

# REDUCCION DEL MINERAL BARITINA MEDIANTE ENERGIA DE MICROONDAS

O. Quesada y W. Ricardo, Departamento de Química, Universidad de Oriente  
J.C. Llópez, Instituto de Materiales y Reactivos para la Electrónica (IMRE), Universidad de La Habana

## RESUMEN

Se investiga las potencialidades de la radiación de microondas en la transformación de minerales y en particular en la reducción del mineral baritina de la región oriental de Cuba. Se emplean técnicas de caracterización de sólidos como la espectroscopia IR y la difracción de RX, a través de las cuales se muestra el desarrollo de la reacción. Se demuestra además, lo factible que resulta la implementación de esta vía de síntesis con respecto a los métodos tradicionales.

## ABSTRACT

The potentialities of the microwaves radiation in the transformation of minerals are investigated and particularly the reduction baritine mineral ore of the eastern part of Cuba. The infrared spectroscopy and X rays diffraction are used as solids characterization technical through which the development of the reaction is shown. As a result of this investigation is demonstrated that the use of this technique is more effective than traditional methods.

## INTRODUCCION

Se conocen numerosas investigaciones relacionadas con la utilización de energía de microondas en síntesis química [1,2,3]. El empleo de dicha energía, ha resultado un eficiente método para la obtención de diversos materiales, al ofrecer posibilidades de alcanzar condiciones únicas en la síntesis.

También, se introducen nuevos problemas y desafíos pues resulta complejo el procesamiento de algunos materiales, lo que puede estar motivado por: i) Los materiales con conductividades iónica y electrónica significativas, no pueden ser efectivamente procesados debido a una penetración inadecuada de la energía de microondas. ii) Otros materiales, con factor de pérdida dieléctrica bajo, son difíciles de calentar desde la temperatura ambiente debido a la mínima absorción de energía incidente. iii) Materiales con permitividad o factor de pérdida que varíe rápidamente con la temperatura son susceptibles de un calentamiento no uniforme o provocan una velocidad de calentamiento muy variable [4].

Algunos conceptos como permitividad compleja, potencia absorbida, tangente de pérdida y profundidad de penetración se utilizan con frecuencia en la literatura [4,5,6], para explicar la posible penetración de algunos materiales por las microondas, así como la capacidad de un material de convertir la energía de microondas en calor.

La literatura refiere que, para calentar un material utilizando esta energía, es necesario combinar una constante dieléctrica moderada ( $\epsilon$ ) que permita

una penetración adecuada y altos valores de factor de pérdida dieléctrica ( $\epsilon''$ ) y tangente de pérdida ( $\tan \delta$ ) [4].

El esquema más clásico para comprender como un sólido se calienta es a través de un material dieléctrico. En el mismo, los campos eléctricos internos generados en el seno de la sustancia en un volumen conocido, inducen movimientos traslacionales de cargas (electrones o iones) libres o asociados, los cuales entrañan una rotación compleja de cargas (dipolos permanentes o inducidos).

Las resistencias a esos movimientos inducidos (debido a fuerzas de inercia, elasticidad o fricción) se mantienen independientes unas de otras y producen pérdidas y atenuaciones del campo eléctrico, lo cual conduce a un calentamiento en todo el volumen de la muestra.

Las microondas son ondas coherentes y polarizadas que obedecen las leyes de la óptica y pueden ser transmitidas, absorbidas o reflejadas dependiendo de la naturaleza del material con el cual interactúan. De acuerdo con la capacidad de interacción de un material con las microondas, se clasifican tres grandes grupos: i) materiales que reflejan las microondas (opacos), ii) materiales que son atravesados por las microondas sin que medie absorción (transparentes) y los materiales que absorben la radiación (absorbentes) [4,5].

Este trabajo investiga las posibilidades de aplicar la energía de microondas en la reducción del mineral baritina de la región oriental de Cuba y se verifica el avance de la reacción, al emplear técnicas de

caracterización como la espectroscopia infrarroja y la difracción de rayos X. Además, se demuestran las superioridades del método propuesto con respecto a los métodos tradicionales.

## MATERIALES, EQUIPOS Y METODOLOGIA EXPERIMENTAL

### Materiales utilizados

Mineral baritina procedente de la provincia Granma (Cuba), carbón vegetal obtenido de la pirólisis del serrín de madera y grafito.

### Equipos empleados

- Horno de microondas mono-modo LG con una frecuencia de 2450Hz y una potencia máxima de 650W, marca SHARP.
- Difractómetro de polvo con goniómetro vertical PW 1050/71, PHILIPS.
- Espectrómetro Infrarrojo con Transformada de Fourier FTIR. Mattson, Génesis Series, registros entre 4000-400  $\text{cm}^{-1}$ .

### Metodología experimental

Dada la poca información existente acerca del comportamiento ante las microondas de los materiales de partida, se realiza una experimentación previa en la que se define que:

- La baritina y el carbón vegetal (materiales de partida en la reducción en otros hornos) no absorben las microondas, por lo que se adicionan pequeñas proporciones de grafito, el que interviene como absorbedor de las microondas y emisor de radiación térmica desde el interior de la mezcla homogénea.
- Al utilizar grafito en diferentes formas (en polvo, en trozos y recipientes de grafito) se mostró que para la reducción de la baritina el más efectivo es en polvo.

Lo anterior sugiere realizar la experimentación según la siguiente metodología:

Se prepara una mezcla homogénea de baritina, carbón vegetal y grafito en una proporción definida y se irradia a una potencia y tiempos predeterminados en un horno de microondas [7], buscando la mayor transformación del mineral.

Por razones económicas, el grafito debe ser recuperable para su reutilización. Los sencillos métodos de flotación demostraron ser suficientes.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Resultados obtenidos al aplicar espectroscopia infrarroja

La Figura 1 muestra el espectro infrarrojo (IR) perteneciente a la mezcla inicial (mineral: carbón vegetal: grafito) que, al compararlo con el espectro IR de un patrón de sulfato de bario puro reportado en la literatura [8], se encuentra gran coincidencia entre los mismos; por lo que se deduce que el componente mayoritario en el mineral es el  $\text{BaSO}_4$ , lo que coincide con el resultado de análisis químico que reporta 84.54 % de este compuesto.

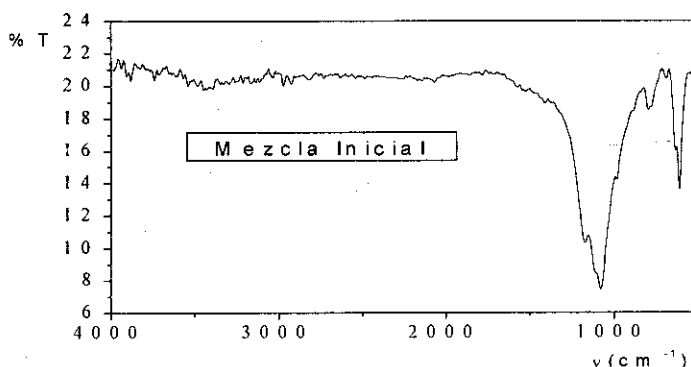


Figura 1. Espectro Infrarrojo de la mezcla inicial.

En la Tabla 1 se asignan los modos vibracionales correspondientes a las bandas encontradas en la mezcla inicial, las que son reportadas [9].

Tabla 1. Asignación de las bandas presentes en la mezcla inicial [9].

Región del espectro ( $\text{cm}^{-1}$ )	Modo de vibración	Característica de la banda
1040-1210	$\nu_3(\text{SO}_4^{2-})$	Banda intensa con submáximos
983	$\nu_1(\text{SO}_4^{2-})$	Frecuentemente 1 ó 2 bandas débiles y agudas.
611	$\nu_4(\text{SO}_4^{2-})$	Frecuentemente doble o múltiple
450	$\nu_2(\text{SO}_4^{2-})$	-
800	$\text{SiO}_2$	-

En la Figura 2 se muestra el espectro del mineral reducido cuando ha sido expuesto a las microondas 10 min en el que, de forma general, aparecen las mismas bandas encontradas en la mezcla inicial. Con experimentos adicionales, que no se reportan por la gran similitud entre los mismos, se observa la tendencia a la disminución del área de la banda más intensa; lo que indica que el mineral se va transformando.

### Resultados obtenidos al aplicar difracción de rayos X

Los perfiles de difracción de RX permiten identificar las fases presentes en el mineral y en la mezcla reducida para tiempos de irradiación de 0 y 10 min.

Las Figuras 3 y 4 muestran los diagramas de líneas obtenidos a partir de los difractogramas de la mezcla inicial y del mineral reducido cuando fue expuesto 10 min. a las microondas.

En el difractograma de la mezcla inicial se observa que los máximos más intensos del patrón experimental corresponden al sulfato de bario (tarjeta JC PDF 24-1035). Se identifican, además, algunas líneas de difracción de otras fases como dióxido de silicio (tarjeta JC PDF 46-1045) y carbonato de calcio (tarjeta JC PDF 5-586) que forman la ganga del mineral y que fueron reportadas por análisis químico y mineralógico. Por último se detectan las fases correspondientes al carbón vegetal (tarjeta JC PDF 46-943) agente reductor y al grafito (tarjeta JC DF 41-1487) medio calefactor presentes en la mezcla inicial.

En la Figura 4 se identifican las mismas fases presentes en la mezcla inicial y algunas líneas correspondientes al sulfuro de bario (tarjeta JC PDF 8-454), obtenido como producto de la transformación del  $BaSO_4$  del mineral. Se debe destacar que el mayor número de líneas obtenidas en el patrón experimental corresponde al sulfato de bario, lo que indica que la transformación del mismo aún no ha terminado o es el mejor cristalizado.

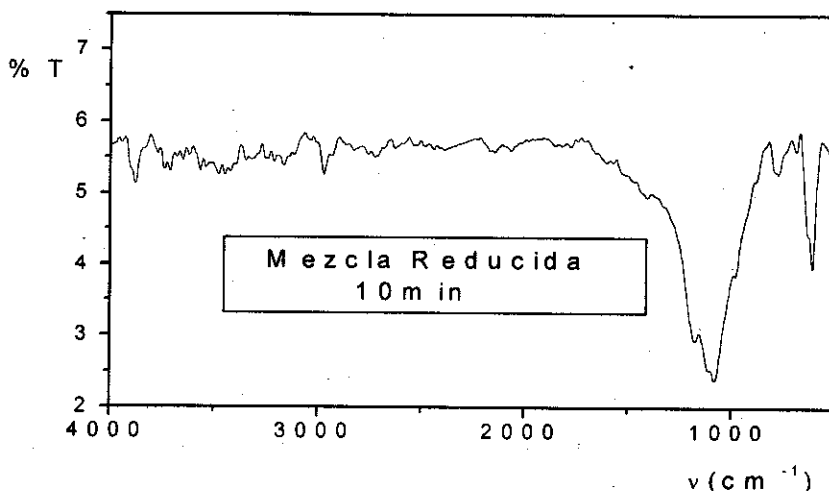


Figura 2. Espectro infrarrojo del mineral reducido hasta 10 min.

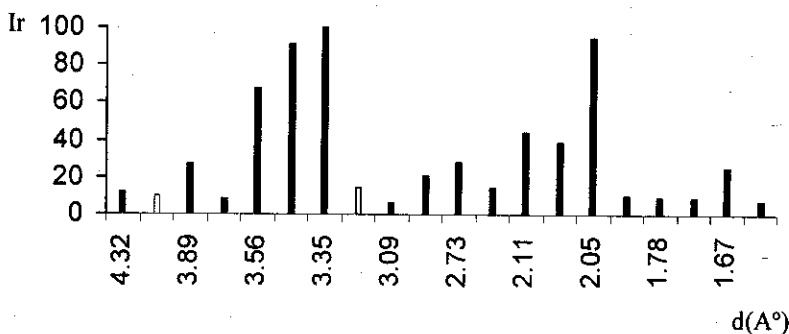


Figura 3. Diagrama de líneas para la mezcla inicial.

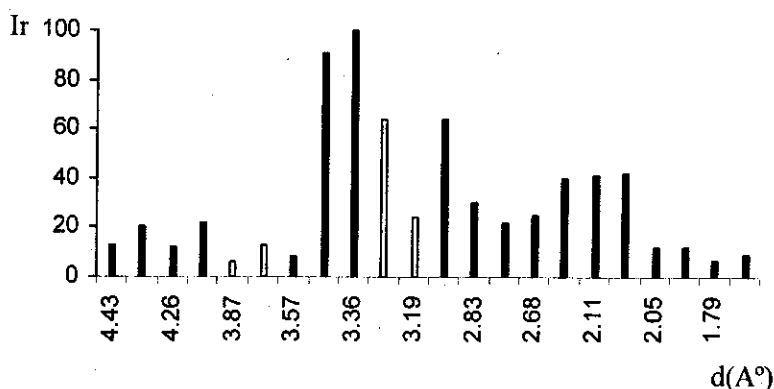
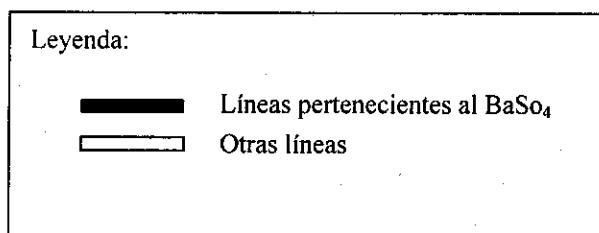


Figura 4. Diagrama de líneas para la mezcla reducida 10 min.



Las Figuras 5 y 6 muestran el espectro IR y el diagrama de líneas para esta mezcla reducida a 20 min.

El espectro IR (Figura 5) presenta una considerable disminución del área de la banda 1040-1210  $\text{cm}^{-1}$ ) correspondiente al sulfato de bario, lo que evidencia que con este tiempo de exposición la reducción del mineral ocurre en una mayor extensión.

El diagrama de líneas (Figura 6) corrobora el resultado anterior, solo se detectan las fases del sulfuro de bario (tarjeta JC PDF 8-454) y el sulfato de bario (tarjeta JC PDF 24-1035). Se debe destacar que desaparecen muchas líneas de difracción presentes para los tiempos de 0 y 10 min, lo que demuestra la mayor transformación del mineral. Además no se descarta la existencia de otras fases como carbón vegetal, grafito, etc., aunque no aparezcan sus máximos de difracción característicos, lo que se evidencia por el color oscuro de la muestra final.

Estos resultados permiten elegir las mejores condiciones experimentales para la reducción del mineral baritina utilizando energía de microondas [7].

### Rendimiento del proceso de reducción bajo la acción de las microondas. Comparación con el reportado por otros métodos

La Tabla 2 muestra los rendimientos obtenidos al emplear diferentes hornos de reducción.

El mejor rendimiento corresponde a la reducción del mineral en horno de microondas, lo que resulta lógico si se tienen en cuenta las ventajas que reporta la utilización de energía de microondas en síntesis química.

Tabla 2. Rendimientos para los diferentes hornos.

Tipos de Hornos	Tiempo de reacción	% de Rendimiento
Estático	Más de una hora	44
Cinemático	Más de una hora	70
Microondas	20 min	94

Debe destacarse que estos resultados superan el rendimiento de reducción límite del 70% referido en la literatura [10]. También se logra una reducción significativa del tiempo de reacción con el consiguiente ahorro energético, lo que justifica el empleo de esta energía. La utilización de tiempos de

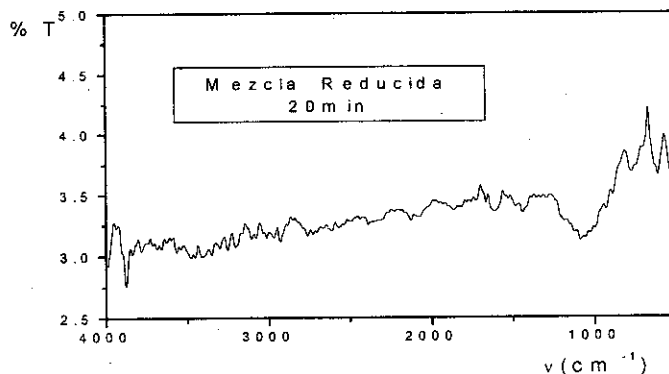


Figura 5. Espectro infrarrojo para la mezcla reducida 20 min.

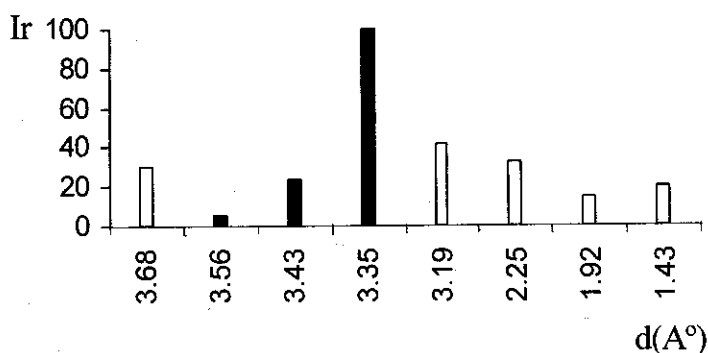


Figura 6. Diagrama de líneas para la mezcla reducida 20 min.

#### Leyenda:

- Líneas pertenecientes al  $\text{BaSO}_4$
- Otras líneas

exposición a las microondas mayores que 20 min no es aconsejable, pues se obtiene otra fase que difiere del  $\text{BaS}$  compuesto intermedio por excelencia (debido a su alta solubilidad en agua), para la diversificación de compuestos de bario de mayor valor agregado. Además, para el aprovechamiento del mineral en la diversificación de compuestos de bario basta una calidad comercial, ya que las etapas sucesivas previstas en la transformación del mismo, constituyen procesos de separación y/o purificación en los que se eliminan el sulfato de bario que no reaccionó y las otras impurezas presentes en el mineral, recuperándose por flotación el carbón vegetal y el grafito para reutilizarlos en el proceso.

### CONCLUSIONES

Se demostró la posibilidad de utilizar la energía de microondas en la reducción del mineral baritina y se determinan los parámetros experimentales para ello. Se comprobó la superioridad del método propuesto con respecto a los resultados obtenidos al emplear otros hornos como: estáticos y cinemáticos.

## REFERENCIAS

1. MIRABAL, N. Y J.C. LLOPIZ (1998): "Oxidos de vanadio obtenidos mediante energía de microondas", Tesis de Maestría, Universidad de La Habana.
2. GARCIA, J y J.C. LLOPIZ (1999): "Obtención de SINTER de óxido del níquel mediante el uso de energía de microondas", Trabajo de Diploma, Universidad de La Habana.
3. RICARDO, W.; O. QUESADA y J.C. LLOPIZ (2000): "Reducción del mineral baritina en horno de microondas", Trabajo de Diploma, Universidad de Oriente.
4. DALE F.; R.H. EDGAR **et al.** (1996): "Microwave Processing of Materials", National Academic Press, Washington.
5. FINI, A. and A. BRECCIA A. (2000): "Chemistry by Microwaves", **Revista Cubana de Química**, XII(1).
6. LEILANI, A. (1999): **Reacción de  $\beta$ -aminoalcoholes o dietilentiamina con ácidos carbóxicos bajo microondas y en ausencia de disolventes**, Comunicación personal.
7. QUESADA, O. y J.C. LLOPIZ (2001): "Utilización de energía de microondas en la reducción del mineral baritina", solicitud de autor de invención realizada ante la Oficina Cubana de Propiedad Intelectual, Cuba
8. NYQUIST, R. **et al.** (1971): "Infrared spectra of inorganic compounds", Academic Press, New York.
9. AKAMOTO, K. (1986): "Infrared and Raman Spectra of inorganic and Coordination Compounds", Fourth editon, New York.
10. LLMAN, F. (1956): "Enciclopedia de Química Industrial", Editorial Labor, Tomo II.

# ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LOS NEUTRONES EPITERMICOS EN EL COEFICIENTE DE REFLEXION DE NEUTRONES

L.Desdín y L.García, Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear(CEADEN)

## RESUMEN

En el presente trabajo se estudia la influencia de los neutrones epitérmicos en el coeficiente de reflexión de neutrones. Para ello se empleó una instalación de reflexión de neutrones de geometría abierta y la simulación por el método de Monte Carlo. Se analizaron los casos de muestras de naturaleza simple y compleja.

## ABSTRACT

In the present paper was studied the influence of epithermal neutrons in the neutron reflection coefficient. It was used an open neutron reflection setup and the simulation using the Monte Carlo method. There were analyzed simple and complex samples.

## INTRODUCCION

Entre los variados métodos empleados en la medición de agua e hidrógeno en diferentes materiales se encuentra el basado en la moderación de los neutrones rápidos emitidos por una fuente radioisotópica.

Si un detector de neutrones térmicos se sitúa en la superficie libre de una placa seminfinita, el coeficiente de reflexión de neutrones  $\eta$  en función del espesor  $x$  de dicha capa muestra una saturación en el entorno de los 8 cm [1]:

$$\eta = \frac{I - I_0}{\rho l_0} \quad (1)$$

donde  $I$  e  $I_0$  son las velocidades de conteo con y sin la placa respectivamente y  $\rho$  es la densidad de la misma. En experimentos previos se demostró que  $\eta$  depende linealmente del contenido de hidrógeno [2].

En general en una instalación de reflexión de neutrones de geometría abierta (IRNGA),  $\eta$  no sólo depende del contenido de agua(hidrógeno), sino también de otros parámetros (densidad y composición de la capa). La mayoría de los modelos de respuesta de dichas instalaciones son muy complejos y frecuentemente es necesario simularlas usando métodos numéricos y la simulación por Monte Carlo.

La simulación por Monte Carlo está emergiendo de manera rápida como un procedimiento estándar de diseño y calibración en los procesos de mediciones de radiaciones nucleares con fines de aplicación [3-4].

Muchas de las IRNGA emplean detectores de  $\text{BF}_3$  porque en adición a su alta velocidad de conteo posible, estos tienen la ventaja de ser robusto, insensible a los rayos  $\gamma$  y tiene alta eficiencia.

En el presente trabajo se estudia la influencia de los neutrones epitérmicos en el coeficiente de reflexión de neutrones  $\eta$ . Para ello se empleará una IRNGA y el método de simulación de Monte Carlo. Dicha instalación emplea un detector del tipo  $\text{BF}_3$ . Partiremos de ignorar la contribución de los neutrones epitérmicos a  $\eta$  y compararemos los resultados obtenidos sobre la base de esta premisa con los obtenidos de manera experimental o por simulación teniendo en cuenta la contribución de dichos neutrones.

Partiendo de (1) es fácil de demostrar que:

$$\eta = \eta_{th} + \eta_{epi} \quad (2)$$

donde  $\eta_{th}$  y  $\eta_{epi}$  son los coeficientes de reflexión de neutrones térmicos y epitérmicos respectivamente. Entonces el error que se introduce al ignorar la contribución de los neutrones epitérmicos es:

$$\frac{\Delta\eta}{\eta} = \frac{\eta_{epi}}{\eta} \quad (3)$$

## EXPERIMENTOS Y SIMULACION

La instalación experimental se muestra en la Figura 1. Los neutrones fueron producidos por una fuente de AmBe con una salida  $6.6 \cdot 10^6 \text{ ns}^{-1}$ . Un detector de  $\text{BF}_3$  registra los neutrones moderados y reflejados en la muestra(capa). Una lamina de cadmio cubre la superficie inferior del detector,

filtrando los neutrones térmicos y reduciendo el fondo del moderador.

Las muestras empleadas en el experimento pesaron aproximadamente 700 g, 10 cm de diámetro y 12 cm de alto. La muestra se encontraba rodeada por una lamina de cadmio(1 mm) para reducir el fondo, excepto en su parte inferior. El tiempo de medición fue de 2 minutos, lo que aseguró que el error estadístico fuera despreciable en comparación con las otras fuentes de error. Los valores típicos de  $I$  y  $I_0$  fueron de 23000-43000 y 13800, respectivamente.

Los cálculos por el método de Monte Carlo fueron efectuados usando el "Monte Carlo N-Particle Transport Code System, MCNP-4A" [5]. Los datos de las secciones eficaces usadas fueron tomados de la biblioteca ENDF/B-V[6]. El tratamiento geométrico del MCNP-4A permite hacer configuraciones tridimensionales definidas en un sistema de coordenadas cartesianas. Los volúmenes, que contienen materiales específicos, fueron construidos con el uso de operadores de Boole que combinan las celdas básicas geométricas enlazadas por superficies de primero y segundo grado. Las celdas geométricas y superficies fueron diseñadas acorde a la Figura 1 y se empleó una aproximación de fuente isotópica puntual.

Las fuentes de errores en la simulación son las siguientes: los errores estadísticos(incluyendo la precisión de la simulación (< 2 %) y el error estadístico de  $\eta$  producto de los valores simulados de  $I$  y  $I_0$ ) y las incertidumbres de los datos nucleares. Esta última fuente puede ser ignorada considerando los primeros.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Para evaluar la contribución de los neutrones epitérmicos al coeficiente de reflexión fueron empleados dos conjuntos de muestras con un amplio rango de valores de dicha magnitud. El primer conjunto de muestras tiene una composición simple y sus valores de  $\Delta\eta/\eta$  fueron determinados directamente comparando los valores simulados con y sin la contribución de los neutrones epitérmicos. La evaluación del segundo conjunto de muestras(muy complejas y de composición desconocida) fue realizada de la siguiente manera: se midió  $\eta$  y posteriormente se le cubrió el fondo del portamuestra con una lamina de cadmio de 1 mm de espesor obteniéndose así  $\eta_{\text{epi}}$ .

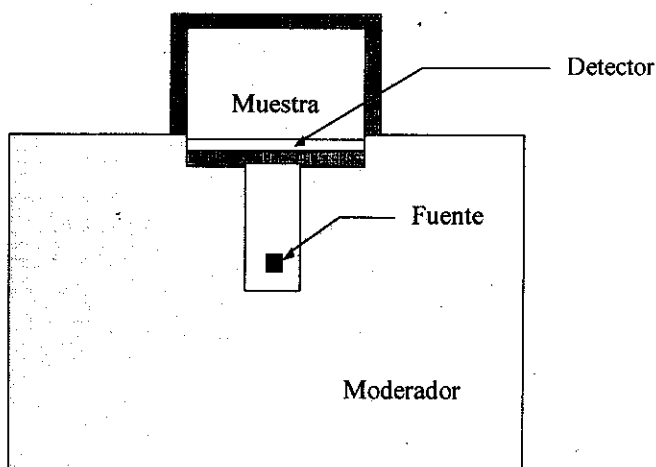


Figura 1. Instalación experimental.

La información sobre el primer conjunto de muestras (alto contenido de hidrógeno y baja absorción) está contenida en la Tabla 1. Para este conjunto la correlación entre los valores simulados de  $\eta$  con la contribución y  $\eta_S$  sin la contribución de los neutrones epitérmicos respectivamente es la siguiente:

$$\eta = (0.96 \pm 0.03)\eta_S + (0.17 \pm 0.05) \quad (4)$$

Para el segundo conjunto de muestras (con un amplio rango en el contenido de hidrógeno y alta absorción, Tabla 2) en la Figura 2 se muestra la dependencia ( $\Delta\eta/\eta$ ) vs.  $\eta$  obtenida por el procedimiento experimental descrito previamente.

Tabla 1. Características de las muestras del primer conjunto.

ESTANDARES	COMPOSICION	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	% H
AGUA	H <sub>2</sub> O	1.00	11.11
BUTANOL	C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> OH	0.819	13.60
TOLUENO	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	0.866	8.76
HEPTANO	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	0.866	16.09
ACETONA	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	0.791	10.41
ESTANDAR 1	Si <sub>2</sub> O	0.813	0.00
ESTANDAR 2	4.7% H <sub>2</sub> O + 95.3% Si <sub>2</sub> O	0.844	0.05
ESTANDAR 3	9.9% H <sub>2</sub> O + 90.1% Si <sub>2</sub> O	0.893	1.11
ESTANDAR 4	15.2% H <sub>2</sub> O + 84.8% Si <sub>2</sub> O	0.915	1.70
ESTANDAR 5	21.2% H <sub>2</sub> O + 78.8% Si <sub>2</sub> O	0.941	2.38

Para las muestras del primer grupo con un alto poder de moderación y baja absorción la contribución de los neutrones epitérmicos es pequeña y los procesos de simulación pueden dar un valor cercano a  $\eta$  ignorando dichos neutrones.

Si asumimos que la relación entre el flujo térmico  $\Phi_{ter}$  y el epitérmico  $\Phi_{epi}$  en la muestra es igual a  $\xi\Sigma_S/\Sigma_a$  ( $\xi$ -decremento logarítmico medio de la energía,  $\Sigma_S$ -sección macroscópica de dispersión y  $\Sigma_a$ -sección macroscópica de absorción) y que el flujo total  $\Phi_T$  de los neutrones en la región donde la eficiencia del detector es significativa resulta  $\Phi_T \approx \Phi_{ter} + \Phi_{epi}$ , entonces a partir de los datos nucleares se obtiene en el caso más crítico ( $SiO_2$ ) un error relativo de 13 %, mientras que en un caso más favorable ( $H_2O$ ), sólo un 1.3 %. Sin embargo esta evaluación presupone que existe una distribución homogénea de la fuente de neutrones en un medio infinito, requisito que el sistema analizado no cumple rigurosamente.

Una mayor exactitud en la determinación de la relación  $\Phi_{epi} / \Phi_{ter}$  se puede obtener empleando la aproximación propuesta en [7]:

$$\frac{\Phi_{epi}(0)}{\Phi_{ter}(0)} = \frac{\Sigma_a(1+\beta^2)^{\frac{3}{2}}(1+\gamma)}{\xi\Sigma_S\beta(1+\beta)\gamma^2}$$

donde  $\beta = L_1/L_2$  es la relación de las longitudes de difusión de los grupos rápido y epitérmico y  $\gamma$  es función definida en el trabajo citado y que sólo depende de la composición química del medio.

En la Figura 2 se muestra la dependencia  $(\Delta\eta/\eta)$  vs.  $\eta$ , para las muestras del segundo conjunto la cual se describe adecuadamente como:

$$\left(\frac{\Delta\eta}{\eta}\right) = -(70.5 \pm 8.4)\eta + (33.6 \pm 2.0)$$

Tabla 2. Datos de la mediciones de las muestras del segundo conjunto.

MATERIAL	$\eta$	$\eta_{epi}$	$(\Delta\eta/\eta)$ (%)
Magnetita	$0.118 \pm 0.003$	$0.022 \pm 0.001$	$22.9 \pm 2.2$
Barita	$0.054 \pm 0.002$	$0.013 \pm 0.002$	$31.7 \pm 5.7$
Serpentina	$0.297 \pm 0.008$	$0.032 \pm 0.003$	$12.1 \pm 1.4$
Limonita	$0.227 \pm 0.005$	$0.034 \pm 0.003$	$17.6 \pm 2.1$
Bauxita	$0.213 \pm 0.005$	$0.033 \pm 0.002$	$18.3 \pm 1.6$
Zeolita	$0.320 \pm 0.009$	$0.035 \pm 0.004$	$12.3 \pm 1.9$
Caliza	$0.117 \pm 0.003$	$0.026 \pm 0.001$	$28.6 \pm 2.5$

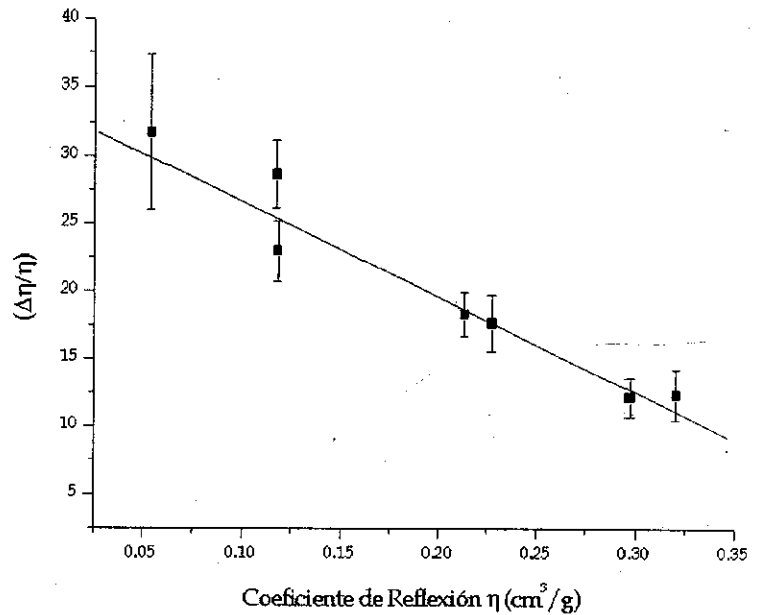


Figura 2. Contribución de los neutrones epitérmicos al coeficiente de reflexión de neutrones.

Para este grupo de muestras con elevada absorción y menor poder de moderación la contribución de los neutrones epitérmicos puede llegar a constituir 15-30% del valor de  $\eta$  y por lo tanto si no se les tiene en cuenta en los procesos de simulación el valor  $\eta$  obtenido sólo tendrá un carácter de aproximación grosera.

## REFERENCIAS

1. DESDIN, L. and R. PEREZ (1991): **Proceeding of the Symposium on Nuclear Techniques in the Exploration and Exploitation of Energy and Mineral resources**, IAEA, Vienna, 241.



- 2 BUCZKO, M.; Z. DEZSO and J. CSIKAI (1975): **J. Radioanal. Chem.** 25, 179.
3. SHYU, C.M.; R.P.GARDNER and K.VERGHESE (1993): **Nuclear Geophysics**, 7(2), 241.
4. LIU, L. and R.P.GARDNER (1997a): **Nuclear Science and Engineering**, 125, 188.
5. BREISMEISTER, J. (Editor)(1993): MCNP "General Monte Carlo Code N-Particle Transport Code Versión 4<sup>a</sup>", LA-12625.
6. KINDSEY, R. (1979): "Data format and Procedures for Evaluated Nuclear data File, ENDF", Brookhaven National Laboratory Report, BNL-NCS-50496(ENDF) 2<sup>a</sup> Ed. (ENDF/B).
7. SCIESINKA, E. (1970): **Nuklonika**, XV, 9 –10(608).