



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 359 140**

51 Int. Cl.:
G01N 21/35 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **04255339 .6**

96 Fecha de presentación : **02.09.2004**

97 Número de publicación de la solicitud: **1564544**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **17.08.2005**

54 Título: **Teledetección de fugas de gas empleando radiometría de correlación con filtro de gas.**

30 Prioridad: **16.02.2004 CA 2458123**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
18.05.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
18.05.2011

73 Titular/es: **SYNODON Inc.**
6916 Roper Road
Edmonton, Alberta T6B 3H9, CA

72 Inventor/es: **Tolton, Boyd T.;**
Banica, Adrian y
Miller, Douglas W.

74 Agente: **Carpintero López, Mario**

ES 2 359 140 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

Teledetección de fugas de gas empleando radiometría de correlación con filtro de gas

Antecedentes de la invención

5 La presente invención se refiere a técnicas de teledetección para detectar fugas de gas. En particular, la invención implica poner en vuelo un avión con instrumentación de teledetección sobre una zona objetivo, tal como una tubería, y medir la absorción de la radiación electromagnética ascendente que ha pasado a través del gas natural.

10 En el pasado los intentos llevados a cabo para teledetectar fugas de gas natural han supuesto la detección de concentraciones grandes de metano (CH_4). El CH_4 comprende aproximadamente 95% de la composición del gas natural, lo que le convierte en objetivo natural para la detección. Un problema que se ha identificado a partir de la experiencia es que CH_4 existe en cantidades bastantes grandes en la atmósfera (se encuentra bien mezclado en la atmósfera con una concentración de aproximadamente 1,7 ppm). Por tanto, la detección de una fuga de gas requiere la detección de un pequeño aumento sobre un nivel de fondo grande. Episodios tales como pasar cerca de una zona fuente de CH_4 (tal como una granja), o un incremento en la altitud del aeroplano (un aumento de la longitud de la trayectoria atmosférica) podrían dar como resultado una falsa lectura de la fuga.

15 Para reducir la influencia del nivel de fondo, se han llevado a cabo algunos intentos en el pasado para detectar el CH_4 en exceso de la fuga de gas natural mediante la detección de la absorción de CH_4 en la longitud de onda de la región infrarroja (por ejemplo, a $7,8 \mu\text{m}$ ó 2180 cm^{-1}). Esto proporciona la ventaja de que la radiación ascendente es emitida principalmente desde la superficie terrestre. Esto minimiza el CH_4 de fondo, ya que únicamente se detecta el CH_4 existente entre el avión y la superficie terrestre.

20 No obstante, en el caso de las tuberías subterráneas, debido a que la temperatura de la superficie y la del CH_4 de la fuga son prácticamente iguales, el contraste radiactivo entre la superficie y el metano de la fuga es muy pequeño, lo que reduce en gran medida la capacidad de detección de la fuga. De igual forma, el ruido térmico que introduce el propio instrumento se convierte en un importante inconveniente de diseño. La utilización de una banda pequeña de absorción de longitud de onda de CH_4 podría suponer una ayuda potencial, ya que la radiación ascendente sería fundamentalmente la procedente del sol. Esto aumentaría en gran medida el contraste radiactivo entre la fuente y el gas "de la fuga", y reduciría de forma considerable el ruido térmico en el interior del instrumento. No obstante, el nivel de fondo de CH_4 se hace muy grande a medida que la radiación solar que alcanza el instrumento ha pasado a través de toda la atmósfera.

30 "A concept for a Gas-Filter Correlation Radiometer to Remotely Sense the Atmospheric Coarbon Dioxide Column from Space", Tolton B.T., and Yaschcov D., Proc. Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS, Junio 2002, Piscataway, NJ, New York, pp. 2118-2120, desvela un Radiómetro de Correlación con Filtro de Gas (GFCR) basado en satélite para la medición global de CO_2 atmosférico, en el que el GFCR presenta trayectoria ópticas divididas por un dispositivo de división de haz parcialmente reflectante.

35 El documento US 4.520.265 (Griggs et al.) desvela un GFCR para la medición de gas metano que emplea un filtro espectral estrecho en el que el GFCR está dotado con tres trayectorias ópticas formadas por dos dispositivos de división de haz parcialmente reflectantes.

El documento US 2003/0025081 (Hans Edner et al.) desvela un GFCR que toma muestra en dos trayectorias ópticas diferentes para proporcionar calibración y determinación de una concentración integrada de un escape de gas.

40 "Gas cell correlation spectrometer: GASPEC" Ward T.V. and Zwick H.H., Applied Physics, 14 (12), Diciembre de 1975, pp 2896-2904, desvela un GFCR para la teledetección de vapores en forma de traza en la atmósfera, y comprende trayectorias ópticas divididas por medio de un dispositivo de división de haz parcialmente reflectante.

Resumen de la invención

La invención se refiere a un radiómetro de ac de correlación con filtro de gas uerdo con la reivindicación 1 y a un procedimiento para detectar fugas de gas natural de acuerdo con la reivindicación 7.

45 El etano, C_2H_6 , es un componente secundario del gas natural, que comprende hasta 20 % del gas natural no procesado, y aproximadamente 2,5 % del gas natural procesado. En cuanto a detección, presenta la ventaja con respecto a CH_4 de que existe en la atmósfera en cantidades muy pequeñas (concentración media anual global de 860 ppt). Por tanto, la nivel de fondo natural es muy pequeño (2000 veces más pequeño que el de CH_4).

50 Las dos fuentes principales de C_2H_6 en la atmósfera son las fugas de gas natural y la quema de biomasa (ambas en magnitudes más o menos equivalentes). El sumidero principal es mediante reacción con el radical hidroxilo (OH). El C_2H_6 presenta una banda(s) de absorción/emisión intensa(s) a 3000 cm^{-1} ($3,33 \mu\text{m}$). En esta zona del espectro, la radiación ascendente consiste principalmente en radiación solar reflejada. De igual forma, el ruido térmico del interior del instrumento queda considerablemente reducido a estas longitudes de onda cortas. Esta combinación de nivel de fondo minúsculo, signo espectral intenso en la zona "solar" del espectro y ruido térmico reducido convierte a C_2H_6 en

apropiado para la detección de fugas de gas natural en tuberías. Preferentemente, el etano se detecta empleando la banda(s) de absorción/emisión a 3000 cm^{-1} .

El etano se puede detectar ajustando el radiómetro para de correlación con filtro de gas detectar etano empleando un pico de absorción de etano a una longitud de onda de 2850 a 3075 cm^{-1} .

- 5 Se puede detectar el etano ajustando el radiómetro para de correlación con filtro de gas detectar etano empleando un pico de absorción de etano a una anchura de banda de hasta 150 cm^{-1} por encima o por debajo de 3000 cm^{-1} .

De acuerdo con la invención, el radiómetro (GFCR de correlación con filtro de gas) comprende una ventana en un receptáculo; ópticas que definen una primera trayectoria óptica y una segunda trayectoria óptica entre la ventana y la sección del detector montado en el receptáculo; un dispositivo de división del haz en forma de bi-prisma montado en el receptáculo como parte de las ópticas para dirigir la radiación que penetran en la ventana desde la fuente exterior con el fin de dividir la radiación entre la primera trayectoria óptica y la segunda trayectoria óptica; presentando la primera trayectoria óptica una primera longitud de trayectoria de gas y presentando la segunda trayectoria óptica una segunda longitud de trayectoria de gas, siendo la primera longitud de trayectoria de gas diferente de la segunda longitud de trayectoria de gas; y componentes electrónicos para procesar las señales generadas por la sección del detector como resultado de que la radiación haya sido dirigida por medio de las ópticas sobre la sección del detector. La longitud de la trayectoria de gas es proporcionada por medio de filtro de gas que contienen cantidades diferentes de gas objetivo, tal como etano, presentando preferentemente una de las trayectorias ópticas una cantidad cero de longitud de trayectoria de gas.

De acuerdo con otro aspecto de la invención, la sección del detector comprende un primer detector sobre la primera trayectoria óptica y un segundo detector sobre la segunda trayectoria óptica y los correspondientes píxeles sobre el primer y segundo detectores que presentan campos de vista colocados y que son sometidos a toma de muestra de manera sincronizada.

De acuerdo con otro aspecto de la invención, la sección del detector identifica la radiación empleando una técnica de formación de imágenes de barrido.

- 25 Estos y otros detalles de la invención se describen en la memoria descriptiva detallada de la invención y se reivindican en las reivindicaciones adjuntas.

Breve descripción de los dibujos

A continuación se describirán realizaciones preferidas de la invención haciendo referencia a los dibujos, únicamente a modo de ilustración y no con la intención de limitar el alcance de la invención, en los cuales números similares indican elementos similares y en los que:

La Figura 1 es un esquema del radiómetro propo de correlación con filtro de gas rcionado para una compresión de base;

La Figura 2 es un esquema de un radiómetro de ac de correlación con filtro de gas uerdo con la invención;

La Figura 3 muestra un helicóptero que usa el radiómetro para de correlación con filtro de gas detectar fugas en tuberías;

La Figura 4 muestra una vista aérea de un helicóptero atravesando una tubería y muestra campos de vista sucesivos, incluyendo una vista ampliada de una parte del campo de vista objeto de la toma de muestra; y

La Figura 5 muestra, en la gráfica superior, un espectro de C_2H_6 en una célula de gas de $28,6\text{ mm}$ con 106 Pa de C_2H_6 puro, en la gráfica del medio, un espectro de alta resolución de C_2H_6 en una célula de gas de $28,6\text{ mm}$ con $12,1\text{ kPa}$ de C_2H_6 puro y, en la gráfica inferior, un cálculo del espectro que emplea la base de datos lineal de Hitran.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas

En el presente documento de patente, la palabra “comprende” se usa en su sentido no limitante para hacer referencia a que los elementos que suceden a la palabra en la frase quedan incluidos y que los elementos que no se mencionan de forma específica no quedan excluidos. El uso del artículo indefinido “un” en las reivindicaciones antes de un elemento significa que se especifica uno de los elementos, pero no se excluyen de forma específica otros elementos que están presentes, a menos que el contexto claramente requiera que exista uno y solo uno de los elementos.

El instrumento usado en la presente invención es un tipo de radiómetro (GFCR de correlación con filtro de gas). Los GFCR se han usado con diferentes configuraciones durante 3 décadas en el campo de la instrumentación para teledetección.

En referencia a la Figura 1, que se proporciona para una compresión básica, se muestra un GFCR 101 incorporado en el interior de un receptáculo 100, con una sección del detector, tal como un par de filas de fotodiodo 102A, 102B montadas en el receptáculo. La radiación procedente de la fuente 126 pasa a través de la ventana 103 del receptáculo 100, es recogida por la óptica colectora 124 y filtrada por el filtro 116 de paso de banda y posteriormente dirigida por las lentes colectoras 122 sobre el dispositivo 106 de división de haz. En una configuración ejemplar, se

especifica un filtro 116 de paso de banda con una anchura de 40 cm^{-1} y centrado a 2988 cm^{-1} . La anchura del filtro es de 1,3 % del número de onda central. El filtro 116 de paso de banda se escoge para incluir el pico de absorción de etano a 3000 cm^{-1} y para excluir la radiación que cae fuera del pico. El dispositivo 106 de división de haz formado por un espejo parcialmente reflectante divide la radiación procedente de la fuente de radiación 126 a lo largo de las trayectorias 110 y 112. En la primera trayectoria de radiación 110, la radiación pasa a través de la célula 114 de correlación de gas y se focaliza, por medio de las lentes de detector 104A, sobre el fotodiodo 102A. En la segunda trayectoria de radiación 112, la radiación es dirigida por el espejo 120 a través de la célula 118 de gas evacuado y se focaliza, por medio de las lentes 104B, sobre el fotodiodo 102B. La célula 114 de correlación de gas, también denominada célula de absorción o filtro de gas, contiene un gas, tal como etano, objeto de detección.

Por ejemplo, la célula 114 de gas de correlación puede ser una célula de 1 cm con una concentración de etano, por ejemplo, proporcionada mediante una atmósfera de C_2H_6 puro. La segunda trayectoria 112 tiene una longitud de trayectoria de C_2H_6 diferente, tal como puede obtenerse cuando no se suministra C_2H_6 a la célula 118, como por ejemplo una célula de gas evacuado o una célula que contiene un gas que sea ópticamente neutro con respecto al espectro de etano de interés. Los fotodiodos 102A y 102B se fabrican proporcionando componentes electrónicos apropiados, tales como un ordenador 108, para el procesado. El GFCR 101 puede usar un dispositivo de división de haz, por ejemplo, en forma de espejo parcialmente reflectante como se muestra en la Figura 1, o en forma de bi-prisma, como se muestra en la Figura 2, o se puede dirigir la radiación entrante de forma selectiva a través de trayectorias separadas, siguiendo un modo de división temporal, empleando por ejemplo un monocromador. El uso de un dispositivo de división de haz frente a un monocromador es la relación existente entre la simultaneidad de las dos señales recibidas y la pérdida de intensidad de señal. Se prefiere un dispositivo de división de haz, tal como un espejo parcialmente reflectante o un bi-prisma, para la detección de fugas de gas ya que proporciona la medición simultánea de ambas señales de detector. Esto puede resultar importante ya que las señales varían de forma rápida debido al movimiento del helicóptero en sentido hacia delante y a la variación de la superficie reflectante.

La Figura 2 muestra una configuración óptica de acuerdo con la presente invención. La radiación procedente de la fuente 226 pasa a través de la ventana 203 del receptáculo 200, es recogida sobre la óptica del colector 224 y enfocada hacia una parada de campo 216. La parada de campo 216 se usa para limitar el campo de visión. Posteriormente, se dirige la radiación procedente de la fuente 226, por medio de lentes de colimación 222, sobre los prismas 206 y 207 que forman la parte frontal de una célula 215 de gas del compuesto, formada por paredes 228 de la célula de gas, el separador 230 de la célula de gas y una ventana 232 de la célula de gas paralela al plano. Los prismas 206 y 207 dividen la radiación procedente de la fuente de radiación 226 a lo largo de las trayectorias 210 y 212 provocando la divergencia de la radiación al tiempo que ésta pasa a través de las células de gas 214 y 218. En la primera trayectoria de radiación 210, se dirige la radiación, por medio del prisma 206, a través la célula 214 de correlación del gas y se focaliza sobre las lentes de detector 204 en el fotodiodo 202A. En la segunda trayectoria de radiación 212, se dirige la radiación, por medio del prisma 207, a través de una célula 218 de gas evacuado y se focaliza sobre el fotodiodo 202B por medio de las lentes de detector 204.

La célula 215 de gas del compuesto junto con los prismas 206 y 207 también pueden estar localizados entre la parada de campo 216 y las lentes de colimación 222, o entre las lentes de detector 204 y los fotodiodos 202A y 202B. De igual forma, los primas 206 y 207 pueden estar localizados bien en la parte frontal de la célula 215 de gas del compuesto o bien en la parte trasera de la célula 215 de gas del compuesto.

La célula 214 de correlación de gas, también denominada célula de absorción o filtro de gas, contiene un gas, tal como etano, objeto de detección. Por ejemplo, la célula 214 de correlación de gas puede ser una célula de 1 cm con una concentración de etano suministrada por una atmósfera de C_2H_6 puro. La segunda trayectoria 212 presenta una longitud de trayectoria de C_2H_6 diferente, tal como puede obtenerse por ejemplo sin suministrar C_2H_6 a la célula 218, como por ejemplo una célula de gas evacuado o una célula que contiene gas que sea ópticamente neutro con respecto al espectro de etano de interés. Los fotodiodos 202A, 202B se fabrican proporcionando los componentes electrónicos apropiados, tal como un ordenador 208, para el procesado.

La señal del detector sobre la trayectoria 112 es:

$$S_1 = G \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I_{\lambda} \tau_{\text{filtro}} d\lambda$$

en la que I_{λ} es la intensidad de la radiación procedente de la fuente de radiación 126, τ_{filtro} es la transmisividad del filtro 116, λ_1 es el paso inferior del filtro 116, λ_2 es el paso superior del filtro 116 y G es el aumento del fotodiodo 102B.

La señal del detector sobre la trayectoria 110 es:

$$S_2 = G \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I_{\lambda} \tau_{\text{filtro}} \tau_{\text{corre. cel.}} d\lambda$$

en la que $\tau_{\text{Corr.Cel}}$ es la transmisividad de la célula de correlación 114.

Si $S_{\text{avg}} = (S_1 + S_2)/2$ y $S_{\text{diff}} = S_1 - S_2$, entonces el cálculo realizado por el ordenador es $S_{\text{inst}} = S_{\text{diff}} / S_{\text{avg}}$, que da lugar a una señal que depende de la presencia del gas objetivo en la trayectoria de radiación desde la fuente 126 hasta el fotodetector 102B. El cálculo de la diferencia de las señales recibidas para ambas trayectorias ópticas es realizado por cada píxel de los fotodetectores 102A, 102B para dar lugar a una imagen del campo de visión que pueda ser desplegada en un monitor.

La Figura 3 muestra el modo de uso del GFCR 101 que se muestra en la Fig. 1. El helicóptero 350 atraviesa la tubería 354 presentando el GFCR 101 un campo de visión 352 orientado hacia la tubería 354. Se ajusta el GFCR 101 para detectar etano escogiendo de forma apropiada el paso de banda del filtro 116, y el filtro de gas 114 contiene una muestra de etano. Si existe fuga 356 en la tubería 354, la presencia de etano en el penacho 358 resultante que puede moverse por la presencia de viento 360 se detecta empleando el GFCR 101. Por ejemplo, la presencia de fuga se indica desplegando la señal recibida usando un monitor que se proporciona como parte del ordenador 108. Los píxeles de la pantalla del monitor que corresponden al etano detectado pueden estar coloreados para mejorar la imagen. Se pueden usar otros procedimientos para indicar la presencia de fugas tales como detección de la concentración de etano en la trayectoria existente entre el helicóptero 350 y el suelo que supera un umbral dado y proporción de una alarma. El umbral se determina fácilmente mediante calibración del radiómetro y experimentación. La Figura 5 muestra que el espectro de absorción de etano a 3000 cm^{-1} es mayor que el espectro calculado a partir de la base de datos Hitran, con el resultado de que, de manera inesperada, el etano constituye un candidato apropiado para la detección de fugas de gas en tuberías. Debido a las capacidades de teledetección del dispositivo, el GFCR no tiene que volar a través del penacho para detectar las fugas. El GFCR mide la concentración integrada de la columna de gas natural entre el helicóptero y el suelo, independientemente de donde se encuentre el gas natural en esta columna.

En una realización como la que se muestra en la Figura 4, el campo de visión 352 cubre un área de 128 m^2 , que representa una cubrición de 64 m de largo por 2 m de ancho. La cubrición larga pero estrecha del campo de visión 352 conduce a una visión total de la tubería 354 o de la zona objetivo a través del uso de una técnica conocida como formación de imágenes de barrido. A medida que el helicóptero 350 avanza a lo largo de la trayectoria de helicóptero 464 sobre la tubería 354 o sobre la zona objetivo, se detectan cubriciones sucesivas por debajo del helicóptero 350 y perpendiculares a la trayectoria del helicóptero 464 por parte del GFCR 101. En un primer intervalo de tiempo, los detectores 102A y 102B tomarían señales de muestra procedentes del campo de visión 352A, seguido de momentos posteriores por 352B, seguido de nuevo por 352C y así sucesivamente.

En la Figura 4, el campo de visión 352F representa la cubrición actual de la zona objetivo que es objeto de detección por parte de los detectores 102A y 102B. Los detectores 102A y 102B presentan píxeles correspondientes que tienen campos de visión 352F colocados, en los que se toma una muestra de cada célula de $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ del campo de visión 352F de manera sincronizada por parte de los detectores 102A y 102B. Por tanto, la célula marcada P1 sería detectada por parte de un primer píxel que representa una parte del campo de visión colocada y sincronizada sobre los detectores 102A y 102B. La célula marcada P2 sería detectada por un segundo píxel colocado y sincronizado sobre los detectores 102A y 102B. Se puede decir lo mismo para las células marcadas P3 y P4 y así sucesivamente. Todas las células P1 a P32 a lo largo de una línea son detectadas de forma simultánea.

El GFCR 101 puede operar usando radiación de fondo ambiente que pasa a través del penacho 358 de gas natural. El campo de radiación ascendente está formado por radiación solar reflejada, radiación emitida desde la superficie junto con una emisión ascendente procedente de la atmósfera. Para la operación durante períodos nublados o durante la noche, se puede usar una fuente de iluminación 362. Por ejemplo, se puede montar una potente bombilla halógena de tungsteno de 1600 W en el helicóptero 350, con una ventana de transmisión IR (no mostrada) y un espejo de focalización (no mostrado). Este espejo focaliza la emisión procedente de la fuente de iluminación 362 en una marca luminosa de 5 m en el suelo. Asumiendo una superficie reflectante lambertiana y una reflexividad de 5 %, la intensidad reflejada en la superficie sería de $0,048 \text{ W m}^{-2}$. Esto es aproximadamente equivalente (o ligeramente mayor) a la intensidad reflejada de la luz solar. La fuente de iluminación 362 debe montarse para reducir las vibraciones que podrían incrementar la proporción de señal con respecto a ruido de la detección. El GFCR 101 puede montarse sobre un tipo distinto de vehículo, tal como un camión, y conducir el vehículo a lo largo de la tubería u otra posible fuente de fuga de gas. También se puede ajustar el GFCR 101 para detectar otros gases escogiendo el paso de banda del filtro 116.

La señal detectada por el instrumento es una función de la altura de la columna de gas natural. Para una concentración atmosférica de fondo de 1 ppb de C_2H_6 , el espesor de columna atmosférica total equivalente es de aproximadamente $8,5 \mu\text{m}$. El espesor de columna de CH_4 equivalente sería de aproximadamente 1700 veces mayor.

La regresión lineal de la sensibilidad de señal entre 0 y 4 mm de gas natural muestra que el cambio de señal por mm

de gas natural es de $-1,69 \times 10^{-3} \text{ mm}^{-1}$. Actualmente, se asume que la medición que detecta C_2H_6 es de 2,5 % de gas natural. Por tanto, las columnas detectadas de C_2H_6 puro son 40 veces más pequeñas que las de metano. La sensibilidad máxima a C_2H_6 tiene lugar a las concentraciones más bajas. Esto es lo más deseable a la hora de detectar las fugas más pequeñas.

5 Puede ocurrir la introducción de incertidumbres en la medición en forma de interferencias espectrales por parte de otros gases de la atmósfera (principalmente H_2O y CH_4), variaciones de la emisividad superficial, variaciones en la temperatura de la atmósfera y variaciones de la altitud del avión. Estas incertidumbres tienden a reducir la sensibilidad de la medición a las concentraciones del gas natural y las variaciones pueden dar lugar a falsas identificaciones de fugas. La incertidumbre combinada es de alrededor de $\pm 19 \mu\text{m}$. Este nivel de precisión
10 introduce una limitación mínima en la precisión de la medición. A una resolución de medición de $-1,69 \times 10^{-3}$ por mm de gas natural, se requiere una precisión de medición de $\pm 3,2 \times 10^5$ (es decir, una proporción de señal con respecto a ruido de 31.000) para la medición de una altura de columna de $\pm 19 \mu\text{m}$. Se puede obtener tal precisión en la medición a partir del GFCR 101 y se puede ajustar por ejemplo variando la longitud de la célula de absorción 114.

15 De forma última, la sensibilidad del instrumento es función de la cantidad de energía que se recoge y se focaliza sobre el elemento del detector. Esta a su vez es función del campo de visión (FOV) del instrumento (que determina la resolución superficial), el tamaño de la óptica 124 del colector, el tamaño del píxel del detector de los fotodiodos 102A, 102B, la transmisión del instrumento y el período de observación (frecuencia) del instrumento. El FOV y el tamaño de óptica del colector afectan directamente a la energía recogida, ya que cuanto mas grande es la óptica y el FOV más fotones son recogidos. No obstante, también afectan de forma directa al tamaño de píxel del detector,
20 debido al principio de conservación de etendue ($A\Omega$) en la cadena óptica. La transmisión del instrumento afecta directamente a la energía recogida ya que cualquier pérdida en el sistema reduce de forma directa el número de fotones incidentes en el detector. Y finalmente, el tamaño de píxel y el período de observación afectan de forma directa a la energía equivalente del ruido (NEP) del detector. En una realización ejemplar, el avión puede operar a una altura de 30 m, con una resolución superficial de 1,5 m, un ángulo sólido de FOV de $2,0 \times 10^{-3} \text{ sr}$, FOV de $2,86^\circ$,
25 diámetro de óptica colectora 12,2 cm, $A\Omega$ producto de $2,29 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ sr}$, transmisión de 75 %, temperatura de 293K, tiempo de observación de 10 ms (100 Hz), diámetro del elemento del detector de 2 mm, detector FOV 170° y D^* del detector $10^{11} \text{ cm Hz}^{0,5}$.

Se calcula que la radiancia ascendente que alcanza el avión es de $0,04 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$. Esto incluye la pérdida de energía debida a la absorción por parte del H_2O atmosférico y CH_4 , y que se reduce hasta $0,03 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$.
30 Asumiendo que el instrumento tiene una óptica de diámetro de 12,2 cm para recoger la radiación ascendente con un campo de visión de $2,86^\circ$ y una transmisión del instrumento de 75 %, la energía recogida por el instrumento debe ser de $5,2 \times 10^{-7} \text{ W}$. La energía equivalente de ruido (NEP) para un detector de InSb enfriado con nitrógeno líquido 2 mm de diámetro sería de $2 \times 10^{-11} \text{ W}$, proporcionando una relación de S/N de aproximadamente 25.800. A este nivel de precisión y con la sensibilidad calculada del gas natural de $-1,69 \times 10^{-3} \text{ mm}^{-1}$, la medición es capaz de detectar una
35 columna de gas natural por debajo de $23 \mu\text{m}$.

El experto en la técnica podría realizar modificaciones inmateriales de la invención descritas en el presente documento de patente sin alejarse de la invención tal y como se define en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un radiómetro (201) de correlación con filtro de gas que comprende:
- 5 un receptáculo (200) que tiene una ventana (203);
 una sección del detector montada en el receptáculo (200);
 ópticas que definen una primera trayectoria óptica (210) y una segunda trayectoria óptica (212) entre la ventana (203) y la sección del detector montada en el receptáculo (200);
 la primera trayectoria óptica (210) presenta una primera longitud de trayectoria de gas y la segunda trayectoria óptica (212) presenta una segunda longitud de trayectoria de gas, siendo la primera longitud de trayectoria de gas diferente de la segunda longitud de trayectoria de gas; y
 10 componentes electrónicos para procesar las señales producidas por la sección del detector como resultado de la radiación dirigida por las ópticas sobre la sección del detector;
caracterizado porque el radiómetro (201) de correlación con filtro de gas comprende además:
- 15 un dispositivo de división de haz de bi-prisma (206, 207) montado en un receptáculo (200) como parte de las ópticas para dirigir la radiación que entra por la ventana (203) procedente de una fuente exterior a lo largo de dos trayectorias divergentes compensadas una con respecto a otra a través de un bi-prisma (206, 207) para dividir la radiación entre la primera trayectoria óptica (210) y la segunda trayectoria óptica (212).
2. El radiómetro (201) de correlación con filtro de gas de la reivindicación 1 en el que la sección del detector comprende además:
- 20 un primer detector (202A) sobre la primera trayectoria óptica (210) y un segundo detector (202B) sobre la segunda trayectoria óptica (212) y píxeles correspondientes sobre el primer detector (202A) y el segundo detector (202B) que presentan campos de visión colocados y que se someten a toma de muestra de manera sincronizada.
3. El radiómetro (210) de correlación con filtro de gas de la reivindicación 1 ó 2 en el que la sección del detector se encuentra dispuesta para detectar la radiación empleando una técnica de formación de imágenes de barrido.
- 25 4. El radiómetro (201) de correlación con filtro de gas de la reivindicación 1, en el que el radiómetro (201) de correlación con filtro de gas está dispuesto para detectar etano usando un pico de absorción de etano a 3000 cm^{-1} .
5. El radiómetro (201) de correlación con filtro de gas de la reivindicación 2 en el que el primer detector (202A) y el segundo detector (202B) se encuentran lado a lado en el interior del receptáculo (200).
- 30 6. El radiómetro (201) de correlación con filtro de gas de una cualquiera de las reivindicaciones 1-5, en el que el bi-prisma forma la parte frontal o la parte trasera de una célula de gas compuesto, comprendiendo la célula de gas compuesto una célula de correlación de gas y una célula evacuada.
7. Un procedimiento para detectar fugas de gas natural, comprendiendo el procedimiento las etapas de:
- 35 atravesar un área objetivo que contiene una tubería de gas natural con el radiómetro (201) de correlación con filtro de gas de las reivindicaciones 1, 2 ó 3, presentando el radiómetro (201) de correlación con filtro de gas un campo de visión (352) orientado hacia el área objetivo, estando dispuesto el radiómetro (201) de correlación con filtro de gas para detectar etano; e
 identificar una fuga de gas cuando el radiómetro (201) de correlación con filtro de gas detecte la presencia de etano.
- 40 8. El procedimiento de la reivindicación 7, en el que el radiómetro (201) de correlación con filtro de gas está dispuesto para detectar etano usando un pico de absorción de etano a 3000 cm^{-1} .
9. El procedimiento de la reivindicación 7 ó 8, operado usando una radiación de fondo ambiente como fuente de radiación a detectar.

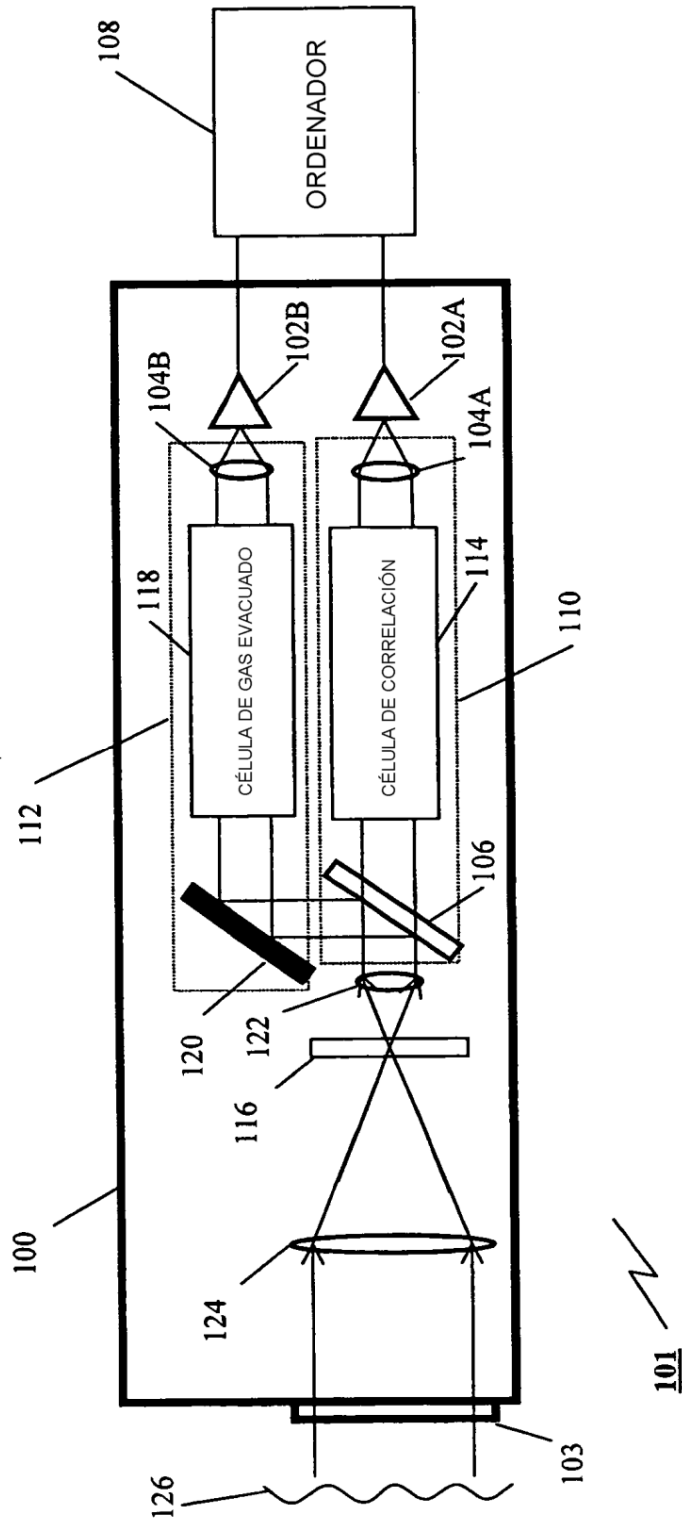


FIG. 1

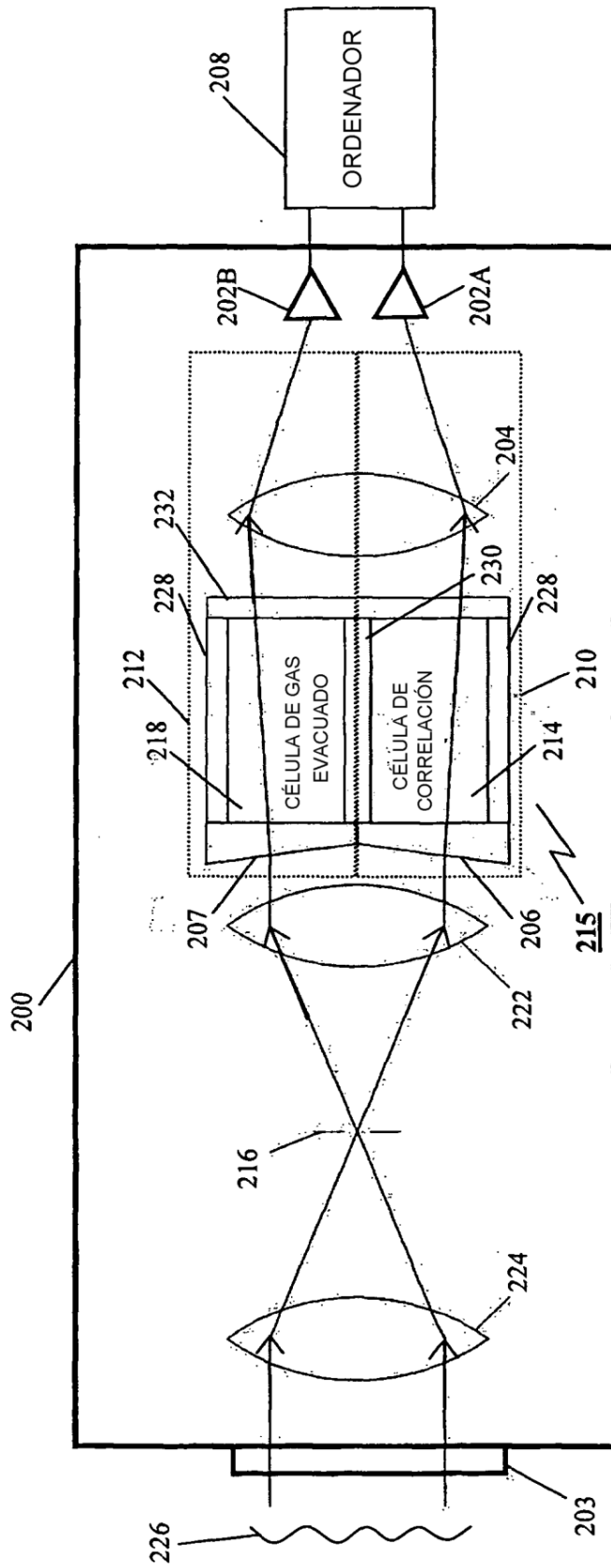


FIG. 2

201

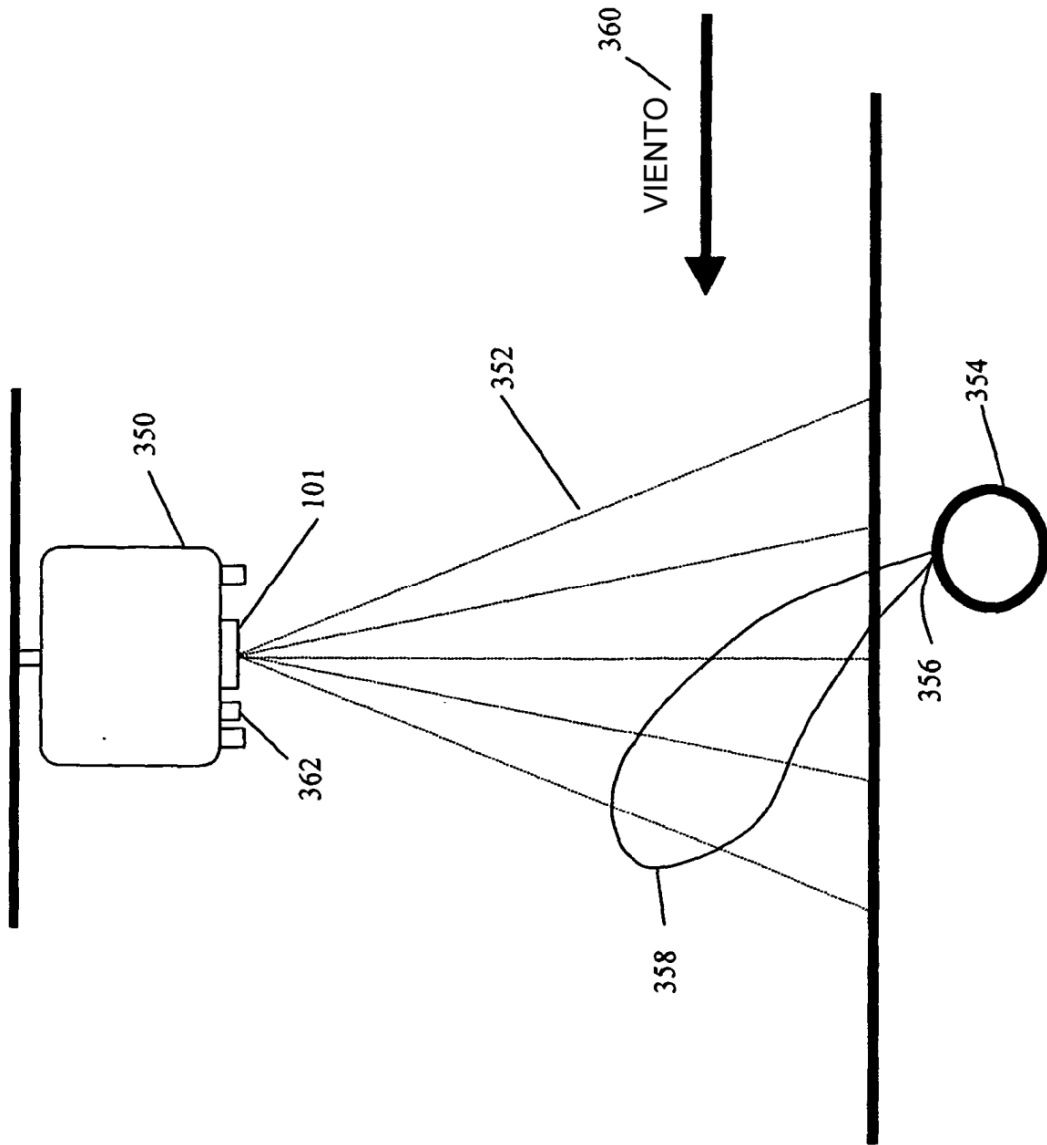


FIG. 3

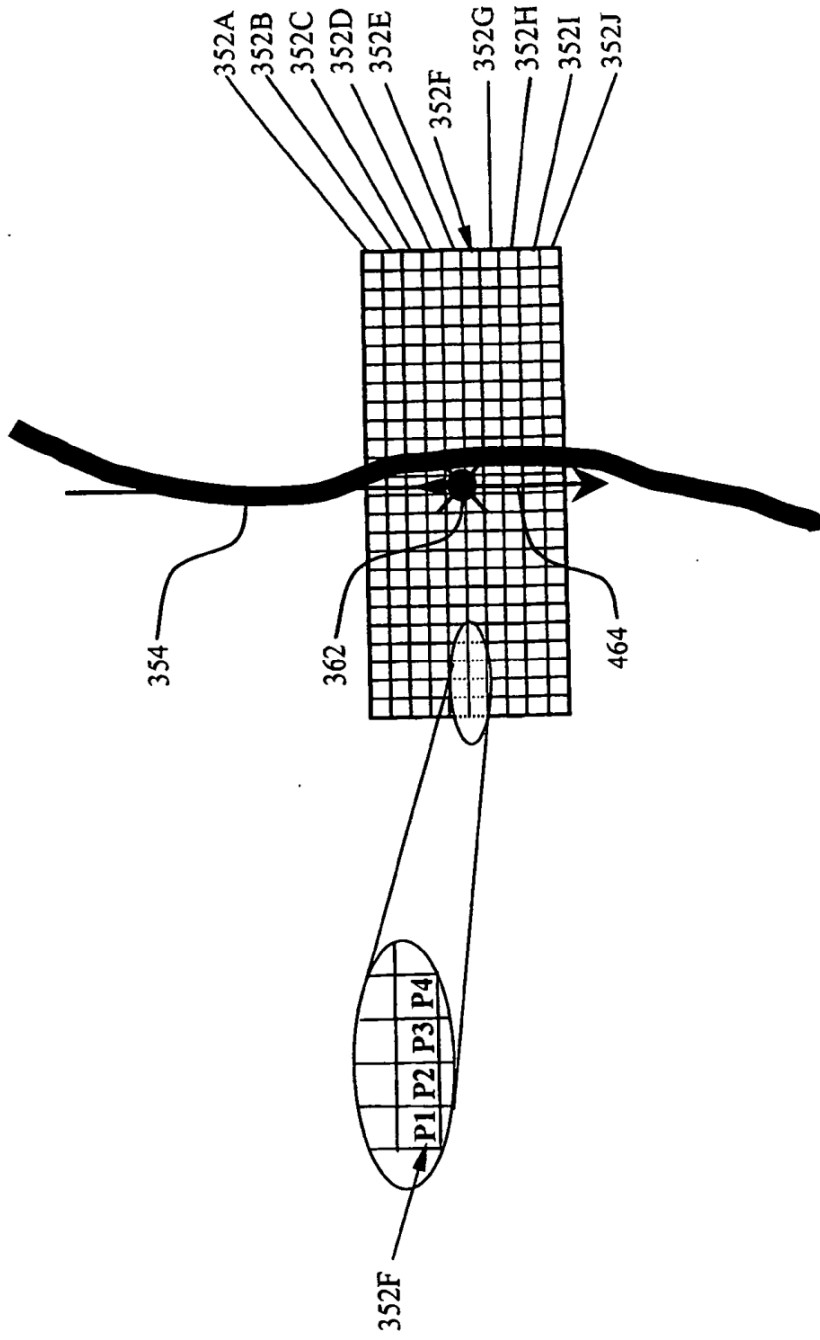


FIG. 4

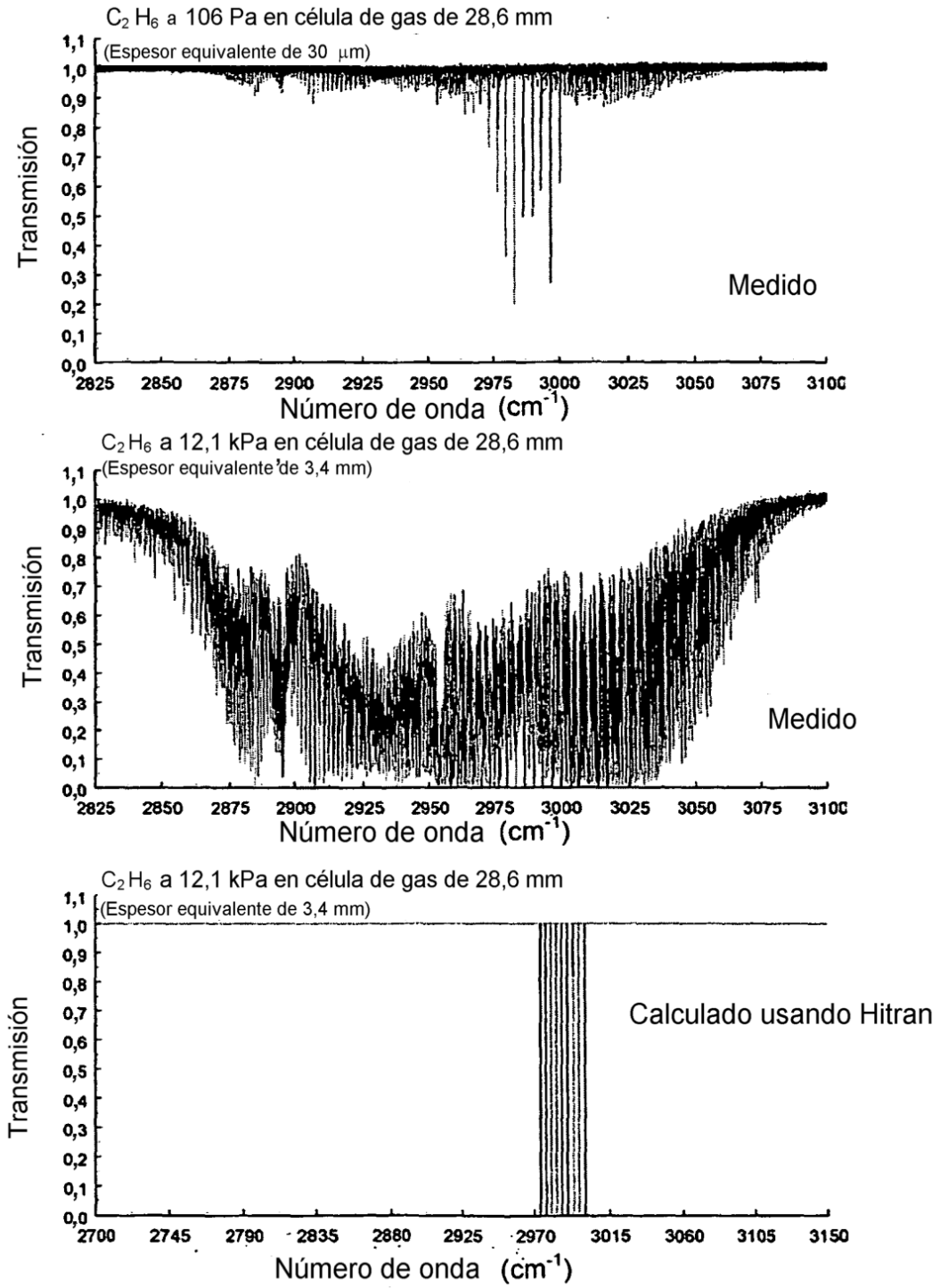


FIG. 5