

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 821 445**

51 Int. Cl.:

G01F 25/00 (2006.01)

G01F 1/06 (2006.01)

G01F 1/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.01.2005 PCT/CA2005/000071**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.08.2005 WO05071370**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.01.2005 E 05700287 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.07.2020 EP 1714117**

54 Título: **Método y sistema para probar un medidor de turbina**

30 Prioridad:

23.01.2004 US 762549

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

26.04.2021

73 Titular/es:

**FORTISBC ENERGY INC. (100.0%)
16705 Fraser Highway
Surrey, BC V3S 2X7, CA**

72 Inventor/es:

TANG, PAUL, W.

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 821 445 T3

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

DESCRIPCIÓN

Método y sistema para probar un medidor de turbina

5 CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a un medio, método y sistema de ensayo y/o calibración (referido también como "prueba") de un medidor de turbina, en el que el medio de ensayo es un gas que tiene una densidad suficientemente, más alta que la del gas natural, tal como dióxido de carbono. La presente invención se refiere, además, al uso de un medio de ensayo como un refrigerante para mantener el aparato de ensayo a una temperatura apropiada para ensayo y/o calibración de un medidor de turbina.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

15 Los medidores de turbina convencionales del tipo utilizado para medir el flujo de gas funcionan típicamente por conversión de energía cinética de gas en circulación en rotación de una turbina que tiene su eje paralelo a la trayectoria del flujo de gas.

Estos medidores de turbina incluyen típicamente una carcasa cilíndrica alargada que forma una trayectoria de flujo para gas que está fluyendo dentro de una tubería, en la que está montada la carcasa. Un enderezador del flujo de entrada está montado adyacente a un orificio de entrada en la carcasa para causar que el gas que está fluyendo desde el orificio de entrada fluya en una dirección axial dentro de la carcasa. Un rotor de medición está montado curso abajo del enderezador del flujo de entrada para girar alrededor de un eje central de la carcasa cilíndrica. El rotor de medición tiene palas de turbina instaladas sobre el mismo que causan que gire en una dirección a una velocidad aproximadamente proporcional a la velocidad del gas que fluye a través de la carcasa.

La teoría de funcionamiento de medidores de turbina debe incluir la consideración del hecho de que la densidad de los gases varía significativamente con la presión o la temperatura. Adicionalmente, debido a que la densidad de los gases es relativamente baja, debe prestarse consideración al par de funcionamiento desde el gas requerido para superar la fricción mecánica en un medidor de turbina. En particular, los cambios pequeños en pares de retardo, por ejemplo, debidos a incrementos en la fricción entre partes móviles, pueden afectar al rendimiento de medidores de turbina, especialmente a baja presión y caudales de flujo bajos. Los cambios en la viscosidad cinemática pueden afectar también al rendimiento de medidores de turbina.

El volumen total de gas que pasa a través del medidor se determina generalmente por el recuento del número de revoluciones del rotor de medición montado dentro del medidor. Debido a esto, los medidores de turbina se conocen también como medidores inferenciales, puesto que infieren cuánto gas o líquido ha pasado a través de ellos observando algo más, es decir, la velocidad del gas. Por lo tanto, el caudal de flujo real de un medidor de turbina se puede inferir a partir de la velocidad del gas cuando se conoce el área de la sección transversal del paso anular que precede al rotor.

La energía de accionamiento para girar el rotor es la energía cinética, o energía de movimiento, del gas que se está midiendo. El gas incide sobre palas de rotor montadas sobre el rotor de medición y supera las fuerzas de retardo que inhiben la rotación del rotor. Debido a que la densidad del gas es baja, es necesario generalmente reducir el área de la sección transversal de la tubería de gas en la que está montado un medidor de turbina para acelerar el flujo del gas hasta una energía cinética más elevada que permite medir el gas por el medidor de turbina. A menudo, una guía del flujo de entrada, o enderezador del flujo, sirve para reducir el área a través de la cual el gas fluye hasta aproximadamente la mitad del área del tubo en el que está instalado el medidor de turbina. Reduciendo el área de la sección transversal de la trayectoria de flujo del gas se incrementa la velocidad del gas proporcionalmente a cuando el caudal de flujo de gas permanece constante.

Los medidores de turbina están instalados comúnmente en tuberías utilizadas en la industria de gas natural para la medición del flujo de grandes volúmenes de gas. Los volúmenes que pasan a través de las tuberías son a menudo tan grandes que errores pequeños en la medición pueden dar como resultado grandes pérdidas de beneficios para las compañías de transmisión de gas y las compañías locales de distribución.

Por las razones anteriores, cada medidor de turbina debe ser calibrado para determinar la exactitud después de su fabricación. La calibración es necesaria, debido a que variaciones normales menores en componentes del medidor causan que cada medidor de turbina registre un flujo volumétrico ligeramente diferente para un volumen dado de gas. A modo de ejemplo, de medidor-a-medidor, las palas obren los rotores de medición de la turbina varían ligeramente en la forma debido a inconsistencias menores de fabricación. Como resultado, cada rotor de medición de la turbina gira a una velocidad ligeramente diferente para el gas que fluye a la misma velocidad. Similarmente, conjuntos diferentes del cojinete del rotor de medición de mismo fabricante y modelo pueden imponer fuerzas de fricción ligeramente diferentes sobre los rotores de medidores separados sobre los que están montados. Adicionalmente, un medidor de turbina tiene normalmente un registro mecánico, a veces llamado un índice, que da una lectura del volumen del flujo de gas sobre un conjunto de diales. Un registro está conectado típicamente a un rotor de medición de la

turbina a través de un acoplamiento, que incluye engranajes, acoplamientos magnéticos y otros componentes que cargan los rotores de la turbina de diferentes medidores de turbina hasta una extensión algo diferente. Como resultado, cada medidor de turbina registrará su propio nivel de flujo único para un volumen dado de gas.

Convencionalmente, en el momento de la fabricación de un medidor de turbina, la verificación del medidor con respecto a una norma conocida, tal como un medidor maestro, un probador de campana o una tobera sónica prueba la exactitud del medidor. El ensayo y la calibración se realizan a una temperatura dada, a una presión dada de la tubería de gas y a un caudal dado del flujo de gas, que permite comparar el volumen de gas registrado por el medidor con el volumen real del gas que ha fluido a través del medidor como se determina por la norma. Esta relación del volumen de gas medido por un registro mecánico del medidos con respecto al volumen real del gas que fluye a través del medidos se llama la exactitud del medidor. El factor de calibración de un medidor, referido por la letra "K" se expresa en términos de pulso por unidad de volumen que fluye a través del medidor y es la cantidad por la que se divide la lectura registrada del medidor para obtener una lectura 100 % exacta. Generalmente, cada medidor es ensayado y calibrado en base a un ensayo del aire a presión atmosférica, los factores K se determinan por un rango de caudales de flujo esperados para el medidos y se puede proporcionar una tabla de estos factores K con cada medidor. Un cliente puede solicitar ensayos a alta presión, típicamente a un coste extra.

El ensayo exacto de un medidor de turbina después de que ha sido instalado es importante también por que la exactitud del medidor puede cambiar con el tiempo como resultado de factores tales como componentes dañados, fricción incrementada entre componentes debido a desgaste o debido a contaminación ocasionada por el gas que fluye a través del medidor. Por lo tanto, existe una necesidad de probar periódicamente medidores de turbina durante su vida operativa.

Como se ha indicado anteriormente, cada medidor de turbina tiene normalmente un mecanismo mecánico, llamado un registro o un índice, que registre el volumen de gas que ha fluido a través del medidor. El rotor de medición del medidor está acoplado a través de una serie de engranajes, acoplamientos magnéticos y similares a un conjunto de diales en el registro que indican el volumen de gas que ha fluido a través del medidor de turbina. Puesto que sólo se puede instalar un único conjunto de engranajes y/o de acoplamientos cada vez entre el rotor de medición y los diales, el registro sólo puede ser calibrado a 100% de exactitud con un caudal de flujo, normalmente aproximadamente 60 % del caudal máximo del medidor.

La exactitud del volumen de gas registrado por los diales de un registrador de medidor, sin embargo, es verificada en el instante de una calibración de un medidor sobre un rango de caudales de flujo. A cualquier presión particular de la línea, se traza una curva de la exactitud que muestra la exactitud del medidor a medida que cambia el caudal de flujo. Componentes del medidor son modificados a menudo para tratar de obtener la exactitud del medidor lo más consistente posible sobre su rango esperado de caudales de flujo.

Los medidores de turbina tienen a tener una "colina" en su curva de exactitud a caudales de flujo bajos, lo que significa que, a estos caudales de flujo, el registro registra más gas que el que realmente ha fluido a través del mismo por debajo de un caudal de flujo de aproximadamente 5 % de la capacidad máxima del medidor. Además, un medidor registra generalmente más gas que el que realmente ha fluido a través del mismo hasta el medidor alcanza un caudal de aproximadamente 60 % o más de su capacidad máxima. La figura 1 muestra una gráfica que es un ejemplo de la curva de error para un medidor de turbina ensayado con aire a presión atmosférica.

Los diseñadores y los fabricantes de medidores de turbina han utilizado varios cambios en la estructura de los componentes del medidor y diferentes métodos para tratar de aplanar la colina del caudal de flujo bajo en la curva de la exactitud. A modo de ejemplo, la colina en la curva de la exactitud de medidores de turbina a caudales de flujo bajos ha sido ajustada por medio del ajuste de la holgura de la punta de la pala del rotor con respecto al cuerpo de la carcasa, en la que está montado el rotor. Generalmente, si la exactitud registrada a los caudales de flujo bajos es significativamente inferior a la exactitud a caudales de flujo altos, la holgura de la punta se reduce para llevar la exactitud de los caudales de flujo bajos hasta el nivel que existe con caudales de flujo más altos.

Se han realizado otros intentos para ajustar la exactitud de los medidores de flujo líquido de la turbina proporcionan cosas tales como una carcasa de medidor que tiene un taladro con una sección transversal cónica adyacente a la localización, donde palas de rotor están girando sobre el conjunto de rotor del medidor. Cuando se intenta aplicar estos principios de ajuste de la exactitud a medidores de turbina, es deseable que el ángulo de la sección transversal axial conocida de un medidor sea lo más grande posible. Esto permite ajustar la exactitud de un medidor de turbina como se desee con ajuste relativamente pequeño de la posición de las palas de la turbina. No obstante, se ha encontrado que los medidores que tienen secciones transversales axiales cónicas con ángulos tales como aproximadamente 21 grados tenían sus exactitudes a caudales de flujo más altos reducidas hasta un rango desde aproximadamente 97% hasta 98%. Éste es generalmente un rango inaceptable de exactitudes para medidores de turbinas.

Uno de los objetivos en el ensayo y calibración de medidores de turbinas en la industria de gas natural es requerir que los medidores de turbinas sean ensayados a una presión adaptada a su uso pretendido. La razón por la que los medidores de turbinas son ensayados a una presión adaptada a su uso pretendido es debida a la sensibilidad conocida

de los medidores de turbinas a la presión. Como resultado, la calibración de un medidor de turbina a su presión operativa pretendida da como resultado mediciones más exactas. Actualmente, aire y gas natural se utilizan ampliamente para la finalidad de ensayar y calibrar medidores de turbinas para la industria de gas natural.

Es difícil alcanzar el objetivo de ensayar medidores de turbinas a sus presiones y velocidades de rotación de uso debido a que se requiere la construcción de instalaciones de ensayo a alta presión, que son muy costosas de construir y costosas de funcionar. Además, existe un número de criterios que deben cumplirse para tener una instalación certificada apropiada que pueda ensayar medidores de gas de turbinas. Los criterios requieren que estén disponibles instalaciones de ensayo con características aceptables de caudales de flujo, presiones de ensayo, exactitud y trazabilidad aceptables para realizar ensayos, metrológicamente sólidos.

Existen actualmente varios gobiernos en todo el mundo que están contemplando más seriamente requerimientos de ensayo a alta presión y están considerando directrices que establecen parámetros específicos con respecto a ensayo y calibración. Sin embargo, existe sólo un número limitado de instalaciones en todo el mundo que cumplen los requerimientos de alta presión para ensayar medidores de turbinas.

Desde septiembre de 2001, la Comunidad Europea ha adoptado la norma EN 12261, una norma nueva para el ensayo y calibración de medidores de turbinas. Requiere que los medidores de turbina destinados para uso por encima de cuatro bares (manómetro) sean calibrados a una presión no inferior a la mitad y no mayor que el doble de la presión operativa. Los medidores destinados para uso por debajo de cuatro bares se pueden calibrar a presión atmosférica. Esta norma nueva sustituye a una mezcla de normas de la Organización nacional e internacional de Metrología Legal que no tenían consistencia con respecto a las presiones de ensayo para medidores de turbinas. La nueva norma refleja el consenso en Europa de que los medidores de turbinas son sensibles a cambios en la densidad del gas que miden. Por lo tanto, para obtener una calibración que sea válida en condiciones operativas, es importante replicar las condiciones operativas en el momento del ensayo. La Comunidad Europea ha reconocido que las condiciones de ensayo atmosféricas no producen una calibración satisfactoria para medidores destinados para uso a presión media o alta implementando estas normas nuevas. Es previsible que requerimientos similares sean desarrollados en los Estados Unidos y Canadá.

En los Estados Unidos no existen actualmente regulaciones nacionales que afecten a la calibración de medidores de gas. Algunos Estados establecen requerimientos para medidores de gas domésticos, pero pocos de ellos afectan a la transmisión o a otra medición a alta presión. En cambio, se establecen prácticas recomendadas en informes voluntarios publicados por la American Gas Association (AGA). Actualmente el informe AGA sobre medidores de gas de turbinas AGA Report N° 7: *The Measurement of Natural Gas and Turbine Meters* (AGA-7) está en revisión. Uno de los avances principales de las revisiones del AGA-7 es reconocer la sensibilidad a la densidad de los medidores de turbinas. El Comité de Medición de la Transmisión de la AGA continúa estudiando el asunto y son previsibles cambios al AGA-7 resultando una demanda mucho mayor de calibraciones a alta presión en los Estados Unidos para mejorarla exactitud de los medidores de turbinas vendidos y utilizados aquí.

De manera similar, los requerimientos reguladores en Canadá permiten el ensayo a alta presión, pero no lo requieren. Actualmente, la norma son calibraciones de medidores de turbinas a presión atmosférica con aire, aunque algunos medidores son suministrados por sus fabricantes con datos opcionales de ensayo y calibración a alta presión a coste adicional. Un proyecto de especificación ha sido emitido por Measurement Canada para comentario de la industria en abril de 2001 que aborda el ensayo a alta presión. Este proyecto se basaba en un precursor de la norma EN 12261 e incluía la idea de una línea divisoria entre medidores de alta presión y de baja presión a cuatro bares.

Una de las preocupaciones en Canadá es que no están disponibles suficientes instalaciones de ensayo a alta presión. Debido a las altas presiones y las altas velocidades de rotación implicadas, estas instalaciones son caras de construir y pueden ser peligrosas de accionar.

Sobre la base de los cambios propuestos en las directrices y regulaciones descritas anteriormente, probablemente existirá un incremento marcado en la demanda de la calibración de medidores de turbinas a alta presión. Las instalaciones disponibles actualmente no serían capaces de satisfacer la nueva demanda prevista de requerimientos de ensayo. La continuación de la construcción de instalaciones similares a las ya existentes continuaría incrementando el coste del ensayo de medidores de turbinas, ya que las instalaciones son caras de construir, costosas de utilizar y tienen tiempos de respuesta prolongados para el servicio.

El documento US 4.821.557 describe un método y aparato conocidos para determinar la exactitud de un medidor de flujo de gas, mientras que un informe de P. D. Olivier: "Equivalent Reynolds Number Calibrations of Flow Meters in Gaseous Media", IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, 27-29 de abril de 1987, Boston, Massachusetts, Pubatt/, 27 de abril de 1987, páginas 72-74, XP001414808, describe el uso de un número Reynolds equivalente para calibración de medidores de flujo.

Por las razones anteriores, existe una necesidad de proporcionar un método y un sistema mejorados para ensayar medidores de turbinas que resultan en una calibración más eficiente y exacta de medidores de turbinas.

SUMARIO DE LA INVENCION

Por lo tanto, un objeto de la presente invención es proporcionar un método y un sistema para ensayar y calibrar de manera más eficiente y exacta medidores de turbinas que abordan al menos algunos de los problemas identificados anteriormente.

De acuerdo con un primer aspecto de la invención, se proporciona un método para ensayar un medidor de turbina para uso en un conducto de gas natural, comprendiendo el método: proporcionar un sistema de prueba, incluyendo el sistema de ensayo un medidor de referencia; conectar el medidor de turbina al sistema de prueba para comunicación de fluido con él; introducir un medio de ensayo en el sistema de prueba, siendo el medio de ensayo un gas distinto al aire o gas natural que tiene un número Reynolds mayor que el número Reynolds del aire o gas natural a una presión dada; hacer que el medio de ensayo fluya a través del medidor de referencia y el medidor de turbina; medir el caudal de flujo del medio de ensayo a través del sistema de prueba utilizando cada uno del medidor de referencia y el medidor de turbina; y comparar el caudal de flujo medido por el medidor de referencia con el caudal de flujo medido por el medidor de turbina para establecer de esta manera la exactitud del medidor de turbina.

En un uso particular, el medio de ensayo tiene una densidad que es mayor que el doble de la densidad del gas natural a una presión dada.

En un caso particular, el medio de ensayo tiene una viscosidad dinámica que es inferior a la viscosidad dinámica del gas natural a una presión dada.

En un caso particular, el medio de ensayo exhibe un comportamiento de gas ideal a una temperatura aproximadamente de $15^{\circ}\text{C} < T < 25^{\circ}\text{C}$ y a una presión de aproximadamente $1 \text{ bar} < P < 50 \text{ bares}$.

En un caso particular, el medio de ensayo puede tener la característica de que se licua fácilmente a una temperatura $> \text{aproximadamente } -100^{\circ}\text{C}$ a presión atmosférica. En otro caso particular, el medio de ensayo puede tener, además, la característica de que se almacena a temperatura ambiente en forma líquida aproximadamente a $P < 65 \text{ bares}$. En otro caso particular, el medio de ensayo puede seleccionarse de un grupo que consta de dióxido de carbono, argón y hexafluoruro de azufre. El medio de ensayo es preferiblemente dióxido de carbono.

En una forma de realización, el medio de ensayo es preferiblemente dióxido de carbono y circula preferiblemente a través de dicho sistema de prueba a una presión de aproximadamente 8 bares y una temperatura de aproximadamente 20°C .

En un caso particular, el método puede incluir, además, inyectar medio de ensayo licuado en dicho medio de ensayo en circulación.

De acuerdo con otro aspecto de la invención, se proporciona un sistema para ensayar un medidor de turbina para uso en un conducto de gas natural, comprendiendo el sistema: un medidor de referencia, un sistema de conducto para transportar un medio de ensayo a utilizar para ensayar el medidor de turbina, conectando el sistema de conducto al medidor de turbina para comunicación de fluido entre ellos; el medio de ensayo, siendo el medio de ensayo un gas distinto al aire o gas natural que tiene un número Reynolds mayor que el número Reynolds del aire o gas natural a una presión dada; y medios para hacer circular el medio de ensayo en el sistema de conducto y a través del medidor de referencia y el medidor de turbina.

En un caso particular, el medio de ensayo tiene una densidad que es mayor que el doble de la densidad del gas natural a una presión dada.

En un caso particular, el medio de ensayo tiene una viscosidad dinámica que es inferior a la viscosidad dinámica del gas natural a una presión dada.

En un caso particular, el medio de ensayo exhibe un comportamiento de gas ideal a una temperatura aproximadamente de $15^{\circ}\text{C} < T < 25^{\circ}\text{C}$ y a una presión de aproximadamente $1 \text{ bar} < P < 50 \text{ bares}$.

En un caso particular, el sistema de cálculo del medio de ensayo puede incluir una válvula de llenado para introducir dicho medio de ensayo en dicho sistema de circulación del medio de ensayo, un compresor, para presurizar dicho sistema de circulación del medio de ensayo, un motor de velocidad variable para accionar dicho compresor y ajustar una presión de dicho sistema de circulación del medio de ensayo, enderezadores del flujo dispuestos delante de cada uno de dicho medidor de referencia y dicho banco de pruebas, una válvula de control de la presión, un sistema para refrigerar dicho medio de ensayo, y tubos para conectar todos los elementos anteriores.

En un caso particular, el sistema para refrigerar dicho medio de ensayo incluye una o más toberas de inyección para inyectar medio de ensayo licuado en dicho sistema de circulación de medio de ensayo. Alternativamente, el sistema para refrigerar dicho medio de ensayo incluye un intercambiador de calor.

Otros aspectos y características de la presente invención serán evidentes para los expertos en la técnica a la vista de la siguiente descripción de realizaciones de la invención en combinación con las figuras que se acompañan.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Las realizaciones de la presente invención se comprenderán más claramente con referencia a la siguiente descripción y a los dibujos, en los que:

La figura 1 es una gráfica que ilustra una relación entre error del medidor de turbina y capacidad para aire a presión atmosférica.

La figura 2 es una gráfica que ilustra una relación entre error del medidor y número Reynolds para una variedad de medios de ensayo y presiones.

La figura 3 ilustra un sistema de prueba de medidor de turbina de acuerdo con una forma de realización de la invención; y

La figura 4 ilustra un sistema de prueba de medidor de turbina de acuerdo con otra forma de realización de la invención, que incluye un sistema de refrigeración del medio de ensayo mejorado.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

Actualmente, sólo aire y gas natural se utilizan ampliamente para la finalidad de probar medidores de turbinas tanto a presión atmosférica como también a presión más alta. Sin embargo, como se describe en los antecedentes, puede ser muy costoso crear una instalación de ensayo a alta presión apropiada para ensayar medidores de turbinas a presiones a las que serán utilizados.

Hasta ahora, las ventajas de utilizar un gas alternativo, tal como dióxido de carbono, para la finalidad de probar medidores de turbinas en lugar de aire o gas natural no han sido reconocidas. El foco se ha puesto en modificar elementos mecánicos del sistema de prueba del propio medidor de turbina. En particular, se ha reconocido que utilizando un gas que tiene un número Reynolds más alto a una presión dada que es el caso con aire o gas natural se puede proporcionar un ensayo y calibración exactos de un medidor de turbina a una presión más baja. Como un ejemplo, el uso de dióxido de carbono da como resultado números Reynolds que son aproximadamente el doble que los que resultan a partir de aire y gas natural a una presión dada, lo que permite realizar el ensayo y calibración exactamente a presiones más bajas utilizando dióxido de carbono como el medio de ensayo.

De esta manera, el uso de un gas tal como dióxido de carbono en lugar de aire o gas natural en un sistema de prueba permitirá el ensayo y calibración a una presión marcadamente reducida. Esto reducirá a su vez los costes asociados de construcción y funcionamiento de un sistema de prueba comparado con otros sistemas que utilizan aire o gas natural como su medio de ensayo. Se prevé que los beneficios en funcionamiento incluyan costes más bajos de establecimiento y de funcionamiento para cada ensayo realizado.

Los siguientes son resultados teóricos calculados a partir de las propiedades dinámicas de fluidos de dióxido de carbono en comparación con los medios de ensayo convencionales descritos anteriormente.

Para gas que fluye en un tubo, el número Reynolds R_e del flujo se define como:

$$R_e = \frac{\rho v D}{\eta} \quad \dots\dots (1)$$

en donde ρ = densidad del gas, v = velocidad media del flujo sobre una sección transversal fija del tubo, D = diámetro del tubo, y η = viscosidad cinemática del gas.

La viscosidad cinemática η_k de un gas se define como:

$$\eta_k = \frac{\eta}{\rho} \quad \dots\dots (2)$$

Por lo tanto, el número Reynolds se puede re-escribir como:

$$R_e = \frac{v D}{\eta_k} \quad \dots\dots (3)$$

Aunque la densidad del gas ρ se saca ahora de la ecuación, ejerce todavía una influencia importante sobre el número Reynolds a través de la viscosidad cinemática η_k del gas.

Para comparar el número Reynolds de un flujo de gas natural con el de un flujo de dióxido de carbono, los números Reynolds se pueden expresar de las siguientes maneras, utilizando la ecuación (1).

Para el gas natural que fluye en un tubo:

$$\rho_{(CH_4)} = \frac{G_{(CH_4)}}{v} \rho_{(air)}$$

$$Re_{(CH_4)} = \frac{\rho_{(CH_4)} v D}{\eta_{(CH_4)}} = \frac{G_{(CH_4)} \rho_{(air)} v D}{\eta_{(CH_4)}} \quad \dots\dots (4)$$

en donde $\rho_{(CH_4)}$ es la densidad del gas natural, $\rho_{(air)}$ es la densidad del aire, $G_{(CH_4)}$ es la gravedad específica del gas natural, v es la velocidad media del flujo de gas natural, y $\eta_{(CH_4)}$ es la viscosidad dinámica del gas natural.

Para dióxido de carbono que fluye en el mismo tubo a la misma velocidad:

$$\rho_{(CO_2)} = \frac{G_{(CO_2)}}{v} \rho_{(air)}$$

$$Re_{(CO_2)} = \frac{\rho_{(CO_2)} v D}{\eta_{(CO_2)}} = \frac{G_{(CO_2)} \rho_{(air)} v D}{\eta_{(CO_2)}} \quad \dots\dots (5)$$

en donde $\rho_{(CO_2)}$ es la densidad de dióxido de carbono, $G_{(CO_2)}$ es la gravedad específica de dióxido de carbono y $\eta_{(CO_2)}$ es la viscosidad dinámica de dióxido de carbono.

La relación del número Reynolds del flujo de dióxido de carbono con respecto al flujo de gas natural se puede comparar entonces

$$\frac{Re_{(CO_2)}}{Re_{(CH_4)}} = \frac{\frac{G_{(CO_2)} \rho_{(air)} v D}{\eta_{(CO_2)}}}{\frac{G_{(CH_4)} \rho_{(air)} v D}{\eta_{(CH_4)}}}$$

$$= \frac{G_{(CO_2)} \rho_{(air)} v D}{\eta_{(CO_2)}} \times \frac{\eta_{(CH_4)}}{G_{(CH_4)} \rho_{(air)} v D}$$

$$= \frac{G_{(CO_2)} \eta_{(CH_4)}}{\eta_{(CO_2)} G_{(CH_4)}}$$

$$= \frac{1.52 \times 109}{150 \times 0.6}$$

$$= 1.84 \quad \dots\dots (6)$$

La ecuación (4) implica que una corriente de dióxido de carbono que fluye a la misma velocidad dentro de la misma pieza de tubo puede alcanzar un número Reynolds 84% más alto que el de una corriente de gas natural.

Aplicando el mismo análisis a una corriente de aire:

$$\frac{Re_{(Air)}}{Re_{(CH_4)}} = \frac{G_{(Air)} \eta_{(CH_4)}}{\eta_{(Air)} G_{(CH_4)}} = \frac{1.0 \times 109}{171 \times 0.6} = 1.06 \quad \dots\dots (7)$$

Se ha encontrado que la relación $Re_{(Air)}/Re_{(CH_4)}$ es 1,06, lo que indica sólo una diferencia del 6 % en el número Reynolds para la corriente de aire en comparación con la de la corriente de gas natural.

La figura 2 muestra una gráfica del error de medición frente al número Reynolds para varios medios y presiones de ensayo. Como se ilustra en la figura 2, una corriente de aire que fluye a Q_{max} a presión atmosférica no puede alcanzar un número Reynolds suficientemente alto para alcanzar la región lineal de una curva de error. También es evidente a partir de la figura 2 que un modo de obtener un resultado más significativo consiste en empujar la curva de error hacia la región lineal de la gráfica. Para realizar esto, deberían realizarse ensayos a un número Reynolds más alto y, por lo tanto, a una presión más alta.

A partir de lo anterior, se puede indicar que si se prueban inicialmente medidores de turbinas utilizando gas natural a presión atmosférica y se re-examinan las variables de la ecuación (1) anterior, para impulsar el número Reynolds del flujo de ensayo para obtener una curva de error más significativa, habría que hacer una de las cosas siguientes:

1. Incrementar la velocidad media del flujo;
2. Incrementar el diámetro del tubo;
3. Incrementar la densidad del gas; o
4. Usar un gas con una viscosidad dinámica más baja

No obstante, debería indicarse que no es posible incrementar la velocidad máxima del flujo en el ejemplo anterior, puesto que ya se ha alcanzado $Q_{\max}$ para el medidor de turbina. Además, el cambio del diámetro del tubo no es una opción debido a que el medidor de turbina define a menudo las dimensiones del tubo. Por lo tanto, o bien es necesario realizar el ensayo a una presión más alta (para incrementar la densidad del gas) y/o sustituir el gas natural en el tubo con un gas que tiene una viscosidad dinámica más baja.

Se supone que se mantiene una presión de ensayo a 1 bar en el tubo, pero el contenido de gas natural se sustituye con dióxido de carbono. A un flujo de ensayo = $Q_{\max}$ del medidor de turbina, la curva de error (inicialmente la curva de ensayo de gas natural a 1 bar, ahora la curva de ensayo de dióxido de carbono a la misma presión) se extendería en la escala horizontal (escala de número Reynolds) un 84 % como se predice por la ecuación (6), alcanzando de esta manera una región más lineal de la gráfica.

Si es previsible que el mismo número Reynolds produzca el mismo resultado de error del medidor, entonces esto proporciona una manera de ensayar un medidor de presión más alta en una corriente de dióxido de carbono a presión más baja. Por lo tanto, existe ahora un entorno operativo para el medidor de turbina en una corriente de dióxido de carbono a presión atmosférica similar al entorno operativo del mismo medidor que funciona en gas natural a una presión 1,84 veces más alta. De esta manera, el gas dióxido de carbono amplifica la "presión de ensayo efectiva" un 84%.

Si la presión de la corriente de ensayo de dióxido de carbono se eleva hasta 10 bares, se puede demostrar teóricamente que las características de flujo de la corriente de ensayo de dióxido de carbono serían ahora similares a las de una corriente de gas natural que funciona a $10 \times 1,84 = 18,4$ bares. Aplicando la regla $0,5p < \text{presión de ensayo} < 2,0p$ (como se establece en EN 12261), esto abriría la posibilidad de ensayar un medidor de turbina de 35 bares (presión operativa) en un flujo de dióxido de carbono de 10 bares.

Como se ha descrito anteriormente, se pueden emplear también gases distintos a dióxido de carbono en la prueba de medidores de turbina de acuerdo con una forma de realización de la invención, por ejemplo, se pueden considerar argón o hexafluoruro de azufre. En particular, un medio de ensayo de acuerdo con una forma de realización de la invención es un gas que tiene las siguientes características:

- (a) Densidad $> 2 \times$ densidad de gas natural;
- (b) Viscosidad dinámica $<$ viscosidad dinámica de gas natural; y
- (c) Comportamiento ideal del gas para $15^\circ\text{C} < T < 25^\circ\text{C}$ y $1 \text{ bar} < P < 50 \text{ bares}$.

Además, para asegurar que se puede construir y accionar un sistema de prueba de medidor de turbina a costo reducido, es preferible que el medio de ensayo satisfaga también las siguientes propiedades:

- (d) se licua fácilmente a una temperatura $> -100^\circ\text{C}$ a presión atmosférica; y
- (e) se almacena a temperatura ambiente en forma líquida a $P < 65 \text{ bares}$.

La figura 3 es una ilustración de un sistema de prueba de medidor de turbina de acuerdo con una forma de realización de la invención que se puede utilizar para ensayar y calibrar medidores de turbina utilizando un gas pesado, tal como dióxido de carbono. El sistema de prueba 10 incluye principalmente un medidor de referencia calibrado (RM) 12, un medidor en ensayo (MUT) 14, un compresor de gas (CMP) 16, un intercambiador de calor (como un intercambiador de calor de carcasa y tubos STHEX) 18. El sistema de prueba 10 incluye también válvulas de cierre (SV1, SV2) 20, 22 que están montadas sobre cada lado del MUT y otros componentes, como se describe más adelante.

Durante el funcionamiento, las válvulas de cierre (SV1, SV2), 20, 22 se abren y se carga el sistema con un medio de ensayo, tal como dióxido de carbono, desde un tanque de almacenamiento (no mostrado) a través de una válvula de llenado (FV) 24. Después de cargar el sistema de prueba 10 con dióxido de carbono hasta alcanzar la presión objetiva, entonces se cierra la válvula de llenado (FV) 24. Un motor de velocidad variable (VSM) 26 acciona un compresor (CMP) 28 para presurizar y circular el dióxido de carbono en el sistema de prueba 10, que incluye la circulación a través del medidor de referencia y el medidor bajo ensayo RM, MUT, y sus enderezadores del flujo asociados (FS1, FS2) 30, 32. La presión y el caudal de flujo de la corriente de dióxido de carbono en circulación son regulados alterando la velocidad del motor de velocidad variable (VSM) 26 y la apertura de una válvula de control de re-circulación (RCV) 34.

El sistema puede incluir también un filtro de partículas (PF) 36 para eliminar partículas de suciedad (MUT) 14 que pueden haberse introducido en la corriente de gas por el medidor en ensayo (MUT) 14.

Al término de una operación de ensayo, se establece la exactitud del medidor en ensayo comparando el flujo registrado por él con el flujo registrado por el medidor de referencia (RM) 12. Para retirar el medidor en ensayo (MUT) 14, el sistema de prueba 10 se lleva a presión atmosférica ventilando el sistema de prueba 10 y cerrando las válvulas de cierre (SV1, SV2) 20, 22.

Como se ha descrito anteriormente, se conoce que la curva de calibración de un medidor de turbina se desvía en direcciones positiva y negativa bajo presión. Esta desviación parece ocurrir a presión relativamente modesta y entonces permanece más estable a medida que se incrementa la presión. Esto significa que un cliente de gas que compra gas medidos a través de un medidor de turbina calibrado a presión atmosférica puede estar pagando más que lo que debiera. A la inversa, si el error fuese negativo, el suministrador de gas estaría entregando gas gratis. Se puede utilizar dióxido de carbono para replicar el efecto de la densidad del gas a alta presión a una presión real mucho más baja. La combinación de la presión más baja requerida utilizando dióxido de carbono como un medio de ensayo y la densidad más alta de la molécula de dióxido de carbono permite construir y funcionar un sistema de prueba de una naturaleza mucho menos compleja.

Se comprenderá por un experto en la técnica que el estado de cambio de fase, la línea de fase líquida/gas y el punto crítico de dióxido de carbono pueden establecer los límites superiores del entorno de temperatura y presión dentro de los cuales se puede utilizar dióxido de carbono como un medio para medidores de turbinas. Lo mismo se aplicaría para cualquier otro gas de propiedades similares que se utilice como un medio de ensayo para probar un medidor de turbina. En esta forma de realización, si el entorno de prueba se mantiene por debajo del punto crítico de dióxido de carbono, no deberían existir preocupaciones de cambio de fase. Actualmente, se anticipa que el ensayo de medidores de turbina utilizados en la industria de gas natural se realizaría con preferencia con dióxido de carbono en un entorno de ensayo en el que la temperatura y la presión son aproximadamente veinte grados Celsius y ocho bares, respectivamente.

Otra cuestión a considerar en el uso de dióxido de carbono como un medio de ensayo se refiere a tiempos de relajación. La cuestión relativa a tiempo de relajación se exhibe por dióxido de carbono en toberas sónicas muy pequeñas (0,5 mm o menos). En este caso, el tiempo de relajación puede dar como resultado errores en la determinación del flujo de masa debido a que la temperatura de estancamiento no sigue exactamente la temperatura de la garganta. Este fenómeno puede corregirse matemáticamente, pero los tiempos de relajación sólo impactan generalmente sobre la exactitud de la medición de la temperatura en flujo sónico. No obstante, debido al caudal de flujo que se emplea típicamente en las instalaciones de ensayo, es poco probable que el tiempo de relajación del dióxido de carbono sea un problema en el sistema de prueba, puesto que los caudales de flujo no deben aproximarse a la velocidad del sonido. Por lo tanto, mientras el medio de ensayo en el sistema de prueba se mantenga por debajo del flujo sónico, el tiempo de relajación no debería ser un problema.

La figura 4 es una ilustración de un sistema de prueba de medidor de turbina 40 de acuerdo con otra realización de la invención. Los elementos en la presente realización que son los mismos que en las realizaciones anteriores reciben los mismos números de referencia. En esta realización, el medio de ensayo es preferiblemente dióxido de carbono. Como se ilustra en la figura 4, la temperatura de la corriente de dióxido de carbono en el sistema de prueba 40 se puede controlar/mantener a un nivel apropiado por la introducción de dióxido de carbono líquido en el sistema de prueba en lugar de por un intercambiador de calor. El dióxido de carbono líquido puede ser introducido desde un tanque de almacenamiento (no mostrado) a través de una válvula de control de la temperatura (TCV) 42 y una o más toberas de inyección de dióxido de carbono líquido (LCDIN) 44. Las toberas de inyección de dióxido de carbono líquido (LCDIN) 44 pueden estar dispuestas convenientemente en una matriz. El dióxido de carbono líquido inyectado, que tiene un calor latente de vaporización de aproximadamente 250 BTU/kg, entra en el sistema de prueba 40 como un líquido y/o como partículas de hielo seco y entonces cambia rápidamente a la fase de vapor debido a una transferencia de calor con el medio de ensayo, que resulta en la eliminación de parte o de todo el calor de compresión en el medio de ensayo en circulación.

En esta forma de realización, el filtro de partículas (PF) 36 puede retirar también partículas de hielo seco que permanecen después del proceso de refrigeración.

En esta realización, el gas dióxido de carbono excesivo se puede extraer fuera de la corriente de dióxido de carbono a través de una válvula de control de la presión (PVC) 46. La válvula de control de la presión (PVC) 46 puede utilizarse para prevenir la sobre-presurización del sistema. En un caso particular, el dióxido de carbono excesivo eliminado a través de la válvula de control de la presión (PCU) 46 puede enviarse a un sistema de recuperación 48 que incluye un compresor de recuperación de refrigerante (RRCMP) 50, un condensador (CDS) 52 y un tanque de almacenamiento (RRST) 54.

Una ventaja de la presente realización es que el mismo gas que se utiliza como el medio de ensayo, es decir, dióxido de carbono, se puede utilizar como un refrigerante para eliminar la necesidad de un intercambiador de calor grande y costoso en el sistema de prueba 40. Otra ventaja es que la refrigeración del medio de ensayo en el sistema de prueba 40 ocurre más rápidamente que sería el caso con un intercambiador de calor.

En la presente realización, el gas utilizado como un medio de ensayo se utiliza también como un refrigerante para inyección en el sistema de prueba para controlar la temperatura del medio de ensayo. Experimentos han mostrado que este proceso funcionará cuando se utiliza dióxido de carbono como el medio de ensayo y refrigerante, pero la teoría indica que la presente realización funcionará para varios medios / refrigerantes de ensayo que tienen preferiblemente las siguientes características:

Calor latente de vaporización > aproximadamente 200 Btu/kg a $15^{\circ}\text{C} < T < 25$ y $1 \text{ bar} < P < 25$ bares.

Se comprenderá por un experto en la técnica que el método y sistema de refrigerante de esta realización se pueden aplicar a sistemas de prueba convencionales utilizando, por ejemplo, aire como el medio de ensayo.

5 De acuerdo con otra realización de la invención, se puede prever un sistema de atrapamiento (no mostrado) para el alojamiento del dióxido de carbono liberado desde el sistema de prueba, por ejemplo, en la válvula de control de recirculación (RCV) 34 o en otras localizaciones de ventilación, para prevenir la liberación de dióxido de carbono al medio ambiente. Esto permitiría la reutilización potencial del dióxido de carbono y también aliviaría las preocupaciones
10 por grupos ambientales de exceso de dióxido de carbono que se libera al medio ambiente.

Un experto en la técnica comprenderá que cualquier gas utilizado como un medio de ensayo procederá preferiblemente desde una fuente pura. Como un ejemplo, se puede obtener dióxido de carbono a través de varios procesos, incluyendo desde gas natural, pero el CO_2 que provienen desde gas natural puede contener solamente
15 sustancias, que lo vuelve inadecuado para la industria de la alimentación y las bebidas y podría causar también problemas en un sistema de prueba. Por esta razón, es importante conocer la fuente del gas que se utiliza y los sub-productos significativos que pueden resultar de su producción o su uso que pueden ser adversos para su uso en ensayo y calibración de medidores de turbinas.

20 Se comprenderá, además, que la invención no está limitada a las realizaciones descritas aquí, que son meramente ilustrativas de realizaciones preferidas de la invención y que son susceptibles de modificación de forma, disposición de partes, etapas, detalles y orden de funcionamiento. La invención está destinada más bien para comprender todas las modificaciones dentro de su alcance, como se define por las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

- 1.- Un método para probar un medidor de turbina (14) para uso en un conducto de gas natural, comprendiendo el método:
- 5 proporcionar un sistema de prueba (10; 40), incluyendo el sistema de prueba un medidor de referencia (12);
- conectar el medidor de turbina (14) al sistema de prueba (10; 40) para comunicación de fluido con él;
- 10 introducir un medio de ensayo en el sistema de prueba (10; 40);
- circular el medio de ensayo a través del medidor de referencia (12) y el medidor de turbina (14),
- 15 medir el caudal de flujo del medio de ensayo a través del sistema de prueba (10; 40) utilizando cada uno del medidor de referencia (12) y el medidor de turbina (14); y
- comparar el caudal de flujo medido por el medidor de referencia (12) hasta el caudal de flujo medido por el medidor de turbina (14) para establecer de esta manera la exactitud del medidor de turbina (14), en donde el método se caracteriza por que el medio de ensayo es un gas distinto a aire o gas natural que tiene un número Reynolds mayor que el número Reynolds de aire o gas natural a una presión dada.
- 20 2. El método de la reivindicación 1, en donde la introducción de un medio de ensayo en el sistema de prueba (10; 40) incluye cargar el sistema de prueba (10; 40) con el medio de ensayo hasta que se ha alcanzado una presión objetiva predeterminada.
- 25 3. El método de la reivindicación 2, en donde la introducción de un medio de ensayo en el sistema de prueba (10; 40) incluye, además, presurizar el medio de ensayo en el sistema de prueba (10; 40).
4. El método de la reivindicación 1, en donde el medio de ensayo tiene una densidad que es mayor del doble de la densidad del gas natural a una presión dada.
- 30 5. El método de las reivindicaciones 1 o 4, en donde el medio de ensayo tiene una viscosidad dinámica que es menor que la viscosidad dinámica del gas natural a una presión dada.
- 35 6. El método de las reivindicaciones 4 y 5, en donde el medio de ensayo exhibe un comportamiento ideal del gas a una temperatura $15^{\circ}\text{C} < T < 25^{\circ}\text{C}$ y a una presión de $1 \text{ bar} < P < 50 \text{ bares}$.
7. El método de la reivindicación 1, en donde el medio de ensayo se licúa fácilmente a una temperatura mayor que aproximadamente -100°C a presión atmosférica.
- 40 8. El método de la reivindicación 1, en donde el medio de ensayo se almacena a temperatura ambiente en forma líquida a una presión inferior a 65 bares.
9. El método de la reivindicación 1, en donde el medio de ensayo es dióxido de carbono.
- 45 10. El método de la reivindicación 1, en donde el medio de ensayo se selecciona del grupo que consta de dióxido de carbono, argón y hexafluoruro de azufre.
11. El método de la reivindicación 1, en donde la circulación del medio de a través del medidor de referencia (12) y el medidor de turbina (14) incluye hacer circular el medio de ensayo a través del sistema de prueba (10, 40) a una presión de aproximadamente 8 bares y una temperatura de aproximadamente 20°C .
- 50 12. El método de la reivindicación 1, que incluye, además, controlar la temperatura del medio de ensayo que circula en el sistema de prueba.
- 55 13. El método de la reivindicación 12, en donde el control de la temperatura en el medio de ensayo que circula en el sistema de prueba incluye refrigerar el medio de ensayo utilizando un intercambiador de calor.
14. El método de la reivindicación 12, en donde el control de la temperatura del medio de ensayo que circula en el sistema de prueba incluye introducir un refrigerante en el sistema de prueba.
- 60 15. El método de la reivindicación 14, en donde el refrigerante introducido en el sistema de prueba es medio de ensayo licuado.
- 65 16. El método de la reivindicación 14, en donde el refrigerante introducido en el sistema de prueba (10; 40) es dióxido de carbono licuado.

17. El método de la reivindicación 14, en donde el refrigerante introducido en el sistema de prueba (10; 40) es un calor latente de vaporización que es mayor que aproximadamente 200 Btu/kg a una temperatura de $15^{\circ}\text{C} < T < 25$ y a una presión de $1 \text{ bar} < P < 25$ bares.

18. Un sistema para probar un medidor de turbina (14) para uso en un conducto de gas natural, comprendiendo el sistema:

un medidor de referencia (12);

un sistema de conductos para transportar un medio de ensayo a utilizar para probar el medidor de turbina (14), en donde el sistema de conductor conecta el medidor de referencia (12) al medidor de turbina (14) para comunicación de fluido entre ellos, medios para hacer circular el medio de ensayo en el sistema de conductos y a través del medidor de referencia (12) y el medidor de turbina (14), caracterizado por que:

el sistema comprende, además: el medio de ensayo, siendo el medio de ensayo un gas distinto a aire o gas natural que tiene un número Reynolds mayor que el número Reynolds de aire o gas natural a una presión dada.:

19. El sistema de la reivindicación 18, en donde el sistema de conductos incluye:

una válvula de llenado (24) para introducir el medio de ensayo en el sistema de conductos;

un compresor para presurizar dicho sistema de conductos:

un motor de velocidad variable para accionar dicho compresor y ajustar una presión de dicho sistema de conductos;

enderezadores del flujo dispuestos curso arriba de cada uno de dicho medidor de referencia y dicho medidor de turbina;

una válvula de control de la presión;

medios para refrigerar dicho medio de ensayo; y

tubos para conectar todos los elementos anteriores.

20. El sistema de la reivindicación 19, en donde los enderezadores del flujo incluyen:

un primer enderezador del flujo (30) dispuesto curso arriba del medidor de referencia (12); y
un segundo enderezador del flujo (32) dispuesto curso arriba del medidor de turbina (14).

21. El sistema de la reivindicación 18, en donde el medio de ensayo tiene una densidad que es mayor que el doble de la densidad del gas natural a una presión dada.

22. El sistema de la reivindicación 18 o 21, en donde el medio de ensayo tiene una viscosidad dinámica que es inferior a la viscosidad dinámica del gas natural a una presión dada.

23. El sistema de las reivindicaciones 21 y 22, en donde el medio de ensayo exhibe un comportamiento ideal del gas a una temperatura $15^{\circ}\text{C} < T < 25^{\circ}\text{C}$ y a una presión de $1 \text{ bar} < P < 50$ bares

24. El sistema de la reivindicación 18, en donde el medio de ensayo se licúa fácilmente a una temperatura mayor que aproximadamente -100°C a presión atmosférica.

25. El sistema de la reivindicación 18, en donde el medio de ensayo se almacena a temperatura ambiente en forma líquida a una presión inferior a 65 bares.

26. El sistema de la reivindicación 18, en donde el medio de ensayo es dióxido de carbono.

27. El sistema de la reivindicación 18, en donde el medio de ensayo se selecciona del grupo que consta de dióxido de carbono, argón y hexafluoruro de azufre.

28. El sistema de la reivindicación 18, en donde los medios para refrigerar el medio de ensayo incluyen un intercambiador de calor (18) conectado operativamente al sistema de conductos.

29. El sistema de la reivindicación 18, en donde los medios para refrigerar el medio de ensayo incluyen al menos una tobera de inyección (44) para suministrar un refrigerante en el sistema de conductos.

30. El sistema de la reivindicación 29 que incluye un refrigerante para refrigerar el medio de ensayo.

31. El sistema de la reivindicación 30, en donde el refrigerante es dióxido de carbono licuado.

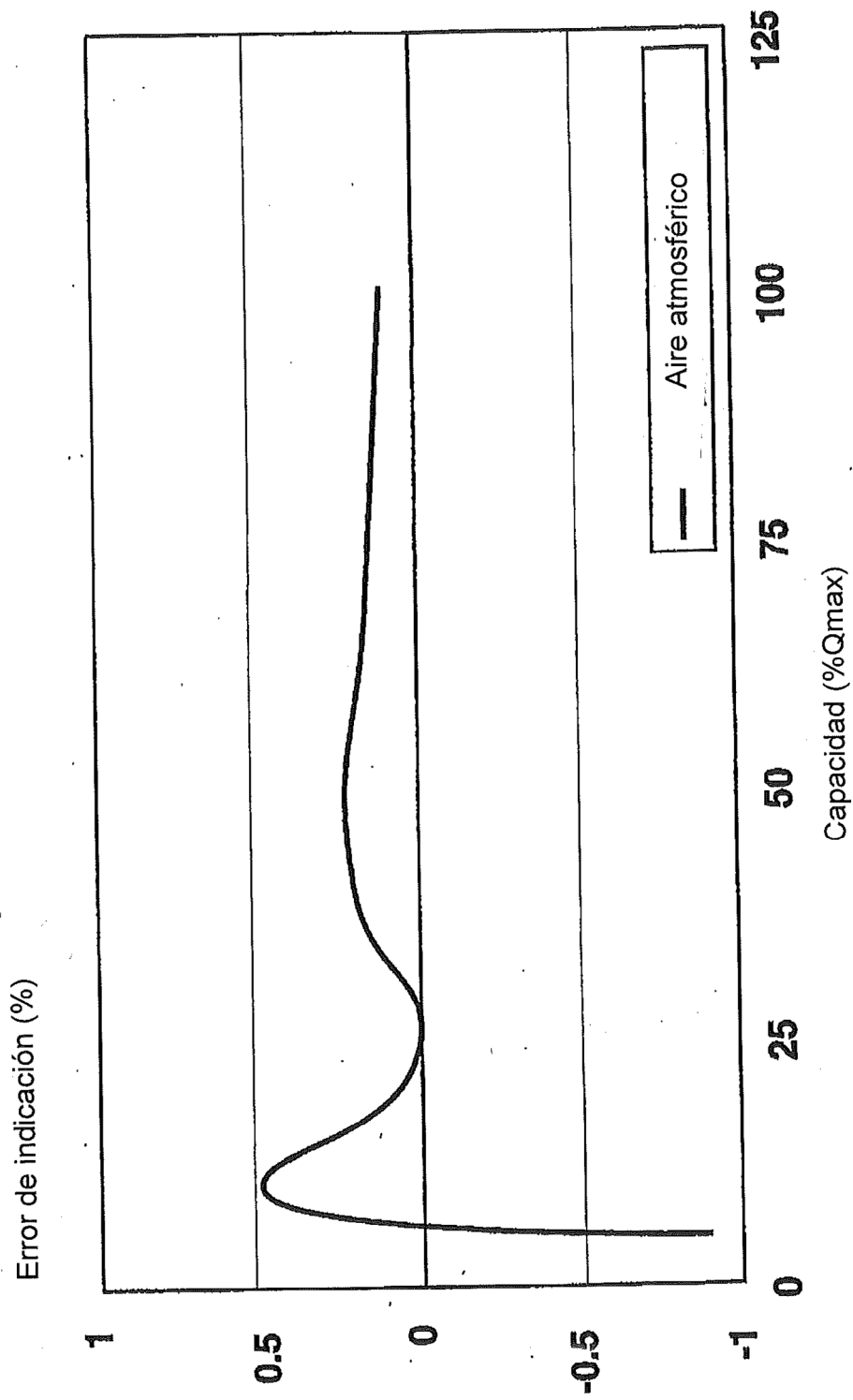


Fig. 1

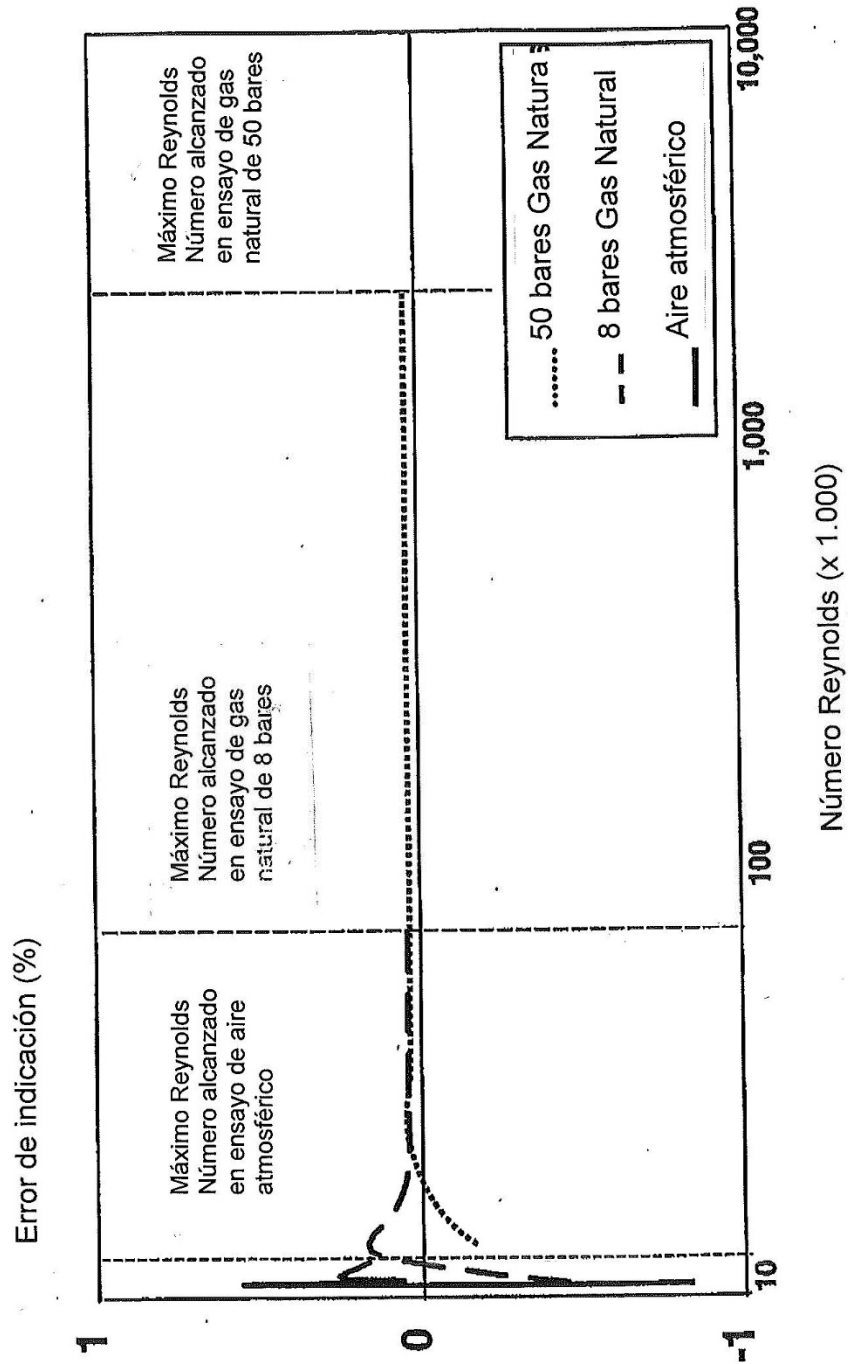


Fig. 2

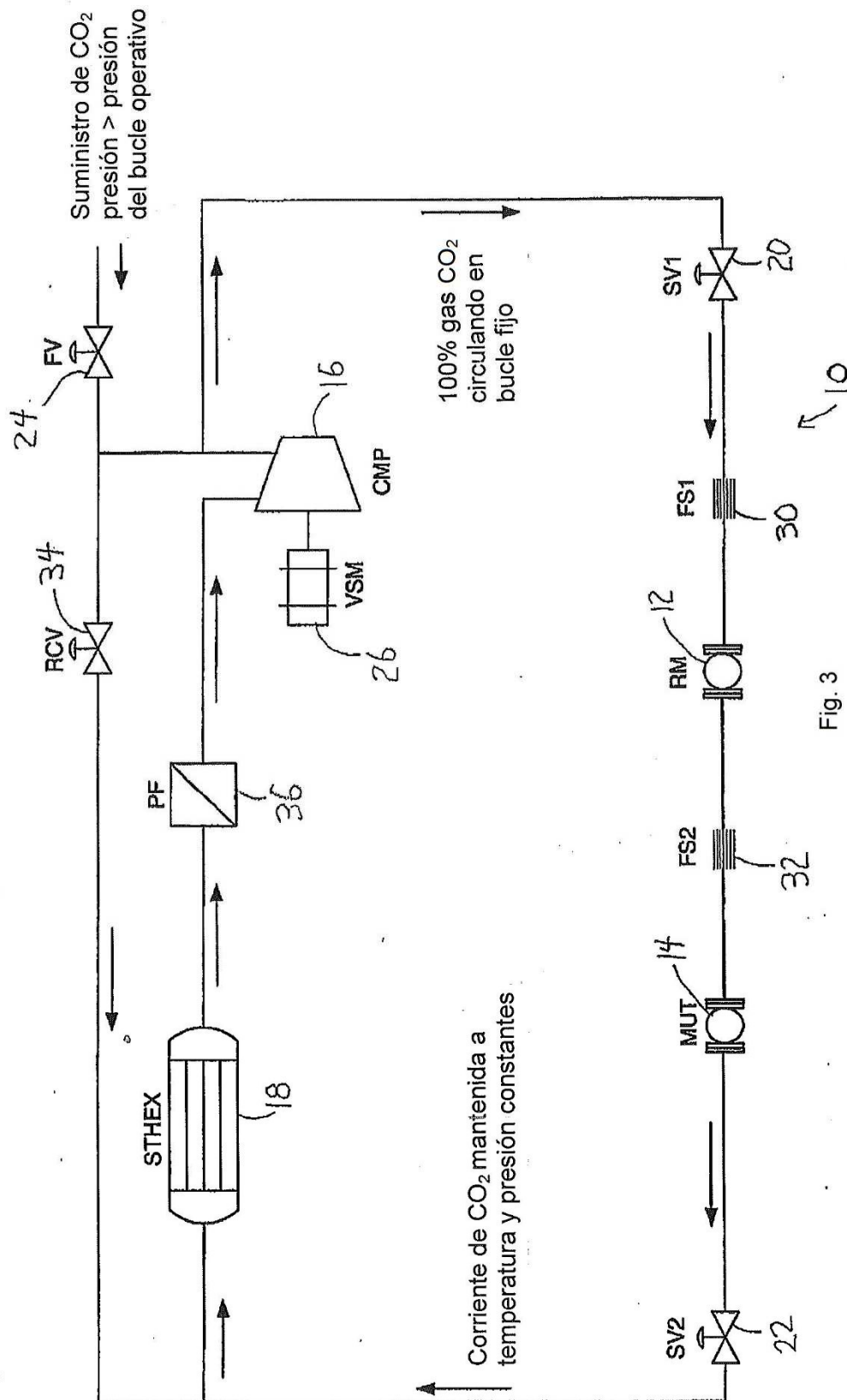


Fig. 3

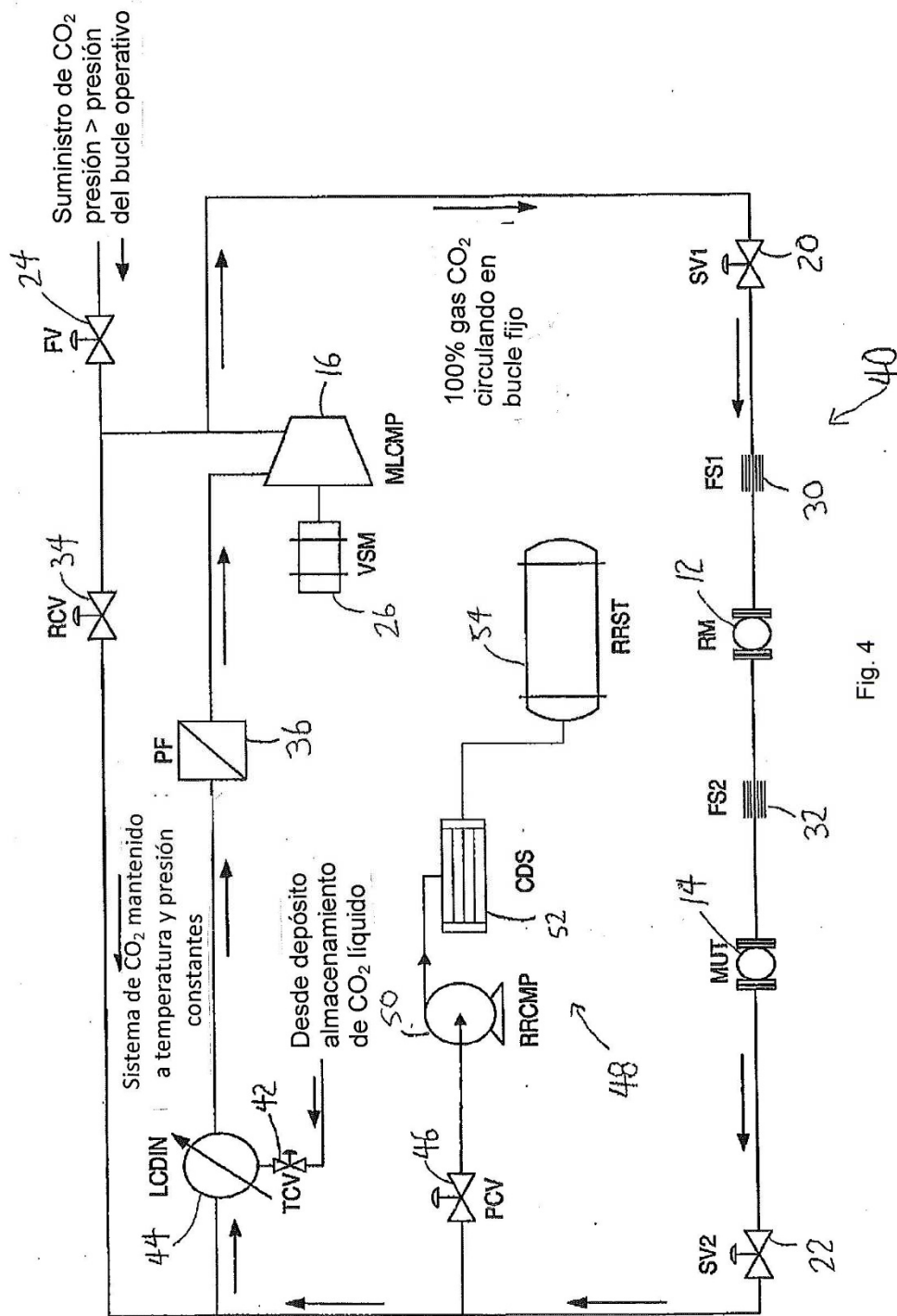


Fig. 4