el diámetro, que aumenta la distancia de la trayectoria de flujo 34 desde el eje de rotación 24 dentro del dispositivo de momento 14, proporciona una serie de ventajas que se expondrán a continuación.

Con el fin de determinar la masa del fluido que fluye a través del caudalímetro másico 10, el dispositivo de momento 14 debe sumar o restar una cierta cantidad medible del momento angular al fluido. Si la distancia de la trayectoria de flujo 34 desde el eje de rotación 24 se cambia dentro del dispositivo de momento 14, el dispositivo de momento 14 puede sumar o restar un momento angular del fluido sin cambiar la velocidad angular relativa del dispositivo de momento 14 con respecto a los otros componentes rotatorios del caudalímetro 10. Lo contrario también es cierto, y si la distancia de la trayectoria de fluido 34 desde el eje de rotación 24 no se varía dentro del dispositivo de momento, el dispositivo de momento 14 debe rotar a una velocidad angular diferente con respecto a los otros componentes con el fin de cambiar el momento angular del fluido. Si el dispositivo de momento 14 rota a una velocidad diferente con respecto a los componentes circundantes del caudalímetro 10, se crearán fuerzas de corte en las interfaces del dispositivo de momento 14. Las fuerzas de corte dependen de la viscosidad y, por lo tanto, de la temperatura y, por lo tanto, cuando están presentes en las interfaces del dispositivo de momento, pueden añadir errores significativos en las mediciones de flujo másico, especialmente cuando la temperatura fluctúa.

Cuando se cambia la distancia radial de la trayectoria de flujo 34 dentro del dispositivo de momento 14, los principios de conservación del momento angular permiten que se sume o se reste un momento angular del dispositivo de momento 14 mientras se mantiene el dispositivo de momento 14 rotando a la misma velocidad que los componentes circundantes.

En un sistema sin par neto, se conserva el momento angular. El momento angular de un sistema viene dado por la ecuación:

$$\vec{L} = \vec{r} \times m\vec{v}$$

donde \vec{L} es el momento angular del sistema, \vec{r} es el vector de posición de la partícula relativa al eje de rotación, y $m\vec{v}$ es la masa de la partícula multiplicada por la velocidad ($m\vec{v}$ es igual al momento lineal de la partícula). El momento angular es, por lo tanto, el producto cruzado del vector \vec{r} y el momento lineal $m\vec{v}$. El momento angular se conserva y, por lo tanto, \vec{r} y $m\vec{v}$ tienen una relación inversa.

Para un sistema que rota sin par neto, a medida que una partícula se aleja desde el eje de rotación, la velocidad angular de la partícula alrededor del eje se reduce para conservar el momento angular. Lo contrario también es cierto, y para un sistema que rota sin par neto, la velocidad angular de una partícula aumenta a medida que la partícula se acerca al eje de rotación para conservar el momento angular. La conservación del momento angular se produce a nuestro alrededor, pero puede observarse fácilmente en el patinaje sobre hielo. Cuando una patinadora gira y acerca sus brazos al cuerpo, la patinadora gira más rápido. Cuando la patinadora extiende sus brazos lejos del cuerpo, gira más despacio. El cambio en la velocidad angular de la patinadora cuando ajusta la posición de sus brazos se debe a la conservación del momento angular.

Al aplicar los principios del momento angular descritos anteriormente para el dispositivo de momento 14 del caudalímetro 10, se aprecia que un fluido que rota alrededor de un eje rotará más lento a medida que el fluido se aleja del eje de rotación. Por el contrario, el fluido rotará más rápido a medida que el fluido se acerca al eje de rotación. Por ejemplo, si un fluido con cierta velocidad de rotación existente entra en el dispositivo de momento 14 y, a continuación, fluye hacia fuera alejándose del eje de rotación 24 mientras está dentro del dispositivo de momento 14, el dispositivo de momento 14 rotará más despacio. En consecuencia, usar una trayectoria de flujo 34 que varía en distancia desde el eje de rotación dentro del dispositivo de momento 14 permite que se sume o se reste un momento angular del fluido simplemente manteniendo la velocidad de rotación del dispositivo de momento 14 a una velocidad constante. Esto permite que el dispositivo de momento 14 rote a la misma velocidad relativa que los componentes circundantes a la vez que sigue sumando o restando un momento angular al fluido. Manteniendo el dispositivo de momento 14 y los miembros rotatorios 12A y 12B a la misma velocidad angular, se reducen las fuerzas de corte en la interfaz del dispositivo de momento 14 o se eliminan por completo en condiciones de estado estable.

A continuación, se describirá el funcionamiento básico del caudalímetro másico 10 de la figura 2. El fluido entra en el lado aguas arriba 26 de la carcasa 11 desde una línea externa en la que se desea conocer el caudal másico del fluido. Los miembros rotatorios 12A y 12B están fijados rígidamente al árbol 8 que se acciona por el proveedor de par 21, una turbina en la realización de la figura 2. El miembro rotatorio 12A actúa como un acondicionador de flujo rotatorio y el fluido comienza a rotar con la misma velocidad angular que el miembro rotatorio 12A a medida que el fluido fluye a través del miembro rotatorio 12A. A continuación, el fluido entra en el dispositivo de momento 14 con un momento angular fijo. A medida que se fuerza al fluido a alejarse del eje de rotación 24 por la trayectoria de flujo 34 dentro del dispositivo de momento 14, la velocidad angular del volumen de fluido normalmente se reduciría para conservar el momento angular. Sin embargo, el dispositivo de momento 14 se fija al árbol 8 a través de un elemento de empuje 9 y se hace rotar de manera forzada. Por lo tanto, el dispositivo de momento 14 aumenta el momento angular del fluido mientras que, simultáneamente, mantiene la velocidad angular del fluido alrededor del eje de

rotación 24. Aunque el fluido ha mantenido la misma velocidad angular, su momento angular se ha aumentado por el dispositivo de momento 14.

5 Posteriormente, el fluido abandona el dispositivo de momento 14 y entra en el miembro rotatorio 12B. Debido a que el miembro rotatorio 12B también está fijado rígidamente al árbol 8, el miembro rotatorio 12B también rota con la misma velocidad angular que el dispositivo de momento 14 y el miembro rotatorio 12A. Por lo tanto, los tres componentes, el miembro rotatorio 12A, el miembro rotatorio 12B y el dispositivo de momento 14, rotan con la misma velocidad angular.

10 Aunque el caudalímetro 10 todavía tiene planos de corte, el diseño novedoso de la realización de la figura 1 ha movido los planos de corte desde la interfaz del dispositivo de momento 14 al exterior de los miembros rotatorios 12A y 12B, que están fijados rígidamente al mecanismo de accionamiento. En consecuencia, en tales realizaciones, las fuerzas de corte se superan por el mecanismo de accionamiento y no por el dispositivo de momento 14 y su resorte de conexión. Por lo tanto, en una condición de estado estable, el caudalímetro 10 es menos sensible a las
15 fuerzas de corte y, por lo tanto, menos susceptible a errores relacionados con la viscosidad y la temperatura del fluido.

La ausencia de partes que rotan a diferentes velocidades reduce o elimina las fuerzas de corte en las interfaces del dispositivo de momento 14. La reducción o la eliminación de los planos de corte en las interfaces del dispositivo de
20 momento 14, reduce o elimina los errores provocados por las fuerzas de corte. La reducción de las fuerzas de corte y sus errores asociados permite que el caudalímetro másico 10 calcule con mayor precisión la masa del fluido que fluye, especialmente en entornos de temperatura variable o para fluidos con viscosidades no uniformes.

El flujo que entra o sale del dispositivo de momento puede acondicionarse para aumentar aún más la precisión del caudalímetro 10. Los enderezadores de flujo 30 y 32 pueden añadirse directamente antes y después del dispositivo de momento 14 para aumentar la uniformidad del flujo que entra y sale del dispositivo de momento 14. En la realización de la figura 2, los enderezadores de flujo 30 y 32 están integrados en los miembros rotatorios 12A y 12B, respectivamente, y rotan a la misma velocidad que el dispositivo de momento 14. Sin embargo, los enderezadores de flujo 30 y 32 pueden ser partes separadas y no rotar. Si los enderezadores de flujo 30 y 32 son partes separadas,
30 pueden accionarse por el mismo motor o engranajes que los miembros rotatorios o pueden accionarse por un sistema de accionamiento separado. Por ejemplo, si el caudalímetro incluye un árbol que se extiende hacia abajo por el eje de rotación 24 que se acciona por una turbina aguas arriba o aguas abajo, los enderezadores de flujo 30 y 32 pueden fijarse rígidamente al árbol para hacer que roten al unísono con los miembros rotatorios y el dispositivo de momento 14. En las realizaciones donde los enderezadores de flujo no rotan, no necesitarán conectarse a ninguna parte del sistema de accionamiento. Además, puede usarse cualquier número de enderezadores de flujo. Además, en otras realizaciones, puede usarse más de un enderezador de flujo antes o después del dispositivo de momento 14. En ciertas realizaciones, los enderezadores de flujo también pueden incluirse en la tubería antes o después de entrar en el caudalímetro 10.

40 Una función importante de los enderezadores de flujo 30 y 32 es reducir o minimizar los remolinos. Un remolino es cualquier corriente adicional en un flujo axial, tal como puede estar presente después de curvas cerradas u otros obstáculos en la trayectoria de flujo. Un flujo de fluido que incluye remolinos tiene componentes adicionales de momento angular que pueden sumar o restar un momento angular al fluido alrededor del eje de rotación 24 del caudalímetro 10. Este momento angular adicional puede presentar errores en los cálculos de flujo másico. Los
45 enderezadores de flujo 30 y 32 ayudan a reducir y minimizar los remolinos y las turbulencias antes y después de que el fluido salga del dispositivo de momento 14, de manera que puede realizarse una medición precisa del momento angular y, por lo tanto, del caudal másico.

Los enderezadores de flujo 30 y 32 se muestran en la figura 1 como partes rectas de la trayectoria de flujo 34 en los lados aguas arriba y aguas abajo del dispositivo de momento 14. Sin embargo, los enderezadores de flujo pueden tener cualquier forma, tamaño o longitud que ayude a reducir los remolinos y las turbulencias del fluido a medida que
50 entra y sale del dispositivo de momento 14.

Además de mover los planos de corte hacia el exterior del caudalímetro 10 y lejos del dispositivo de momento 14, cambiar la distancia radial de la trayectoria de flujo dentro del dispositivo de momento 14 tiene ventajas adicionales. Debido a que en el lado aguas arriba del dispositivo de momento 14 el fluido entra cerca del eje de rotación 24, cualquier par provocado por las fuerzas de corte que aún existen se minimizará por la distancia muy corta (brazo de par) entre el área donde se producen las fuerzas de corte y el eje de rotación 24. En consecuencia, en las realizaciones con un acondicionador de flujo que no está en rotación fija o está ausente por completo, se minimizan
60 los pares creados por las fuerzas de corte en el plano de corte en el lado aguas arriba del dispositivo de momento 14.

Además, debido a que la distancia radial desde el eje de rotación 24 se aumenta dentro del dispositivo de momento 14, los pares provocados por las fuerzas de corte pueden minimizarse a la vez que se sigue permitiendo un gran par de entrada en el dispositivo de momento 14. Usar un par de entrada más grande para realizar la medición del flujo másico reduce la importancia relativa de los errores de fricción y da como resultado una medición del flujo másico
65

menos sensible a las alteraciones y más precisa. El par de fricción puede aproximarse de la siguiente manera: la tensión de corte τ en el plano de la sección de entrada del fluido en el dispositivo de momento 14 puede

$$\tau = \mu * \frac{dv_t}{dx} \qquad \frac{dv_t}{dx}$$

representarse mediante la ecuación donde μ es la viscosidad dinámica y $\frac{dv_t}{dx}$ es el gradiente de velocidad tangencial a lo largo del eje del dispositivo de momento. El par T_s generado por la tensión de corte puede aproximarse con $T_s \approx A * \tau * r_1$ donde r_1 es el radio de entrada medio y A es el área de entrada del fluido en el dispositivo de momento 14. Finalmente, con $v_t = r_1 * \omega$, el par no deseado debido a la tensión de corte se convierte en $T_s \approx A * \omega * r_1^2$.

El par de medición útil T_M es $T_M = \dot{m} * \omega * r_2^2$ donde r_2 es el radio de salida medio del dispositivo de momento 14. Esto significa que la tasa de rechazo del par no deseado debido a la tensión de corte se convierte en

$$\frac{T_M}{T_S} = \left(\frac{r_2}{r_1} \right)^2$$

.Esto muestra que puede lograrse un rechazo masivo eligiendo la relación correcta entre los radios de entrada y de salida del dispositivo de momento 14.

Aunque se han descrito anteriormente algunos aspectos importantes de la trayectoria de flujo 34 con respecto a un cambio en la distancia radial desde el eje de rotación 24, la trayectoria de flujo 34 a través del dispositivo de momento 14 puede adoptar muchas formas posibles e incluir cualquier número de trayectorias. Por ejemplo, la trayectoria de flujo 34 a través del dispositivo puede hacerse de varias trayectorias de flujo individuales que se ramifican a partir de una trayectoria de flujo central. La trayectoria de flujo 34 puede ser un anillo de diámetro creciente o decreciente. En ciertas realizaciones, la trayectoria de flujo 34 puede hacerse de múltiples trayectorias paralelas. Por ejemplo, la trayectoria de flujo 34 puede dividirse en varias secciones paralelas que están separadas por paletas radiales. La trayectoria de flujo 34 puede inclinarse hacia fuera o hacia dentro o adoptar cualquier otra trayectoria que cambie la distancia de la trayectoria de flujo 34 desde el eje de rotación 24.

La realización a modo de ejemplo de la figura 2 ilustra una trayectoria de flujo 34 que aumenta en distancia radial, una trayectoria de flujo "de dentro hacia fuera". Pueden usarse otras formas de trayectoria de flujo que cambien en distancia radial. Por ejemplo, puede usarse una trayectoria de flujo "de fuera hacia dentro". La reducción de la distancia radial de la trayectoria de flujo en una forma "de fuera hacia dentro" hará que el dispositivo de momento acelere o adelante los miembros rotatorios en lugar de ralentizar o retrasar los miembros rotatorios como provocados por la trayectoria "de dentro hacia fuera". Si se usa una trayectoria de flujo "de fuera hacia dentro" 34, el caudalímetro másico 10 puede medir el par requerido para ralentizar el dispositivo de momento 14 para hacer coincidir la velocidad angular del miembro rotatorio 12B y las partes circundantes. En general, puede usarse cualquier trayectoria o trayectorias de flujo 34 a través del dispositivo de momento 14 que incluya un cambio en la distancia radial desde el eje de rotación. Además, los ángulos y la forma de la o las trayectorias pueden optimizarse para ayudar a reducir los remolinos y otras turbulencias que pueden ser parte del flujo de fluido.

Además, puede ser ventajoso para la trayectoria de flujo 34 pasar a través de ciertos componentes del caudalímetro 10, mientras que en otras realizaciones puede ser ventajoso para la trayectoria de flujo 34 pasar alrededor de ciertos componentes. Por ejemplo, hacer que la trayectoria de flujo 34 pase a través del miembro rotatorio 12B permite un diseño compacto y puede reducir el número de componentes requeridos mientras se sigue separando al menos un plano de corte de la interfaz del dispositivo de momento 14.

Como se ha expuesto anteriormente, el dispositivo de momento 14 se conecta preferentemente al miembro rotatorio 12B a través de un elemento de empuje 9, tal como un resorte. Sin embargo, el dispositivo de momento 14 puede conectarse al caudalímetro másico 10 de diversas maneras. Si se usa un resorte, la constante de resorte, que es la medida de la fuerza requerida para una desviación específica, debe calibrarse cuidadosamente con el fin permitir que el resorte mida con precisión el par transmitido en el fluido que pasa a medida que rota el dispositivo de momento 14.

A medida que el fluido fluye a través del caudalímetro másico 10, se hace que los miembros rotatorios 12A y 12B roten de manera forzada por la turbina u otro proveedor de par 21. El resorte que conecta el dispositivo de momento 14 con el miembro rotatorio 12B, u otro componente de rotación, tal como el árbol 8, fuerza al dispositivo de momento 14 a rotar con el miembro rotatorio 12B. La rotación forzada del dispositivo de momento 14 a través del resorte a una cierta velocidad angular aumentará el momento angular del fluido a medida que la trayectoria de flujo del fluido aumente en distancia con respecto al eje de rotación 24. El par correspondiente en el dispositivo de momento 14, como añade un momento angular al fluido que fluye, hará que el resorte que conecta el dispositivo de momento 14 con el miembro rotatorio 12B se desvíe. La desviación puede traducirse en una medición de par usando la constante de resorte cuidadosamente calibrada.

Aunque preferentemente se usa un resorte como el elemento de empuje 9 para conectar el dispositivo de momento 14 con el miembro rotatorio 12A o 12B, puede usarse cualquier elemento de empuje capaz de calibrarse para indicar el par sobre el dispositivo de momento 14. Si se usa un resorte como el elemento de empuje 9, pueden usarse

diferentes tipos de resortes. Por ejemplo, puede usarse un resorte de torsión, un resorte en espiral, una barra de torsión, un resorte de compresión o un resorte de extensión para conectar el dispositivo de momento 14 al miembro rotatorio 12B. En una realización preferida, la constante de resorte puede ajustarse para permitir que los finos ajustes del caudalímetro 10 se realicen fácilmente durante el proceso de calibración.

5 El dispositivo de momento 14 tiene que rotar libremente alrededor del eje de rotación 24. El dispositivo de momento 14 está limitado al caudalímetro 10 por el elemento de empuje 9 pero por lo demás debe rotar libremente alrededor del eje de rotación 24. La fricción debida a la rotación del dispositivo de momento 14 contribuirá a cualquier error en los cálculos de flujo másico. Con este fin, en una realización a modo de ejemplo, el dispositivo de momento 14 se
10 monta en cojinetes alrededor del eje de rotación 24. Sin embargo, en otras realizaciones, el dispositivo de momento 14 puede conectarse usando otros métodos que incluyen cojinetes de bolas o de rodillos, cojinetes magnéticos, cojinetes de manguito, cojinetes de joya, cojinetes hidráulicos de alta presión o cualquier otro tipo de conexión de baja fricción que permita que el dispositivo de momento 14 rote libremente.

15 En las realizaciones que usan una constante de resorte relativamente alta que lleva a ángulos de desplazamiento de fase relativamente pequeños o en las realizaciones donde los miembros rotatorios y el dispositivo de momento 14 oscilan en lugar de rotar completamente alrededor del eje de rotación 24, pueden usarse otros métodos para conectar el dispositivo de momento 14. Por ejemplo, puede usarse un cojinete de flexión o de pivote debido a la desviación angular limitada requerida.

20 La fricción en el cojinete es predominantemente responsable de histéresis y depende de la carga mecánica tanto axial como radialmente. Dependiendo de las presiones implicadas, puede usarse un cojinete hidráulico para permitir que el dispositivo de momento 14 rote libremente alrededor del eje de rotación 24. La carga axial puede compensarse aplicando la misma presión en la parte trasera del dispositivo de momento 14 que en la parte
25 delantera del dispositivo de momento 14.

En la realización preferida, el caudalímetro 10 está diseñado para permitir que pequeñas cantidades de líquido se escapen intencionadamente en áreas entre el dispositivo de momento 14 y las paredes de la cavidad 18 y/o el árbol para formar un cojinete hidráulico. La "fuga" serviría además para mantener la presión igual tanto radial como
30 axialmente. Además, en la realización preferida, se permite que el líquido se escape en la cámara 13 formada entre la carcasa 11 y los componentes internos.

En otra realización, un imán permanente, tal como un cojinete magnético, se usa para hacer levitar el dispositivo de momento 14 alrededor del eje de rotación 24. La levitación elimina la fricción entre el dispositivo de momento 14 y el resto del caudalímetro 10. Además, la histéresis puede reducirse o eliminarse usando el cojinete magnético
35 permanente.

A medida que el dispositivo de momento 14 rota alrededor del eje de rotación 24 y el momento angular del líquido se aumenta en consecuencia, el resorte que conecta el dispositivo de momento se desvía. Esta desviación necesita medirse con precisión con el fin de calcular el par ejercido sobre el dispositivo de momento 14 por el fluido. Una vez
40 en la condición de estado estable, el dispositivo de momento 14 rotará con la misma velocidad que los miembros rotatorios. Sin embargo, debido a la conexión de resorte y a la fuerza constante que debe ejercer el dispositivo de momento 14 para cambiar el momento angular del fluido que pasa, el dispositivo de momento 14 retrasará o adelantará la rotación de los miembros rotatorios. Este desplazamiento de fase en la rotación puede medirse para
45 determinar la desviación del resorte.

En la realización mostrada en la figura 2, se usan captadores magnéticos para medir el desplazamiento de fase en la rotación del dispositivo de momento 14 y el miembro rotatorio 12B. Los captadores magnéticos consisten en un imán 5 que se desplaza muy cerca de un cable en espiral 7. Cuando el imán 5 pasa por el cable en espiral 7, se induce una corriente en el cable que puede medirse como una señal. Al colocar un imán 5 tanto sobre el miembro rotatorio que rota 12B como sobre el dispositivo de momento que rota 14, puede determinarse la rotación relativa del miembro rotatorio 12B al dispositivo de momento 14. Cuando cada imán 5 montado o bien en el miembro rotatorio 12B o en el dispositivo de momento 14 pasa por una bobina, se induce una corriente eléctrica en la bobina que puede monitorizarse como una señal. La diferencia en el tiempo entre cuando el miembro rotatorio 12B pasa por el captador de bobina de cable 7 y cuando el dispositivo de momento 14 pasa por el captador de bobina de cable 7 es el desplazamiento de fase necesario para determinar la desviación de resorte.
50
55

Aunque el dispositivo de momento 14 y miembro rotatorio 12B se usan preferentemente como los dos componentes rotatorios para los que se determina un desplazamiento de fase, como se muestra en la figura 2, pueden usarse otros componentes distintos al elemento rotatorio 12B. En otras realizaciones, el desplazamiento de fase puede medirse entre el dispositivo de momento 14 y cualquier otro componente en rotación fija. Por ejemplo, el desplazamiento de fase puede determinarse entre el dispositivo de momento 14 y un árbol rotatorio 8 o el miembro rotatorio 12A. En tales realizaciones, el imán 5 puede reubicarse desde el miembro rotatorio 12B al otro componente rotatorio. También son posibles otras configuraciones de los imanes 5 y las bobinas de cable 7.
60
65

Los imanes 5 pueden configurarse en el dispositivo de momento 14 y los miembros rotatorios de numerosas maneras. Por ejemplo, los imanes 5 podrían configurarse en el exterior o en el interior del caudalímetro 10. Además, cada uno de los imanes podría tener su propio captador de bobina de cable o podrían compartir un captador de bobina de cable 7. Al invertir la orientación y, por lo tanto, la polaridad de uno de los imanes 5 o bien en el dispositivo de momento 14 o en el miembro rotatorio 12B, puede usarse un único sensor de captador de bobina 7 tanto para el miembro rotatorio 12B como para el dispositivo de momento 14. Cuando los imanes 5 con orientación opuesta pasan por el captador de bobina 7, se inducirá una corriente en la dirección opuesta para cada imán 5. La inversión en la dirección de la corriente puede usarse para distinguir la señal del miembro rotatorio 12B de la señal del dispositivo de momento 14. En consecuencia, las dos partes pueden compartir un único captador de bobina de cable 7. Reducir el número de captadores de bobina 7 reduce la cantidad de piezas, reduce los costes y aumenta la fiabilidad. Además, puede reducirse el cableado requerido. También pueden usarse otros métodos para detectar la desviación de resorte, incluidos los métodos capacitivos, inductivos, ópticos o basados en la corriente Eddy.

En otra realización que usa el mismo principio que los captadores magnéticos descritos anteriormente, los imanes pueden colocarse dentro de los captadores de bobina de cable 7. A continuación, los testigos de ferrita se montan en los componentes rotatorios en lugar de los imanes. Cuando los testigos de ferrita pasan por los captadores 7, cambiará el flujo magnético en los captadores 7 y, por lo tanto, inducirá una tensión en la bobina que puede detectarse.

De manera similar a los materiales disponibles para su uso en la construcción de la carcasa 11, los componentes internos, tales como los miembros rotatorios 12A y 12B y el dispositivo de momento 14, pueden fabricarse de cualquier material adecuado para el fluido que fluirá a través de los mismos. Por ejemplo, los componentes internos pueden fabricarse de plástico moldeado por inyección, acero inoxidable o aluminio o cualquier otro material de metal, plástico, cerámica u otros materiales adecuados.

La figura 3 ilustra una vista en sección transversal de una realización de un caudalímetro másico oscilante 50. El caudalímetro másico 50 mostrado en la figura 3 también incluye un dispositivo de momento adicional 15. Añadir un dispositivo de momento adicional 15 proporciona mediciones redundantes y ayuda a calcular una lectura de flujo másico más precisa. Las salidas de par de los dispositivos de momento 14 y 15 pueden promediarse o simplemente añadirse o compararse para aumentar la precisión de la medición de flujo másico total. Aunque las realizaciones de la figura 2 y la figura 3 muestran un dispositivo de momento y dos dispositivos de momento, respectivamente, puede añadirse cualquier número de dispositivos de momento para aumentar el par y, por lo tanto, la precisión, o para proporcionar mediciones redundantes.

Una ventaja adicional de la realización del caudalímetro 50 de la figura 3 sobre el caudalímetro 10 de la figura 2 es que los diámetros de entrada y de salida de la entrada y la salida de la trayectoria de flujo 34 que pasa a través de los dispositivos de momento 14 y 15 son los mismos. Como puede verse en la figura 3, el primer dispositivo de momento 14 aumenta el diámetro de la trayectoria de flujo 34 y el segundo dispositivo de momento 15 devuelve el diámetro de la trayectoria de flujo 34 a su diámetro original. Es preferible mantener la entrada y la salida del mismo diámetro debido a que permite que el caudalímetro 50 se coloque directamente en línea dentro de una tubería existente sin más modificaciones. Sin embargo, no es necesario añadir un dispositivo de momento "de fuera hacia dentro" adicional para devolver a la trayectoria de flujo 34 su diámetro de entrada. Como se muestra en la figura 2, el caudalímetro 10 puede devolver a la trayectoria de flujo 34 su diámetro de entrada dentro de la carcasa 11 sin añadir un dispositivo de momento adicional 15.

En otras realizaciones, los dispositivos de momento adicionales pueden usarse sin devolver a la trayectoria de flujo su diámetro original. Por ejemplo, cierta realización puede incluir múltiples dispositivos de momento a la vez que aumentar o disminuir el diámetro de salida de la trayectoria de flujo 34 desde el diámetro de entrada de la trayectoria de flujo 34.

Además de tener un dispositivo de momento adicional, la realización del caudalímetro 50 de la figura 3 difiere de la realización del caudalímetro 10 de la figura 2 debido a que el caudalímetro 50 está diseñado para oscilar alrededor del eje de rotación 24 en lugar de rotar completamente alrededor del mismo. El caudalímetro 50 incluye los miembros rotatorios 60A y 60B. Los miembros rotatorios 60A y 60B se integran juntos para formar la cavidad 18 en la que se localizan los dispositivos de momento 14 y 15. Los miembros rotatorios 60A y 60B tienen unos acondicionadores de flujo 30 y 32, respectivamente, integrados en los mismos.

En lugar de accionarse por una turbina y un árbol de rotación, el caudalímetro 50 incluye un motor externo 56 como proveedor de par. El motor externo 56 acciona los componentes rotatorios a través de un sistema de engranajes 58. El motor externo 56 está diseñado para cambiar las direcciones a intervalos periódicos haciendo que los miembros rotatorios 60A y 60B se muevan hacia delante y hacia atrás en el árbol fijo 62. Los dispositivos de momento 14 y 15 se conectan a los miembros rotatorios 60A y 60B mediante cuatro elementos de empuje 52. En la realización mostrada en la figura 3, los elementos de empuje 52 son resortes. A medida que los miembros rotatorios oscilan hacia delante y hacia atrás, se fuerza a los dispositivos de momento 14 y 15 a seguir a los miembros rotatorios a través de su conexión a través de los elementos de empuje 52.

A medida que el fluido fluye a través del caudalímetro 50, entra en el dispositivo de momento 14 en un radio inicial r_1 y sale del dispositivo de momento 14 en un radio más grande r_2 . El cambio en el radio de la trayectoria de flujo 34 dentro del dispositivo de momento 14 hace que el dispositivo de momento 14 retrase los miembros rotatorios 60A y 60B. A continuación, el fluido entra en el segundo dispositivo de momento 15 en el radio r_3 y sale del segundo dispositivo de momento 15 en un radio más pequeño r_4 . La reducción del radio de la trayectoria de flujo 34 dentro del segundo dispositivo de momento 15 hace que el dispositivo de momento adelante los miembros rotatorios 60A y 60B.

Como se muestra en la realización ilustrada de la figura 3, r_1 es igual a r_4 y r_2 es igual a r_3 , lo que no da como resultado ningún cambio neto en el radio de la trayectoria de flujo a medida que pasa a través del caudalímetro 50. Como se ha explicado anteriormente con respecto al caudalímetro 10 de la figura 2, son posibles otros diseños de trayectoria de flujo.

Las partes rotatorias en el caudalímetro 50 se accionan por un motor externo 56 y rotan alrededor de un árbol fijo 62. Las partes rotatorias pueden soportarse en el árbol por cojinetes o cualquier otro método que permita que las partes roten con la menor fricción posible. Como se muestra en la realización ilustrada en la figura 3, los miembros rotatorios integrados 60A y 60B se soportan en el árbol 62 a través de cojinetes localizados en el centro y a lo largo del eje de las partes de enderezador de flujo 30 y 32 de los miembros rotatorios 60A y 60B.

El caudalímetro incorporado en la figura 3 también usa unos sensores de efecto Hall 54 para determinar la posición de los dispositivos de momento 14 y 15. Los sensores de efecto Hall miden un cambio en el campo magnético y pueden usarse en combinación con los imanes 5 como una alternativa a los captadores de bobina de cable mostrados en la realización de la figura 2. A medida que los imanes oscilan hacia delante y hacia atrás, el campo magnético detectado por el sensor de efecto Hall cambiará. El sensor de efecto Hall 54 usará el cambio en el campo magnético para determinar la posición relativa de los dispositivos de momento 14 y 15.

Como también puede verse en la figura 3, cuando se usa más de un dispositivo de momento, puede colocarse un imán 5 en cada dispositivo de momento en lugar de en un dispositivo de momento y un miembro rotatorio, como se ilustra en la realización de la figura 2. Debido a que el diseño de la trayectoria de flujo 34 del caudalímetro 50 hará que el dispositivo de momento 14 adelante los miembros rotatorios y el dispositivo de momento 15 retrase los miembros rotatorios, la diferencia relativa entre los dispositivos de momento puede usarse para determinar el caudal másico a través de los sensores de efecto Hall 54.

Aunque la realización mostrada en la figura 3 tiene algunas diferencias con respecto a la realización de la figura 2, la realización de la figura 3 todavía tiene una trayectoria de flujo 34 que pasa a través del dispositivo de momento y, a continuación, entra en los miembros rotatorios diseñados para eliminar un plano de corte desde la interfaz del propio dispositivo de momento. Con este fin, pueden intercambiarse los elementos de diseño de las realizaciones mostradas en la figura 2 y la figura 3. Por ejemplo, una realización de un caudalímetro puede usar dos dispositivos de momento pero rotar en lugar de oscilar. Como otro ejemplo, una realización de un caudalímetro puede usar un motor contenido dentro de la carcasa 11 o una turbina externa a la carcasa 11.

La figura 4 ilustra una vista en sección transversal de una realización de un caudalímetro másico 200. El caudalímetro másico 200 es similar al caudalímetro másico 10 de la figura 2, excepto que incluye un dispositivo de momento 14 en el que la entrada y salida de la trayectoria de flujo están en el mismo lado. En la realización mostrada en la figura 4, la dirección de flujo general de la trayectoria de flujo 34 se invierte sustancialmente dentro del dispositivo de momento 14.

En la realización mostrada en la figura 4, el fluido entra en un radio r_1 desde el eje de rotación 24 y el fluido sale en un radio r_2 desde el eje de rotación 24. Tanto la entrada de fluido como la salida de fluido están en el mismo lado del caudalímetro 200. Permitir que el fluido entre y salga del caudalímetro 200 por el mismo lado permite que el caudalímetro 200 se instale en lugares estrechos donde no encajará un caudalímetro que permite que el fluido pase a su través, tal como el caudalímetro 10 mostrado en la figura 2.

Además, el diseño del caudalímetro 200 permite que el proveedor de par se monte más fácilmente en el exterior y proporcione el par a un árbol que se extiende a lo largo del eje de rotación 24. En la realización mostrada en la figura 4, el proveedor de par es un motor externo 56 montado coaxialmente con el eje de rotación 24.

Como se muestra en la figura 4, a pesar de que se modifica la trayectoria de flujo y la entrada y la salida de fluido se localizan en el mismo lado del caudalímetro, los componentes internos son similares a los de la realización del caudalímetro 10. Aunque algunos de los componentes internos pueden tener dimensiones ligeramente diferentes para adaptarse a la diferente geometría, tienen la misma función descrita en la descripción detallada del caudalímetro 10.

El fluido entra en el caudalímetro másico 200 a través del miembro rotatorio 210A antes de entrar en el dispositivo de momento 14 en un radio r_1 desde el eje de rotación 24. En una realización preferida del caudalímetro másico 200, el miembro rotatorio 210A se conectará al miembro rotatorio 210B y rotará junto con el miembro rotatorio 210B.

Sin embargo, en otra realización del caudalímetro másico 200, el miembro rotatorio 210A puede simplemente fijarse a la carcasa cerca de la entrada de fluido y permanecerá estacionario. En otra realización más, el miembro rotatorio 210A puede omitirse por completo y el fluido entra directamente en el dispositivo de momento 14.

5 De manera similar a otras realizaciones de caudalímetros descritas en el presente documento, los miembros rotatorios 210A y 210B pueden tener unos acondicionadores de flujo 30 y 32, respectivamente, integrados en los mismos. En algunas realizaciones, los acondicionadores de flujo pueden ser enderezadores de flujo.

10 También de manera similar a otras realizaciones descritas en el presente documento, el fluido se transferirá del radio r1 al radio r2 dentro del dispositivo de momento de rotación 14, cambiando de este modo el momento angular del fluido. En la realización mostrada en la figura 4, el fluido sale del dispositivo de momento 14 en el radio r2 y entra en el miembro rotatorio 210B. El miembro rotatorio 210B se conforma para formar la cavidad 18. La placa de cubierta adicional 19 cierra la cavidad 18 para cerrar el plano de corte entre el dispositivo de momento 14 y la carcasa 11. Después de salir del miembro rotatorio 210B, el fluido entra en un canal anular 35. El canal anular 35 recoge todo el fluido y lo conduce a la salida de fluido 36.

15 Como se muestra en la figura 4, en la realización preferida del caudalímetro másico 200, la salida de fluido 36 está situada en el mismo lado de la carcasa 11 que la entrada de fluido. En otras realizaciones de caudalímetro másico, la salida de fluido 36 puede estar en la circunferencia de la carcasa 11 y conducir radialmente hacia fuera del canal anular 35.

20 Aunque el fluido se muestra entrando y saliendo por el mismo lado del caudalímetro 200 en los radios r1 y r2 de la figura 4, son posibles otras configuraciones para la entrada y la salida que siguen incluyendo un dispositivo de momento 14 que invierte sustancialmente la dirección de la trayectoria de flujo 34. Por ejemplo, la trayectoria de flujo aún podría permitir que el fluido pase a través del caudalímetro a pesar de fluir a través de un dispositivo de momento 14 que cambia sustancialmente la dirección del flujo de fluido. En otra realización más, puede usarse más de un dispositivo de momento 14 que invierte sustancialmente la dirección del flujo de fluido en combinación dentro del mismo caudalímetro. Además, la entrada y la salida de fluido pueden estar en lados que se orientan noventa grados uno con respecto a otro. En general, la trayectoria de fluido 34 puede diseñarse para permitir que la entrada y la salida de fluido estén en cualquier lado del caudalímetro. Los dispositivos de momento que invierten sustancialmente el flujo, permiten que el flujo pase a su través, y pueden incorporarse combinaciones de los mismos para crear diversas trayectorias de flujo y diversas localizaciones de entrada y de salida de fluido.

25 Una diferencia en la realización del caudalímetro 200 de la figura 4 con respecto a la realización del caudalímetro 10 de la figura 2, es que la trayectoria de flujo sale de la carcasa en términos generales en el mismo lado que la trayectoria de flujo entra en la carcasa. A menudo, el caudalímetro másico se monta en el exterior de una unidad hidráulica, tal como la unidad de dosificación de combustible 100 mostrada en la figura 1, de la que proviene el fluido y a la que el fluido debe regresar de nuevo. La ventaja del caudalímetro másico 200 es que puede montarse directamente en la unidad hidráulica sin necesidad de tuberías adicionales.

30 Una ventaja de la realización del caudalímetro 200 de la figura 4, es que puede reducirse sustancialmente la longitud total del caudalímetro másico. En ciertas realizaciones, la longitud total del caudalímetro másico que invierte la dirección del flujo de fluido puede reducirse a aproximadamente la mitad de la longitud del caudalímetro másico que permite el paso del fluido a través del mismo. El peso total puede reducirse en consecuencia.

35 Debido a que la carcasa 11 tiene que soportar la presión de fluido, puede ser necesario que las paredes de la carcasa 11 tengan un espesor sustancial cuando la presión estática especificada sea alta. El peso de la carcasa es, por lo tanto, predominante en muchos casos. La posible reducción en la longitud puede, por lo tanto, permitir que el peso del caudalímetro másico se reduzca casi a la mitad.

40 La figura 5 ilustra una vista en sección transversal de una realización de un caudalímetro másico 300 en el que la trayectoria de flujo entra y sale del caudalímetro por el mismo lado. Sin embargo, la realización mostrada en la figura 5 no usa un dispositivo de momento que invierta sustancialmente la dirección del flujo de fluido. En cambio, el flujo de fluido se invierte dentro de la carcasa 11. En general, pueden diseñarse diferentes realizaciones del caudalímetro para permitir que el fluido entre y salga del caudalímetro por cualquier lado y en cualquier combinación. En la realización mostrada en la figura 5, el fluido sale del miembro rotatorio 12 y entra en la carcasa 11 donde la trayectoria de flujo 302 dirige el fluido de vuelta alrededor del caudalímetro al mismo lado por el que entró.

45 Aunque las realizaciones se han descrito con referencia a configuraciones preferidas y ejemplos específicos, los expertos en la materia apreciarán fácilmente que muchas modificaciones y adaptaciones de los aparatos y métodos para medir un flujo másico descritos en el presente documento son posibles sin alejarse del alcance de las realizaciones reivindicadas a continuación. Por lo tanto, debe entenderse claramente que la presente descripción se hace solo a modo de ejemplo y no como una limitación del alcance de las realizaciones reivindicadas a continuación.

REIVINDICACIONES

1. Un caudalímetro másico (10, 50, 130, 200, 300) que comprende:

5 una carcasa (11) que incluye una entrada de fluido (4) y una salida de fluido (6, 36), definiendo la carcasa (11) una cámara (13) en su interior;
 un miembro rotatorio (12A, 12B, 60A, 60B, 210A, 210B) dispuesto en la cámara (13) y que puede rotar alrededor de un eje (24);
 10 un dispositivo de momento (14, 15) definido como un dispositivo que puede rotar en relación con el miembro rotatorio, estando el dispositivo de momento (14, 15) dispuesto en la cámara (13) y conectado al miembro rotatorio (12A, 12B, 60A, 60B, 210A, 210B) a través de una conexión que comprende un elemento de empuje (9, 52) con el fin de poder rotar alrededor del eje (24) y poder rotar en relación con el miembro rotatorio (12A, 12B, 60A, 60B, 210A, 210B); y
 15 una trayectoria de fluido (34) en comunicación de fluidos con la entrada de fluido (4) y la salida de fluido (6, 36), pasando la trayectoria de fluido (34) a través tanto del miembro rotatorio (12A, 12B, 60A, 60B, 210A, 210B) como del dispositivo de momento (14, 15), y entrando la trayectoria de fluido (34) en el dispositivo de momento (14, 15) a una distancia radial r1 del eje (24) y saliendo del dispositivo de momento (14, 15) a una distancia radial r2 del eje (24), y siendo r1 y r2 distancias diferentes, de tal manera que la trayectoria de fluido (34) a través del dispositivo de momento (14, 15) comprende un cambio en la distancia del eje (24).

2. El caudalímetro másico de la reivindicación 1, que comprende además:

25 un segundo dispositivo de momento (15) dispuesto en la cámara (13) y conectado al miembro rotatorio (12A, 12B, 60A, 60B, 210A, 210B) a través de un elemento de empuje (9, 52) con el fin de poder rotar alrededor del eje (24) y poder rotar en relación con el miembro rotatorio (12A, 12B, 60A, 60B, 210A, 210B); y
 en el que la trayectoria de fluido (34) pasa a través del segundo dispositivo de momento (15), y en el que la trayectoria de fluido (34) entra en el segundo dispositivo de momento (15) a una distancia radial r3 del eje (24) y sale del segundo dispositivo de momento (15) a una distancia radial r4 del eje (24), siendo r3 y r4 distancias diferentes.

3. El caudalímetro másico de la reivindicación 1 o 2, que comprende además un enderezador de flujo (30, 32) contenido dentro de la cámara (13), en el que una parte de la trayectoria de fluido (34) entre la entrada de fluido (4) y el dispositivo de momento (14, 15) está definida por el enderezador de flujo (30, 32).

4. El caudalímetro másico de la reivindicación 3, en el que el enderezador de flujo (30, 32) está diseñado para estar en rotación fija con el miembro rotatorio (12A, 12B, 60A, 60B, 210A, 210B).

5. El caudalímetro másico de la reivindicación 3 o 4, en el que el enderezador de flujo (30, 32) comprende al menos una parte de la trayectoria de fluido (34) dentro del miembro rotatorio (12A, 12B, 60A, 60B, 210A, 210B).

6. El caudalímetro másico de al menos una de las reivindicaciones 1 a 5, en el que el miembro rotatorio (12A, 12B, 60A, 60B, 210A, 210B) define una segunda cámara (18) y el dispositivo de momento (14, 15) está contenido dentro de la segunda cámara (18).

7. El caudalímetro másico de al menos una de las reivindicaciones 1 a 6, que comprende además un árbol rotatorio (8, 62) que se extiende a lo largo del eje (24).

8. El caudalímetro másico de al menos una de las reivindicaciones 1 a 7, que comprende además un proveedor de par (21, 56) acoplado al miembro rotatorio (12A, 12B, 60A, 60B, 210A, 210B).

9. El caudalímetro másico de la reivindicación 7 y 8, en el que el proveedor de par se acopla al miembro rotatorio (12A, 12B, 60A, 60B, 210A, 210B) a través del árbol rotatorio (8, 62) y el dispositivo de momento (14, 15) se conecta al árbol rotatorio (8, 62) a través del elemento de empuje (9, 52).

10. El caudalímetro másico de al menos una de las reivindicaciones 1 a 9, en el que el elemento de empuje (9, 52) es un resorte.

11. El caudalímetro másico de al menos una de las reivindicaciones 8 a 10, en el que el proveedor de par (21, 56) es una turbina y/o un motor.

12. El caudalímetro másico de al menos una de las reivindicaciones 1 a 11, en el que r1 es menor que r2.

13. El caudalímetro másico de al menos una de las reivindicaciones 8 a 12, en el que el miembro rotatorio (12A, 12B, 60A, 60B, 210A, 210B) y el dispositivo de momento (14, 15) están diseñados para accionarse continuamente en una misma dirección de rotación por el proveedor de par (21, 56).

ES 2 663 600 T3

14. El caudalímetro másico de al menos una de las reivindicaciones 8 a 12, en el que el miembro rotatorio (12A, 12B, 60A, 60B, 210A, 210B) y el dispositivo de momento (14, 15) están diseñados para hacerse oscilar hacia atrás y hacia delante por el proveedor de par (21, 56).
- 5 15. El caudalímetro másico de al menos una de las reivindicaciones 1 a 14, que comprende además al menos un sensor (7, 54) dispuesto para medir al menos uno de entre
- 10 la desviación del elemento de empuje (9, 52),
una velocidad angular del dispositivo de momento (14, 15),
un par entre el dispositivo de momento (14, 15) y el miembro rotatorio (12A, 12B, 60A, 60B, 210A, 210B),
y la diferencia de fase entre el dispositivo de momento (14, 15) y el miembro rotatorio (12A, 12B, 60A, 60B, 210A, 210B).
- 15 16. El caudalímetro másico de al menos una de las reivindicaciones 1 a 15, en el que el fluido entra y sale del dispositivo de momento (14, 15) por un mismo lado del dispositivo de momento.
17. El caudalímetro másico de al menos una de las reivindicaciones 1 a 16, en el que una dirección de flujo de la trayectoria de fluido (34) se invierte sustancialmente dentro del dispositivo de momento (14, 15).
- 20 18. El caudalímetro másico de al menos una de las reivindicaciones 2 a 17, en el que el cambio en la distancia radial entre r_1 y r_2 es sustancialmente igual en magnitud y opuesto en dirección al cambio en la distancia radial entre r_3 y r_4 .
- 25 19. Una unidad de dosificación de combustible (100) que incluye un caudalímetro (10, 50, 130, 200, 300) de acuerdo con al menos una de las reivindicaciones 1 a 18.

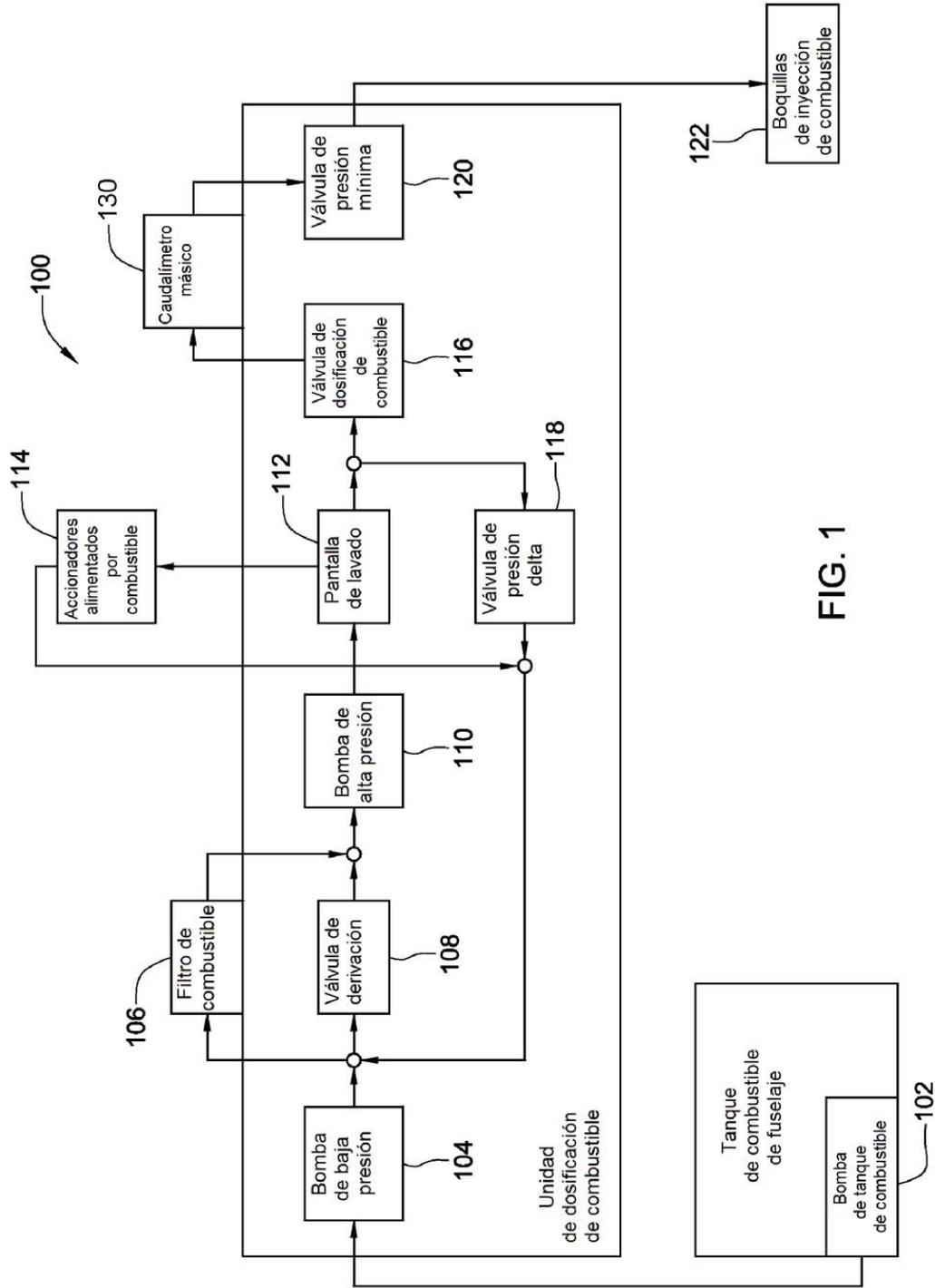


FIG. 1

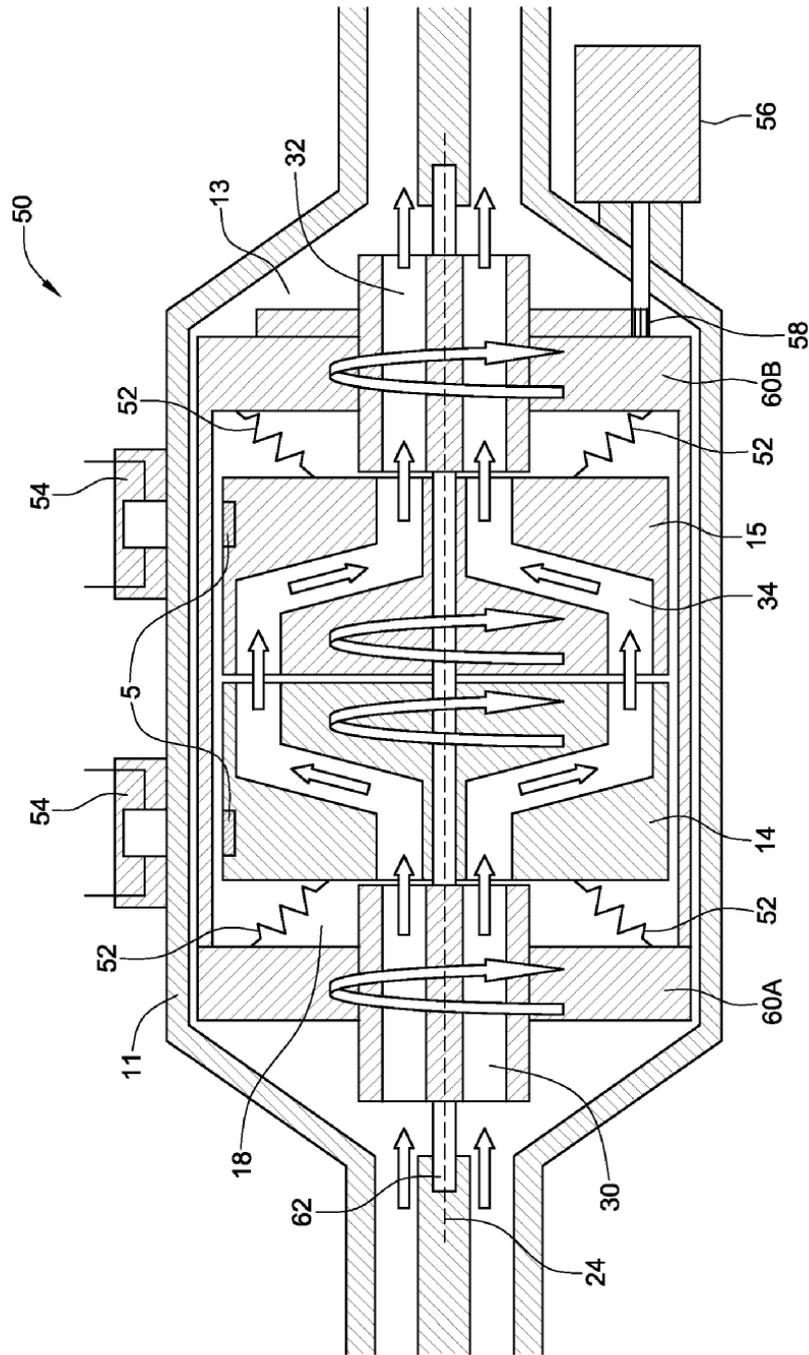


FIG. 3

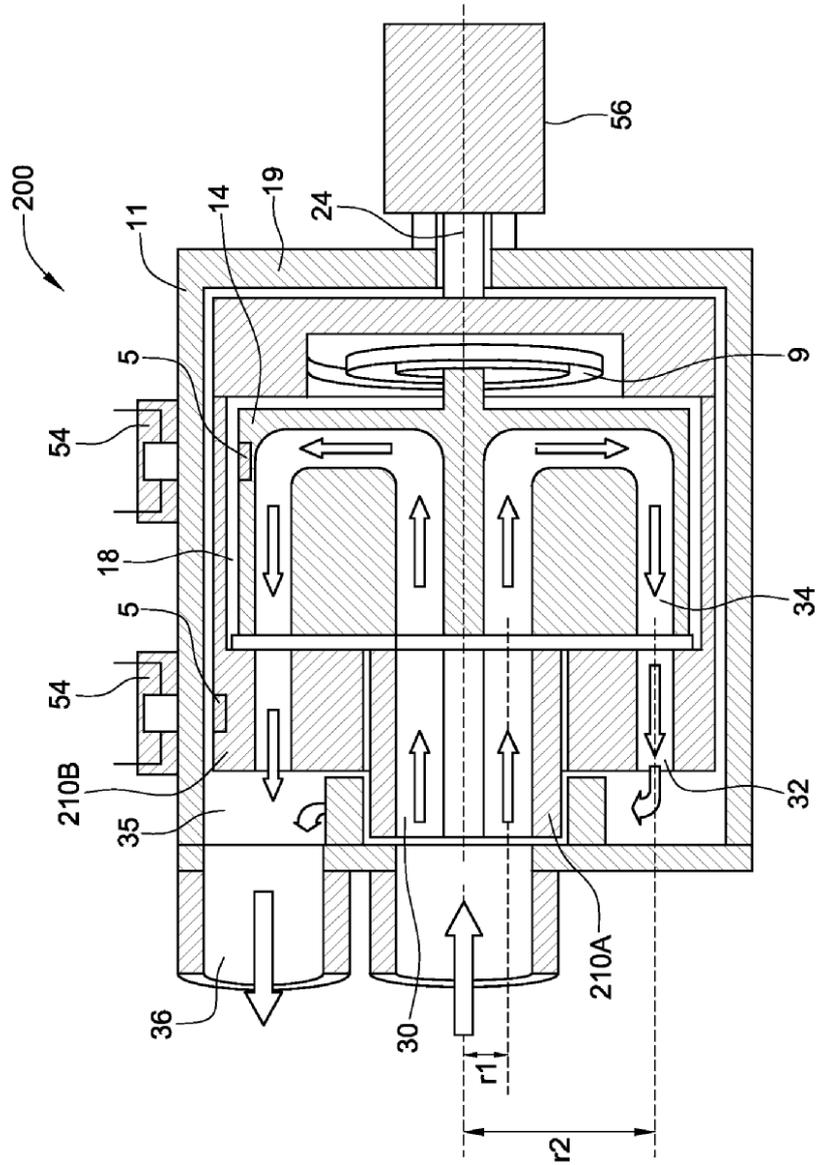


FIG. 4

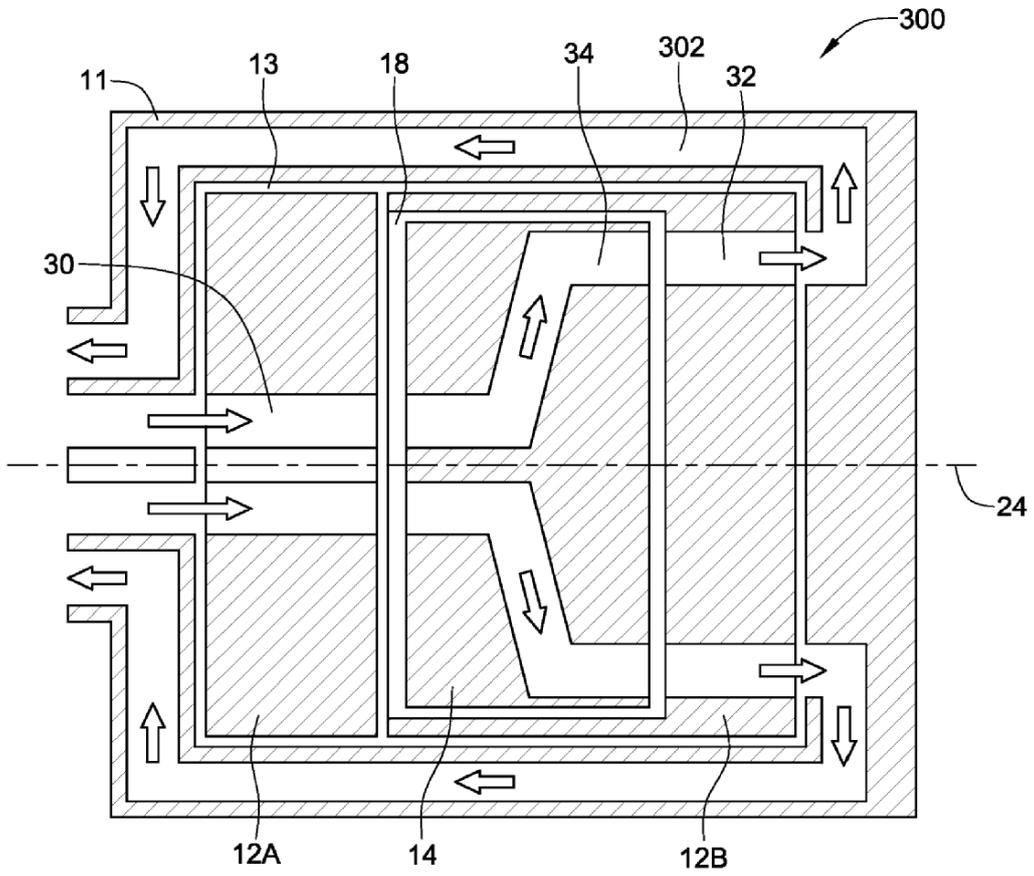


FIG. 5