

COMUNICACION BREVE / SHORT COMMUNICATION

Detector Infrarrojo Para el Registro Continuo del Vapor de Agua

David Mandelbaum* y Joaquín Lira-Olivares†

*Departamento de Física, † Instituto de Investigaciones Metalúrgicas, Universidad Simón Bolívar, Apartado 80659, Caracas 1080, Venezuela

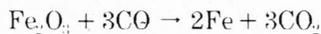
Se describe un sistema de detección infrarrojo, su funcionamiento y empleo en el registro continuo del vapor de agua. Este sistema se puede adaptar eventualmente para el registro de gases durante la reducción directa de las menas de hierro.

An Infrared Detector to Control the Reactions of the Direct Reduction of Iron Ores.

We describe a simple infrared gas detector, to monitor the exhaust gasses from the direct reduction of iron ores. The detector was successfully tested with H₂O vapour and can be adapted for H₂, CO and CO₂.

INTRODUCCION

Durante la reducción directa de la mena de hierro con el gas natural, se generan gases de desecho constituido principalmente por CO, CO₂ y H₂O. Esto se puede resumir en las siguientes reacciones:



Este artículo se refiere al desarrollo de un sistema de detección infrarrojo para el registro continuo de pequeñas cantidades de vapor de agua. Esta técnica puede ser de gran utilidad en otras áreas de la metalurgia y otros campos donde están presentes los gases ya mencionados.

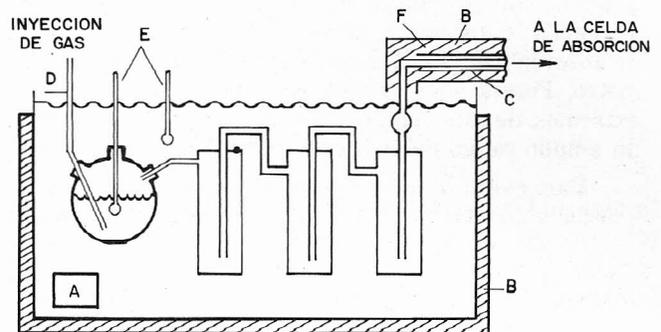
Un registro continuo de la concentración, en este caso, del vapor de agua, permite automatizar todo el proceso. Ya que, de esta manera, se puede emplear una señal de realimentación para controlar parámetros como la temperatura o la presión con el fin de optimizar el proceso estudiado.

Existe gran variedad de detectores infrarrojos e higrómetros que han sido desarrollados [1, 2] pero la mayoría poseen problemas de condensación de agua en sus celdas de absorción, especialmente cuando se emplean en experimentos de reducción directa (la temperatura de los gases de descarga es elevada) los gases de descarga salen del reactor a temperaturas elevadas.

El sistema aquí descrito mantiene los gases de descarga por encima de los 100 °C para evitar la condensación.

Aparatos

Se construyó un generador de vapor de agua del tipo descrito por Chida, et. al [3] con el fin de calibrar nuestro detector de infrarrojo (Ver Fig. 1).



- A CALENTADOR
- B AISLAMIENTO
- C CINTA ELECTRICA
- D TUBO CAPILAR
- E TERMOMETRO
- F TERMOCUPLA

Fig. 1. Generador de vapor de agua.

Dicho generador consistía de un baño de maría con temperatura controlada. Sumergidos en el baño se encontraban una redoma conectada en serie a un número de trampas mantenidas a una temperatura T₀. Se utilizó un calentador para incrementar la temperatura T₀ desde los 22 °C hasta los 80 °C que además permitía la circulación del agua en el baño.

El nitrógeno gaseoso se introdujo en el vaso a través de un tubo capilar. Las pequeñas burbujas de gas saturaban de agua a la temperatura T₀. El gas saturado pasaba luego a través de las trampas de vapor emplea-

das con el fin de homogeneizar el gas y remover el exceso de vapor de agua. El nitrógeno gaseoso mezclado con una cantidad conocida de vapor de agua se introducía a través de un tubo aislado y caliente hacia la celda de absorción.

La concentración de agua se calculó para una presión atmosférica de 660 Torr. (correspondiente a la zona de experimentación). Los valores de la concentración de agua se midieron y se chequearon empleando las técnicas normales de gravimetría.

El espectro infrarrojo del agua es bien conocido. R. Mecke [4] ha publicado el espectro del agua líquida. En la zona próxima al infrarrojo las bandas más destacadas que permiten el empleo de ventanas ópticas de vidrio están localizados en los 1,37 μm , 1,87 μm y 2,67 μm . Esta última posee la absorción más fuerte de las tres pero está localizada en una longitud de onda, donde la transmisión del vidrio es muy baja.

Aunque las bandas del agua en estado líquido son anchas y continuas, en el estado gaseosa, no lo son [5, 6]. Las bandas de absorción en el vapor de agua pueden poseer una gran estructura a causa de las transiciones rotacionales.

La estructura puede notarse en la figura 2. En dicha figura los espectros de absorción correspondiente a la banda de 1,87 μm eran producidas por la humedad del aire en un ambiente mantenido a 21 °C por un sistema de aire acondicionado. El instrumento empleado para el análisis fue un monorrotador SPEX, de 3/4 m con una función de instrumento equivalente a 1,8 Å de ancho y una longitud de trayectoria óptica de unos 3 metros. El sistema de detección se muestra en la figura 3. La celda de absorción era de 17,2 cm de longitud y 12 mm de diámetro. Poseía además ventanas de cuarzo en ambos extremos, de esta manera esta celda se podía utilizar en un amplio rango del espectro infrarrojo.

Para evitar la condensación de vapor de agua en las ventanas de cuarzo, se instalaron camisas delgadas de

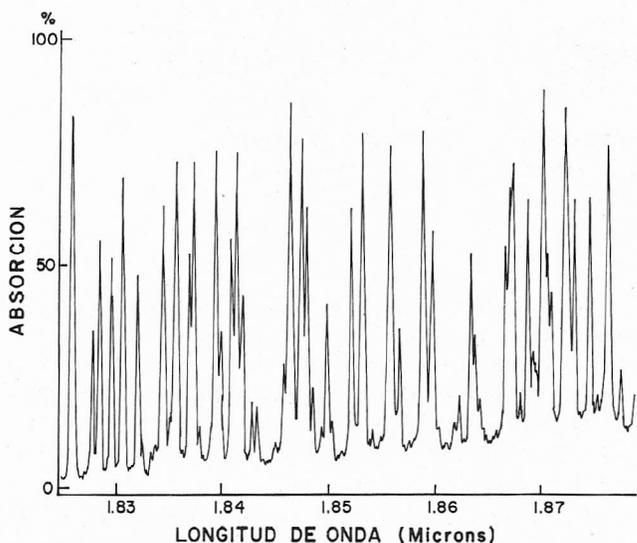
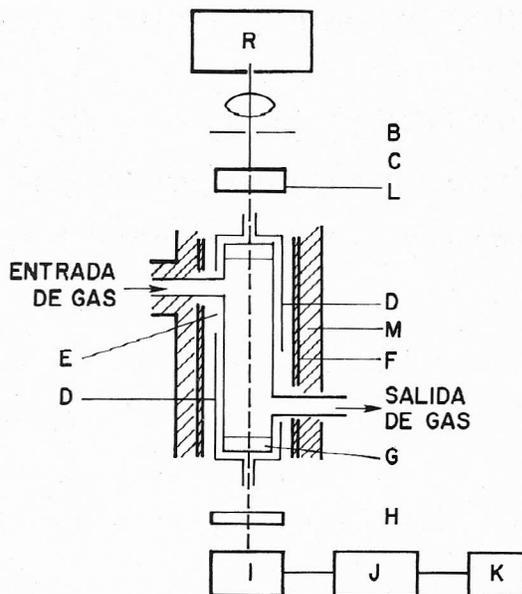


Fig. 2. Parte de los espectros de absorción correspondiente a la banda del vapor de agua de 1,87 μm .



- | | |
|--------------------------|--|
| A FUENTE DE CUERPO NEGRO | H FILTRO DE INTERFERENCIA |
| B LENTE Y DIAFRAGMA | I DETECTOR DE PbS |
| C SEPARADORES DE LUZ | J AMPLIFICADOR INCORPORADO |
| D MANGAS DE COBRE | K REGISTRADOR |
| E TERMOCUPLA | L SEÑAL DE REFERENCIA MODULADA HACIA EL AMPLIFICADOR INCORP. |
| F AISLAMIENTO | M CINTA ELECTRICA |
| G VENTANAS DE CUARZO | |

Fig. 3. Sistema de detección infrarrojo.

cobre en los dos lados de la celda, la cual se mantuvo por encima de los 100 °C durante todas las medidas.

Se empleó un cuerpo negro a 680 °C como generador de radiación continua y estable en la región infrarroja. Pero también se pueden emplear algunas lámparas de filamento de tungsteno si hay disponible una fuente estable de corriente D. C. Empleando principios básicos de óptica, se produce un haz muy delgado de luz modulada con un obturador cuya frecuencia era de 820 Hz. Dicho haz pasa luego a través de una celda de absorción y entra en un detector de PbS [7], el cual posee un filtro de interferencia en el frente. Luego la señal proveniente del detector se amplifica, finalmente es grabada en un registrador.

El filtro de interferencia empleado [8], posee una transmisión de 80% a una longitud de onda de 2,676 μm , y su ancho de banda, es 450 Å, lo cual es equivalente a un ancho de banda de menos del 2% en la longitud de onda donde existe transmisión máxima.

RESULTADOS

La absorción de la radiación por una sustancia sigue la ley de Beer [9]

$$I = I_0 \exp(-\beta c x)$$

donde I = la radiación observada

- I_0 = la radiación incidente en la muestra
- β = coeficiente de absorción por unidad de concentración característico de la sustancia.
- c = la concentración
- x = la longitud de trayectoria óptica recorrida por la radiación en la muestra

La figura 4 muestra valores típicos obtenidos con el detector donde la concentración del vapor de agua se varió entre $2,2 \times 10^{-5} \text{ g/cm}^3$ y $3,0 \times 10^{-1} \text{ g/cm}^3$. Se puede notar la excelente concordancia de los resultados con la ley de Beer. Estos valores se obtuvieron aumentando la temperatura del baño de agua desde los 22°C hasta los 80°C y con ella la concentración de gas. Se realizaron varias pruebas durante un período de 6 meses y la reproducibilidad de las curvas, de un día a otro, era excelente con una discrepancia del orden de 3%.

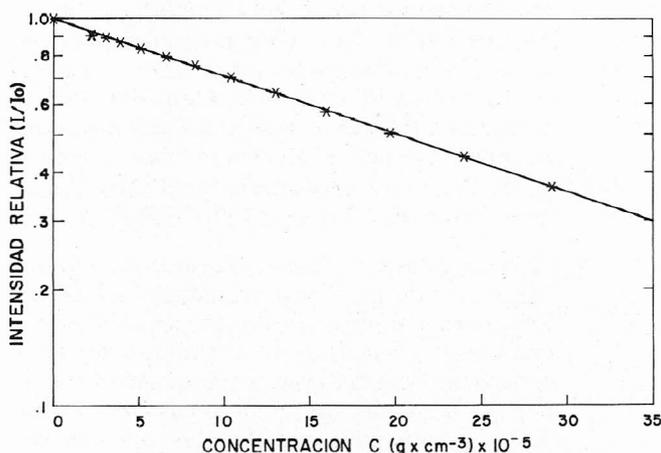


Fig. 1. Intensidad relativa de la señal de detección en función de la concentración del vapor de agua para una celda de absorción de $17,2 \mu\text{m}$.

Eventualmente se desarrolló un sistema menos costoso empleando lámparas con filamento de tungsteno [9] como fuente de radiación y diodos de PbS [10] como detectores. El amplificador incorporado se reemplazó

por un amplificador A. C. La reproducibilidad de este sistema, por demás económico, fue mejor que el 10%. Esta baja en reproducibilidad se debió a la variación en la estabilidad de las lámparas con filamento de tungsteno y en mayor grado, a la variación en la sensibilidad de los diodos de PbS.

Evidentemente, los dos sistemas descritos pueden mejorarse aumentando su sensibilidad cuando sea necesario, diseñando una celda de absorción de mayor longitud. Por otro lado, si la reproducibilidad es el factor gobernante, se puede agregar un segundo haz de luz en el sistema, empleando un espejo y otros accesorios ópticos, para desviar este segundo haz de luz hacia el detector. Este haz de luz adicional se emplea como referencia durante toda la prueba, reduciendo así el problema de la inestabilidad de la fuente y el detector, pero aumentando a su vez la complejidad del mismo.

CONCLUSIONES

Se probó el funcionamiento y uso de un detector infrarrojo para el registro de la concentración de vapor de agua, el cual puede ser empleado en el área de metalurgia. El sistema posee un gran número de ventajas comparado con las técnicas gravimétricas, entre ellas, la elevada sensibilidad y respuesta continua, lo que sería de gran ventaja para sistemas automáticos.

El sistema original es bastante preciso y su reproducibilidad es mucho mejor que el 3%. El sistema puede instalarse con facilidad a la salida de gases de un reactor de reducción directa. El detector puede ser adaptado para registrar las concentraciones de CO_2 , H_2 y CO al cambiar el filtro de interferencia.

RECONOCIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento al Prof. Alfonso Pryor por sus sugerencias y apoyo durante el proyecto, al CONICIT por el financiamiento y al Ing. Wilmer Castillo por su colaboración en la redacción final del manuscrito.

REFERENCIAS

1. Wood, R. C. Rev. Sci. Instr. 29(1958) 36.
2. Togulev, V. P., Ustimov, Y. N., Gross, L. G. Petrov, Y. A., Sov. J. Opt. Tech. 44(1977) 148.
3. Chida, T., Ide, M., Todaki, T., Maeda, S. Int. Chem. Eng. 13(1973) 355.
4. Mecke, R. Current Science 30(1961) 43.
5. Burch, D. E., France, W. L. Williams, D. Appl. Opt. vol. 2, p. 585.

6. Wyatt, P. J., Stull, V. R., Plass, G. N., Appl. Opt. 3(1964) 229.
7. Suministrado por Santa Bárbara Research Center, Galeta, C. A. E.U.A.
8. Suministrado por AGA Corporation, Secaucus, New Jersey, E.U.A.
9. Morgan, J., "Introduction to Geometrical and Physical Optics", McGraw Hill Book Co. Inc. New York (1953).
10. Suministrado por Perkin Elmer Co.
11. Suministrado por Infrared Industries.