

Guía Técnica

Cómo medir el dióxido de carbono (CO₂)

Principios, medición e instalación para aplicaciones industriales



Índice

Introducción	03
Principio operativo de los sensores infrarrojos	03
Ley de gases ideales	04
Ubicaciones ideales para los transmisores	06
Efecto de la temperatura y la presión sobre la medición	07

INTRODUCCION

La medición de dióxido de carbono es necesaria para diversas aplicaciones, desde la automatización de los edificios y los invernaderos hasta las ciencias de la vida y la seguridad.

En este artículo se cubren los siguientes temas:

- Principio operativo de los sensores de dióxido de carbono (CO₂) de infrarrojos
- Ley de gases ideales y cómo aplicarla para compensar la medición de CO₂ para los factores ambientales
- Ubicaciones ideales para los transmisores de CO₂
- Aspectos de seguridad relacionados con el CO₂

Principio operativo de los sensores de infrarrojos

El dióxido de carbono y otros gases compuestos por dos o más átomos diferentes absorben la radiación infrarroja (IR) de una forma característica y única. Es posible detectar dichos gases mediante el uso de técnicas de IR. El vapor de agua, el metano, el dióxido de carbono y el monóxido de carbono son ejemplos de gases que pueden medirse por medio de un sensor de IR. Las franjas características de su absorción se muestran en la Figura 1.

La detección de IR es la tecnología más aplicada para la detección de CO₂. Los sensores de IR presentan muchos beneficios respecto de los sensores químicos. Son estables y altamente selectivos del gas medido. Tienen un ciclo de vida extenso y, debido a que el gas medido no interactúa en forma directa con el sensor, los sensores de IR soportan la humedad alta, el polvo, la suciedad y otras condiciones hostiles.

Los principales componentes de un detector de CO₂ de IR son la fuente de luz, la cámara de medición, el filtro de interferencia y el detector de IR. La radiación de IR se traslada desde la fuente de luz a través del gas medido hasta el detector. Un filtro ubicado en la parte de adelante del detector impide que otras longitudes de onda que no sean las específicas del gas medido pasen a través del detector. Así, se detecta la intensidad de la luz y se convierte en un valor de concentración de gases.

El sensor de dióxido de carbono **CARBOCAP®** de Vaisala utiliza tecnología de detección de IR para medir la concentración volumétrica de CO₂. El sensor cuenta con un filtro específico Interferómetro Fabry-Pérot (FPT) sintonizable eléctricamente para medir la longitud de onda doble. Esto significa que, además de medir la absorción de CO₂ el sensor CARBOCAP® también realiza una medición de referencia, que compensa cualquier cambio que se produzca en la intensidad de la fuente de la luz y también la acumulación de suciedad y la contaminación. Esto hace que el sensor presente un alto nivel de estabilidad con el tiempo. Para obtener más información sobre la gama completa de productos de Vaisala para la medición del O₂ visite www.vaisala.com/CO2

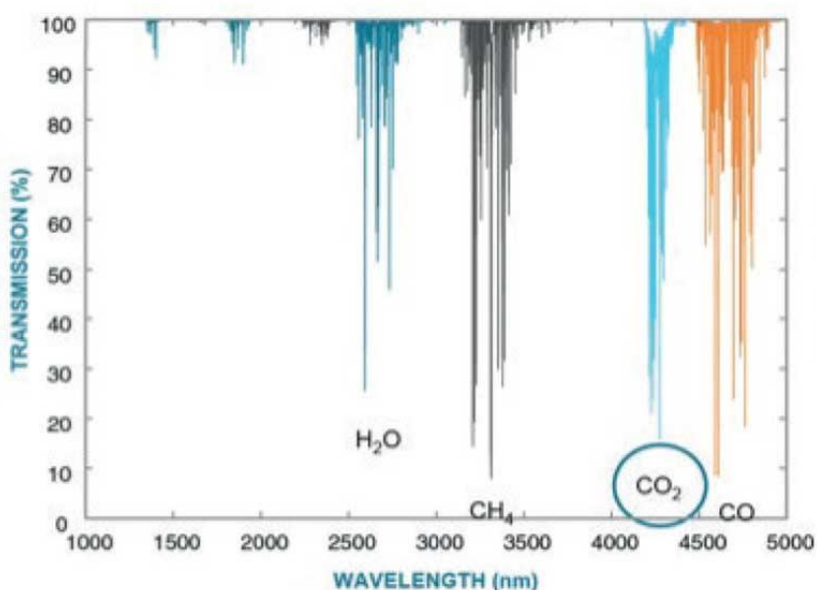


Figura 1. Absorción de CO₂ O₂ de IR y algunos otros gases.

Ley de gases ideales

La Ley de gases ideales resulta útil para estimar el efecto de los cambios de temperatura y presión sobre la medición del CO₂. Se puede utilizar para compensar las lecturas de CO₂.

El gas ideal es un gas hipotético compuesto por partículas de puntos idénticos que se desplazan en forma aleatoria cuyo tamaño es insignificante y poseen fuerzas intermoleculares insignificantes. Las moléculas de los gases ideales experimentan colisiones elásticas entre sí y contra las paredes del recipiente.

En realidad, los gases no se comportan exactamente como los gases ideales, pero con frecuencia se utiliza la aproximación para describir el comportamiento de los gases reales. En la ley de gases ideales, se establece una relación entre una cierta cantidad de gas y su presión, volumen y temperatura según la siguiente ecuación:

$$pV = nRT$$

donde

p = presión [Pa]

V = volumen del gas [m³]

n = cantidad de gas [mol]

R = constante universal de los gases ideales (= 8.3145 J/mol K)

T = temperatura [K]

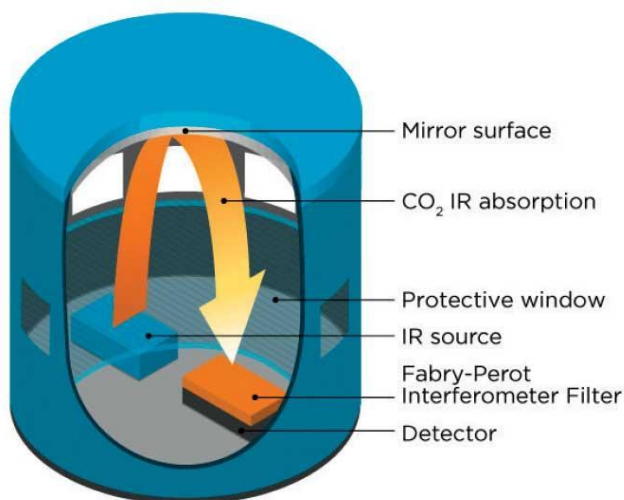
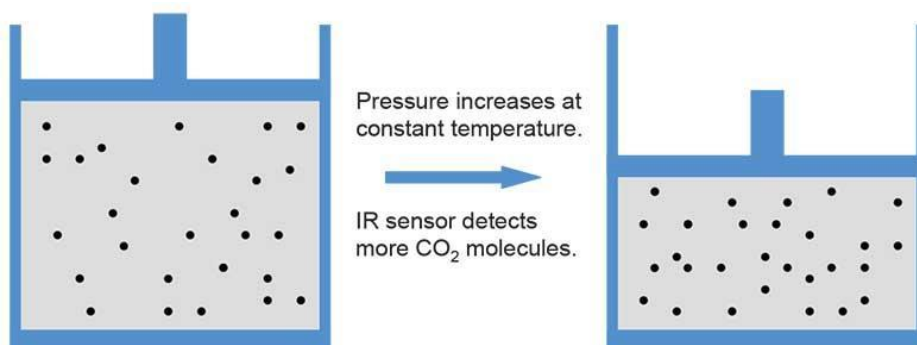
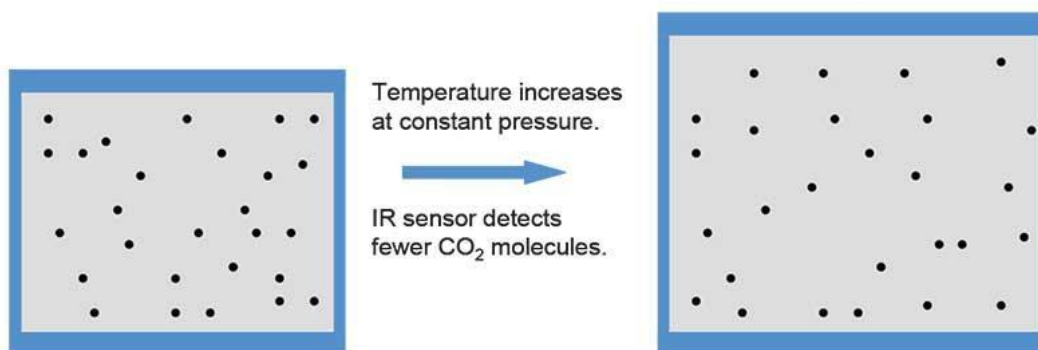


Figura 2. Estructura del sensor de CO₂ CARBOCAP® de Vaisala.

Incremento de presión a temperatura constante



Incremento de temperatura a presión constante



Ubicaciones ideales para los transmisores de CO₂

Evitar ubicaciones en las cuales las personas puedan respirar directamente sobre el sensor. Evite siempre ubicar los sensores próximos a conductos de escape o tomas de aire, o cerca de ventanas y entradas.

En las situaciones de ventilación controlada por demanda, los sensores montados en la pared ofrecen información más precisa sobre la efectividad de la ventilación que los sensores montados en conductos. Los sensores montados en conductos se adaptan mejor a sistemas con una zona única y deberían instalarse lo más cerca de un espacio ocupado como sea posible para permitir un fácil acceso para realizar las tareas de mantenimiento.

Cuando se realizan mediciones de CO₂ a los efectos de la seguridad personal, los transmisores deben instalarse cerca de los potenciales puntos de fuga para permitir una

detección temprana. Deben tenerse en cuenta factores como la geometría, la ventilación y el flujo de aire del área monitoreada. La cantidad y la ubicación de los transmisores de CO₂ deben definirse por medio de la evaluación del riesgo.

El efecto de la temperatura y la presión sobre la medición del CO₂

La mayoría de los sensores de gas arrojan una señal proporcional a la densidad molecular (moléculas/ volumen de gas), aun cuando la lectura se exprese en partes por millón (volumen/volumen). A medida que cambia la presión y/o la temperatura, la densidad molecular del gas se modifica conforme a la ley de gases ideales. El resultado se observa en la lectura ppm del sensor.

En los siguientes dibujos se muestra de qué manera el incremento de la presión o la temperatura modifica el estado del gas y cómo afecta la medición de CO₂.

La ley de gases ideales se aplica para calcular la densidad molecular de un gas a una temperatura y presión determinadas, cuando se conoce la densidad del gas en Condiciones Normales de Presión y Temperatura Ambiente (CNPT). Si se reemplaza la cantidad de gas (n) por $\rho V/M$, y se supone que la masa molar del gas (M) se mantiene constante en las dos condiciones diferentes, la ecuación puede escribirse como en la Ecuación 1.

$$\rho(t, p) = \rho(25^{\circ}\text{C}, 1013\text{hPa}) \times \frac{p}{1013} \times \frac{298}{(273+t)} \quad \text{..... Ecuación. 1}$$

donde

ρ = concentración del volumen de gas [ppm o %]

p = presión ambiente [hPa]

t = temperatura ambiente [°C]

Es posible utilizar la fórmula de densidad para estimar de qué manera cambian las lecturas del sensor de gas a medida que cambian la temperatura y/o presión.

La fórmula de densidad se utiliza para compensar las variaciones de temperatura y de presión al medir el CO₂. Los típicos instrumentos de CO₂ no miden la presión y, por lo tanto, no pueden compensar las variaciones de presión automáticamente. Cuando se calibran en

la fábrica, los instrumentos se configuran en condiciones de presión sobre el nivel del mar (1013 hPa). Cuando se realizan mediciones en otras altitudes que no sean a nivel del mar, se recomienda compensar el efecto de la presión. Esto puede hacerse de dos maneras: ingresando las configuraciones correctas de presión para la compensación interna (condiciones de presión constante) o programando la compensación en un sistema de automatización o PC (condiciones cambiantes de presión).

Las mismas reglas de compensación se aplican al efecto de la temperatura, Sin embargo, cada vez hay más medidores de CO₂ disponibles que miden y compensan las variaciones de temperatura al mismo tiempo y que, en consecuencia, no requieren una compensación externa.

En la Tabla 1 se muestra un ejemplo de los cambios en la lectura del sensor de CO₂ (el gas contiene 1.000 ppm de CO₂ en CNPT) a medida que cambian la temperatura y la presión, conforme a la Ley de gases ideales.

Temperatura (°C)										
Presión (hPa)	-20	-10	0	10	20	25	30	40	50	60
700	814	783	754	728	703	691	680	658	638	618
800	930	895	862	832	803	790	777	752	729	707
900	1046	1007	970	936	904	888	874	846	820	795
1000	1163	1119	1078	1039	1004	987	971	940	911	883
1013	1178	1133	1092	1053	1017	1000	983	952	923	895
1100	1279	1230	1185	1143	1104	1086	1068	1034	1002	972
1200	1395	1342	1293	1247	1205	1185	1165	1128	1093	1060
1300	1512	1454	1401	1351	1305	1283	1262	1222	1184	1148

Tabla 1. Lectura de ppm de un sensor de CO₂ al medir un gas con una concentración de 1.000 ppm bajo distintas condiciones de temperatura y presión.

Ejemplo de secado de un gas húmedo

Procesar la ley de gases ideales ofrece otra forma más de comprender lo que sucede cuando la composición de una mezcla de gas varía a presión, temperatura y volumen

constantes. Por ejemplo, esto puede utilizarse para estimar el efecto de la humedad cambiante sobre la lectura de CO₂.

Las moléculas de una mezcla de gas existen en el mismo volumen de sistema (el volumen es el mismo para todos los gases) a la misma temperatura. La ley de gases ideales puede modificarse de la siguiente manera:

$$p = (n_{gas1} + n_{gas2} + n_{gas3} + \dots n_{gasn}) \times \frac{RT}{V}$$

Donde:

n_{gas1} = cantidad de gas 1 [mol]

n_{gas2} = cantidad de gas 2 [mol], etc.

y

$$p = p_{gas1} + p_{gas2} + p_{gas3} + \dots p_{gasn}$$

Donde:

p = presión total de la mezcla de gas

p_{gas1} = presión parcial de gas 1

p_{gas2} = presión parcial de gas 2, etc.

La segunda ecuación se denomina Ley de las Presiones Parciales de Dalton. La ley establece que la presión total de una mezcla de gas es la suma de las presiones parciales de todos los gases presentes en la mezcla.

Esta información es útil cuando se tiene en cuenta la influencia del vapor de agua en las lecturas de los sensores de CO₂. Cuando se incorpora el vapor de agua a un gas seco a presión, temperatura y volumen constantes, el agua reemplaza a algunas de las moléculas de gas en la mezcla. Del mismo modo, cuando se extrae un gas en un ambiente con alta humedad y se lo deja secar antes de ingresar en la cámara de medición de un medidor de

CO₂, la pérdida de moléculas de agua cambia la composición del gas y afecta la medición de CO₂.

El denominado efecto de dilución puede estimarse utilizando la Tabla 2. La concentración de CO₂ en un ambiente con alta humedad puede calcularse cuando se conoce la concentración de CO₂. Para lograrlo, deben conocerse el punto de rocío (T_d a 1013 hPa) o la concentración de agua (ppm) de las condiciones de humedad y sequedad. La condición de humedad del ambiente con alta humedad se selecciona del eje horizontal y la condición del gas seco, del eje vertical.

Ejemplo: Se extrae una muestra de gas de un ambiente con un punto de rocío de 40 °C (73.000 ppm de agua) a un ambiente con una T_d de 20 °C (23.200 ppm de agua). La concentración medida de CO₂ de 5,263 % a una T_d de 20 °C se transforma en 5,00 % en un ambiente con una T_d de 40 °C (5,263 % x 0,950 = 5,00 %). La lectura más baja se obtiene a partir de la dilución que resulta del mayor contenido de agua a una T_d de 40 °C.

	T _d (°C)	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
T _d (°C) ppm H ₂ O		127	377	1 020	2 580	6 060	12 200	23 200	42 000	73 000	122 000	197 000
-60	11	0.9999	0.9996	0.999	0.997	0.994	0.988	0.977	0.958	0.927	0.878	0.803
-50	39	0.9999	0.9997	0.999	0.997	0.994	0.988	0.977	0.958	0.927	0.878	0.803
-40	127	1.0000	0.9997	0.999	0.998	0.994	0.988	0.977	0.958	0.927	0.878	0.803
-30	377		1.0000	0.999	0.998	0.994	0.988	0.977	0.958	0.927	0.878	0.803
-20	1 020			1.000	0.998	0.995	0.989	0.978	0.959	0.928	0.879	0.804
-10	2 580				1.000	0.997	0.990	0.979	0.961	0.930	0.880	0.805
0	6 050					1.000	0.994	0.983	0.964	0.933	0.884	0.809
10	12 200						1.000	0.989	0.970	0.939	0.890	0.815
20	23 200							1.000	0.981	0.950	0.901	0.826
30	42 000								1.000	0.969	0.920	0.845
40	73 000									1.000	0.951	0.876
50	122 000										1.000	0.925
60	197 000											1.000

Tabla 2. Coeficientes de dilución en secado de muestras de gas.

Dióxido de carbono y seguridad

Efecto de los distintos niveles de CO ₂	
CONCENTRACIÓN	EFEECTO
350 - 450 ppm	Concentración atmosférica típica
600 - 800 ppm	Calidad del aire interno aceptable
1,000 ppm	Calidad del aire interno tolerable
5,000 ppm	Límite promedio de exposición en un período de ocho horas
6,000 - 30,000 ppm	Preocupación, solo exposición breve
3 - 8%	Incremento de la frecuencia respiratoria, dolor de cabeza
> 10%	Náuseas, vómitos, pérdida de conocimiento
> 20%	Pérdida de conocimiento repentina, muerte

El dióxido de carbono es un gas no tóxico y no inflamable. Sin embargo, la exposición a concentraciones elevadas puede representar un riesgo de vida. Cuando se utiliza, produce, envía o almacena gas CO₂ o hielo seco, la concentración de CO₂ puede elevarse a niveles muy peligrosos. Debido a que el CO₂ es inodoro e incoloro, resulta imposible detectar las fugas, por lo cual es necesario utilizar los sensores adecuados para garantizar la seguridad del personal.