

Medición de CO₂ en incubadoras - Preguntas y respuestas



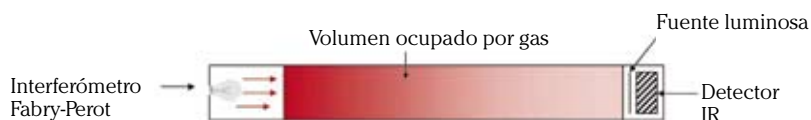
Preguntas frecuentes

1. ¿Cómo funciona el sensor CARBOCAP® NDIR (infrarrojo no dispersivo) de haz simple y de doble longitud de onda?
2. ¿Cómo la temperatura y la presión afectan la medición de CO₂?
3. ¿Cómo puede corregirse el error de temperatura y presión usando productos Vaisala de medición de CO₂?
4. ¿Cómo puede evitarse la condensación al tomar muestras de incubadoras?
5. ¿Por qué la lectura de concentración de CO₂ es mayor de lo esperado cuando se usa el método de extracción de muestras por bombeo con tubería de secado?

El propósito de este documento es responder las preguntas más frecuentes formuladas sobre mediciones de CO₂ y productos afines.

1. ¿Cómo funciona el sensor CARBOCAP® NDIR (infrarrojo no dispersivo) de haz simple y de doble longitud de onda?

El sensor Vaisala CARBOCAP® tiene tres componentes principales: una fuente de luz, un interferómetro y un detector de IR. La fuente de luz se posiciona de manera que ilumine el detector de IR de modo que la luz viaje una distancia fija hasta el detector, donde se mide la intensidad de la luz.



A la longitud de onda de absorción de CO₂, la luz es absorbida por el dióxido de carbono presente en el gas. La modulación del FPI deja fuera todas las otras longitudes de onda, de manera que la intensidad de la luz que alcanza el detector IR varía en función de la cantidad de CO₂ presente dentro del sensor.

Justo enfrente del detector de IR está posicionado un interferómetro Fabry-Perot (FPI). El FPI es un filtro ajustable que permite que sólo ciertas longitudes de onda de luz pasen a través del detector. El dióxido de carbono absorbe ciertas longitudes de onda y no otras, de manera que el FPI está diseñado para dejar pasar luz sólo de la longitud de onda que absorbe el CO₂ (4,26 µm) y una longitud de onda cercana, no absorbente. Véase la ilustración de la izquierda.

Cuando el sensor está operando, el FPI es regularmente ajustado hacia atrás y hacia adelante entre las dos longitudes de onda. A la longitud de onda que absorbe el CO₂, la intensidad de la luz detectada se reduce en proporción a la concentración de CO₂ en la trayectoria óptica. La intensidad de la luz medida en la longitud de onda no absorbente sirve como base de comparación.



El FPI se ajusta a una longitud de onda de referencia no absorbente cercana, en la que el detector de IR mide la intensidad total de la luz creando una base de comparación. Cualquier cambio en el comportamiento de la fuente de luz, del FPI o del detector IR, afecta a ambas mediciones por igual, preservando la diferencia entre ambas y por lo tanto la calibración del sensor. Ésta es una clave para la estabilidad de largo plazo del sensor.

Al variar la concentración de CO₂, también varía la diferencia entre las intensidades de luz. La relación exacta entre la intensidad de la luz IR y la concentración de volumen de CO₂ se determina cuando el instrumento se ha calibrado usando nitrógeno puro (0 ppm CO₂) y una concentración conocida de CO₂.

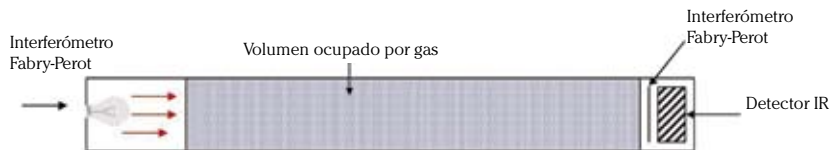
El diseño del sensor CARBOCAP® es simple y robusto, usa sólo una fuente de luz y un detector de IR. Esto elimina los errores causados por leves diferencias en los múltiples componentes de diseños de sensores de doble haz. El FPI usado en el sensor CARBOCAP® está micromaquinado a partir de siliconas y no tiene partes móviles, brindando así una confiabilidad muy superior a la de diseños mecánicos de “rueda cortadora de luz”.

2. ¿Cómo la temperatura y la presión afectan la medición de CO₂?

Todos los instrumentos infrarrojos no dispersivos generalmente miden densidad molar (la cantidad de moléculas en la trayectoria del haz). La mayoría de los usuarios prefieren el resultado en porcentaje de volumen, de manera que los instrumentos de CO₂ se ajustan para que lo indiquen correlacionando la cantidad de moléculas con una concentración conocida de volumen de CO₂.

Como los gases son comprimibles, sus densidades molares cambian al variar la presión atmosférica y la

temperatura ambiente, lo que significa que el resultado es dependiente de la temperatura y la presión; véanse las ilustraciones a continuación.



Los puntos azules representan moléculas de CO₂ en el aire al nivel del mar.



A medida que aumenta la altitud y la presión disminuye, menos moléculas de CO₂ ocupan el mismo espacio, aún cuando el porcentaje de CO₂ respecto a otros gases permanezca inalterado. Como los sensores NDIR “cuentan moléculas” en la trayectoria óptica, para mostrar propiamente el porcentaje de CO₂ la medición debe ajustarse por la diferencia de presión o el instrumento mostrará una lectura baja errónea.

La medición de CO₂ tiene que ser compensada si las condiciones de la medición se desvían significativamente de las condiciones de calibración, que son 1013 hPa y 25 °C. Véanse las tablas 1 y 2 para ver la magnitud del efecto de cambios no compensados en presión y temperatura de acuerdo con la ley de los gases ideales.

Para comprender detalladamente la necesidad de la compensación, primero debe entenderse algo sobre el comportamiento de los gases. En cualquier mezcla de gases, la presión total del gas es la suma de las presiones parciales de los gases componentes. Esta es la Ley de Dalton y se representa de la siguiente manera:

$$P_{\text{total}} = P_1 + P_2 + P_3 \dots$$

La cantidad de cualquier gas en una mezcla puede expresarse como una presión. En el ejemplo del aire, los componentes principales son el nitrógeno, el oxígeno, el dióxido carbónico y el vapor de agua, de modo que la presión atmosférica total está compuesta de las presiones parciales de estos gases.

La presión parcial de cada gas es el producto de su concentración en volumen y la presión total del sistema.

El aire que respiramos se compone de un 78% de nitrógeno, un 21% de oxígeno, un 0,9% de argón y aproximadamente un 0,04% de dióxido de carbono. Estos porcentajes se mantienen en líneas generales constantes en la atmósfera, independientemente de la altitud.

La presión media de la atmósfera al nivel del mar es de aproximadamente 1013 hPa, por lo tanto la presión parcial del dióxido de carbono es del 0,04% de 1013 hPa (0,0004*1013), ó 0,405 hPa. Por ejemplo en Denver, Colorado, EE.UU., donde la altitud es de aproximadamente 5280 pies y la presión atmosférica de aproximadamente 834,3 hPa, ese mismo 0,04 % de dióxido de carbono nos da una presión parcial de 0,334 hPa versus 0,405 hPa.

Incluso aunque el CO₂ todavía constituye hasta el 0,04 % de la atmósfera a esta mayor altitud, la presión es menor, y cuando la presión disminuye la densidad molar también disminuye. Como los sensores NDIR miden fundamentalmente densidad molar, se debe hacer una compensación cuando se requiera una lectura de porcentaje de volumen o ppmv. La compensación de temperatura también es importante porque al disminuir la temperatura, se incrementa la densidad molar.

Tabla 1 Efecto de cambios no compensados de presión de las lecturas de %CO₂ en un sensor NDIR de acuerdo con la ley de los gases ideales.

Instrumentos calibrados a 25 °C y 1013 hPa					
Altitud sobre el nivel del mar		Presión (hPa)	Concentración de la medición (%CO ₂)	Concentración corregida (%CO ₂)	Diferencia (%CO ₂)
pies	metros				
0	0	1013	5,00	5,00	0,00
500	153	992,8	4,90	5,00	0,10
1000	305	979,1	4,83	5,00	0,17
1500	458	958,4	4,73	5,00	0,27
2000	610	937,7	4,63	5,00	0,37
2500	763	923,9	4,56	5,00	0,44
3000	915	903,2	4,46	5,00	0,54
3500	1068	889,4	4,39	5,00	0,61
4000	1220	868,7	4,29	5,00	0,71
4500	1373	854,9	4,22	5,00	0,78
5000	1526	834,3	4,12	5,00	0,88
5500	1679	820,5	4,05	5,00	0,95
6000	1831	806,7	3,98	5,00	1,02

Tabla 2 Efecto de cambios no compensados de temperatura de las lecturas de %CO₂ en un sensor NDIR de acuerdo con la ley de los gases ideales.

Instrumentos calibrados a 25 °C y 1013 hPa			
Temperatura (°C)	Concentración medida (%CO ₂)	Concentración corregida (%CO ₂)	Diferencia (%CO ₂)
25	5,00	5,00	0,00
26	4,98	5,00	0,02
27	4,97	5,00	0,03
28	4,95	5,00	0,05
29	4,93	5,00	0,07
30	4,92	5,00	0,08
31	4,90	5,00	0,10
32	4,89	5,00	0,11
33	4,87	5,00	0,13
34	4,85	5,00	0,15
35	4,84	5,00	0,16
36	4,82	5,00	0,18
37	4,81	5,00	0,19

3. ¿Cómo puede corregirse el error de temperatura y presión usando productos Vaisala de medición de CO₂?

Las mediciones de dióxido de carbono realizadas a temperaturas y presiones diferentes de las condiciones de calibración pueden necesitar una corrección para alcanzar la precisión requerida. La forma más simple de corrección para una lectura en porcentaje de volumen puede hacerse usando una fórmula de acuerdo con la ley de los gases ideales:

$$c_{\text{corregida}} (\%/ppm) = c_{\text{medida}} (\%/ppm) * \frac{(1013 * (t(^{\circ}\text{C}) + 273))}{(298\text{K} * p(\text{hPa}))}$$

En el medidor portátil de dióxido de carbono Vaisala CARBOCAP® GM70, la temperatura y la presión ambientales en el punto de medición pueden configurarse fácilmente en el menú del usuario. Las compensaciones se hacen internamente y el instrumento muestra la medición corregida. La corrección interna también toma en consideración las dependencias causadas por la ley de gases reales, así como los componentes electrónicos y ópticos del instrumento. Para el GM70 la corrección interna es más precisa que la corrección por la ley de gases ideales.

Otra manera de compensar la temperatura es conectar una sonda de humedad y temperatura Vaisala HUMICAP® HMP77B al indicador MI70 junto a la sonda de CO₂. La temperatura medida con la sonda puede ajustarse para que se compense automáticamente la lectura de CO₂.

En el transmisor de dióxido de carbono Vaisala CARBOCAP® de la Serie GMT220 y en el módulo de dióxido de carbono Vaisala CARBOCAP® de la Serie GMM220, las compensaciones también pueden aplicarse internamente. Los ajustes pueden cambiarse a través de una conexión a una PC. El GMT220 y el GMM220 se conectan a la PC mediante un cable serial equipado con un adaptador COM (número de parte 19040GM).

El módulo de dióxido de carbono Vaisala CARBOCAP® GMM111 mide hasta un 20% de CO₂. Sin embargo, no tiene compensaciones internas.



El Vaisala GM70 con la sonda de humedad junto con la sonda de dióxido de carbón.

4. ¿Cómo puede evitarse la condensación al tomar muestras en incubadoras?

El GM70 tiene dos métodos alternativos de toma de muestras: por difusión y por aspiración con bomba. La opción de aspiración con bomba está diseñada para extraer muestras en espacios donde no es posible la medición directa basada en la difusión.

Debe tenerse precaución al extraerse una muestra de gas en entornos húmedos, pues las superficies ópticas del sensor NDIR dentro de la sonda y la cámara de bombeo deben protegerse de la condensación.

Es difícil hacer mediciones de incubadoras y cámaras climatizadas, pues la muestra de gas generalmente se extrae de un ambiente a temperatura y humedad elevadas a una sala a temperatura ambiente, lo que produce condensación.



El Vaisala GM70 se usa para verificar el nivel de CO₂ en incubadoras.

Puede evitarse la condensación en los tubos y el sistema de muestreo usando un tubo de muestreo de un material llamado Nafion® (disponible como accesorio Vaisala, parte nro. 212807GM).



Tubo de Nafion®, parte Vaisala nro. 212807GM.

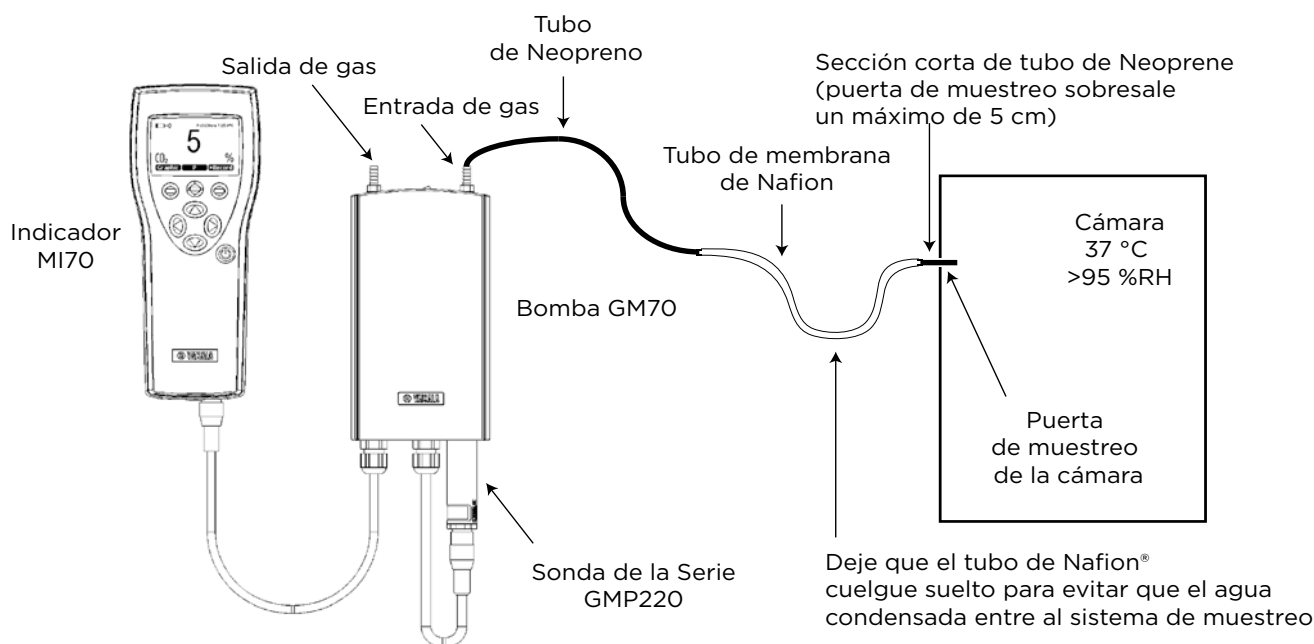
La tecnología clave de las tuberías es el Nafion®¹) que es altamente selectivo en la extracción de agua. El agua se mueve a través de la pared de la membrana y se evapora en el aire circundante en un proceso llamado preevaporación. El Nafion® extrae agua por absorción que ocurre como una reacción cinética de primer orden. En aplicaciones de secado, el cambiador de humedad transfiere vapor de agua de una corriente de gas seco a la atmósfera circundante. El secado está completado cuando el nivel de humedad de la muestra es igual al nivel de humedad ambiente. Como el secado actúa como una reacción cinética de primer orden, este nivel puede alcanzarse muy rápidamente, en general dentro de 100 a 200 milisegundos. Este comportamiento hace del tubo el método ideal en aplicaciones en que una muestra muy húmeda se lleva a temperatura ambiente. La humedad de la muestra de gas puede ser reducida con sólo una corta longitud de tubo. Para obtener más información sobre la tubería, véase www.permapure.com.

1 Nafion® es un copolímero de Dupont, de tetrafluoroetileno (Teflón) y ácido 3,6- perfluoro-4-dioxa-7-metil- octeno-sulfónico.

Sistema de muestreo con tubo de membrana de Nafion®.

Cuando se usa la bomba GM70 para extraer la muestra de una incubadora, debe usarse un tubo de Nafion® para eliminar la posibilidad de condensación de humedad en el sistema de muestreo. Se recomienda seguir las siguientes pautas:

- Es deseable tener el tubo de muestreo de Nafion® presente en el punto de transición entre la incubadora y el ambiente. 20 cm de Nafion® en el ambiente son suficientes para transferir vapor de agua de la muestra extraída al ambiente. El resto de la tubería de muestreo puede ser de Neopreno o de otro material. Conecte los tubos usando conectores arponados o algún otro método que evite fugas de aire ambiente hacia la muestra. Mantenga toda la línea de muestreo lo más corta posible.
- Si hace el muestreo a través de la puerta de la incubadora, inserte el tubo de Nafion® en la incubadora y cierre suavemente la puerta, asegurándose de que el sello de la misma no dañe al tubo y cierra herméticamente alrededor del mismo.
- Cuando extraiga una muestra de gas desde una cámara, deben colocarse unos pocos centímetros de la línea de muestreo dentro de la cámara. Si existe el riesgo de condensación dentro de la cámara de la que extrae la muestra, tenga especial cuidado de que el condensado no ingrese al tubo.
- Para verificar que la condensación no haya alcanzado la sonda, puede extraer la sonda de CO₂ de la bomba GM70. Al reinsertar la sonda, no empuje la sonda hasta el fondo. En cambio, ponga al mismo nivel los dos empaques circulares con la superficie lisa de la sonda para lograr una conexión hermética.



- Si extrae muestras a través de un orificio u otra puerta de la incubadora, inserte el tubo de Nafion® en la incubadora y selle alrededor.
- Si se hace el muestreo a través de un conector arponado de manguera o puerta de muestreo, use una longitud muy corta de tubo de Neopreno para insertar el conector del tubo de Nafion al conector de la incubadora. Use el Neopreno como un “conector” para mantener el tubo de Nafion® lo más cerca posible del conector arponado. No es aconsejable que el gas de muestra pase a través del de Neopreno, porque dentro del tubo de Neopreno puede producirse condensación.
- Como precaución, mantenga la bomba GM70 sobre el nivel de la puerta de muestreo de la cámara. Si se produce condensación en la línea de muestreo, esto evitará que el agua líquida dañe el sensor de CO₂.

5. ¿Por qué la lectura de concentración de CO₂ es mayor de lo esperado cuando se usa el método de extracción de muestras por bombeo con tubería de secado?

Cuando se usa un tubo de Nafion® para secar la muestra, la concentración de CO₂ en la muestra seca será evemente mayor que en la muestra húmeda. Esto se debe a un fenómeno llamado dilución. La densidad del CO₂ se “diluye” en la incubadora por el volumen que ocupa el vapor de agua. Si se extrae vapor de agua de la muestra, las fracciones ocupadas por otros gases, incluso el CO₂, se incrementaran correspondientemente.

La Tabla 3 contiene los coeficientes de dilución para la concentración de gas cuando se seca una muestra de gas. En el eje horizontal se elige el punto de rocío (a 1013 hPa) de la muestra de gas en la incubadora y en el eje vertical el punto de rocío de la muestra de gas en el punto de medición. El punto de rocío de la muestra de gas en el punto de medición puede determinarse con una sonda de humedad (HMP75B, HMP76B ó HMP77B).

Tabla 3 Coeficientes de dilución

Td (°C)	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
-60	0,9999	0,9996	0,999	0,997	0,994	0,988	0,977	0,958	0,927	0,878	0,803
-50	0,9999	0,9997	0,999	0,997	0,994	0,988	0,977	0,958	0,927	0,878	0,803
-40	1,0000	0,9998	0,999	0,998	0,994	0,988	0,977	0,958	0,927	0,878	0,803
-30		1,0000	0,999	0,998	0,994	0,988	0,977	0,958	0,928	0,879	0,804
-20			1,000	0,998	0,995	0,989	0,978	0,959	0,928	0,879	0,804
-10				1,000	0,997	0,990	0,979	0,961	0,930	0,881	0,806
0					1,000	0,994	0,983	0,964	0,933	0,884	0,809
10						1,000	0,989	0,970	0,939	0,890	0,815
20							1,000	0,981	0,950	0,901	0,826
30								1,000	0,969	0,920	0,845
40									1,000	0,951	0,876
50										1,000	0,925
60											1,000

Como ejemplo: se extrae una muestra de gas de un ambiente a 40°C (Td) y se introduce en un ambiente a 10°C (Td), donde la concentración del gas medido es del 5,32%. En el ambiente a 40°C (Td), esto corresponde a un 5% de CO₂ (5,32% X 0,939= 5.00%) pues el mayor contenido de agua diluyó la muestra.