

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 986 135**

51 Int. Cl.:

**F17D 3/12**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.04.2020 PCT/IB2020/054069**

87 Fecha y número de publicación internacional: **12.11.2020 WO20225659**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.04.2020 E 20727842 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.03.2024 EP 3966490**

54 Título: **Dispositivo para medir y controlar un gas**

30 Prioridad:

**07.05.2019 IT 201900006607**

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

**08.11.2024**

73 Titular/es:

**REGAS S.P.A. (100.0%)  
Via M. Gioia, 168  
20125 Milano (MI), IT**

72 Inventor/es:

**JAMOLETTI, FRANCESCO**

74 Agente/Representante:

**CARBONELL CALLICÓ, Josep**

ES 2 986 135 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

Dispositivo para medir y controlar un gas

5 **Campo técnico de la invención**

La presente invención se refiere a un dispositivo de medición y control de gas. Más específicamente, se refiere a un dispositivo que hace posible medir una característica de un gas y controlar las características físicas del gas basándose en la característica medida.

10

**Estado de la técnica**

El gas natural distribuido por las redes de gas nacionales es un gas inodoro y, para permitir que los usuarios perciban cualquier fuga, se añaden pequeñas cantidades de gas odorante con un olor reconocible. El gas odorante normalmente comprende *terc*-butil mercaptano (TMB) y/o tetrahidrotiofeno (THT).

15

El gas odorante, preferentemente en forma líquida, se introduce en la red de distribución de gas natural por medio de inyectores. En Italia, por ejemplo, una concentración estándar de gas odorante es de 10 mg/Sm<sup>3</sup> para TBM, es decir, aproximadamente 2,5 ppm, mientras que es 32 mg/Sm<sup>3</sup> para THT, es decir, aproximadamente 8 ppm. Es importante asegurarse de que la concentración de gas odorante permanezca dentro de un intervalo de valores preestablecido, ya que una cantidad excesivamente pequeña podría no ser suficiente para ser percibida por los usuarios en caso de fuga. Por el contrario, una concentración excesivamente alta puede dar falsos positivos, para que pequeñas fugas de gas, permitidas por el diseño del sistema, puedan percibirse como un problema por el usuario.

20

25

La necesidad de mantener la concentración de gas odorante dentro de un intervalo específico introduce una serie de problemas técnicos. Más específicamente, requiere que los inyectores de gas odorante funcionen constantemente sin fallos de funcionamiento, o que se comprueben periódicamente, lo que hace que aumenten los costes operativos. Asimismo, otro problema es el descolorimiento del gas odorante en las tuberías. Más específicamente, compuestos de azufre tales como, por ejemplo, TBM y THT, pueden producir un efecto de descomposición si permanecen en contacto con las tuberías, posiblemente en presencia de óxido de hierro, durante mucho tiempo, por ejemplo semanas. Estas condiciones de operación pueden ocurrir, por ejemplo, si la demanda de gas es baja, si las presiones de red se establecen de una cierta manera y si la red de malla incluye rutas largas para llegar a usuarios o áreas específicos.

30

35

Para garantizar que la concentración de gas odorante sea correcta, la composición del gas dentro del sistema de transporte y distribución de gas natural se lleva a cabo actualmente a través de análisis de muestras ocasionales que se realizan utilizando equipos portátiles.

40

Esta solución, sin embargo, no es muy eficaz, ya que un técnico debe ir al sitio de medición y llevar consigo el equipo de medición. Más específicamente, los técnicos utilizan hoy en día cromatógrafos de gases portátiles. Este tipo de instrumento requiere alta precisión y al mismo tiempo es muy delicado. Debe recargarse todos los días y revisarse aproximadamente una vez al año. Esto hace que este tipo de instrumento sea muy caro. Asimismo, los instrumentos disponibles en el mercado son bastante pesados de transportar, de hecho, pesan aproximadamente 20 kg y no están automatizados. Por tanto, el técnico necesita conectar el instrumento al punto de medición, iniciar el análisis y guardar los resultados. Una vez obtenidos los resultados, él/ella envía el informe relevante a la persona/organismo responsable de recibirlo. Por lo tanto, la aplicación del procedimiento en tiempo real no es posible. Como alternativa, en lugar de utilizar equipos portátiles, es posible llevar a cabo la medición recogiendo una muestra de gas y llevándola físicamente a un laboratorio. A continuación, el gas se analiza con instrumentos muy precisos y los resultados se comunican unos días después. Esta aplicación no puede proporcionar ningún resultado en tiempo real, tampoco.

45

50

Basándose en los resultados obtenidos de esta manera, entonces es posible ajustar el inyector, donde sea necesario.

En aplicaciones similares, en las que, sin embargo, las características a medir no son las del gas odorante, la necesidad de un procedimiento de medición en línea con el proceso de distribución ha llevado al uso generalizado de instrumentos basados en principios físicos menos precisos tales como, por ejemplo, celdas electroquímicas. Estos instrumentos son adecuados para aplicaciones remotas, pero en el caso de gas odorante no pueden garantizar una precisión suficiente para el tipo de medición que se va a realizar, debido a la baja concentración de gas odorante. Otro ejemplo de equipo típicamente adecuado para instalarse en línea con el fin de medir los compuestos contenidos en un gas es el equipo basado en técnicas ópticas. Sin embargo, esta solución no proporciona la precisión necesaria para medir concentraciones como las descritas anteriormente para el gas odorante, tampoco.

55

60

Un tipo de sensor que hace posible medir concentraciones de gas con la precisión requerida es un sensor de cromatografía de gases.

65

Hasta la fecha, sin embargo, este sensor no se ha utilizado para la medición remota y en línea de gases odorantes. Una de las razones por las que este uso no ha sido posible radica en que un técnico experto debe estar presente en el sitio para leer el valor medido y ajustar el inyector. Esta necesidad hace que cualquier medición en tiempo real sea

inútil, ya que cualquier reacción a la medición requiere la presencia de un técnico en el sitio.

5 No se sabe que se haya hecho nada en el campo industrial para retroalimentar la medición de una composición de gas ajustando las presiones, caudales, niveles de inyección de compuesto u otros parámetros. Una dificultad en la implementación de un sistema de gestión automática para el inyector basado en la medición viene dada por la necesidad de desarrollar un modelo matemático capaz de representar fielmente la física del problema, que normalmente se basa en relaciones no lineales entre el caudal y las presiones. Además, también es difícil realimentar accionadores capaces de regular las variables controladas. Hasta la fecha, no se conoce ninguna aplicación de este tipo.

10 Por tanto, es un objeto de la presente invención proporcionar un dispositivo que haga posible controlar uno o más inyectores de gas, preferentemente gas odorante, basándose en una medición de una característica física del gas, preferentemente llevado a cabo por medio de un sensor de cromatografía de gases.

15 Se conocen dispositivos de acuerdo con el estado de la técnica, por ejemplo, de los documentos US 3 634 053 A, US 3 854 894 A, US 3 686 930 A, EP 1 030 098 A2 y US 2014/149054 A1.

**Sumario de la invención**

20 La invención se refiere a un dispositivo para medir y controlar un gas de acuerdo con la reivindicación independiente. Las realizaciones ventajosas de la invención están definidas también en las reivindicaciones dependientes.

25 Más específicamente, la invención puede referirse a un método de cálculo para colocar sensores diseñados para medir un gas odorante en una red de gas natural, que comprende las siguientes etapas: adquisición de datos que representan el estado físico de la red de gas natural,

simulación de la red de gas natural,  
cálculo para el posicionamiento de sensores de gas odorante.

30 En algunas realizaciones, la etapa de adquisición de datos (1010) puede comprender la adquisición de uno o más entre:

- datos topográficos de nodos de red,
- datos geométricos de tuberías,
- 35 - condiciones de carga,
- factor de cobertura de los sensores de medición con respecto a las áreas críticas definidas basándose en el tiempo de residencia del gas natural dentro de las tuberías.

40 En algunas realizaciones, las condiciones de carga pueden comprender uno o más entre los puntos de entrada de gas natural, puntos de salida de gas natural, valores máximos de salida y la entrada de los niveles de presión en las estaciones de control.

45 En algunas realizaciones, la etapa de simulación puede comprender una simulación Monte Carlo de la estructura de la red de gas natural.

En algunas realizaciones, la red de gas natural puede comprender una pluralidad de nodos de red y una pluralidad de tuberías y la etapa de simulación puede comprender el cálculo del tiempo de viaje promedio para cada par de nodos.

50 En algunas realizaciones, el cálculo del tiempo de viaje promedio puede comprender el cálculo de la caída de presión en una i-ésima tubería de acuerdo con la ecuación

$$\text{Ec. 1) } \frac{\partial \Delta P_i}{\partial m_i} = \frac{f_i |m_i| L_i}{D_i \frac{PM}{RT} A_i^2 P_{i, fuera}}$$

donde

- 55  $\Delta P$  = caída de presión
- $P$  = presión
- $m$  = caudal másico
- $f$  = factor de fricción
- 60  $L$  = longitud de tubería
- $D$  = diámetro de tubería
- $P$  = presión de referencia para la tubería
- $M$  = masa molar del gas en tránsito
- $R$  = constante de gas universal
- 65  $T$  = temperatura de referencia para la tubería bajo el supuesto de isoterma

A = sección transversal de tubería  
 Pfuera = presión en la salida de la tubería  
 y donde el subíndice "i" indica la i-ésima tubería.

## 5 Breve lista de los dibujos

Otras características y ventajas de la invención se destacan más claramente en la siguiente descripción detallada de realizaciones preferidas pero no exclusivas, ilustradas a modo de ejemplo no limitativo con referencia a los dibujos adjuntos.

10

En los dibujos, los mismos números de referencia identifican los mismos componentes.

En particular:

- 15
- la figura 1 muestra una vista esquemática de un diagrama de flujo que ilustra una primera realización de la invención;
  - la figura 2 muestra una vista esquemática de una red de gas natural 2000;
  - la figura 3 muestra una vista esquemática de una parte de la red de gas natural 2000.

## 20 Descripción de las realizaciones preferidas

La siguiente descripción detallada ilustra varias realizaciones, haciendo referencia a las figuras. Está claro, sin embargo, que la presente invención no se limita a las realizaciones descritas y/o ilustradas en el presente documento. Más específicamente, está claro que diferentes características que pertenecen a diferentes realizaciones pueden combinarse entre sí para obtener diferentes realizaciones. También está claro que no todas las características de una realización individual deben considerarse necesarias para obtener dicha realización. Más específicamente, en algunos casos, ciertas características pueden describirse solo con el fin de aclarar la operación específica de la realización que se está describiendo, aunque no son estrictamente necesarias para la implementación de la invención. Asimismo, las características individuales de una primera y de una segunda realización pueden combinarse entre sí de tal manera que se cree una tercera realización de la invención sin requerir la presencia de todas las demás características de la primera y de la segunda realización.

25

30

En términos generales, la invención se refiere a un procedimiento de control que hace posible controlar el inyector basándose en datos de medición proporcionados por un sensor de cromatografía de gases. Tal control plantea dificultades inherentes debido a la correlación entre los datos de entrada, es decir, la salida del sensor y los datos de salida, es decir, la entrada del inyector. En otras palabras, es difícil optimizar la introducción del odorante basándose en un modelo físico-analítico capaz de describir correctamente la física del problema y, por tanto, de predecir/optimizar la operación. También existe otra dificultad relacionada con la necesidad de medir el compuesto odorante continuamente con suficiente precisión.

35

40

De nuevo, en términos generales, la invención hace posible calcular la posición ideal de los sensores para diferentes tipos de red de gas natural.

45

En términos generales, la invención resuelve estos problemas midiendo una pluralidad de entradas que, por ejemplo, pueden comprender:

- presión de gas en varios puntos de la red
- caudal volumétrico de gas en varios puntos de la red
- concentración de compuestos en varios puntos de la red

50

e introducir estos valores en un modelo físico-matemático, de tal manera que se optimice una determinada función objetivo, por ejemplo, la cantidad de odorante que se introducirá en la red y/o los puntos de inyección específicos. Este modelo físico-matemático permite por tanto definir los puntos donde deben colocarse los sensores. Una vez colocados los sensores, la invención proporciona una estrategia de control basada en un modelo dinámico simplificado que representa la red, un ejemplo del cual puede ser un control de retroalimentación PID, proporcional-integral-derivativo, es decir, un sistema de retroalimentación negativa.

55

La figura 1 muestra una vista esquemática de un diagrama de flujo que ilustra una primera realización de la invención. En términos generales, esta primera realización hace posible calcular, basándose en la estructura física de la red de gas natural 2000, la posición ideal de los sensores para medir un gas odorante. La figura 2 muestra una vista esquemática de una red de gas natural 2000. La red de gas natural 2000 comprende una pluralidad de nodos 2101-2105 y de tuberías 2201-2206.

60

Como puede observarse en la figura 1, el método 1000 comprende una primera etapa 1010 de adquisición de datos que representan el estado físico de la red de gas natural 2000.

65

Los datos adquiridos pueden comprender, específicamente, uno o más entre:

- datos topográficos de los nodos de red 2101-2105, por ejemplo, su posición en el espacio,
- datos geométricos de las tuberías 2201-2206, por ejemplo, diámetro, longitud y rugosidad,
- 5 - condiciones de carga tales como, por ejemplo, uno o más entre los puntos de entrada de gas natural, puntos de salida de gas natural, los valores máximos de salida y la entrada de los niveles de presión en las estaciones de control, lo que significa que la presión de salida en las estaciones se asigna como condición límite del modelo,
- factor de cobertura de los sensores de medición con respecto a las áreas críticas definidas en función del tiempo de residencia del gas natural dentro de las tuberías 2201-2206.

10 Más específicamente, la concentración de uno o más gases odorantes se puede medir por medio de un sensor de cromatografía de gases.

15 Algunos de los datos, en particular los relacionados con la presión, caudal y concentración, se puede medir en uno o más puntos de la red de gas natural 2000. Por lo tanto, será posible combinar diferentes valores medidos en diferentes puntos en relación con el mismo tipo de datos.

La etapa 1020 consiste en la simulación de la red de gas natural 2000.

20 En general, en algunas realizaciones, la red 2000 se puede simular a través de un modelo dinámico de fluido simplificado, cuyas condiciones límite representan diferentes condiciones de carga, por ejemplo:

- las condiciones nocturnas y diurnas en verano,
- las condiciones nocturnas y diurnas en invierno,
- 25 - condiciones intermedias.

El modelo de simulación se basa generalmente en la conservación de la masa aplicada a los nodos 2101-2105 de la red 2000 y el balance de momento aplicado a las tuberías 2201-2206. Asimismo, también es posible aplicar algunas hipótesis relacionadas con las condiciones que se están examinando, por ejemplo, la suposición de isothermalidad del gas en la red y la suposición de idealidad del gas para la mezcla simulada.

En algunas realizaciones, la etapa de simulación 1020 puede comprender una simulación Monte Carlo de la estructura de la red 2000.

35 Asimismo, en algunas realizaciones, la etapa de simulación 1020 puede comprender el cálculo del tiempo de viaje promedio para cada par de nodos de red 2201-2206. En función de estos datos, es posible definir áreas críticas, tales como aquellas áreas donde el tiempo de viaje promedio del gas natural excede un valor predefinido, por ejemplo, es más de 8 horas, más preferentemente más de 24 horas.

40 En particular, para un par dado de nodos, por ejemplo 2102 y 2103, puede haber varias rutas, a su vez compuestas por varias tuberías, en este ejemplo, la ruta a través de la tubería 2201, la ruta a través de las tuberías 2203 y 2202, y la ruta a través de las tuberías 2204, 2205 y 2206. Por tanto, el cálculo del tiempo de viaje promedio para el par de nodos 2102 y 2103 se realiza considerando todas las rutas posibles, usando los caudales individuales de cada ruta como peso. En algunas realizaciones, este análisis se puede hacer para todas las condiciones de carga, con una simulación Monte Carlo, de tal manera que se obtenga una distribución de tiempos de viaje promedio entre los dos nodos. A partir de esta distribución es posible establecer el tiempo promedio característico entre el par de nodos.

El cálculo del tiempo de viaje promedio se repite preferentemente para todos los pares de nodos de la red 2000, de tal manera que se identifiquen los nodos críticos en términos de tiempo de viaje más largo.

50 La figura 3 muestra una vista esquemática de una parte de la red de gas natural 2000 que se usará para un ejemplo de un método de cálculo del tiempo de viaje promedio. En una primera etapa, se seleccionan los primeros valores de prueba para los caudales de cada tubería 2201-2203 y para la presión en los nodos 2101-2103. En la primera iteración, se supone que las presiones en los nodos 2101-2103 son las mismas que la presión en el nodo 2101, mientras que los caudales son tales que garantizan la conservación de la masa en la red, siendo conocidas las cargas.

En una segunda etapa, las caídas de presión se linealizan. Como puede verse en la siguiente ecuación 1

Ec. 1) 
$$\frac{\partial \Delta P_i}{\partial m_i} = \frac{f_i |m_i| L_i}{D_i \frac{PM}{RT} A_i^2 P_{i, fuera}}$$

60 las caídas de presión en la tubería dependen de manera no lineal del caudal. En la ecuación 1), los símbolos se definen como sigue:

- $\Delta P$  = caída de presión
- 65 -  $P$  = presión

- m = caudal másico
- f = factor de fricción
- L = longitud de tubería
- D = diámetro de tubería
- 5 - P = presión de referencia para la tubería
- M = masa molar del gas en tránsito
- R = constante de gas universal
- T = temperatura de referencia para la tubería bajo el supuesto de isothermalidad
- A = sección transversal de tubería
- 10 - Pfuera = presión en la salida de la tubería

y donde el subíndice "i" indica la i-ésima tubería.

15 Para resolver el sistema compuesto por los balances de masa en los nodos 2101-2103, definido por la ecuación 2

$$\text{Ec. 2)} \quad \sum_{n=1}^{N_{p,n}} m_{i,n} = L_n$$

donde  $L_n$  es la carga en el nodo n, y los balances de momento en las tuberías 2201-2203, definido por la ecuación 3

$$20 \quad \text{Ec. 3)} \quad P_{i,\text{fuera}} = \sqrt{P_{i,\text{dentro}}^2 - \frac{f_i |m_i| L_i}{D_i \frac{PM}{RT} A_i^2}}$$

ecuación 4) que define las caídas de presión

$$25 \quad \text{Ec. 4)} \quad \Delta P_i = P_{i,\text{dentro}} - P_{i,\text{fuera}}$$

se linealiza y el sistema se resuelve con un método iterativo, en la ecuación 5) el índice k indica la iteración:

$$\text{Ec. 5)} \quad \Delta P_i^{k+1} = \Delta P_i^k + \left. \frac{\partial \Delta P_i}{\partial m_i} \right|_k (m_i^{k+1} - m_i^k)$$

30 Como se muestra en la ecuación anterior, la linealización se obtiene usando una expansión en serie de Taylor truncada en el primer orden. La derivada de las caídas de presión en función del caudal puede calcularse analíticamente usando la ecuación anterior.

35 En una tercera etapa se resuelve el sistema lineal. Una vez que se han linealizado los equilibrios de momento en las tuberías 2201-2203, es posible resolver el sistema lineal usando la descomposición LU.

En una cuarta etapa se verifica la convergencia de la solución. La convergencia de la solución se puede verificar comparando la solución a la iteración anterior con la nueva solución. Si las dos soluciones son similares, el sistema es convergente. Si las dos soluciones son diferentes, el proceso iterativo se reanuda a partir de la segunda etapa.

40 A continuación se proporciona un ejemplo de aplicación de las etapas descritas anteriormente para el cálculo del tiempo de viaje promedio.

45 La siguiente tabla especifica los datos geométricos de la tubería, por ejemplo, para las tuberías 2201-2203, como entrada en la etapa de adquisición de datos 1010:

	Diámetro [mm]	Longitud [m]	Rugosidad [mm]
Tubería 2201	100	300	0,3
Tubería 2202	125	400	0,3
Tubería 2203	75	500	0,3

Las cargas aplicadas a los nodos 2101-2103, por ejemplo, se especifican en la siguiente tabla:

	Carga [Nm <sup>3</sup> /h]
Nodo 2101	0
Nodo 2102	2124

## ES 2 986 135 T3

(continuación)

	Carga [Nm <sup>3</sup> /h]
Nodo 2103	3158

Se supone que la presión en el nodo 2101 es igual a 400 kPa (4 bares) y las propiedades del gas son las propiedades promedio del gas natural presente en Italia.

5 Iteración 0: se suponen los siguientes caudales y presiones para la primera iteración:

	Caudal [Nm <sup>3</sup> /h]	Nodo	Presión kPa [bar]
Tubería 2201	1760,67	2101	400 [4]
Tubería 2202	1760,67	2102	400 [4]
Tubería 2203	1760,67	2103	400 [4]

10 En algunas realizaciones, los valores iniciales se seleccionan distribuyendo la carga establecida como condición límite en las tuberías. Esto da una estimación inicial, lo que obviamente no tiene en cuenta las caídas de presión, pero hace posible satisfacer el balance de masas y acelera la convergencia del solucionador iterativo.

Con estas condiciones iniciales, se obtienen los siguientes valores para la derivada y las caídas de presión:

	Derivada [barh/Nm <sup>3</sup> ]	Caídas de presión kPa [bar]
Tubería 2201	0,00027589	23,7 [0,237]
Tubería 2202	0,00011072	9,6 [0,096]
Tubería 2203	0,00369924	228,1 [2,281]

15 que conducen a la siguiente solución al sistema lineal:

	Caudal [Nm <sup>3</sup> /h]	Nodo	Presión kPa [bar]
Tubería 2201	-764,84	2101	400 [4]
Tubería 2202	3922,84	2102	315,2 [3,152]
Tubería 2203	1359,16	2103	361,2 [3,612]

20 Al comparar la tabla anterior con la supuesta en la iteración 0, es posible concluir que las dos soluciones son diferentes y, por lo tanto, es necesario proceder con una nueva iteración.

Iteración 1: los valores iniciales de esta iteración son los resultados dados en la última tabla de la iteración 0, que generan los siguientes valores para derivada y caídas de presión:

	Derivada [barh/Nm <sup>3</sup> ]	Caídas de presión kPa [bar]
Tubería 2201	0	-5,2 [-0,052]
Tubería 2202	0	49,5 [0,495]
Tubería 2203	0,002	119,1 [1,191]

25 Usando estos valores para resolver el sistema lineal, se obtiene lo siguiente:

	Caudal [Nm <sup>3</sup> /h]	Nodo	Presión kPa [bar]
Tubería 2201	-1029,59	2101	400 [4]
Tubería 2202	4187,59	2102	329,4 [3,294]
Tubería 2203	1094,41	2103	338,3 [3,383]

30 Comparando la solución de la iteración anterior con la de la actual, es posible observar una diferencia del orden de 300 Nm<sup>3</sup>/h para los caudales y de 30 kPa (0,3 bares) para las presiones. Estas diferencias superan un nivel umbral, por lo tanto, es necesario continuar con una iteración adicional.

35 Para determinar cuándo puede considerarse aceptable la diferencia entre las soluciones de iteraciones sucesivas, se puede usar un patrón realista de valores umbral. En algunas realizaciones de la invención, los valores umbral se pueden seleccionar como:

- umbral para el cálculo del valor de  $\Delta P$  entre dos etapas inferior al 1 %, más preferentemente inferior al 0,5 % e incluso más preferentemente inferior o igual al 0,1 %
- 40 - umbral para el caudal, entre dos etapas, preferentemente inferior a 10<sup>-5</sup>, más preferentemente inferior a 10<sup>-6</sup>
- umbral para el vector total, entre dos etapas, preferentemente inferior a 10<sup>-6</sup>, más preferentemente inferior a 10<sup>-7</sup>.

Cuando se cumplen todos los criterios de convergencia, el ciclo puede abandonarse y el sistema iterativo se considera resuelto.

5 Iteración 2: los nuevos valores para las derivadas y las caídas de presión son los siguientes:

	Derivada [barh/Nm <sup>3</sup> ]	Caídas de presión kPa [bar]
Tubería 2201	0	-9,1 [-0,091]
Tubería 2202	0	56,8 [0,568]
Tubería 2203	0,001	73,5 [0,735]

Usando estos valores para resolver el sistema lineal, se obtiene lo siguiente:

	Caudal [Nm <sup>3</sup> /h]	Nombre	Presión kPa [bar]
Tubería 2201	-1069,43	2101	400 [4]
Tubería 2202	4227,43	2102	327,1 [3,271]
Tubería 2203	1054,56	2103	336,8 [3,368]

10 Después de esta segunda iteración, la diferencia relacionada con los caudales se ha reducido a aproximadamente 40 Nm<sup>3</sup>/h, mientras que la diferencia relacionada con las presiones a 3 kPa (0,03 bares). Este valor aún supera el valor umbral predeterminado para este caso de ejemplificación y, por tanto, es necesario continuar con una nueva iteración.

15 Iteración 3: los resultados de la iteración anterior dan los siguientes valores de caudal y caída de presión:

Nombre	Derivada [barh/Nm <sup>3</sup> ]	Caída de presión kPa [bar]
Tubería 2201	0	-9,8 [-0,098]
Tubería 2202	0	57,9 [0,579]
Tubería 2203	0,001	67,9 [0,679]

Usando estos valores para resolver el sistema lineal, se obtiene lo siguiente:

	Caudal [Nm <sup>3</sup> /h]	Nodo	Presión kPa [bar]
Tubería 2201	-1070,03	2101	400 [4]
Tubería 2202	4228,03	2102	327,1 [3,271]
Tubería 2203	1053,97	2103	336,8 [3,368]

20 Después de la tercera iteración, la diferencia relacionada con los caudales se ha reducido a aproximadamente 1 Nm<sup>3</sup>/hora, mientras que la diferencia relacionada con las presiones es cero. Por lo tanto, se puede concluir que la solución es convergente, ya que ambas diferencias están por debajo de sus respectivos valores umbral.

25 La solución obtenida y la cinética de descomposición especificadas en la siguiente ecuación:

$$\text{Ec. 6} \quad X_{i,\text{fuera}} = X_{i,\text{dentro}} \left( 1 - K \frac{A_i L_i}{m_i} \frac{P_i P M}{RT} \right)$$

30 usando un valor K igual a 10 1/h hacen posible calcular la concentración de odorante en los nodos. En realizaciones de la invención, el valor K se puede seleccionar dentro del intervalo entre 10 y 1000000.

El resultado se da en la siguiente tabla:

Nodo	mg/Nm <sup>3</sup>
2101	10
2102	9,76
2103	9,89

35 A partir de este análisis proporcionado a modo de ejemplo, se puede concluir que los dos nodos 2102 y 2103 tienen una concentración de odorante diferente de 10 mg/Nm<sup>3</sup>, debido a los diferentes tiempos de viaje promedio.

Sobre la base de la concentración transportada, por tanto, es posible calcular el tiempo promedio entre todos los pares de nodos de acuerdo con la ecuación 7):

40

$$\text{Ec. 7) } x_{\text{nodo}_i} = x_{\text{punto\_entrada}} * (1 - k * t^{(-\alpha)})$$

donde

- $x_{nodo_i}$  es la concentración en la cantidad transportada en el  $i$ -ésimo nodo;
- $x_{punto\_entrada}$  es la concentración en la cantidad introducida en el punto de entrada, por lo tanto conocido;
- $k$  es un parámetro que indica la pendiente de la curva de descomposición, un parámetro conocido;
- $t$  es el tiempo de viaje promedio entre los dos nodos bajo examen, que se obtiene por tanto a partir de la ecuación 7) invirtiéndola;
- $\alpha$  es un parámetro de descomposición establecido, en este caso  $= 1$ .

De esta forma, por tanto, es posible calcular el tiempo de viaje entre cualquier par de nodos. Como se ha explicado anteriormente, promediando los tiempos de viaje basándose en los caudales, es posible obtener el tiempo de viaje promedio entre dos nodos 2101-2015.

De esta manera, es posible definir las áreas más críticas para colocar los sensores. Una vez colocados los sensores, es posible usar el valor medido por los sensores para ajustar la cantidad de odorante que se va a introducir de acuerdo con la retroalimentación, teniendo en cuenta la dinámica del sistema.

En varios países, el gestor de la red de gas natural 2000 tiene la obligación de mantener la concentración de odorante dentro de un intervalo predeterminado. En el caso ilustrado a modo de ejemplo, el intervalo puede tener un valor mínimo de  $10 \text{ mg/Nm}^3$ . Por tanto, es necesario seleccionar la posición de los sensores de gas odorante de tal manera que se asegure que el gas odorante se mantenga dentro del intervalo predeterminado.

La etapa 1030 consiste en el cálculo de la posición de los sensores de gas odorante dentro de la red de gas natural 2000, basándose en los resultados obtenidos de la etapa 1020.

Por lo general, como se ha descrito anteriormente, la etapa 1020 proporciona una evaluación del tiempo de viaje promedio del gas natural entre varios pares de nodos 2101-2105, de tal manera que se identifiquen las tuberías 2201-2206 donde el tiempo de viaje promedio del gas supera un valor preestablecido.

Más específicamente, una vez que se han calculado los tiempos de viaje, como se ha ilustrado anteriormente, es posible colocar los sensores de cromatografía de gases para cubrir la red de acuerdo con un factor de cobertura proporcionado como entrada.

El procedimiento es, por tanto, el siguiente:

- definir un factor de cobertura, por ejemplo, igual al 90 % y preferentemente superior al 75 %;
  - calcular las áreas críticas de acuerdo con un valor de tiempo de tránsito umbral, por ejemplo, 8 horas. En algunas realizaciones, esto es posible gracias a los datos topográficos de red recibidos, complementado por la geolocalización de los nodos y las tuberías;
  - una vez que las áreas geográficas críticas, definidas como aquellas áreas con tiempo de viaje promedio por encima del valor umbral, han sido identificadas, el número y la posición de los sensores se calculan basándose en el radio de cobertura de un sensor, que en el caso de la tecnología disponible en el mercado puede ser, por ejemplo, 0,5 km;
- de esta manera se obtienen el número y la posición de los sensores diseñados para medir el valor de odorante con una frecuencia predeterminada.

Queda claro que, para definir la configuración más adecuada para reducir los tiempos de tránsito y, por lo tanto, las criticidades, la simulación también se puede realizar con diferentes condiciones. De esta forma, la invención hace posible optimizar el nivel de odorante en la red a través de un diseño de la red y un control de retroalimentación.

Por tanto, la invención hace posible implementar un método de control para inyectores diseñados para inyectar gas odorante en la red de gas natural 2000. En particular, como se ha descrito anteriormente, es posible calcular la posición de los sensores para medir un gas odorante procediendo como se ha descrito anteriormente. Una vez que se ha calculado la posición ideal de los sensores, es posible colocar los sensores de acuerdo con los resultados del cálculo de posición. Por último, es posible proceder a un control de retroalimentación de los inyectores de gas odorante, usando los valores de gas odorante medidos por dichos sensores como entrada.

Gracias a este método, por tanto, es posible garantizar que la cantidad de gas odorante estará dentro del intervalo de valores preestablecidos en toda la red de gas natural 2000, independientemente de la configuración de la red.

Aunque la invención se ha descrito con referencia a ciertas realizaciones, cada una comprendiendo una o más características específicas, está claro que la invención no debe considerarse limitada a dichas realizaciones y que pueden obtenerse realizaciones alternativas combinando una o más características de las realizaciones descritas y que caen bajo las reivindicaciones adjuntas.

**REIVINDICACIONES**

1. Método de cálculo (1000) para el posicionamiento de sensores diseñados para medir un gas odorante en una red de gas natural (2000), incluyendo las etapas de:

5 adquisición (1010) de datos que representan el estado físico de la red de gas natural (2000), simulación (1020) de la red de gas natural (2000), cálculo (1030) para el posicionamiento de sensores de gas odorante **caracterizado por que** la red de gas natural (2000) comprende una pluralidad de nodos de red (2101-2105) y una pluralidad de tuberías (2201-2206) y la etapa de simulación (1020) incluye el cálculo del tiempo de viaje promedio para cada par de nodos (2201-2206).

2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, **en donde** la etapa de adquisición de datos (1010) incluye la adquisición de uno o más entre:

15 - datos topográficos de nodos de red (2101-2105),  
 - datos geométricos de las tuberías (2201-2206),  
 - condiciones de carga,  
 - factor de cobertura de los sensores de medición con respecto a las áreas críticas definidas en función del tiempo de residencia del gas natural dentro de las tuberías (2201-2206).

3. Método de acuerdo con la reivindicación 2, **en donde** las condiciones de carga incluyen uno o más entre los puntos de entrada de gas natural, puntos de salida de gas natural, valores máximos de salida y la entrada de los niveles de presión en las estaciones de control.

25 4. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **en donde** la etapa de simulación (1020) incluye una simulación Monte Carlo de la estructura de la red de gas natural (2000).

5. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **en donde** el cálculo del tiempo de viaje promedio incluye el cálculo de la caída de presión en una i-ésima tubería de acuerdo con la ecuación

30

$$\text{Ec. 1) } \frac{\partial \Delta P_i}{\partial m_i} = \frac{f_i |m_i| L_i}{D_i \frac{PM}{RT} A_i^2 P_{i,fuera}}$$

donde

35

- ΔP = caída de presión
- P = presión
- m= caudal másico
- f = factor de fricción
- 40 L = longitud de tubería
- D = diámetro de tubería
- P = presión de referencia para la tubería
- M = masa molar del gas en tránsito
- R = constante de gas universal
- 45 T = temperatura de referencia para la tubería bajo el supuesto de isothermalidad
- A = sección transversal de tubería
- Pfuera = presión en la salida de la tubería
- y donde el subíndice "i" indica la i-ésima tubería.

50 6. Método para controlar inyectores de gas odorante en una red de gas natural (2000), incluyendo las etapas de:

- cálculo para el posicionamiento de sensores para medir un gas odorante de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores,  
 - posicionamiento de los sensores de acuerdo con el resultado del cálculo de posición,  
 55 - control de retroalimentación de los inyectores de gas odorante usando los valores de gas odorante medidos por dichos sensores como entrada.

Fig. 1

1000

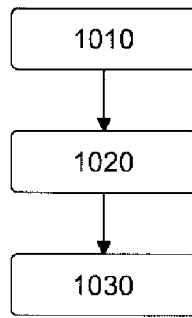
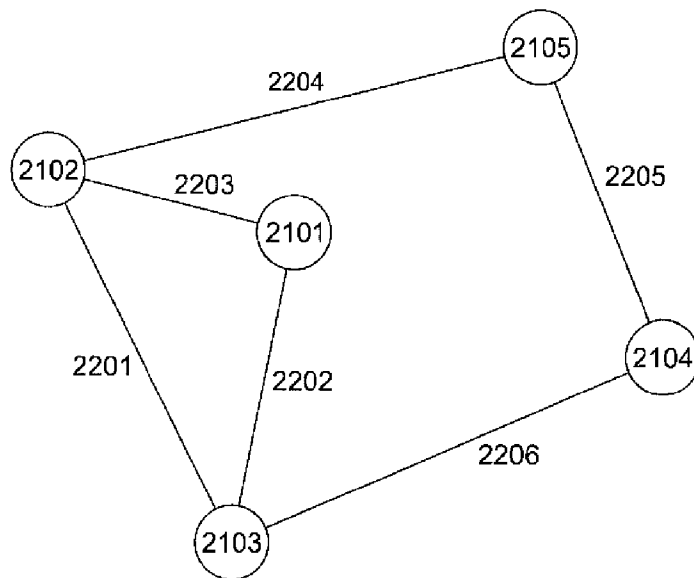


Fig. 2

2000



*Fig. 3*

4000  
↙

