



DETECCIÓN ÓPTICA DE GAS

DETECTORES

Una cámara de detección óptica de gas puede considerarse una versión altamente especializada de una cámara de infrarrojos o termográfica. Cuenta con una lente, un detector, algunos dispositivos electrónicos para procesar la señal del detector y un visor o pantalla para que el usuario vea la imagen producida por la cámara. Los detectores utilizados para las cámaras OGI son detectores cuánticos que requieren enfriamiento a temperaturas criogénicas (en torno a 70 K o $-203\text{ }^{\circ}\text{C}$). Las cámaras de onda media que detectan gases como el metano suelen funcionar en el rango de $3\text{-}5\text{ }\mu\text{m}$ y usan un detector de antimonio de indio (InSb). Las cámaras de onda larga que detectan gases como el hexafluoruro de azufre tienden a funcionar en el rango de $8\text{-}12\text{ }\mu\text{m}$ y utilizan un fotodetector infrarrojo de pozos cuánticos (QWIP).

Cuando los materiales utilizados para los detectores cuánticos están a temperatura ambiente, tienen electrones a diferentes niveles de energía. Algunos electrones tienen suficiente energía térmica para estar en la banda de conducción, lo que significa que los electrones pueden moverse libremente y el material puede conducir una corriente eléctrica. Sin embargo, la mayoría de los electrones se encuentran en la banda de valencia, en la cual no transportan corriente porque no pueden moverse libremente.

Cuando el material se enfría a una temperatura lo suficientemente baja, la cual varía según el material elegido, la energía térmica de los electrones puede ser tan baja que ninguno puede alcanzar la banda de conducción. Por lo tanto, el material no puede conducir corriente. Cuando estos materiales se ven expuestos a fotones incidentes, y los fotones tienen suficiente energía, la energía estimula los electrones de la banda de valencia, lo que hace que se muevan hacia la banda de conducción. Ahora el material (el detector) puede conducir una fotocorriente, que es proporcional a la intensidad de la radiación incidente.

Hay un umbral de energía muy preciso de fotones incidentes que permite que un electrón salte de la banda de valencia a la banda de conducción. Esta energía está relacionada con una determinada longitud de onda: la longitud de onda de corte. Dado que la energía del fotón es inversamente proporcional a su longitud de onda, las energías son más altas en la banda de onda corta/media que en la banda de onda larga. Por lo tanto, como regla general, las temperaturas de funcionamiento para los detectores de onda larga son más bajas que para los detectores de onda corta/media. Para un detector de onda media de InSb, la temperatura necesaria debe ser inferior a 173 K ($-100\text{ }^{\circ}\text{C}$), aunque puede funcionar a una temperatura mucho más baja. En cambio, un detector de onda larga QWIP en general necesita aproximadamente 70 K ($-203\text{ }^{\circ}\text{C}$) o menos para funcionar. La longitud de onda y la energía del fotón incidente deben ser suficientes para superar la energía de banda prohibida, ΔE .

MÉTODO DE REFRIGERACIÓN

Los detectores en la mayoría de las cámaras OGI se enfrían usando refrigeradores Stirling. El proceso Stirling elimina el calor del lado frío (Figura 1) y lo disipa en el lado caliente. La eficiencia de este tipo de refrigerador es relativamente baja, pero lo suficientemente buena como para enfriar un detector de cámara IR.

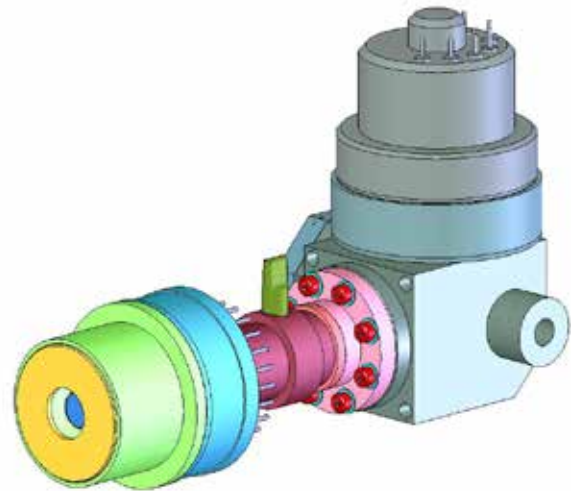


Figura 1. El refrigerador Stirling integrado, que funciona con gas helio, puede enfriar el detector a $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ o, a veces, a una temperatura inferior

NORMALIZACIÓN DE LA IMAGEN

Otro aspecto complejo es el hecho de que cada detector individual en la matriz de plano focal (FPA) tiene una ganancia y una desviación de cero ligeramente diferentes. Para crear una imagen termográfica útil, las diferentes ganancias y desviaciones de cero deben corregirse a un valor normalizado. Este proceso de calibración de varios pasos lo realiza el software de la cámara. El paso final del proceso es la corrección de no uniformidad (NUC, por sus siglas en inglés). En las cámaras de medición, esta calibración la realiza automáticamente la cámara. En la cámara OGI, la calibración es un proceso manual. Esto se debe a que la cámara no tiene un obturador interno que le presente una fuente de temperatura uniforme al detector.

El resultado final es una imagen termográfica que retrata con precisión las temperaturas relativas en el objeto o escena objetivo. No se realiza ninguna compensación de la emisividad o la radiación de otros objetos que se refleja de nuevo en la cámara desde el objeto de destino (temperatura aparente reflejada). La imagen es una imagen genuina de la intensidad de la radiación, independientemente de cuál es la fuente de radiación térmica.

ADAPTACIÓN ESPECTRAL

La cámara OGI utiliza un método de filtrado espectral exclusivo que le permite detectar un compuesto gaseoso. El filtro se monta frente al detector y se enfría junto con este para evitar cualquier intercambio de radiación entre el filtro y el detector. El filtro restringe las longitudes de onda de radiación que pueden pasar al detector a una banda muy estrecha llamada paso de banda. Esta técnica se denomina adaptación espectral.

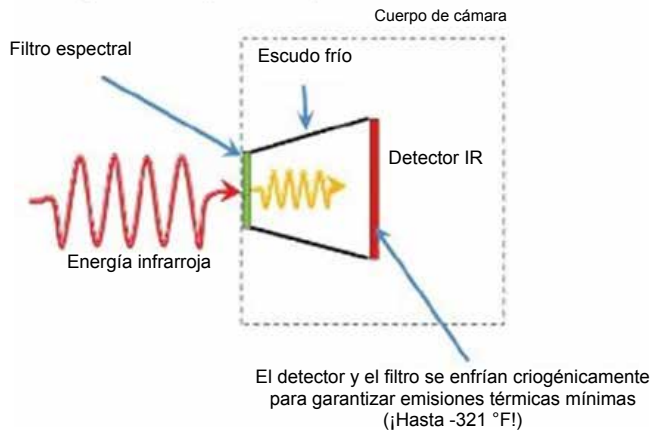


Figura 2. Diseño interno de un núcleo de detección óptica de gas

ESPECTRO DE ABSORCIÓN DE INFRARROJOS DE LOS GASES

Para la mayoría de los compuestos gaseosos, las características de absorción de infrarrojos dependen de la longitud de onda. En las Figuras 3A y 3B, el pico de absorción del propano y del metano se manifiesta mediante la caída abrupta de las líneas de transmitancia en los gráficos. Las regiones en amarillo representan un filtro espectral de muestra utilizado en una cámara OGI, que está diseñado para corresponder al rango de longitud de onda donde el gas de interés en particular absorbería la mayor parte de la energía infrarroja de fondo.

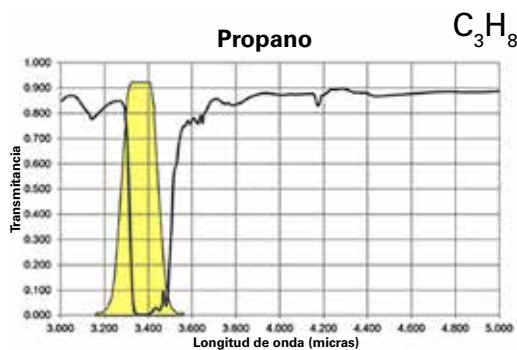


Figura 3A. Características de absorción de infrarrojos del propano

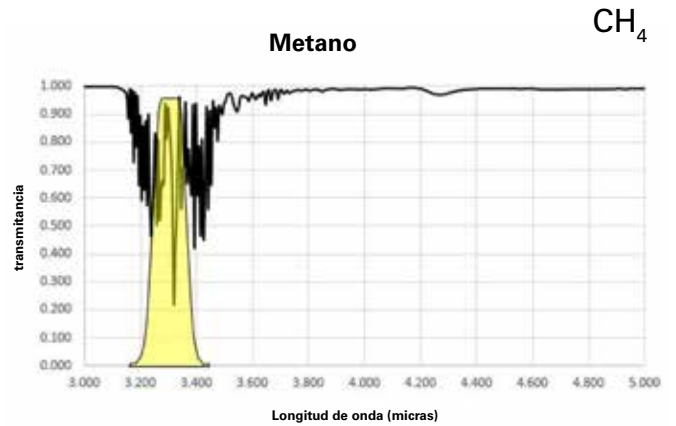


Figura 3B. Características de absorción de infrarrojos del metano

La mayoría de los hidrocarburos absorben energía cerca de los 3.3 μm , por lo que el filtro de muestra en la Figura 3 se puede utilizar para detectar una amplia variedad de gases. Los factores de respuesta (RF) de más de 400 compuestos adicionales están disponibles en el siguiente sitio: <http://rfcalc.providencephotonics.com>.

El etileno tiene dos bandas de absorción fuertes, pero un sensor de onda larga detectará este gas con mayor sensibilidad que un sensor de onda media con base en la curva de transmitancia que se muestra a continuación.

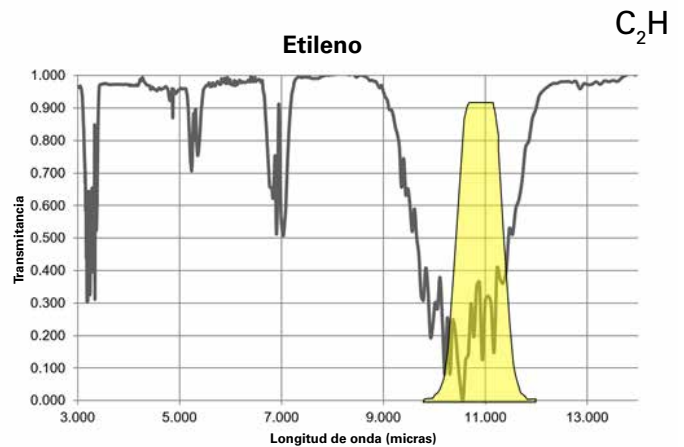


Figura 4. Características de absorción de infrarrojos del etileno

La selección de un filtro que limite la cámara para que funcione solo en una longitud de onda en la cual un gas tenga un pico de absorción muy alto (o punto mínimo de transmisión) mejorará la visibilidad del gas. El gas efectivamente "bloqueará" más la radiación que proviene de los objetos ubicados detrás de la columna, en el fondo.

¿POR QUÉ ALGUNOS GASES ABSORBEN LA RADIACIÓN INFRARROJA?

Desde un punto de vista mecánico, las moléculas de un gas podrían compararse con pesos (las bolas de la Figura 5 mostrada a continuación), conectados entre sí a través de resortes. Dependiendo del número de átomos, de su tamaño y masa respectivos, y de la constante elástica de los resortes, las moléculas pueden moverse en determinadas direcciones, vibrar a lo largo del eje, girar, doblarse, estirarse, balancearse, moverse de arriba a abajo, etc.

Las moléculas de gas más simples son un único átomo, como el helio (He), el neón (Ne) o el criptón (Kr). No tienen cómo vibrar ni girar, por lo que solo pueden desplazarse por movimiento de traslación en una dirección cada vez.



Figura 5. Un solo átomo

La siguiente categoría más compleja de moléculas es la homonuclear, compuesta por dos átomos, como hidrógeno (H₂), nitrógeno (N₂) y oxígeno (O₂). Estas moléculas tienen la capacidad de girar alrededor de sus ejes, además del movimiento de traslación.

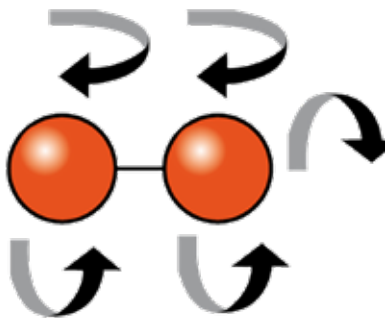


Figura 6. Dos átomos

Luego están las moléculas diatómicas complejas como el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el hexafluoruro de azufre (SF₆) o el estireno (C₆H₅CH=CH₂) (se trata solo de algunos ejemplos).



Figura 7. Dióxido de carbono: 3 átomos por molécula

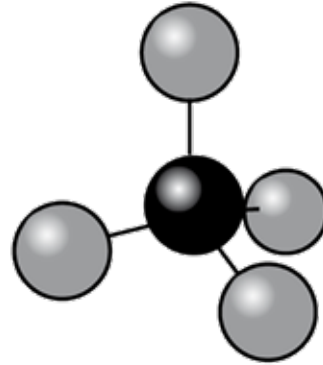


Figura 8. Metano - 5 átomos por molécula

Este supuesto también es válido para las moléculas multiatómicas.

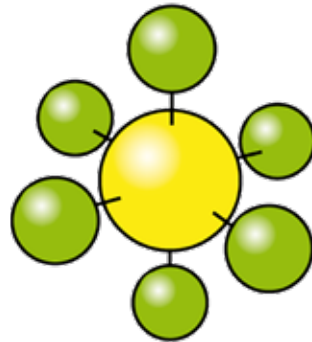


Figura 9. Hexafluoruro de azufre 6 - 7 átomos por molécula

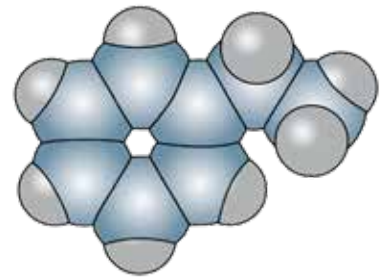


Figura 10. Estireno - 16 átomos por molécula

Sus mayores grados de libertad mecánica les permiten múltiples transiciones giratorias y vibratorias. Como se forman a partir de varios átomos, pueden absorber y emitir calor de manera más efectiva que las moléculas simples. Según la frecuencia de las transiciones, algunas de ellas caen dentro de rangos de energía que se encuentran en la región infrarroja en la cual la cámara infrarroja es sensible.

TIPO DE TRANSICIÓN	FRECUENCIA	RANGO ESPECTRAL
Rotación de moléculas pesadas	De 10 ⁹ a 10 ¹¹ Hz	Microondas, por encima de 3 mm
Rotación de moléculas ligeras y vibración de moléculas pesadas	De 10 ¹¹ a 10 ¹³ Hz	Infrarrojos lejanos, entre 30 μm y 3 mm
Vibración de las moléculas ligeras. Rotación y vibración de la estructura	De 10 ¹³ a 10 ¹⁴ Hz	Infrarrojo, entre 30 μm y 3 mm
Transiciones electrónicas	De 10 ¹⁴ a 10 ¹⁶ Hz	Visible:

Tabla 1. Rangos de frecuencia y longitud de onda de los movimientos moleculares

Para que una molécula absorba un fotón (de energía infrarroja) a través de una transición de un estado a otro, la molécula debe tener un momento dipolar capaz de oscilar brevemente a la misma frecuencia que el fotón incidente. Esta interacción mecánica cuántica permite que la energía del campo electromagnético del fotón sea "transferida" o absorbida por la molécula.

Las cámaras OGI aprovechan la naturaleza absorbente de ciertas moléculas para visualizarlas en sus entornos nativos. Las matrices de plano focal (FPA) y los sistemas ópticos de las cámaras se calibran específicamente para rangos espectrales muy estrechos, del orden de cientos de nanómetros, y son por lo tanto ultraselectivos. Solo se pueden detectar los gases absorbentes de la región infrarroja que está delimitada por un filtro de paso de banda estrecho (Figuras 3, 4).

VISUALIZACIÓN DE LA CORRIENTE DE GAS

Si la cámara se dirige a una escena en la que no hay una fuga de gas, los objetos en el campo de visión emitirán y reflejarán la radiación infrarroja a través de la lente y el filtro de la cámara. El filtro solo permitirá que pasen determinadas longitudes de onda de radiación a través del detector y, gracias a esto, la cámara generará una imagen no compensada de la intensidad de la radiación. Si hay una nube de gas entre los objetos y la cámara, y dicho gas absorbe radiación en el rango de paso de banda del filtro, se reducirá la cantidad de radiación que pasa a través de la nube hacia el detector (Figura 11).

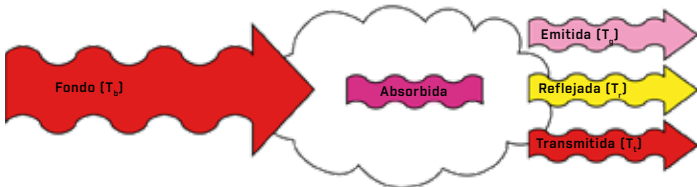


Figura 11. Efecto de una nube de gas

Para poder ver la nube en relación con el fondo, debe haber un contraste radiante entre la nube y el fondo. Es decir, la cantidad de radiación que sale de la nube no debe ser igual a la cantidad de radiación que entra en ella (Figura 12). Si la flecha azul de la Figura 12 es del mismo tamaño que la flecha roja, la nube será invisible.

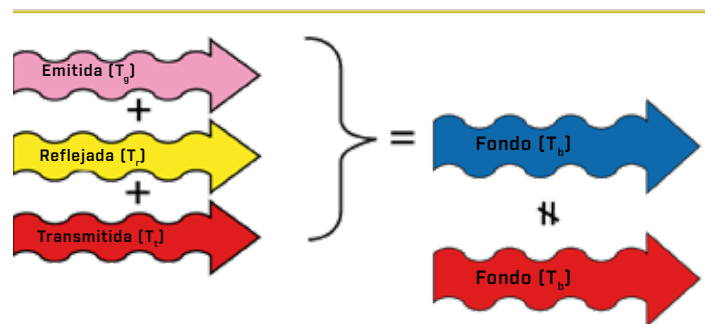


Figura 12. Contraste radiante de la nube

En realidad, la cantidad de radiación que las moléculas reflejan en la nube es muy pequeña y se puede ignorar. De modo que la clave para hacer que la nube sea visible es la diferencia de temperatura aparente entre la nube y el fondo (Figura 13).

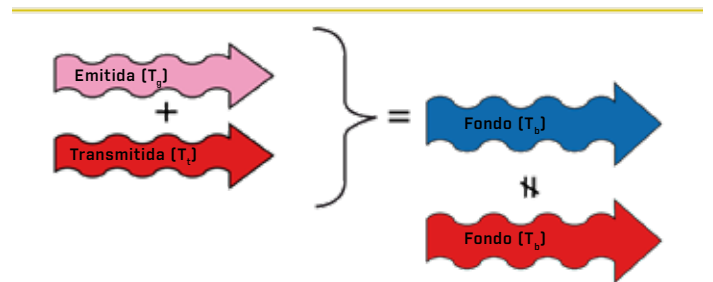


Figura 14. Diferencia de temperatura aparente

CONCEPTOS CLAVE PARA HACER VISIBLES LAS NUBES DE GAS:

- El gas debe absorber la radiación infrarroja en la banda de onda que ve la cámara.
- La nube de gas debe tener un contraste radiante con el fondo.
- La temperatura aparente de la nube debe ser diferente a la del fondo.
- El movimiento hace que sea más fácil ver la nube

– Cerciorarse de que su equipo OGI esté calibrado para medir la temperatura es un factor valioso y crítico para poder evaluar el Delta T (temperatura aparente entre el gas y el fondo).



The World's Sixth Sense®

PORTLAND
Corporate Headquarters
FLIR Systems, Inc.
27700 SW Parkway Ave.
Wilsonville, OR 97070
USA
PH: +1 866.477.3687

LATIN AMERICA
FLIR Systems Brasil
Av. Antonio Bardella, 320
Sorocaba, SP 18085-852
Brasil
PH: +55 15 3238 8070

www.flir.com/OGI
NASDAQ: FLIR

Copyright ©2016, FLIR Systems, Incorporated. Todas las demás marcas y nombres de productos son marcas comerciales de FLIR Systems, Incorporated. Las especificaciones están sujetas a cambios sin previo aviso: visite www.flir.com para obtener la información más reciente sobre las especificaciones. Las imágenes utilizadas tienen una función meramente informativa. 03/06/16

Tamaño A4