

DOI: <https://doi.org/10.47300/actasidi-unicyt-2025-61>

BLOCK DE CONCRETO COMO BLINDAJE CONTRA RAYOS X

Vázquez-Bañuelos, Joel

TecNM/Instituto Tecnológico de Aguascalientes
Aguascalientes, México
joelvazba@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9612-3731>

Hernández-Murillo, Christian Geovanni

TecNM/Instituto Tecnológico de Aguascalientes
Aguascalientes, México
tecelectrigeo@live.com.mx
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4406-245X>

Escalera-Velasco, Luis Alberto

TecNM/Instituto Tecnológico de Aguascalientes
Aguascalientes, México
escaleravelasco@hotmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0625-2420>

Vega-Carrillo, Héctor René

Universidad Autónoma de Zacatecas
Zacatecas, México
fermineutron@yahoo.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7081-9084>

Torres-Cortés, Carina Oliva

Universidad Autónoma de Zacatecas
Zacatecas, México
carina.torres@uaz.edu.mx
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1579-0060>

Márquez-Mata, Claudia Angélica

Universidad Tecnológica del Norte de Aguascalientes
Aguascalientes, México
angiemata20@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4397-6703>

RESUMEN

La radiación está presente en varias formas en nuestro entorno, se agrupa en fuentes naturales y artificiales. En las artificiales se utiliza en diferentes campos como industrial, investigación, medico, entre otros. En este último se utiliza para radioterapia y radiodiagnóstico, los equipos de radiación ionizante empleados con este fin, es necesario que estén contenidos en instalaciones con un blindaje adecuado del tal modo que proteja y limite la exposición a la radiación a un nivel aceptable. Existen varios materiales que se utilizan para blindaje como el plomo, el acero y el hormigón; pero dependiendo de la región suelen utilizarse materiales locales de construcción, pero no todos estos materiales están caracterizados. El objetivo de este trabajo fue estimar

mediante métodos Monte Carlo (código MCNP5), el coeficiente de atenuación lineal y el valor de la capa hemirreductora del block de concreto. Se modeló un tubo de rayos X con un blanco metálico de tungsteno y se utilizó un rango de energía desde 30 a 120 keV. Posteriormente se modeló un experimento de transmisión de geometría angosta, donde se utilizó como término fuente los espectros de rayos X obtenidos. Los resultados mostraron que ambos parámetros solo dependen de la energía de los rayos X. Para este rango de energías es seguro utilizar el block de concreto como barrera de blindaje de salas de diagnóstico médico.

Palabras clave: Blindaje, Block de concreto, MCNP5, Rayos X.

ABSTRACT

Radiation is present in various forms in our environment, grouped into natural and artificial sources. In artificial sources, it's used in various fields, including industry, research, medicine, and others. In the latter, it is used for radiotherapy and radiodiagnosis. Ionizing radiation equipment used for this purpose must be contained in facilities with adequate shielding, thereby protecting and limiting radiation exposure to an acceptable level. Several materials are used for shielding, such as lead, steel, and concrete; however, depending on the region, local construction materials are often used, but not all of these materials are characterized. The objective of this work was to estimate, using Monte Carlo methods (code MCNP5), the linear attenuation coefficient and the value of the half-reducing layer of the concrete block. An X-ray tube was modeled with a tungsten metal target and an energy range of 30 to 120 keV. A narrow-geometry transmission experiment was subsequently modeled, where the obtained X-ray spectra were used as the source terminal. The results showed that both parameters only depend on the X-ray energy. For this energy range, it is safe to use the concrete block as a shielding barrier in medical diagnostic rooms.

Keywords: Concrete block, MCNP5, Shielding, X-rays.

1. INTRODUCCIÓN

La radiación está presente en una variedad de formas que encontramos todos los días y se agrupa en fuentes naturales y fuentes artificiales, en las naturales se puede encontrar la radiación natural de fondo (gas radón, materiales de la corteza terrestre, radiación cósmica). Mientras que en las artificiales se puede encontrar en diversos campos como investigación, industrial o médico (El-Khatib et al., 2022; Kanagaraj et al., 2024).

En este último campo, la radiología representa un papel fundamental y activo en los tratamientos de radioterapia y en los exámenes de diagnóstico, siendo responsable de la mayor exposición a la radiación ionizante procedente de fuentes artificiales. Debido a que la exposición a la radiación ionizante es perjudicial para el ser humano, es vital contar con materiales de protección eficientes para atenuar la radiación (Al-Rajhi et al., 2021; Gharissah et al., 2022).

Entonces, las instalaciones médicas que contienen equipos que utilizan radiación ionizante requieren de un blindaje adecuado para proteger y limitar la exposición a la radiación a un nivel aceptable tanto del personal médico como del público en general. El blindaje se basa en el principio de atenuación de la radiación que es la disminución de la fluencia de la radiación debido al bloqueo o rebote de las partículas con la ayuda de una barrera de un material específico (Mahmoud et al., 2020; Kim, 2022).

Algunos de los parámetros fundamentales para el estudio de materiales que se pretendan utilizar como blindaje, son el coeficiente de atenuación lineal y el valor de la capa hemirreductora (Çağlar et al., 2019).

La ley de Beer-Lambert establece que cuando un haz de fotones con intensidad (I_0) pasa a través de un material de espesor x , algunos fotones son absorbidos o dispersados de su dirección

original por el material; así, la intensidad de los fotones transmitidos ($I(x)$) se puede calcular mediante la Ecuación 1 (Kudo, 2018):

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x} \quad (1)$$

donde μ es el factor de atenuación lineal total del material absorbente (cm^{-1}). Este factor es la probabilidad por unidad de longitud de que en su transporte por el material los fotones interactúan con los átomos del material.

Mientras que la capa hemirreductora (HVL), se define como el espesor de un material absorbente que reduce la intensidad de los fotones incidentes a un valor medio, está dado por la Ecuación 2 (Manjunatha & Seenappa, 2019):

$$HVL = \frac{\ln 2}{\mu} \quad (2)$$

Dentro de los materiales más comunes para la protección contra la radiación se encuentra el acero, el plomo y el hormigón. Pero dependiendo de la región suelen utilizarse materiales de construcción locales, por ejemplo, en México el 88.7% de los muros están contruidos con materiales durables (piedra, concreto, toba de cantera, ladrillo y block de concreto) (Hernandez-Murillo et al., 2020). Sin embargo, algunas de estas construcciones contienen dispositivos o fuentes de radiación ionizante, siendo muy importante caracterizar estos materiales para su uso seguro como blindaje. Estas caracterizaciones pueden realizarse de manera experimental y computacional mediante simulaciones, como los métodos Monte Carlo.

El objetivo de este trabajo fue estimar mediante métodos Monte Carlo (código MCNP5), el coeficiente de atenuación lineal y el valor de la capa hemirreductora del block de concreto para su uso como material de blindaje contra la radiación ionizante de salas de diagnóstico médico que utilizan como fuente de radiación rayos X con energías desde 30 a 120 keV.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Con el código MCNP5 (X-5 Monte Carlo Team, 2003) se usaron métodos Monte Carlo para modelar un tubo de rayos X con las características del tubo comercial SIEMENS, modelo P135/20 (SIEMENS, 2025). En el modelo se incluyó un blanco de Tungsteno y se simuló la interacción y transporte de electrones monoenergéticos y la producción de rayos X. La energía de los electrones incidentes se varió desde 30 a 120 keV con intervalos de 10 keV. Esto, se hizo con el fin de incluir las diferentes energías utilizadas en los dispositivos de rayos X que se utilizan en las diferentes técnicas de diagnóstico médico.

En el modelo, el blanco de tungsteno y la fuente de electrones se envolvieron en vidrio y éste arreglo se insertó en una carcasa de plomo. Debajo del punto focal (donde los electrones le pegan al blanco) se dejó una ventana en la carcasa y debajo se colocó un filtro. Debajo del filtro se estimaron los espectros de rayos X para cada voltaje.

Los espectros de rayos X se utilizaron como término fuente en el código MCNP5, donde se modeló un experimento de transmisión de geometría angosta, para estimar los rayos X que atraviesan un material sin interactuar con éste. Así, fotones de cada espectro se emitieron hacia el blindaje y se estimaron los fotones que atravesaron el blindaje modelado con la composición elemental y densidad (2.32 g/cm^3) del block de concreto (Hernandez-Murillo et al., 2020).

El espesor del block (x) vario de 1 a 10 cm, con un intervalo de 1 cm. Para obtener la fluencia de rayos X después de la transmisión se colocó un detector puntual (tally f5) debajo del block de concreto. Para cada espesor y cada energía de los rayos X se usaron 3×10^5 historias, lo que permitió obtener incertidumbres menores al 3%.

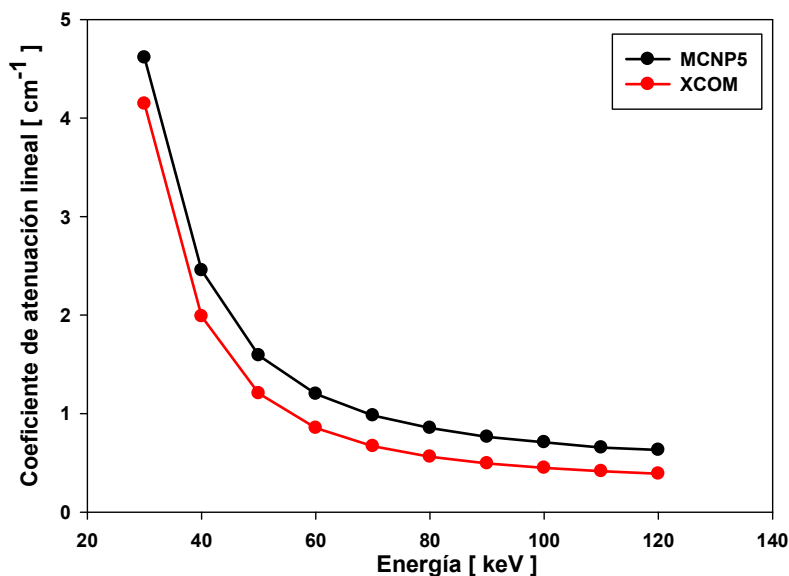
Los resultados de la fluencia de rayos X en función del espesor del block de concreto, se ajustaron por mínimos cuadrados ponderados a una función exponencial de acuerdo a la Ecuación 1, donde el argumento de la función exponencial corresponde al coeficiente de atenuación lineal (Vega Carrillo, 1989). Además, para realizar una comparación del coeficiente de atenuación lineal obtenido con los métodos Monte Carlo, se utilizó el código XCOM del National Institute of Standards and Technology (XCOM, 2025) para obtener este parámetro. Y posteriormente se calculó el valor de la HVL de acuerdo a la Ecuación 2.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 1 muestra los coeficientes de atenuación lineal obtenidos mediante la simulación Monte Carlo y con el código XCOM, para las diferentes energías de los rayos X.

Figura 1

Comparación del μ obtenido con MCNP5 y con XCOM



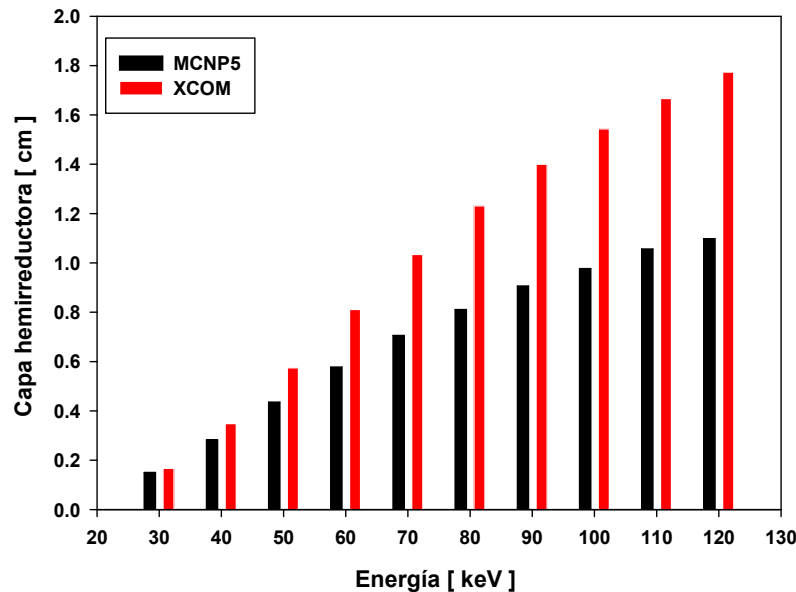
Se observa que este parámetro solo depende de la energía de los rayos X y del material de blindaje, conforme la energía aumenta su capacidad de atenuar se va reduciendo. Para energías de 120 keV se reduce aproximadamente 7 veces en comparación con la energía de 30 keV.

También, se puede observar que existe una diferencia porcentual entre los resultados obtenidos con MCNP5 y XCOM desde un 10% para la menor energía hasta un 38% para la mayor energía. Esto se debe a que en el código XCOM la energía de los fotones es monoenergética y se usó el valor máximo (30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110 y 120 keV), mientras que con el código MCNP5 el termino fuente se definió usando los espectros de rayos X, cuya energía promedio es más pequeña que la energía de los fotones monoenergéticos y que consideramos que es más adecuado usar los resultados obtenidos usando los espectros de los rayos X.

La Figura 2 muestra una comparación del valor de la capa hemirreductora obtenida con los códigos MCNP5 y XCOM.

Figura 2

Comparación de los valores de la HVL obtenidos con MCNP5 y con XCOM



Se observa que los valores obtenidos de la HVL con MCNP5 son más conservativos que los obtenidos con XCOM, por lo mencionado en la figura anterior. Con MCNP5 se necesita menos material de blindaje para reducir la intensidad de la radiación, esta diferencia es más notable para energías a partir de 50 keV, al considerar estos valores se estaría ahorrando material y por consecuencia costos.

4. CONCLUSIONES

Mediante métodos Monte Carlo se obtuvieron los coeficientes de atenuación lineal y el valor de la capa hemirreductora para el block de concreto para un rango de energías de rayos X desde 30 a 120 keV.

El valor del coeficiente de atenuación para una energía de 30 keV es de 4.61 disminuyendo hasta 0.63 para una energía de 120 keV, siendo más exactos que los obtenidos con el código XCOM.

Los valores de la capa hemirreductora obtenidos con los métodos Monte Carlo y XCOM muestran una diferencia considerable a partir de la energía de 50 keV. Los resultados obtenidos con Monte Carlo son más conservativos y precisos.

Estos parámetros son muy importantes en la caracterización del block de concreto debido a que en México este material no está caracterizado para su uso como blindaje y de acuerdo a esta investigación es viable utilizarlo para salas de diagnóstico médico que contengan dispositivos de rayos X que operen en un rango de energías de 30 a 120 keV.

REFERENCIAS

- Al-Rajhi, M. A., Idriss, H., Alaamer, A. A. S., & El-Khayatt, A. M. (2021). Gamma/neutron radiation shielding, structural and physical characteristics of iron slag nanopowder. *Applied Radiation and Isotopes*, 170, 109606. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2021.109606>.
- Çağlar, M., Kayacık, H., Karabul, Y., Kılıç, M., Özdemir, Z. G., & İçelli, O. (2019). Na₂Si₃O₇/BaO composites for the gamma-ray shielding in medical applications: Experimental, MCNP5, and WinXCom studies. *Progress in Nuclear Energy*, 117, 103119. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2019.103119>.
- El-Khatib, A. M., Shalaby, T. I., Antar, A., & Elsafi, M. (2022). Improving gamma ray shielding behaviors of polypropylene using PbO nanoparticles: an experimental study. *Materials*, 15(11), 3908. <https://doi.org/10.3390/ma15113908>.
- Gharissah, M. S., Ardiansyah, A., Pauziah, S. R., Muhammad, N. A., Rahmat, R., Heryanto, H., & Tahir, D. (2022). Composites cement/BaSO₄/Fe₃O₄/CuO for improving X-ray absorption characteristics and structural properties. *Scientific Reports*, 12(1), 19169. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-23908-0>.
- Hernandez-Murillo, C. G., Contreras, J. R. M., Escalera-Velasco, L. A., de Leon-Martínez, H. A., Rodríguez-Rodríguez, J. A., & Vega-Carrillo, H. R. (2020). X-ray and gamma ray shielding behavior of concrete blocks. *Nuclear Engineering and Technology*, 52(8), 1792-1797. <https://doi.org/10.1016/j.net.2020.01.007>.
- Kanagaraj, B., Anand, N., Raj, S., & Lubloy, E. (2024). Advancements and environmental considerations in portland cement-based radiation shielding concrete: Materials, properties, and applications in nuclear power plants—review. *Cleaner Engineering and Technology*, 100733. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2024.100733>.
- Kim, S. C. (2022). Comparison of shielding material dispersion characteristics and shielding efficiency for manufacturing medical X-ray shielding barriers. *Materials*, 15(17), 6075. <https://doi.org/10.3390/ma15176075>.
- Kudo, H. (2018). *Radiation Applications*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-7350-2>.
- Mahmoud, M. E., El-Khatib, A. M., Halbas, A. M., & El-Sharkawy, R. M. (2020). Investigation of physical, mechanical and gamma-ray shielding properties using ceramic tiles incorporated with powdered lead oxide. *Ceramics international*, 46(10), 15686-15694. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.03.119>.
- Manjunatha, H. C., & Seenappa, L. (2019). Gamma and X-ray shielding properties of various types of steels. *Journal of Nuclear Engineering and Radiation Science*, 5(4), 044501. <https://doi.org/10.1115/1.4043814>.
- SIEMENS. (10 de febrero de 2025). *X-ray Tubes & X-ray Tube Assemblies*. SIEMENS Healthineers. <https://www.oem-xray-components.siemens.com/x-ray-tube>.
- Vega Carrillo, H. R. (1989). Least squares for different experimental cases. *Revista Mexicana de Física*, 1989(4), 597-602. <https://doi.org/10.48779/0egn-1c86>.
- X-5 Monte Carlo Team. (2003). MCNP – A General Monte Carlo N-Particle Transport Code. Versión 5. LA-UR03-1987. Los Alamos National Laboratory.
- XCOM. (5 de junio de 2025). *Element/Compound/Mixture Selection*. National Institute of Standards and Technology. <https://physics.nist.gov/PhysRefData/Xcom/html/xcom1.html>.

Los autores del trabajo autorizan a la Universidad Internacional de Ciencia y Tecnología (UNICYT) a publicar este resumen en extenso en las Actas del Congreso IDI-UNICYT 2025 en Acceso Abierto (Open Access) en formato digital (PDF) e integrarlos en diversas plataformas online bajo la licencia CC: Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>.

La Universidad Internacional de Ciencia y Tecnología y los miembros del Comité Organizador del Congreso IDI-UNICYT 2025 no son responsables del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en este artículo.