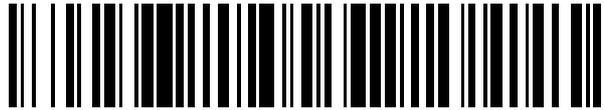


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 687 548**

51 Int. Cl.:

G01M 3/04	(2006.01)
F17D 5/02	(2006.01)
G06F 17/18	(2006.01)
G01N 21/3504	(2014.01)
G01M 3/20	(2006.01)
G01N 33/00	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **18.10.2013 PCT/US2013/065709**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **24.04.2014 WO14063069**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.10.2013 E 13847836 (7)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.07.2018 EP 2909598**

54 Título: **Procedimientos para la detección y la localización de fugas de gas en zonas pobladas mediante análisis horizontal**

30 Prioridad:

19.10.2012 US 201213656080

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

25.10.2018

73 Titular/es:

**PICARRO, INC. (100.0%)
3105 Patrick Henry Drive
Santa Clara, CA 95054, US**

72 Inventor/es:

**RELLA, CHRIS, W.;
CROSSON, ERIC, R.;
WOELK, MICHAEL, R. y
TAN, SZE, MENG**

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 687 548 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

Procedimientos para la detección y la localización de fugas de gas en zonas pobladas mediante análisis horizontal

5 CAMPO DE LA INVENCIÓN

La presente invención se refiere a la detección de fugas de gas.

ANTECEDENTES

10

La detección de fugas de gas es un problema práctico importante. En muchos casos, es deseable buscar rápidamente fugas de gas en una región extensa. Un enfoque que se ha considerado para dichas aplicaciones es montar un instrumento de detección de fugas de gas en un vehículo en movimiento, p. ej., como se considera en los documentos US 3.107.517, US 3.444.721 y US 4.164.138.

15

US 2006/203248 describe un sistema que es adecuado para el uso en la determinación de la ubicación de fugas de gases con una concentración de fondo. El sistema es un sistema de medición de gas de absorción de retrodispersión por puntos que mide la absorción y la distancia a cada punto de una imagen. La medición de absorción proporciona una indicación de la cantidad total de un gas de interés, y la distancia proporciona un cálculo de la concentración de gas de fondo.

20

US 6.750.453 se refiere a una fuente que dirige una luz modulada de banda ancha hacia una región de la atmósfera libre en la que puede estar presente el gas objetivo. Un radiómetro de correlación de gas responde a la luz transmitida a través de la región. Los canales separados del radiómetro responden a un único rayo de luz después de su transmisión a través de la región. Un divisor de rayos separa el rayo en dos rayos, uno dirigido a cada uno de los canales. Los dos canales por separado y simultáneamente responden a uno de los rayos de luz respectivo para generar por separado y simultáneamente señales que juntas indican si el gas objetivo está en la atmósfera libre.

25

US 2007/061114 se refiere a un procedimiento para determinar si un punto de medición, medido mediante un sistema LIDAR (DIAL) de absorción diferencial, representa un punto de penacho o un punto sin penacho. Se determinan las longitudes del trayecto de concentración (CPL) para múltiples puntos de medición. Se proporciona un CPL sin penacho promedio, CPL. Para cada punto de medición, se calcula una desviación estándar, CPLsd, basada en la propagación de errores de primer orden y se determina que el punto de medición representa un punto sin penacho cuando se cumple la regla de decisión de Hooshmand (HDR).

35

US7704746 se refiere a procedimientos para la medición de las fugas de dióxido de carbono de los depósitos de retención. En las formaciones geológicas se inyectan las fracciones trazadoras junto con el dióxido de carbono. Las fugas se controlan mediante análisis cromatográficos de gas de los absorbentes. También se describe un proceso para la detección temprana de posibles fugas de dióxido de carbono de los depósitos de retención mediante la medición de las tasas de fuga de metano (CH₄), etano (C₂H₆), propano (C₃H₈) y/o radón (Rn) de los depósitos. También se describe un procedimiento para marcar el dióxido de carbono retenido utilizando trazadores de perfluorocarbono (PFT) para demostrar su propiedad.

40

WO2009134692 describe el gas con isótopos estables que se monitorea continuamente mediante un sistema que envía un rayo láser modulado al gas y recoge y transmite la luz no absorbida por el gas a un detector. El gas del almacenamiento geológico o de la atmósfera puede ser monitoreado continuamente sin necesidad de recolectar muestras y transportarlas a un laboratorio.

45

WO2009156437 se refiere a un procedimiento de control remoto de una zona seleccionada de la atmósfera para detectar la presencia de emisiones a la atmósfera que comprende mover una plataforma móvil, como una aeronave, que transporta un sensor de componentes atmosféricos en un patrón por encima y en las proximidades de la zona seleccionada, medir la concentración de un componente de la atmósfera en uno o más puntos a lo largo del patrón con el sensor de componentes atmosféricos para obtener datos de concentración, obtener datos complementarios y utilizar una técnica de dispersión inversa, que utiliza los datos de concentración con los datos complementarios para detectar y localizar una o más fuentes de emisiones y determinar las tasas de liberación de masa emitidas y/o los flujos superficiales.

50

55

Sin embargo, los enfoques convencionales para la detección de fugas de gas móvil presentan desventajas significativas. Típicamente, estas desventajas incluyen una o más de las siguientes: 1) dificultad para distinguir una fuga del fondo, 2) dificultad para distinguir una fuga de otras posibles fuentes de gas medidas y 3) falta de una distancia calculada a la fuente de fuga. En consecuencia, sería un avance en la técnica superar estas dificultades.

60

RESUMEN

Los presentes principios proporcionan un procedimiento de detección y localización de fugas de gas, tal como se define en la reivindicación 1. En las reivindicaciones dependientes se definen características ventajosas.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

- 10 **Las figuras 1a-b** muestran esquemáticamente un análisis horizontal de acuerdo con las realizaciones de la invención.
- La figura 2** muestra esquemáticamente un instrumento de absorción óptica ejemplar adecuado para el uso con las realizaciones de la invención.
- Las figuras 3a-b** muestran resultados de análisis isotópicos de una realización de la invención.
- 15 **La figura 4** muestra un enfoque de manejo de gas adecuado para su uso en relación con las mediciones de la relación isotópica.
- Las figuras 5a-c** muestran esquemáticamente mediciones de varios puntos de acuerdo con las realizaciones de la invención.
- Las figuras 6a-c** muestran esquemáticamente algunos enfoques de manejo de gas adecuados para mediciones de varios puntos.
- 20 **La figura 7** muestra una pantalla de interfaz de usuario ejemplar relacionada con las realizaciones de la invención.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

- 25 Resulta conveniente definir una fuga de gas como cualquier situación en la que el gas está presente en el ambiente en concentraciones por encima del fondo. Las fugas de gas, tal como se definen, incluyen, entre otras: fugas de los sistemas de transporte de tuberías de gas (p. ej., fugas de gas natural), fugas de las instalaciones de procesamiento o manipulación de gas, y emisiones de fuentes de gas al ambiente (p. ej., contaminación, emisión de gas de los vertederos, etc.).
- 30 Un modelo de penacho de gas es cualquier modelo matemático que relaciona la concentración de gas con la posición en el espacio.

A) Análisis horizontal

35 **A1) Principios**

Las figuras 1a-b muestran un ejemplo de análisis de escala espacial horizontal de acuerdo con las realizaciones de la invención. Una plataforma en movimiento 102 avanza a lo largo de al menos un carril de la plataforma 106. La plataforma 102 puede ser cualquier vehículo, tal como un automóvil, un camión, una camioneta o una bicicleta. La plataforma 102 también puede ser cualquier otra entidad móvil capaz de transportar el instrumento de medición de gas, como una persona, un animal de carga, etc. El carril de la plataforma 106 está dispuesto cerca de una o más ubicaciones de fuga de gas potenciales (p. ej., 108a, 108b). Para simplificar, el carril de la plataforma se muestra como un único segmento de línea, pero en la práctica el carril de la plataforma puede ser cualquier combinación de curvas y segmentos de línea. En este ejemplo, una fuga en la ubicación 108a emite un penacho de gas 110 que se intersecta con el carril de la plataforma 106. Un instrumento de medición de gas 104 está dispuesto en la plataforma. La práctica de la invención no depende de forma determinante de los detalles de la entrada de gas al instrumento 104. Una implementación es colocar esta entrada en la parte delantera de la plataforma tan cerca del nivel del suelo como sea posible, con uno o más puertos de entrada independientes (o una entrada difusora) que se extiendan por todo el ancho de la plataforma. Una o más mediciones primarias de concentración de gas se realizan con el instrumento 104.

Típicamente, estas mediciones primarias de concentración de gas se registran originalmente como concentración en función de tiempo. La posición de la plataforma en función de los datos de hora (p. ej., utilizando el Sistema de Posicionamiento Global (GPS)) se combina con los datos de concentración en función del tiempo para proporcionar datos de concentración en función de la posición, como se muestra esquemáticamente en la **figura 1b**. Aquí se muestra un pico 112 y un nivel de fondo 114.

La disponibilidad de los datos de concentración en función de la posición permite el análisis de escala espacial horizontal automático, que es útil para distinguir las fugas de gas de los niveles de gas de fondo. En general, el

análisis de escala espacial horizontal incluye cualquier enfoque de análisis que utilice los datos de concentración en función de la posición de la plataforma para la detección de fugas de gas. A continuación se presenta un ejemplo detallado. Obsérvese que el método del valor umbral simple (es decir, la notificación de una fuga si la concentración medida es superior a X, y la no notificación de una fuga si la concentración medida es inferior a X, donde X es algún valor umbral predeterminado) no es un ejemplo de análisis de escala espacial horizontal porque no se utilizan los datos de concentración en función de los de posición. Los resultados del análisis de escala espacial horizontal automático se pueden informar a un usuario final. A continuación se describen diversos enfoques para esta notificación. Una posibilidad es proporcionar una indicación binaria de sí/no de si hay o no una fuga.

10 El análisis de escala espacial horizontal se basa en el hecho de que las fuentes puntuales cercanas varían rápidamente con los cambios de posición a medida que la plataforma se desplaza, mientras que las fuentes distantes varían más lentamente, debido a la mayor extensión espacial del penacho de emisión. En otras palabras, se generan picos estrechos de concentración de algunos metros de ancho muy cerca de la plataforma. La estrecha extensión espacial se utiliza para sesgar las fuentes cercanas en el proceso de identificación de fugas. Existen diversos algoritmos posibles para realizar el análisis de escala espacial horizontal, incluidos, entre otros:

15 Búsqueda de picos y análisis de ancho, los datos se pueden analizar utilizando procedimientos estándar de ubicación de picos, y luego cada pico identificado se puede ajustar posteriormente (mediante optimización lineal o no lineal) en cuanto al centro y el ancho. La forma funcional utilizada para esta etapa de ajuste podría ser un pulso gaussiano (un gaussiano es la forma funcional esperada que adoptan los penachos que se propagan a través de la atmósfera) o la convolución de un gaussiano y la respuesta del sistema (que es típicamente un gaussiano estrecho convolucionado con una cola exponencial).

20 Análisis de ondulación de pico espacial - este algoritmo utiliza una función especial de base de modelo (relacionada con la segunda derivada discreta de la función de respuesta general del sistema de fuente puntual) que se parametriza por su ancho o extensión espacial. Este conjunto de funciones básicas se convoluciona con los datos de medición. El análisis de ondulación de salida proporciona la posición horizontal y el ancho efectivo, que se puede relacionar a través de un modelo de penacho de gas con la distancia de la medición a la fuente de emisión.

Preferentemente, el análisis de escala espacial horizontal automático responde a los anchos medios del pico de concentración de gas en un intervalo de detección de entre aproximadamente 1 m y aproximadamente 50 m, y no responde de forma sustancial a los anchos medios del pico de concentración de gas fuera del intervalo de detección. Esta selectividad espacial ayuda a distinguir las fugas de gas de las variaciones en la concentración de gas de fondo. Por ejemplo, la concentración de fondo de gas puede variar significativamente (p. ej., por un factor de 2 o más), pero esta variación tiende a ser a lo largo de una escala de longitud espacial significativamente mayor que el intervalo de detección anterior. Cabe señalar también que estas grandes variaciones en la concentración de fondo interfieren de manera significativa con el método del valor umbral simple para encontrar fugas de gas.

Las mediciones primarias de concentración de gas se realizan preferentemente de forma rápida (por ejemplo, a una tasa de 0,2 Hz o mayor, más preferentemente 1 Hz o mayor). Esto permite el concepto de conducir una plataforma vehicular a velocidades de una calle de superficie normal (por ejemplo, 35 millas por hora) mientras se acumulan datos de concentración en función de la posición útiles. Si las mediciones de concentración de gas son demasiado lentas, la resolución espacial de los datos se reducirá de forma indeseable. Preferentemente, las mediciones de posición de la plataforma se realizan al menos tan rápidamente como las mediciones primarias de concentración de gas.

45 Otros atributos significativos de la medición de la concentración primaria incluyen:

- 1) El analito de medición primaria de gas debe estar presente en cantidades significativas para que todas las fugas sean detectadas por este procedimiento.
- 2) Los niveles de fondo típicos de este analito en el ambiente en el que se realizan estas mediciones (por ejemplo, urbano) deben ser lo suficientemente bajos como para que el cambio de concentración de las fugas detectadas pueda distinguirse claramente de las señales de fondo locales a una distancia de 10-300 metros.
- 3) Para el gas natural, el metano es el constituyente más abundante, pero otros hidrocarburos u otras especies (sulfuro de hidrógeno u otros odorantes) son analitos viables para la medición de la concentración primaria.

55 La presente invención no depende de forma determinante de la tecnología de detección de gas empleada. Cualquier enfoque de detección de gas capaz de proporcionar mediciones de concentración de gas de traza rápida puede emplearse para las mediciones primarias de concentración de gas. Uno de los enfoques de detección de gases adecuados se muestra esquemáticamente en la **figura 2**. En este caso, las mediciones primarias de concentración de gas son mediciones de la absorción óptica realizadas en una cavidad óptica resonante dispuesta en un instrumento en la plataforma móvil. Más específicamente, la **figura 2** muestra una celda de absorción 202 capaz de

contener una muestra de gas para el análisis. La celda de absorción 202 incluye una cavidad óptica definida por espejos 204, 206 y 208. Este ejemplo muestra una cavidad anular con un modo de cavidad unidireccional 208 que se propaga en el sentido de las agujas del reloj alrededor de la cavidad. Se puede utilizar cualquier otra geometría de cavidad resonante. La absorción de la cavidad puede medirse comparando la luz de salida 212 con la luz de entrada 210. Alternativamente, la absorción de la cavidad se puede medir midiendo la tasa de decaimiento de la radiación óptica emitida desde la cavidad (es decir, la espectroscopía de anillo de caída de la cavidad (CRDS)).

El análisis de escala espacial horizontal se puede combinar con el uso de trazadores (trazadores de relación isotópica y/o trazadores químicos) para proporcionar la identificación de la fuente de fuga. En la sección B abajo se proporcionan más detalles sobre los trazadores.

El análisis de escala espacial horizontal también se puede combinar con mediciones de varios puntos y el análisis tal como se describe en la sección C abajo. El análisis de escala espacial transversal automático resultante puede proporcionar un cálculo de la distancia a una fuente de fuga.

Aunque las mediciones primarias de concentración de gas se realizan mientras la plataforma está en movimiento, se pueden realizar mediciones de concentración adicionales mientras la plataforma está parada. Estas mediciones de concentración de gas estacionarias pueden ser útiles para comprobar las concentraciones de gas de fondo.

Si bien se prefieren las mediciones en tiempo real, el análisis posterior de datos con muestras más escasas (por ejemplo, mediante muestreo en el matraz de vacío y análisis posterior mediante cromatografía de gases u otros procedimientos) también puede ser un procedimiento viable para identificar correctamente las emisiones objetivo de otras fuentes de fondo.

Opcionalmente, el sistema puede incluir una fuente de información meteorológica atmosférica, especialmente la dirección del viento, pero también la velocidad del viento o la clase de estabilidad atmosférica, ya sea a bordo de la plataforma o en una ubicación estacionaria cercana. "Cercano" significa lo suficientemente cerca como para que las condiciones atmosféricas en la ubicación de la plataforma estén bien correlacionadas con las mediciones estacionarias.

Opcionalmente, el sistema puede incluir una cámara de vídeo integrada y un sistema de registro que se puede utilizar para rechazar fuentes potenciales basándose en las imágenes locales recogidas junto con los datos de concentración. Por ejemplo, se podría descartar un pico de emisiones medido si un vehículo propulsado por gas natural pasara cerca durante las mediciones.

El carril de la plataforma debe estar lo más cerca posible de las fuentes potenciales. Con la disminución de la distancia a la fuente de emisión: 1) La señal de concentración primaria aumentará, lo que permite una mayor confianza en la identificación de fuentes y/o una detección de fugas más sensible; 2) Se reduce el efecto del viento para ocultar las señales o desplazar la ubicación medida con respecto a la ubicación de la fuga; y 3) La extensión espacial de la señal de concentración de la fuga se hace más estrecha, lo que facilita la distinción de las señales de fondo y de los penachos de fuentes más distantes (o extendidas), que tienen señales de variación mucho más lenta.

Opcionalmente, se pueden realizar mediciones repetidas de una única ubicación para proporcionar una confirmación adicional (o rechazo) de fugas potenciales.

Opcionalmente, se pueden realizar mediciones en diferentes lados de la carretera o en diferentes carriles para proporcionar una localización más precisa de la fuente de fuga.

Opcionalmente, el presente enfoque se puede utilizar junto con otros procedimientos convencionales, como la inspección visual y/o las mediciones con medidores portátiles para detectar componentes emitidos, para refinar aún más los resultados.

Opcionalmente, las mediciones se pueden realizar a velocidad reducida, o estacionadas en o cerca de la fuente, para proporcionar información adicional sobre la ubicación y/o la atribución de la fuente.

A2) Ejemplo

La presente sección proporciona un ejemplo específico del análisis de escala espacial horizontal con relación a la detección de fugas de gas metano.

La concentración de metano se mide inicialmente en función del tiempo. Se combina con la salida del receptor GPS para obtener la concentración de metano en función de la distancia desde algún punto inicial. Se puede utilizar la interpolación para muestrear los datos en una colección de puntos separada de forma regular.

- 5 La concentración de metano varía típicamente de manera gradual con la posición y es, en gran medida, igual al nivel de fondo mundial de 1,8 partes por millón, junto con aumentos de las fuentes grandes y relativamente distantes, como vertederos y pantanos. Estos aumentos pueden aumentar el nivel de fondo en varias partes por millón. Por el contrario, una fuga típica de gas natural produce un penacho de metano que es bastante estrecho en extensión espacial. Aunque varía con las condiciones de estabilidad atmosférica, no es hasta que el penacho se ha propagado más de 100 m que su ancho medio es del orden de 20 m de tamaño.

Por lo tanto, el problema de la detección de una fuga de gas mediante el perfil espacial de la concentración de metano medida implica:

- 1) Insensibilidad a la estructura a gran escala, lo que se puede atribuir a las variaciones de fondo.
- 15 2) Detección de mejoras locales en la concentración de metano por encima del fondo, lo que consiste en picos con anchos medios en el intervalo aproximado de 1 m a 20m.
- 3) Rechazo del ruido en la medición debido a imperfecciones instrumentales.

La idea básica de este enfoque ejemplar es convolucionar la concentración de entrada en función de la distancia $f(x)$ con una colección de núcleos gaussianos

$$g(x, w) = \exp(-x^2/2w) / \sqrt{2\pi w} \quad (1)$$

para diversas escalas especificadas por el parámetro w (aquí w tiene dimensiones de longitud al cuadrado). Si definimos $L(x, w)$ como la convolución de $f(x)$ y $g(x, w)$, la segunda derivada normalizada $-w(\partial^2 L / \partial x^2)$ es sensible a las estructuras en f de grado espacial proporcional a

$$\sqrt{w}.$$

30 Por ejemplo, si $f(x)$ es un pico gaussiano de σ de ancho medio, es decir,

$$f(x) = \exp(-x^2/2\sigma^2) / (\sigma\sqrt{2\pi}),$$

descubrimos que

35

$$-w \left(\frac{\partial^2 L}{\partial x^2} \right) = \frac{w}{\sqrt{2\pi}} \left[\frac{w + \sigma^2 - x^2}{(w + \sigma^2)^{5/2}} \right] \exp \left[-\frac{x^2}{2(w + \sigma^2)} \right] \quad (2)$$

que tiene un máximo en $x = 0$ y $w = 2\sigma^2$. El valor del máximo es aproximadamente 0,385 veces la amplitud del pico original en f . Lejos del pico, esto cae suavemente a cero.

40

La base del algoritmo es calcular la superficie $-w(\partial^2 L / \partial x^2)$ y analizar el resultado para los máximos locales en x y w . Para cada máximo (\hat{x}, \hat{w}) , la posición x_0 y w_0 de ancho medio del pico correspondiente se informan como $x_0 = \hat{x}$ y

$$w_0 = \sqrt{\hat{w}/2},$$

45

y la amplitud máxima se escala a partir del valor de la superficie en el máximo. Solo se considera un intervalo de w , que corresponde a un intervalo de anchos medios máximos de entre típicamente 1 m y 20 m que corresponde con las dimensiones del penacho que se observan en la detección de fugas.

50 Diversas propiedades matemáticas permiten un cálculo más conveniente de la superficie de escala espacial anterior. Como los núcleos gaussianos cumplen

$$\partial g / \partial w = \frac{1}{2} \partial^2 g / \partial x^2 ,$$

es posible calcular la superficie como la convolución de $-2w(\partial g / \partial w)$ y la función de entrada $f(x)$. Se utiliza un número finito de valores de w en la práctica, separados geoméricamente, a saber $w \in \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ donde $w_i = \lambda^{(i-1)} w_1$ para algunos $\lambda > 1$. La derivada parcial de g con respecto a w también se puede aproximar por una diferencia finita, y las convoluciones se pueden calcular como sumas discretas.

Es posible organizar el cálculo de la superficie de escala espacial en forma de tubería, de manera que se utilice una corriente de muestras de $f(x)$ como entrada. Las convoluciones se pueden evaluar con lentitud, de modo que en cualquier etapa, solo se produzcan las muestras de la superficie que sean necesarias para determinar si un punto de la superficie es un máximo local. Una vez realizada la determinación, se descartan las muestras que ya no se necesitan, de modo que todo el cálculo se pueda realizar casi en tiempo real en una cantidad limitada de memoria.

Una vez obtenidas las ubicaciones, las amplitudes y los anchos de los picos candidatos, se puede aplicar una etapa de filtrado adicional que selecciona las amplitudes por encima de un determinado umbral (o dentro de un determinado intervalo). Tal como se describe más detalladamente en la sección D abajo, los picos restantes se pueden mostrar como indicaciones de fuga, utilizando iconos cuyos tamaños indican la amplitud del pico y cuyas posiciones en un mapa indican dónde se ubicó el pico a lo largo de la trayectoria.

20

B) Trazadores

Se ha descubierto que la identificación de la fuente se puede realizar utilizando mediciones de relación isotópica. Por ejemplo, las relaciones isotópicas de metano (δD de CH_4 (‰) con respecto al agua de mar media estándar de Viena (VSMOW) y $\delta^{13}C$ de CH_4 (‰) con respecto a la Belemnita de Viena Pee Dee (VPDB)) entran en intervalos característicos según la fuente de metano. Para el gas microbiano cercano a la superficie (p. ej., gas de pantano, gas de vertedero), estos intervalos son de aproximadamente $-350 < \delta D < -260$ y $-63 < \delta^{13}C < -40$. Para el gas microbiano subsuperficial (p. ej., sedimentos de aguas profundas y gas de deriva), estos intervalos son de aproximadamente $-250 < \delta D < -170$ y $-90 < \delta^{13}C < -60$. Para el gas termogénico (p. ej., gas natural y gas de lecho de carbón), estos intervalos son de aproximadamente $-250 < \delta D < -100$ y $-57 < \delta^{13}C < -28$. Dado que estos intervalos básicamente no se superponen, las mediciones de la relación isotópica se pueden utilizar para identificar la fuente de metano. Se espera que la identificación de la fuente de relación isotópica sea aplicable en general para las mediciones de fugas de cualquier gas.

Por lo tanto, un procedimiento de acuerdo con este aspecto de la invención comienza con mediciones primarias de concentración de gas de una plataforma móvil tal como se describió arriba (se puede realizar u omitir el análisis de escala espacial horizontal de los procedimientos descritos anteriormente). También se realizan desde la plataforma móvil una o más mediciones secundarias de la relación isotópica desde la plataforma móvil. Las mediciones secundarias de la relación isotópica se utilizan para proporcionar identificación de la fuente, mientras que las mediciones primarias de concentración de gas se utilizan para determinar la presencia/ausencia de una fuga de gas. Estos resultados se proporcionan a un usuario final.

Opcionalmente, se puede realizar el análisis de trazador químico además de los análisis de relación isotópica para la identificación de la fuente. Por ejemplo, el gas natural marcado con mercaptanos puede utilizar los mercaptanos como trazador químico para distinguir de otras fuentes de gas natural, junto con la identificación de la fuente de relación isotópica.

Los atributos significativos de las mediciones del trazador (es decir, la relación química y/o isotópica) son los siguientes:

- 1) El trazador debe estar presente en el gas emitido en una relación constante conocida con el constituyente primario para todas las fugas posibles dentro de un área de medición objetivo. Esta relación representa una "firma" de la fuente de destino.
- 2) La firma de la relación de la fuente de emisión objetivo debe ser diferente y distinguible de otras fuentes comunes del componente primario que se puede encontrar en la zona de medición objetivo.
- 3) La firma de la relación de la fuente de emisión objetivo también debe ser diferente de la firma de la relación para el fondo ambiental.

Por ejemplo, para el caso del metano como medida de concentración primaria, otras fuentes comunes de metano en un ambiente urbano son los sistemas de alcantarillado, vertederos, instalaciones de procesamiento petroquímico u

otras actividades industriales. Un ejemplo de un trazador útil para el metano es la relación isotópica estable del carbono ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) en la muestra de metano. El gas natural es un ejemplo de una fuente petrogénica de metano, que tiene una relación isotópica estable diferente a la del gas biogénico emitido por el sistema de alcantarillado, drenajes pluviales o vertederos, por ejemplo.

5

Otras especies de trazadores candidatas incluyen, entre otras, la relación isotópica estable de hidrógeno $^2\text{H}/^1\text{H}$, sulfuro de hidrógeno u otros odorantes en el gas natural; o etano, propano u otros hidrocarburos.

Opcionalmente, los trazadores múltiples proporcionan dimensionalidad adicional, lo que permite procedimientos incluso más efectivos para distinguir las fuentes objetivo de otras fuentes del componente primario.

Se puede emplear cualquier enfoque para realizar el análisis de la relación isotópica. Un enfoque preferido es realizar la identificación de la fuente de acuerdo con la intersección y de un ajuste lineal de la relación isotópica frente a la concentración inversa (conocida como gráfica de Keeling). **Las figuras 3a-b** muestran ejemplos de dichas gráficas. El ejemplo de **la figura 3a** muestra una señal típica para una detección de fuga (la intersección y difiere del nivel de fondo). El ejemplo de la **figura 3b** muestra una señal de fondo típica (la intersección y es igual al nivel de fondo).

Los principios básicos de un análisis de gráfica de Keeling son los siguientes. Para un trazador único, esta proporción variará entre el valor de fondo en el aire ambiente y un valor que se *aproxima*, pero no alcanza, la relación que se encuentra en la emisión pura, debido al hecho de que la relación observada se debe a una mezcla de gas de fondo y emisiones. Un análisis denominado gráfica de Keeling (desarrollado por Charles Keeling para el análisis del carbono 13 presente en el dióxido de carbono atmosférico) se puede utilizar para identificar claramente el fondo y la fuente, trazando la relación del trazador en función de la inversa de la concentración primaria observada. La intersección de esta gráfica es la relación del trazador de la fuente de emisión. Si este valor se puede distinguir de otras fuentes posibles, entonces se puede realizar una determinación de fuente no ambigua. En este caso, "distinguir de" significa que la intersección determinada a partir de la gráfica no difiere de la firma de la fuente esperada de manera estadísticamente significativa. Para múltiples trazadores, el método Keeling se puede extender a múltiples relaciones de trazadores.

30

Los métodos Keeling se aplican mejor cuando las mediciones de trazadores se pueden realizar en tiempo real. Para las mediciones de tipo de matraz en las que la cantidad de puntos de datos es más limitada, el método Keeling aún se puede aplicar para la determinación de la fuente, siempre que se tenga cuidado de recolectar muestras de matraces en o cerca del pico y en el punto de referenciacercano, donde los niveles de concentración han vuelto al ambiente, pero no tan lejos como para que otras fuentes de concentración primaria o el trazador afecten los resultados.

Alternativamente, se puede utilizar un enfoque por J.B. Miller y P.P. Tans (Tellus, 55B, 207-214), en donde la concentración del trazador se grafica en función de la concentración primaria y se realiza una regresión lineal en estos datos. La pendiente de la línea de mejor ajuste se utiliza para calcular la relación del trazador de la fuga de gas. Una ventaja de este método es que la incertidumbre en la concentración del trazador no suele variar con la concentración primaria, lo que permite el uso de un algoritmo de regresión lineal no ponderado más simple.

En algunos casos, se puede emplear un sistema de manejo de gas conectado con las mediciones secundarias de la relación isotópica. Por ejemplo, se puede utilizar un sistema de manejo de gas para adquirir una o más muestras y proporcionar las muestras adquiridas a un instrumento de medición de relación isotópica fuera de línea. Aquí, fuera de línea indica que las mediciones de relación isotópica son típicamente más lentas de forma significativa que las mediciones primarias de concentración de gas tal como se describió arriba. Por ende, la medición de relación isotópica está fuera de línea con respecto a la escala de tiempo de las mediciones primarias de concentración. Sin embargo, el instrumento de medición de relación isotópica está dispuesto, preferentemente, en la plataforma móvil. Las muestras de relación isotópica adquiridas se pueden analizar de forma integrada. **La figura 4** muestra un ejemplo. Aquí, un sistema de manejo de gas (406) almacena una muestra adquirida en la entrada (402) en la cámara (404), y es capaz de proporcionar el contenido de la cámara (404) al instrumento (104) (aquí el instrumento (104) es un instrumento de relación isotópica).

55

Se puede emplear cualquier enfoque para realizar las mediciones secundarias de la relación isotópica. Si también se miden trazadores químicos, se puede emplear cualquier enfoque para dichas mediciones de trazadores. Preferentemente, se emplea espectroscopía de absorción óptica tal como se describió arriba. Se pueden utilizar mediciones estacionarias además de las mediciones primarias de concentración de gas, como se describió arriba.

60

Se pueden combinar mediciones secundarias de la relación isotópica con mediciones de varios puntos y el análisis tal como se describe en la sección C abajo. El análisis de escala espacial transversal automático resultante puede proporcionar un cálculo de la distancia a una fuente de fuga.

5 C) Mediciones de varios puntos para cálculo de distancia

Hemos descubierto que las mediciones de varios puntos pueden ser útiles para proporcionar un cálculo de la distancia a la fuente de fuga. En este caso, una medición de varios puntos es cualquier medición a partir de dos o más puntos de la plataforma móvil que estén separados transversalmente entre sí. **Las figuras 5a-c** muestran un ejemplo de separación transversal. z es la dirección de desplazamiento de la plataforma, y es la dirección vertical y x es perpendicular a y y z. **La figura 5a** muestra puntos de medición separados transversalmente (502) y (504), donde la separación es enteramente en la dirección x. **La figura 5b** muestra puntos de medición separados transversalmente (502) y (504), donde la separación es parcialmente en la dirección x y parcialmente en la dirección z. Los puntos (502) y (504) en la **figura 5b** están separados transversalmente porque hay una separación diferente de cero en la dirección x. **La figura 5c** muestra puntos de medición separados transversalmente (502) y (504), donde la separación es enteramente en la dirección y. Aquí, los puntos de medición se colocan en un poste (506).

Un procedimiento de acuerdo con este aspecto de la invención comienza con mediciones primarias de concentración de gas de una plataforma móvil tal como se describió arriba (se puede realizar u omitir el análisis de escala espacial horizontal de los procedimientos descritos anteriormente). Las mediciones de varios puntos se utilizan para proporcionar un cálculo de distancia. Más específicamente, se calcula una distancia entre una posición de medición de plataforma y una ubicación de fuente de fuga, donde la posición de medición de plataforma es la posición de la plataforma en el momento en que se realizan las mediciones pertinentes. Se utiliza un análisis de escala espacial automático de las mediciones de varios puntos para proporcionar este cálculo de distancia. Los resultados, incluido el cálculo de la distancia, se pueden proporcionar al usuario final de diversas maneras. Preferentemente, los puntos de medición están separados entre sí en sentido vertical (p. ej., como en el ejemplo de la **figura 5c**). El análisis de escala espacial puede incluir proporcionar un modelo de penacho de fuga de gas e invertir este modelo para determinar una distancia de la fuente de un gradiente de concentración medido. Cabe destacar que este gradiente de concentración medido se puede determinar a partir de mediciones de varios puntos tal como se considera en la presente. Los datos atmosféricos en tiempo real se pueden incluir en el modelo de penacho de gas.

Se pueden emplear diversos enfoques de manejo de gas junto con las mediciones de varios puntos. El requisito subyacente es obtener mediciones simultáneas o casi simultáneas (es decir, preferentemente dentro de aproximadamente 5 segundos, más preferentemente dentro de aproximadamente 1 segundo). **Las figuras 6a-c** muestran ejemplos de diversas mediciones de dos puntos. Todos estos enfoques se pueden extender a mediciones de cualquier cantidad de puntos separados de forma transversal. El ejemplo de la **figura 6a** muestra dos instrumentos (104a) y (104b) que tienen las entradas (502) y (504) separadas. Esto puede proporcionar claramente mediciones simultáneas, pero tiene la desventaja de aumentar el costo al duplicar el instrumento de medición. El ejemplo de la **figura 6b** muestra un instrumento único (104) conectado a las entradas (502) y (504) a través de un interruptor (602). Si el interruptor y el instrumento son lo suficientemente rápidos, este enfoque puede proporcionar mediciones casi simultáneas en las entradas. El ejemplo de la **figura 6c** muestra un sistema de manejo de gas (604) que tiene entradas separadas (502) y (504) que es capaz de proporcionar muestras adquiridas de forma simultánea o casi simultánea a un instrumento único en la secuencia. Por ejemplo, las muestras adquiridas en las entradas (502) y (504) se pueden almacenar en las cámaras (606) y (608) respectivamente y proporcionar al instrumento (104) en la secuencia. La diferencia de tiempo entre el análisis de la cámara (606) y la cámara (608) no es importante.

Preferentemente, las mediciones primarias de concentración de gas se realizan con espectroscopía de absorción óptica como se describió arriba. También se pueden emplear mediciones de concentración de gas estacionarias como las descritas anteriormente.

C2) Ejemplo de varios puntos

Consideramos el siguiente ejemplo de uso de múltiples mediciones verticales de un penacho para cuantificar la distancia desde la medición hasta la ubicación de la fuente contra el viento. Un modelo físico claramente comprobado para un penacho, desarrollado por Gifford en 1959, es modelar el penacho como una distribución gaussiana en las dimensiones espaciales transversales a la dirección del viento, o (para una fuente a nivel del suelo)

$$C(x,y,z) = \frac{Q}{\pi V \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{z^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad (3)$$

Tal como se esperaba, las dimensiones de la distribución gaussiana aumentan horizontal y verticalmente (es decir, σ_y y σ_z , respectivamente) con el aumento de la distancia, y la cantidad que aumentan se puede calcular a partir de las mediciones de la velocidad del viento, la irradiación solar, el albedo del suelo, la humedad, y el terreno y los obstáculos, todos los cuales afectan la mezcla turbulenta de la atmósfera. Sin embargo, si se está dispuesto a tolerar algo más de incertidumbre en la estimación de la distancia, la mezcla turbulenta de la atmósfera se puede calcular simplemente a partir de la velocidad del viento, la hora del día y el grado de nubosidad, todos los cuales son parámetros que están disponibles en la plataforma o en las bases de datos meteorológicas públicas en tiempo real.

Utilizando estos datos disponibles, se pueden calcular los parámetros de ancho gaussiano (p. ej., mediante el uso del esquema de tipificación de turbulencias Pasquill-Gifford-Turner o versiones modificadas de este esquema). Por ejemplo, una forma funcional posible para σ_y y σ_z es

$$\sigma = ax/\sqrt{1+bx} ,$$

donde a y b son parámetros de ajuste y x es la distancia a lo largo del eje de penacho. Se pueden realizar ajustes separados para las direcciones y y z, o se puede utilizar el mismo ajuste para ambas direcciones.

La medición vertical de varios puntos se puede utilizar para calcular el ancho gaussiano vertical. El ancho horizontal también se puede calcular a partir del análisis de escala espacial horizontal, pero el análisis vertical tiene la ventaja de que la medida vertical del penacho no está tan fuertemente distorsionada por el movimiento de las plataformas y otras plataformas cercanas como lo está la dimensión horizontal, donde el penacho puede ser transportado horizontalmente por el movimiento de una plataforma.

Considerando el cálculo del ancho vertical gaussiano, se pueden utilizar las tablas de consulta disponibles para determinar la distancia desde la fuente considerando el ancho y la información disponible sobre la mezcla turbulenta de la atmósfera. Incluso sin mediciones atmosféricas de ningún tipo, se puede determinar un cálculo aproximado de la distancia (por ejemplo, en carretera, cerca de la carretera o lejos), lo que proporcionaría información adicional valiosa a un inspector que busque la fuente de las emisiones.

Se pueden realizar otras formas de análisis de varios puntos, como alternativa al uso de un modelo de penacho. Por ejemplo, para las fuentes de la carretera, un punto de medición en o cerca de la superficie de la carretera (por ejemplo, dentro de 25 cm) que esté cerca de la fuente de emisión verá una concentración radicalmente diferente de un punto de medición en un poste de 2-3 metros. En esta situación, el modelo de penacho gaussiano se rompe y un análisis de umbral como (altura de pico delta) / (altura de pico promedio) > t (donde el umbral t es del orden de 0,5) puede identificar de forma no ambigua dichas fuentes como locales (p. ej., en la carretera).

D) Interfaz de usuario

La figura 7 muestra una interfaz de usuario ejemplar relacionada con las realizaciones de la invención. Aquí, una pantalla de mapa (302) tiene cifras de fuga (p. ej., 704, 708, 710) superpuestas. Las cifras de fuga incluyen indicadores (p. ej., 706) que muestran la ubicación de las fugas detectadas (es decir, posiciones en la plataforma donde se midieron las concentraciones de fuga correspondientes). El tamaño de la cifra se puede escalar de acuerdo con las cantidades tales como la amplitud pico (es decir, la cantidad por la cual la concentración pico supera el fondo local), la concentración pico o el ancho espacial medido del pico. Los parámetros numéricos (tales como la amplitud, la concentración, el ancho o un grado de gravedad de la fuga dentro de una región definida, etc.) se pueden mostrar dentro de las cifras de fuga. Si se realizan mediciones de relación isotópica, también se pueden mostrar en la pantalla (p. ej., 712). Las cifras de fuga pueden tener cualquier forma. Los indicadores en las cifras de fuga pueden tener cualquier forma.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de detección y localización de fugas de gas, donde el procedimiento comprende:
 5 realizar una o más mediciones de concentración de gas a partir de un instrumento de medición de gas (104) que es transportado por un vehículo o una entidad móvil (102) que avanza a lo largo de al menos un carril de plataforma (106) dispuesto cerca de una o más ubicaciones de fuga de gas potenciales;
 realizar un análisis de escala espacial horizontal automático de las mediciones de concentración de gas;
 determinar automáticamente si hay una fuga de gas presente en una o más de las ubicaciones de fuga de
 10 gas potenciales basándose en el análisis de escala espacial horizontal automático; y
 proporcionar una indicación de fuga en las ubicaciones de fuga de gas potenciales a un usuario final;
caracterizado porque el análisis de escala espacial horizontal responde a los anchos medios del pico de concentración de gas en un intervalo de detección de entre aproximadamente 1 m y aproximadamente 50 m, y no responde de forma sustancial a los anchos medios del pico de concentración de gas fuera del intervalo de detección,
 15 donde $f(x)$ es la concentración de gas medida en función de la posición x , donde $g(x,w)$ es una función de núcleo gaussiano que tiene una escala espacial especificada por el parámetro w , donde $L(x,w)$ es una convolución de $f(x)$ y $g(x,w)$, y donde los picos de concentración de gas candidatos son identificados por el o los máximos locales de $F(x,w) = -w(\partial^2 L(x,w)/\partial w^2)$ con respecto a x y w .

20 2. El procedimiento de la reivindicación 1, donde $F(x,w)$ se calcula solo en un intervalo w que corresponde con el intervalo de detección.

3. El procedimiento de la reivindicación 1, donde la indicación de fuga se obtiene mediante la comparación de los valores de $F(x,w)$ en sus máximos locales con un umbral predeterminado.
 25

4. El procedimiento de la reivindicación 1, donde un máximo local de $F(x,w)$ tiene las coordenadas \hat{x} y \hat{w} , y donde los cálculos de posición pico y ancho correspondientes x_0 y w_0 , respectivamente, son proporcionados por $x_0 = \hat{x}$ y

30
$$w_0 = \sqrt{\hat{w}/2}.$$

5. El procedimiento de la reivindicación 1, donde las mediciones de concentración de gas se realizan a una tasa de 0,2 Hz o mayor, y además comprenden:
 35 medir la posición del vehículo o la entidad móvil (102) a una tasa de 0,2 Hz o mayor para proporcionar posiciones de plataforma medidas; y
 combinar las posiciones de vehículo o entidad móvil medidas con las mediciones de concentración de gas para proporcionar los datos de concentración de gas en función de la posición para el análisis de escala espacial horizontal automático.

40 6. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 que comprende además:
 realizar una o más mediciones de trazador a partir del instrumento de medición de gas (104) que es transportado por un vehículo o una entidad móvil (102) a medida que avanza a lo largo de al menos un carril de plataforma (106);
 donde determinar automáticamente si hay una fuga de gas presente en las ubicaciones de fuga de gas potenciales
 45 también se basa en las mediciones de trazadores.

7. El procedimiento de la reivindicación 6, donde la o las mediciones de trazadores son capaces de distinguir entre diferentes fuentes del gas medido por las mediciones de concentración de gas.

50 8. El procedimiento de la reivindicación 7, donde la o las mediciones de trazadores incluyen mediciones de relación isotópica.

9. El procedimiento de la reivindicación 1, que además comprende
 55 realizar una o más de las mediciones de concentración de gas en dos o más ubicaciones separadas transversalmente en el vehículo o una entidad móvil (102) a medida que avanza a lo largo de al menos un carril de plataforma (106);
 realizar un análisis de escala espacial transversal automático de las mediciones de concentración de gas;
 donde determinar automáticamente si hay una fuga de gas presente en las ubicaciones de fuga de gas potenciales también se basa en los análisis de escala espacial transversal automático.

10. El procedimiento de la reivindicación 1, que además comprende proporcionar una pantalla que muestra un mapa con cifras de fuga (704, 708, 710) superpuestas en el mapa para mostrar las fugas detectadas, donde las cifras de fuga (704, 708, 710) incluyen indicadores que muestran las ubicaciones de las fugas detectadas, 5 y donde los tamaños de las cifras de fuga (704, 708, 710) están escalados con una diferencia entre la concentración medida y un nivel de fondo local.
11. El procedimiento de la reivindicación 1, que además comprende proporcionar una pantalla que muestra un mapa con cifras de fuga (704, 708, 710) superpuestas en el mapa para mostrar las fugas detectadas, 10 donde las cifras de fuga (704, 708, 710) incluyen indicadores que muestran las ubicaciones de las fugas detectadas, y donde los tamaños de las cifras de fuga (704, 708, 710) están escalados con la concentración medida.
12. El procedimiento de la reivindicación 1, que además comprende proporcionar una pantalla que muestra un mapa con cifras de fuga (704, 708, 710) superpuestas en el mapa para mostrar las fugas detectadas, 15 donde los tamaños de las cifras de fuga (704, 708, 710) están escalados con el ancho espacial de las fugas medidas.

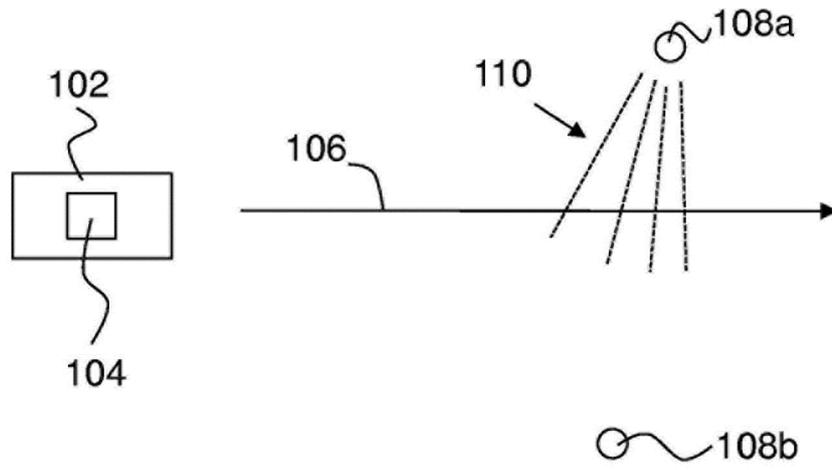


Fig. 1a

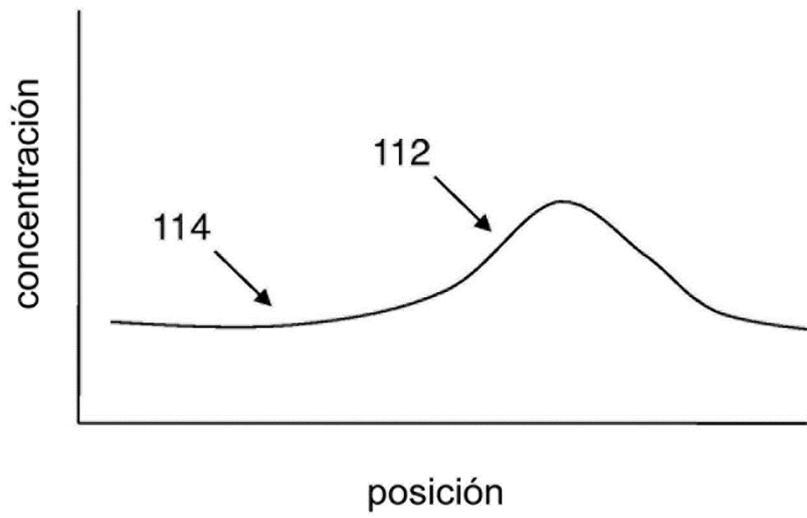


Fig. 1b

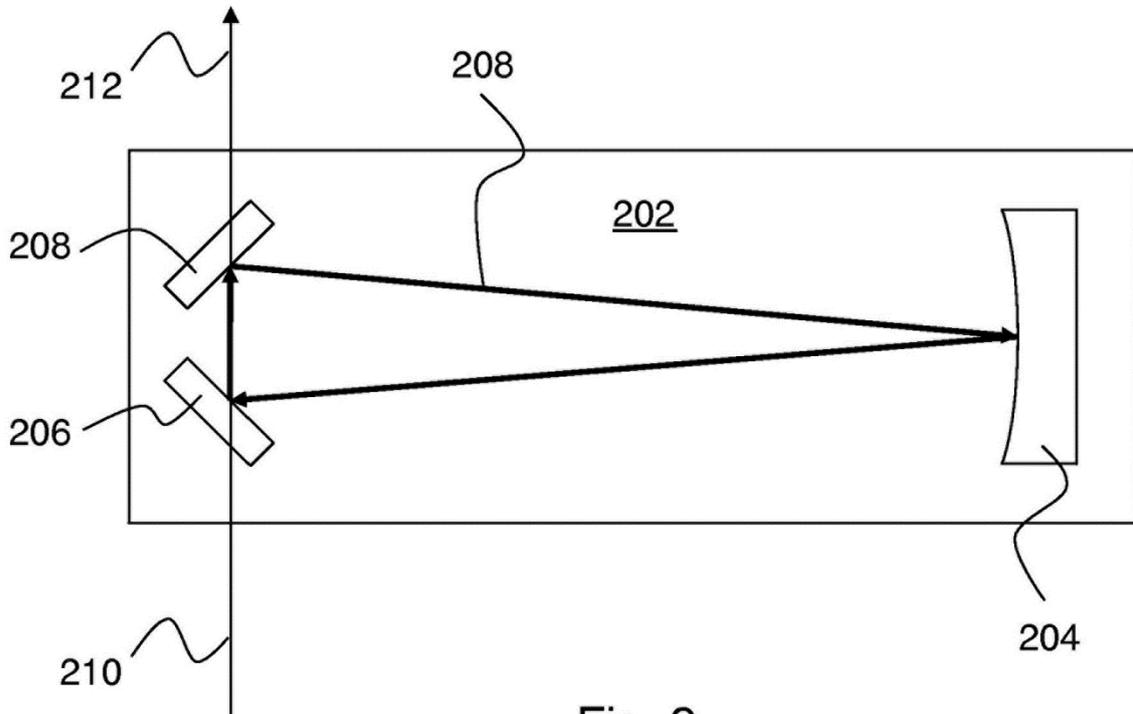


Fig. 2

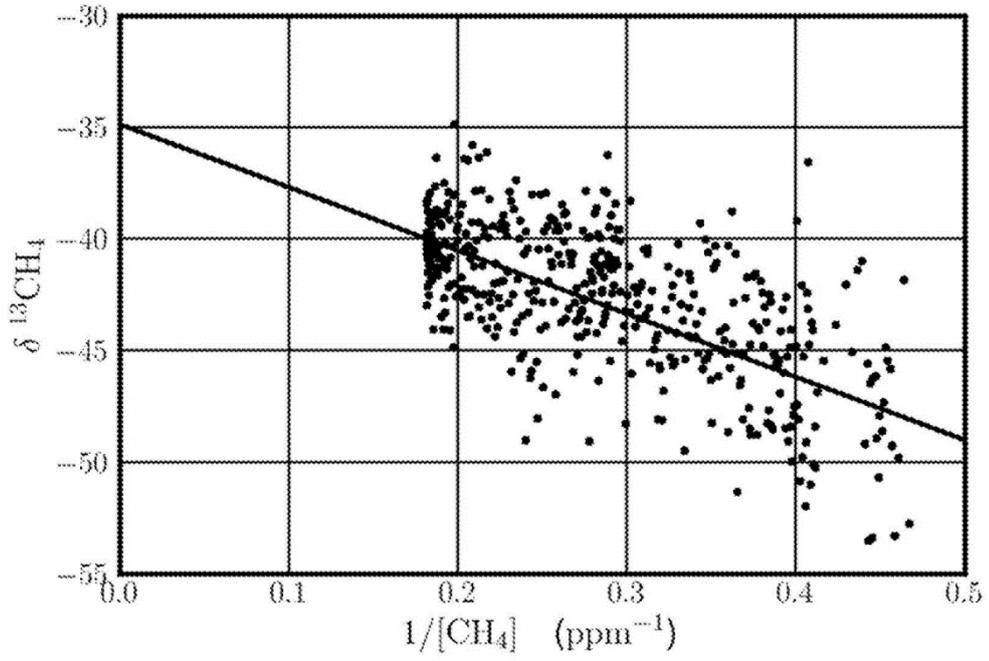


Fig. 3a

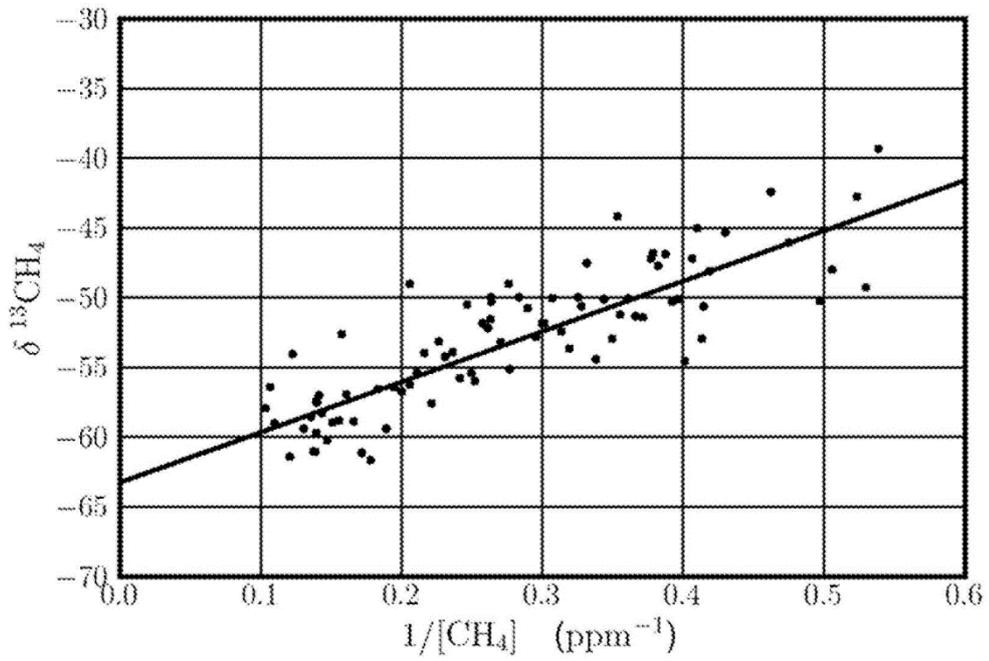


Fig. 3b

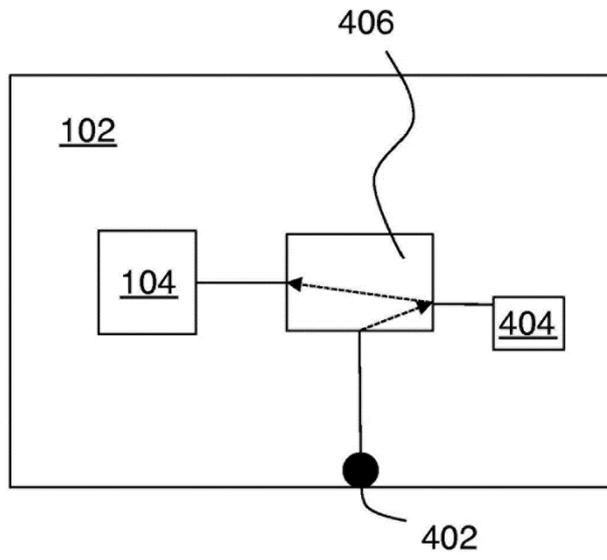


Fig. 4

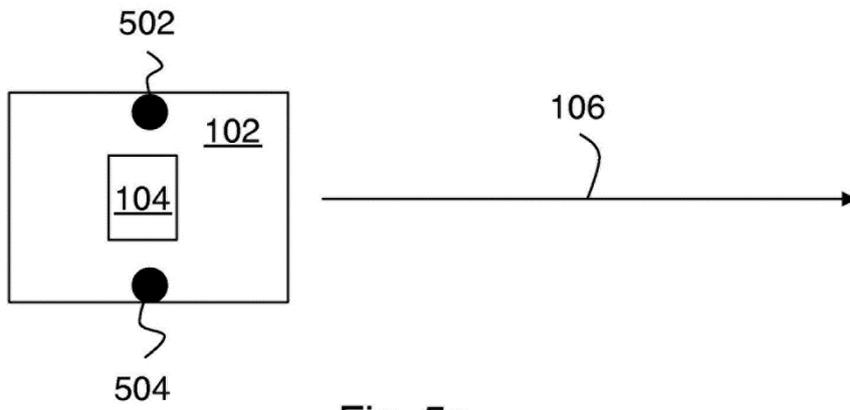


Fig. 5a

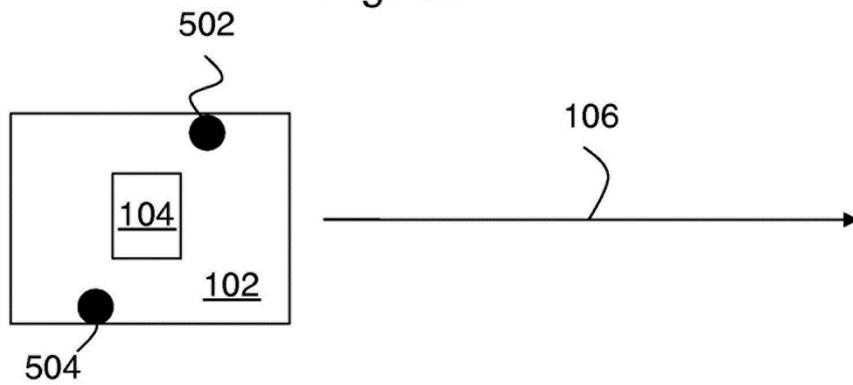


Fig. 5b

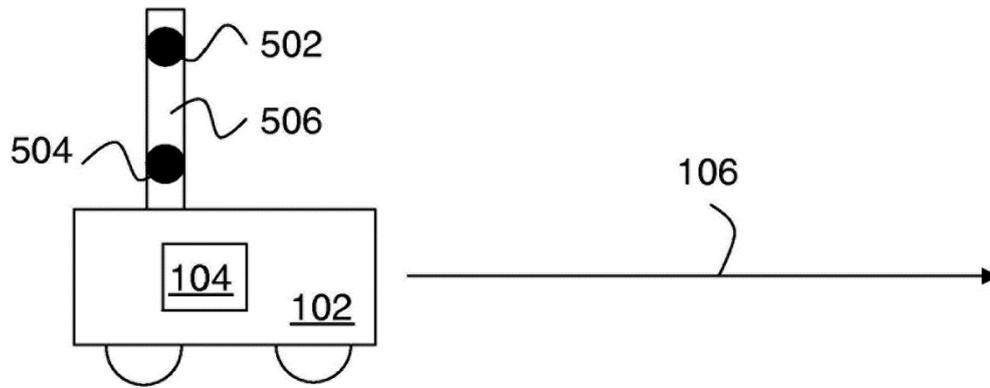


Fig. 5c

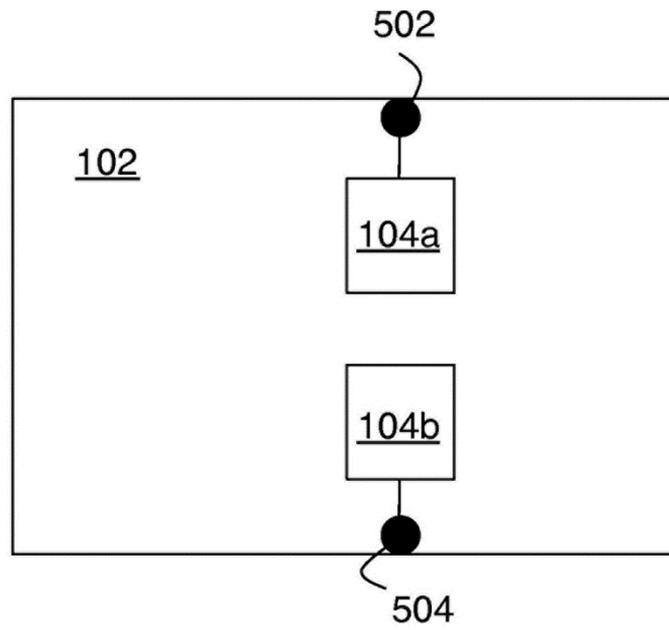


Fig. 6a

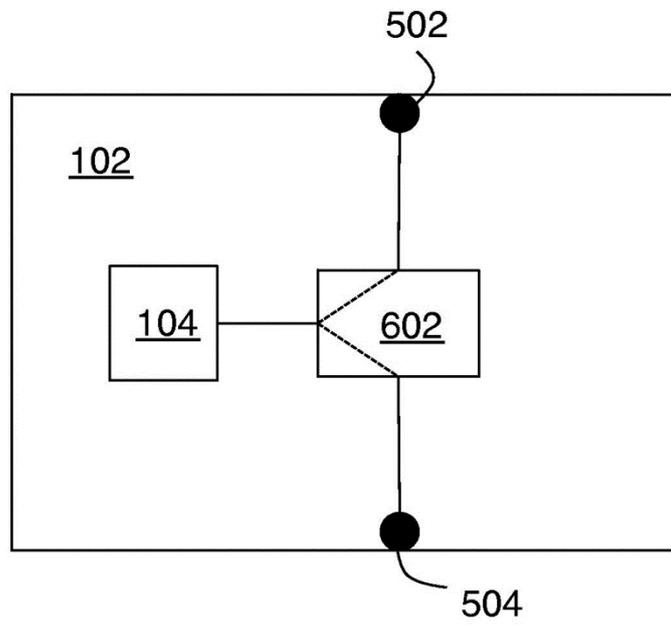


Fig. 6b

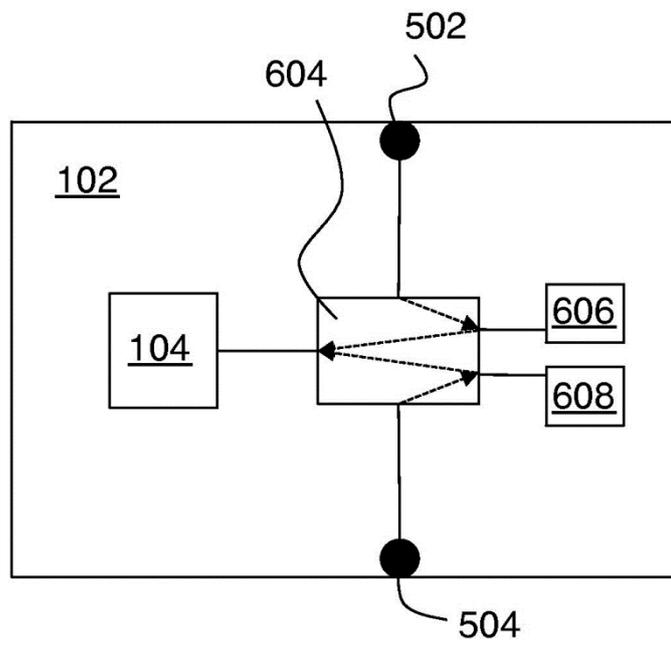


Fig. 6c

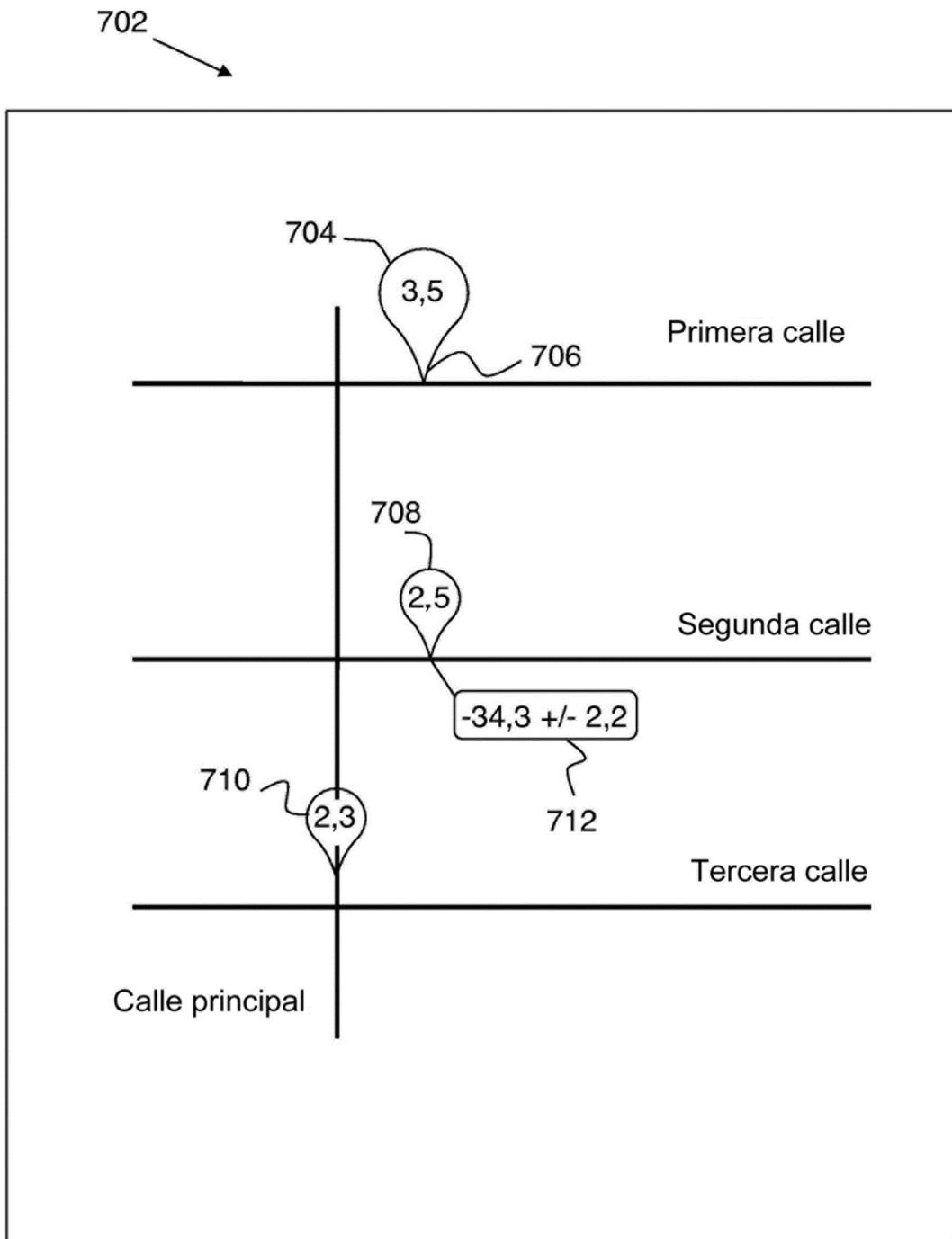


Fig. 7