

# DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE REFLEXION DE NEUTRONES TERMICOS EMPLEANDO EL METODO DE MONTE CARLO

L.M.García Fernández y L.F.Desdín García<sup>1</sup>

Centro de Estudios Aplicados al Desarrollo Nuclear (CEADEN)

## RESUMEN

En el presente trabajo se desarrolla un método para el cálculo del Coeficiente de Reflexión de Neutrones Térmicos ( $\eta$ ), empleando el Método de Monte Carlo. La eficiencia de detección de los neutrones es estimada mediante una aproximación sencilla. Los cálculos son comparados con los datos experimentales obteniéndose buena concordancia. Se describen las posibles aplicaciones del método desarrollado.

## ABSTRACT

The present paper is devoted to develop a method based on the Monte Carlo Simulation for the calculation of the Thermal Neutron Reflection Coefficient. A simple model is used for detection efficiency estimation. Calculations are in good agreement with experimental results. Possible application of present results was analysed.

## INTRODUCCION

El concepto de albedo basado en la medición de la actividad de una lamina fina con reflector y sin reflector fue introducido por Fermi y Amaldi en 1936. Este método fue generalizado para dos medios de diferentes propiedades difusivas en [1] que es el caso más común en la práctica.

En muchas situaciones resulta complicado y lento la aplicación del concepto de albedo pues se requiere del empleo de láminas de activación con el objetivo de perturbar el mínimo posible el campo neutrónico en las mediciones. Una alternativa que en muchos casos satisface los requerimientos de la práctica es el uso del parámetro fenomenológico Coeficiente de Reflexión de Neutrones Térmicos, el cual resulta más simple de aplicar, pero que en contraste no dispone de una fundamentación teórica sólida.

El Coeficiente de Reflexión de Neutrones térmicos  $\eta$  es un parámetro que caracteriza el exceso de conteo que experimenta un detector de neutrones

térmicos en el entorno de una fuente de neutrones rápidos ambos situados en la superficie de un moderador semi-infinito cuando sobre este se coloca un medio que actúa como reflector.

En una geometría como la que se muestra en la Figura 1 con una fuente puntual de neutrones rápidos S y el reflector R, la intensidad de neutrones registrados en el detector de neutrones lentos D, resulta función de los parámetros de diseño de la instalación y de las propiedades de dicho reflector.

El Coeficiente de Reflexión de Neutrones Térmicos  $\eta$  se define como [2]:

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

donde

I - es intensidad de conteo con R,  
 $I_0$  - Intensidad de conteo sin R y  
 $\rho$  - la densidad del reflector R ( $\text{g/cm}^3$ ).

<sup>1</sup>E-mail: lou@ceaden.edu.cu

El objetivo del presente trabajo consiste en el desarrollo de un método basado en la Simulación por Monte Carlo y en una aproximación sencilla de la eficiencia de detección de los neutrones para determinar el Coeficiente de Reflexión de Neutrones Térmicos  $\eta$ . Finalmente se comparan los cálculos con los valores experimentales y se analizan las posibles aplicaciones del método desarrollado.

## MATERIALES Y METODOS

El método de Monte Carlo es un método numérico que permite resolver problemas matemáticos mediante la simulación de variables aleatorias. Su algoritmo tiene una estructura sencilla. Como regla, se elabora primero un programa para la realización de una prueba aleatoria. Después, esta prueba se repite  $N$  veces de modo que cada experimento sea independiente de los restantes y se toma la media de los resultados de los experimentos. La precisión es proporcional a la magnitud  $1/N^{1/2}$  donde  $N$  es el número de pruebas.

El programa de Monte Carlo empleado en el presente trabajo es el "Monte Carlo N-Particle Transport Code, MCNP-4A" [3]. Este es el más poderoso de los programas actuales de Monte Carlo para simular el transporte de neutrones a energías bajas e intermedias.

El tratamiento de las secciones eficaces en función de la energía es continuo en el MCNP-4A, con interpolaciones entre energías específicas de manera que los datos originales pueden ser reproducidos con un error de alrededor de 0.5 %. Todos los tipos de reacciones a partir de datos básicos están incluidos en el rango de energía entre  $10^{-5}$  eV y 20 MeV. Las secciones eficaces empleadas fueron tomadas de la biblioteca ENDF/B-V [4]. Para los elementos H, C, B, Be, N, Pb y O fueron usadas las series "50C", que son las reproducciones más fieles de los datos evaluados. Las recientes evaluaciones del Laboratorio Nacional de Los Alamos (E.E.U.U.) disponibles en las series "51C" fueron usadas para el Si, F y el Cd.

El tratamiento geométrico permite configuraciones tridimensionales definidas en coordenadas cartesianas. Los volúmenes, que contienen a materiales específicos, son construidos usando operadores de unión e intersección basados en el álgebra de Boole.

El MCNP-4A sigue la trayectoria de la partícula en la geometría por un muestreo aleatorio de recorridos

y asigna una cuenta de uso de aquellas magnitudes especificadas. Las salidas estándares del MCNP-4A son normalizadas a una partícula de salida. La salida contiene también el error relativo  $R = \frac{S_x}{\bar{x}}$  del valor medio  $\bar{x}$  de la magnitud registrada, promediada sobre los  $N$  resultados de  $N$  historias en el experimento numérico.

Para realizar las investigaciones se diseñó una instalación experimental con una fuente de  $^{241}\text{AmBe}$  de una salida de  $6.6 \cdot 10^6$  n/s [5]. El moderador empleado fue de parafina en forma cilíndrica con un diámetro de 40 cm. El portamuestra empleado era de forma cilíndrica ( $\phi 10 \times 12$  cm) de aluminio forrado con una lamina de cadmio (1 mm) excepto en su parte inferior para garantizar el mínimo de fondo.

En la instalación se empleó un esquema electrónico convencional constituido por: detector de  $\text{BF}_3$ , preamplificador, amplificador Canberra 2020, analizador monocanal Canberra 2030, fuente de alto voltaje Canberra 3102 y contador Canberra 2071. La discriminación se fijó en un nivel que garantizaba eliminar los pulsos debidos a la radiación gamma y a los ruidos electrónicos.

A continuación se brinda información sobre los estándares empleados en el proceso de validación de la simulación por el Método de Monte Carlo (MMC) (Tabla 1). Las muestras usadas en el presente experimento pesaron 700 g aproximadamente, 10 cm en diámetro y 12 cm de altura.

El tiempo de medición empleado fue de 100s, asegurando un error estadístico despreciable con respecto a las otras fuentes de error. Los valores típicos de  $I$  y  $I_0$  fueron de 34000 - 43000 y 13800 conteos/min. para los líquidos con alto contenido de hidrógeno y 23000 y 13800 conteos/min. para los otros estándares respectivamente.

Al aplicar el MMC se confrontó la dificultad de no disponer de los datos de la eficiencia del detector en función de la energía de los neutrones (ni del valor de la presión del  $\text{BF}_3$ ) ya que las firmas suministradores no brindan este dato como regla. Para efectuar el cálculo se partirá de considerar que los espectros que llegan al detector con reflector y sin reflector son esencialmente térmicos. Esta consideración se basa en los resultados de los cálculos empleando el MCNP-4A, como ilustración se muestran en la Figura 2 a los espectros en los casos extremos que serán estudiados:  $\text{SiO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ .

**Tabla 1.** Estándares empleados en el experimento.

Estándares	Composición	$\rho$ (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

**Tabla 2.** Comparación de valores experimentales  $\eta$  de los estándares con los valores del ajuste  $\eta_{exp}(2)$ .

Estándares	Composición	$\eta_{exp}$	$\eta$
AGUA	H <sub>2</sub> O	2.11 ± 0.09	2.04 ± 0.02
BUTANOL	C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> OH	2.43 ± 0.09	2.46 ± 0.02
TOLUENO	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	1.93 ± 0.08	1.92 ± 0.01
HEPTANO	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	2.71 ± 0.09	2.69 ± 0.02
ACETONA	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	2.07 ± 0.08	2.13 ± 0.02
ESTANDAR 1	Si <sub>2</sub> O	0.26 ± 0.06	0.26 ± 0.01
ESTANDAR 2	4.7% H <sub>2</sub> O + 95.3% Si <sub>2</sub> O	0.37 ± 0.06	0.38 ± 0.01
ESTANDAR 3	9.9% H <sub>2</sub> O + 90.1% Si <sub>2</sub> O	0.53 ± 0.06	0.51 ± 0.01
ESTANDAR 4	15.2% H <sub>2</sub> O + 84.8% Si <sub>2</sub> O	0.62 ± 0.06	0.65 ± 0.01
ESTANDAR 5	21.2% H <sub>2</sub> O + 78.8% Si <sub>2</sub> O	0.75 ± 0.06	0.73 ± 0.01

## RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En la Figura 3 se muestra la correlación entre el Coeficiente de Reflexión experimental,  $\eta_{exp}$  y el Coeficiente de Reflexión calculado por el MMC,  $\eta_{MMC}$ . La dependencia obtenida es:

$$\eta_{exp} = (0.96 \pm 0.03)\eta_{MMC} + (0.17 \pm 0.05) \quad (2)$$

con un coeficiente de correlación  $R = 0.995$ , lo cual confirma la certeza de la hipótesis de trabajo escogida. La pendiente ( $0.96 \pm 0.03$ ) es ligeramente inferior a la unidad debido a que se está despreciando la contribución minoritaria de los neutrones epitérmicos.

En la Tabla 2 se comparan los valores experimentales de los estándares con los valores del ajuste (2).

Con esta aproximación se puede obtener una mejor concordancia entre los datos experimentales y el cálculo teórico realizando el análisis en intervalos de concentraciones de hidrógeno más pequeños acorde a lo que usualmente ocurre en el campo de las aplicaciones. En aras de comprobar en las condiciones más adversas a la aproximación, se analizaron simultáneamente dos tipos de medios completamente diferentes: el SiO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O con bajas concentraciones de hidrógeno y alta absorción, y líquidos con alta concentración de hidrógeno y poca absorción respectivamente.

Las fuentes de error en el cálculo teórico son las siguientes: el error de naturaleza estadística en el cálculo de Monte Carlo, la no consideración de la contribución de los neutrones epitérmicos, las incertidumbres en los datos nucleares empleados y las imprecisiones en la descripción de la instalación en la simulación.

Debe señalarse que inclusive sin la corrección introducida previamente por el ajuste (2), las pendientes de las curvas  $\eta_{exp}$  vs. %H y  $\eta_{MMC}$  vs. %H resultaron de  $0.153 \pm 0.007$  y  $0.163 \pm 0.002$  respectivamente, coincidiendo dentro de los límites de los errores. Esta pendiente es la magnitud más importante en el diseño de un instrumento nucleónico: la Sensibilidad.

De manera que podemos concluir que empleando la Simulación por el Método de Monte Carlo con una aproximación sencilla de la eficiencia de detección de los neutrones resulta factible describir de una manera adecuada el comportamiento del Coeficiente de Reflexión de Neutrones Térmicos. Los resultados obtenidos pueden ser aplicados a simular la dependencia de la Sensibilidad de las instalaciones

en función de los parámetros de diseño de esta (tipo de fuente de neutrones, distancia fuente-detector, largo del detector, tipo de moderador empleado, etc.) con vistas a la optimización del diseño de estos tipos de instrumentos nucleónicos.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento brindado por la Organización Internacional de Energía Atómica (Proyecto CUB/8/014) para la realización de este trabajo.

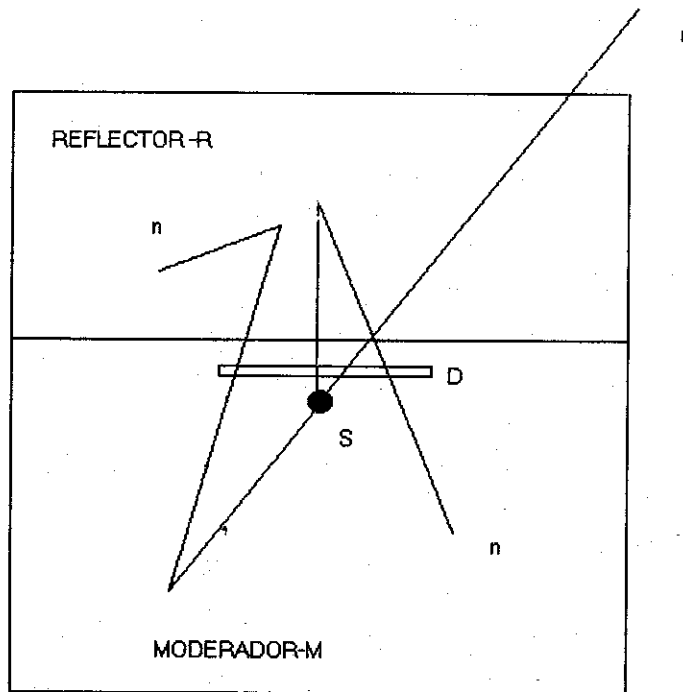


Figura 1. Geometría para la medición del Coeficiente de Reflexión de Neutrones Térmicos  $\eta$ .

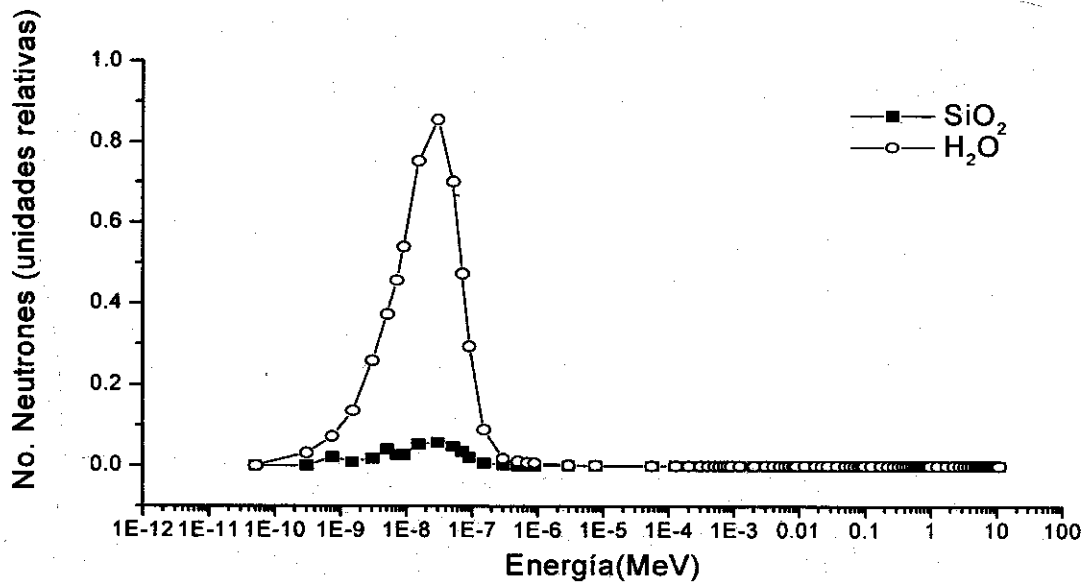


Figura 2. Espectros de neutrones en  $\text{SiO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ .

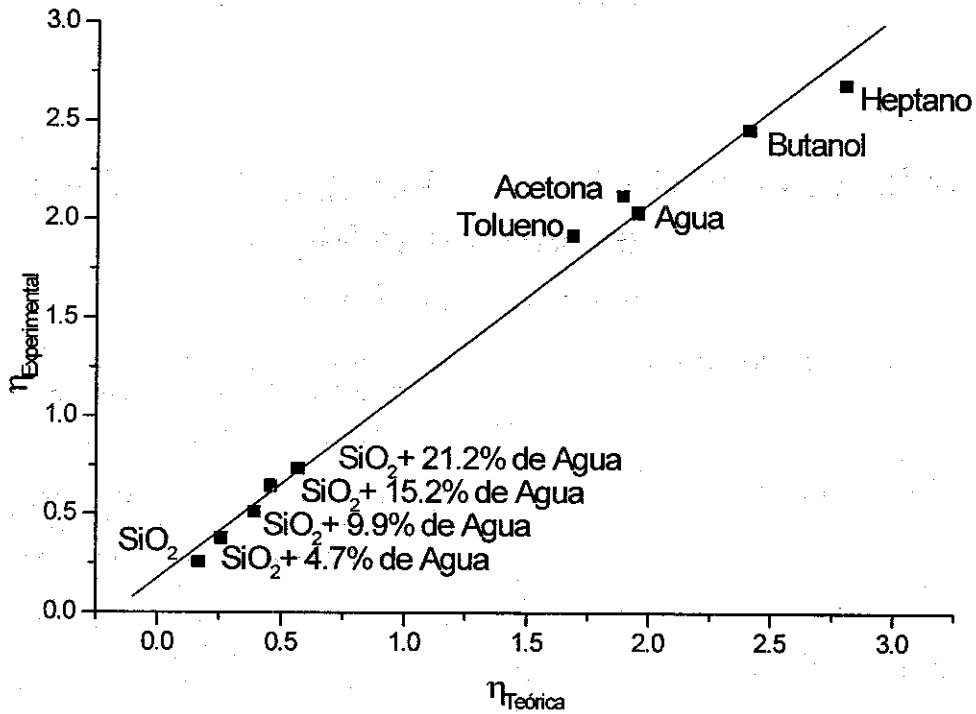


Figura 3. Dependencia  $\eta_{exp}$  vs.  $\eta_{teo}$

#### REFERENCIAS

1. CSIKAI, J. *et al.* (1983): "Some applications of atomic and nuclear methods in geology and mining" Proceedings IAEA Consultants' Meeting on nuclear data for bore-hole and bulk-media assay using nuclear techniques. Krakow, Poland 14-18, november.
2. BUCZKO, M. *et al.* (1978): "Determination of hydrogen content in crude oil by the neutron reflection methods". **J. Radioanal. Letters.** 33(3), 133.
3. BRIESMEISTER, J. (Editor) (1993): MCNP "General Monte Carlo Code N-Particle Transport Code Version 4A", LA-12625 (november).
4. KINSEY, R. (1979): "Data format and Procedures for the Evaluated Nuclear data File, ENDF", Brookhaven National Laboratory Report, BNL-NCS-50496 (ENDF 102) 2<sup>nd</sup> Edition (ENDF/B-V) (october).
5. DESDIN, L. y R. PEREZ (1991): Empleo del equipo LAN-1 para la determinación de la humedad en mineral laterítico en Memorias del Simposio Internacional MINIMETAL-91. Palacio de las Convenciones, Habana.