

# ESTUDIO SOBRE LA FACTIBILIDAD EN PROTECCIÓN RADIOLÓGICA CON MALLA IMPRESA MEDIANTE TECNOLOGÍA 3D Y $\text{BaSO}_4$

A.Guerra, R. Agustin.Serrano, E.Moreno

Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla,  
Pue. Puebla,

[ariadna.guerrah@alumno.buap.mx](mailto:ariadna.guerrah@alumno.buap.mx), [ricardo.agustin@correo.buap.mx](mailto:ricardo.agustin@correo.buap.mx),  
[emoreno@cfm.buap.mx](mailto:emoreno@cfm.buap.mx)

## RESUMEN

Uno de los problemas sobre la vestimenta para protección radiológica es el plomo con el que se encuentra fabricada, lo que la hace pesada y poco flexible. En los últimos 4 años la tecnología de impresión 3D ha tomado relevancia para la obtención de alternativas de materia prima en protección radiológica. En el presente proyecto se elaboró, mediante el equipo de impresión 3D Creality LD-002H, un prototipo de malla flexible de resina con sulfato de bario ( $\text{BaSO}_4$ ) en una concentración del 30%. Así mismo, se le realizó un estudio de atenuación de un haz de rayos x, utilizando el equipo portátil marca JOB modelo Porta100HF, aplicando voltajes de 40, 70 y 80 Kv con corrientes de 0.3, 25, 50 mAs respectivamente, donde se obtuvo una reducción al 51.2%, 77.4% y 81.4% de la radiación incidente en cada uno de los casos.

**Palabras clave:** Impresión 3D, protección radiológica,  $\text{BaSO}_4$

## ABSTRAC

One of the problems with radiological protection clothing is the lead it is made of, which makes it heavy and not very flexible. In the last 4 years, 3D printing technology has become relevant for obtaining alternative raw materials for radiological protection. In this project, using Creality LD-002H 3D printing equipment, a prototype of a flexible mesh made of resin with barium sulphate ( $\text{BaSO}_4$ ) at a concentration of 30% was developed. An attenuation study of an x-ray beam was also carried out using portable JOB model Porta100HF equipment, applying voltages of 40, 70 and 80 Kv with currents of 0.3, 25 and 50 mAs respectively, where a reduction of 51.2%, 77.4% and 81.4% of the incident radiation was obtained in each of the cases.

**Key words:** 3D printing, radiological protection,  $\text{BaSO}_4$

## 1. INTRODUCCIÓN

Para el diagnóstico y tratamiento de algunas enfermedades, así como la identificación de algunas lesiones se utilizan procedimientos como tomografías, radiografías, mamografías, entre otros, una de las principales características de estos es el uso de la radiación ionizante

para su funcionamiento. Sin embargo, la exposición a pequeñas dosis de esta radiación durante un período largo de tiempo aumenta el riesgo de tener efectos secundarios que pueden ser desde quemaduras en la piel, el acortamiento en la esperanza de vida, aumento de la probabilidad a desarrollar cáncer, entre otros más [5]. Así mismo la exposición a altas dosis de radiación provoca efectos perjudiciales para la salud como el síndrome de radiación aguda e incluso irreversibles como la muerte [6].

El área de protección radiológica se basa principalmente en disminuir la exposición a la radiación tanto para los pacientes como para el personal ocupacionalmente expuesto (POE) y al mismo tiempo obtener los mejores resultados posibles en los procedimientos que se estén realizando. Esto tomando ciertas medidas como estar lo más alejado posible de la fuente de radiación, que el tiempo de exposición sea el mínimo posible y la utilización de materiales capaces de atenuar la radiación que incide sobre ellos como el aluminio, plomo y sulfato de bario ( $\text{BaSO}_4$ ), estos suelen ser manejados para la construcción de las salas de estudios radiológicos, los aparatos de rayos x, y la elaboración de blindaje como delantales plomados, gafas plomadas, protector de tiroides, entre otros [2].

Sin embargo, uno de los problemas sobre la vestimenta de blindaje es el plomo con el que se fabrica ya que la hace pesada, poco flexible y con problemas de agrietamiento. Debido a las nuevas tecnologías de hardware y software como la impresión 3D, en los últimos 4 años han surgido avances en la búsqueda de elementos alternativos para el blindaje en el área de protección radiológica, donde se realizan modificaciones a la composición del material de impresión para obtener atenuación de radiación con diferentes componentes, como por ejemplo bismuto [8] o nanopartículas de óxido de gadolinio [7].

Con base a un trabajo previo en el cual se diseñaron e imprimieron con el equipo 3D Creality LD-002H tres prototipos de material para protección radiológica, donde se obtuvo que, el prototipo de malla con escamas era el más viable por su flexibilidad y la capacidad de cubrir los espacios entre cada escama. En este proyecto se presenta un estudio preliminar sobre la atenuación de un haz de rayos x en el área clínica por medio de la malla con escamas flexible y ligera, este prototipo fue impreso con resina y  $\text{BaSO}_4$  en una concentración del 30% [9]. Esto con el objetivo de que un futuro pueda ser utilizada en productos de protección radiológica.

## 2. TEORÍA

### 2.1 Radiación

A la liberación de energía en forma de ondas o corrientes de partículas se le conoce como radiación. Esta se encuentra presente en diversas formas como parte de nuestro entorno, cabe mencionar que también se puede describir con base al efecto que tiene sobre la materia con la que interactúa y generalmente la radiación es dividida en dos tipos: ionizante y no ionizante.

La radiación ionizante es cualquier tipo de radiación que puede eliminar un electrón orbital del átomo con el que interactúa (Figura 1). Este tipo de radiación puede provenir de fuentes naturales y artificiales como rayos cósmicos, la radiación terrestre, máquinas de rayos x, entre otros [3].

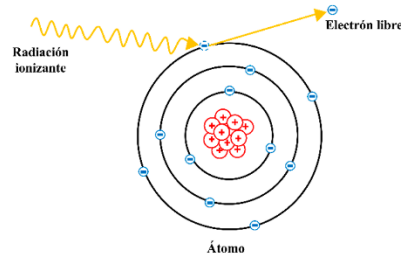


Figura 1. Ejemplo de un efecto de ionización de la radiación ionizante

Mientras que la radiación no ionizante es un tipo de radiación de energía relativamente baja por lo que no puede eliminar electrones de los átomos con los que interactúa. Esta se suele encontrar como ondas de radio, los rayos ultravioletas, la luz solar, entre otros.

## 2.2 Efectos biológicos de la radiación ionizante

Los efectos biológicos producidos por la radiación ionizante se clasifican en estocásticos y no estocásticos (determinísticos) cuya principal diferencia es la existencia de una dosis umbral que es la cantidad mínima de radiación por la cual una persona comienza a presentar daños a su salud.

Los efectos estocásticos ocurren cuando se generan daños en el ADN sin muerte celular. Con el aumento de la dosis de radiación este tipo de efecto muestra un incremento en la incidencia de su respuesta, pero no en su gravedad por lo que en este caso no existe la dosis umbral. Los dos principales efectos estocásticos que ocurren son los cánceres inducidos por radiación como leucemia, cáncer de mama, cáncer de piel, entre otros y los efectos hereditarios como alteraciones genéticas.

Por otra parte, los efectos determinísticos se presentan cuando ocurre un daño tan severo en el ADN que la célula muere, normalmente sucede con dosis muy altas de radiación administradas en un corto periodo de tiempo. En este caso la gravedad de la lesión biológica aumenta con el incremento de la dosis, por lo que si existe una dosis umbral y en dosis menores a la misma no se produce el efecto. Las respuestas determinísticas pueden incluir síndrome de radiación aguda, quemaduras en la piel, pérdida de cabello y lamentablemente en casos extremos la muerte.

## 2.3 Elementos de protección radiológica

Como una de las medidas en el área clínica de diagnóstico para tener un equilibrio entre los beneficios de la radiación ionizante y el riesgo que conlleva para las personas, se lleva a cabo la utilización de vestimentas de protección radiológica dependiendo del estudio a realizar y el grado de exposición que tendrá tanto el paciente como el POE. Generalmente la mayoría de este tipo de vestimenta que se encuentra en el mercado es fabricada con plomo (Pb) como guantes, mandiles, chalecos, faldas, collarines protectores de tiroides, entre otros.

El grosor normal para esta vestimenta protectora se encuentra entre 0.25, 0.5 y 1mm de placas de plomo equivalente. Aunque en realidad la vestimenta completa es mucho más gruesa que

estas dimensiones si proporciona la protección equivalente a los grosores de plomo que se muestran en la tabla 1 [4].

Tabla 1. Algunas características físicas de las vestimentas protectoras de plomo

PORCENTAJE DE ATENUACIÓN DE LOS RAYOS X				
Equivalente en grosor (mm Pb)	Peso (kg)	50 kvp	75kvp	100kvp
0.25	1.5 – 5.0	97.0	66	51
0.50	3.0 – 7.5	99.9	88	75
1.00	6.0 – 12.5	99.9	99	94

Se requiere de una protección de por lo menos 0.25mm de plomo en algunos casos, aunque la más normal es de 0.5mm de plomo donde es más evidente la relación entre el peso innecesario y la protección deseada puesto que el plomo es un metal pesado. Cabe mencionar que a pesar del peso y el agrietamiento que pueden presentar estos objetos, otro problema que preocupa a los usuarios es lo tóxico que es el plomo para la salud ya que a largo plazo puede ocasionar problemas en el corazón, daños en el sistema inmunológico, falta de concentración entre otros más.

#### 2.4 BaSO<sub>4</sub> en protección radiológica

El sulfato de bario (BaSO<sub>4</sub>) o también conocido como barita es un mineral metálico con peso específico que varía entre 4.3 a 4.6 gramos por cada centímetro cúbico (gr/cc), tiene como características principales ser inerte, no contaminante, muy común y no tóxico. Es por esto y por su capacidad de atenuar radiación que se suele utilizar como elemento en protección radiológica por ejemplo en algunos concretos que se utilizan para la elaboración de las salas de estudios radiológicos [1].

Así mismo se han llevado a cabo estudios para desarrollar materiales atenuadores como alternativas al plomo utilizando combinaciones de barita, de hecho, se ha mostrado que al utilizar una combinación entre resina fotosensible (utilizada en impresión 3D) y BaSO<sub>4</sub> en una concentración del 30% se tiene que se requiere de un espesor de material impreso de 0.29cm para reducir el 50% de la radiación incidente [9].

### 3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

#### 3.1 Diseño e impresión del prototipo de malla

Utilizando los programas SolidWorks 2023 y Meshmixer se diseñó el modelo de escama a utilizar en el prototipo de malla (figura 2).

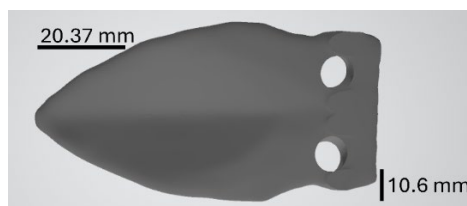


Figura 2. Modelo de escama de 20.37 x 10.6 x 1.5 mm

Posteriormente se procedió a preparar la concentración de resina fotosensible con el 30% de BaSO<sub>4</sub> en polvo, esta misma se implementó a la impresora Crealty LD-002H para la impresión de las escamas (figura 3).

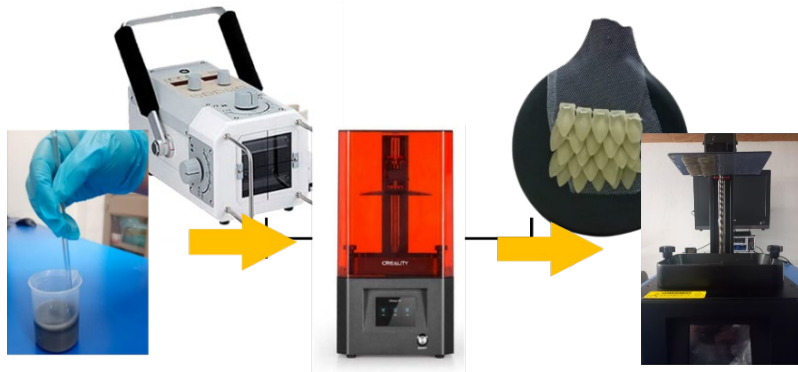


Figura 3. Proceso de preparación de resina fotosensible con el 30% de BaSO<sub>4</sub> e impresión de las escamas

Finalmente, al obtener las escamas impresas se procedió a su implementación en una tela para obtener el prototipo de malla completo (figura 4).



Figura 4. Prototipo de malla completo

### 3.2 Estudio de atenuación

Para el estudio de atenuación de haz de rayos X de la malla, se utilizó el equipo portátil marca JOB modelo Porta100HF y una cámara de ionización 10x6-180 - Radcal, esta misma se colocó a una distancia de 1m de la fuente de rayos x del equipo (figura 5).

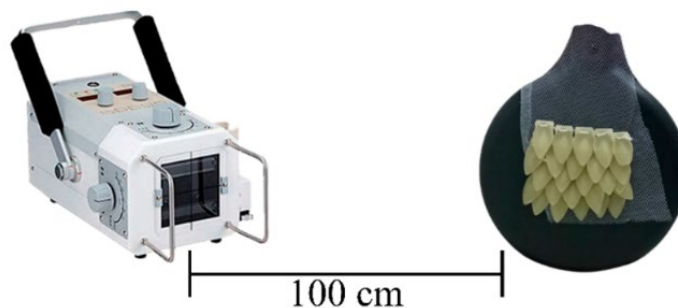


Figura 5. Arreglo experimental para el estudio de atenuación

Cabe mencionar que se estudió la atenuación utilizando tres diferentes parámetros de voltaje y corriente de la fuente los cuales fueron mínimos (40kv y 0.3mAs), medios (70kv y 25mAs) y altos (80kv y 50mAs), para cada caso se hizo incidir el haz doce veces tanto a la cámara de ionización sola como con el prototipo de malla añadido a la misma, las intensidades obtenidas con cada parámetro se procesaron utilizando el digitalizador Accu-Gold para posteriormente obtener su promedio (tabla 2).

Tabla 2. Promedios de las intensidades del haz de rayos x en cada caso

Parámetros	Dosis sin la malla (mGy)	Dosis con la malla (mGy)
40kv y 0.3mAs	0.00030935	0.000158575
70kv y 25mAs	0.127916667	0.099015
80kv y 50mAs	0.365058333	0.297358333

Las intensidades de radiación promedio se graficaron utilizando el programa OriginPro 8.5, para así observar la comparativa de la atenuación del prototipo de malla en cada caso (figura 6).

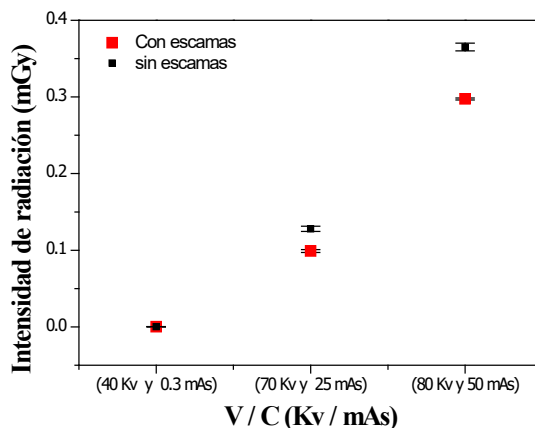


Figura 6. Gráfica de intensidades de radiación (mGy) en ambos casos

#### 4. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos se observa que la radiación incidente al utilizar el prototipo de malla es reducida a un 51.2% (40kv con 0.3mAs), 77.4% (70kv con 25mAs) y del 81.4% (80kv con 50mAs) respecto de lo obtenido sin la malla. Por lo tanto, aún se tienen que realizar mejoras al diseño de las escamas, para que, la atenuación del haz de rayos x que incide sobre ella sea mayor, y así mismo en un futuro pueda ser utilizada en productos de protección radiológica.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al laboratorio de impresión 3D y al laboratorio de física médica de la FCFM, pertenecientes a la Facultad de Ciencias Físico Matemáticas de la BUAP, por el apoyo y la asistencia técnica brindados.

A la estudiante Ana Karen Gonzáles Conzuelo, de la Universidad Autónoma del Estado de México, por la discusión y soporte para el diseño de la malla presente en este proyecto.

## 6. REFERENCIAS

- [1]. Huañec Huillca, F.F., y Fiori Chíncaro, G.A., “Eficacia del concreto y la baritina como atenuadores de rayos X. Una revisión de la literatura,” *Revista Científica Odontológica*, 8(1), 1-9.
- [2]. Poveda B., J.F., y Plazas, M.C., “Elementos de protección radiológica en salas de intervencionismo,” *Revista Colombiana De Cardiología*, 27, 82-87, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rccar.2020.01.002>.
- [3]. Carlyle Bushong, S., “Conceptos de radiología,” en *Manual de radiología para técnicos: Física, biología y protección radiológica*, novena ed., cap. 1, pp. 2-15, 2010.
- [4]. Carlyle Bushong, S., “Control de la dosis de radiación profesional,” en *Manual de radiología para técnicos: Física, biología y protección radiológica*, novena ed., cap. 40, pp. 613-629, 2010.
- [5]. Carlyle Bushong, S., “Efectos tardíos de laradiación,” en *Manual de radiología para técnicos: Física, biología y protección radiológica*, novena ed., cap. 36, pp. 549-567, 2010.
- [6]. Carlyle Bushong, S., “Efectos inmediatos de la radiación,” en *Manual de radiología para técnicos: Física, biología y protección radiológica*, novena ed., cap. 35, pp. 534-548, 2010.
- [7]. Ogul, H., Gultekin, B., Yildiz, H., Us, H., y Bulut, F., “Novel 3D-Printed lead-free radiation protection apron in the medical X-ray and thermal neutron energy range,” *Radiation Physics and Chemistry*, 219, 111686, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2024.111686>.
- [8]. Elsafi, M., El-Nahal, M.A., Sayyed, M.I., Saleh, I.H., y Abbas, M.I., “Novel 3-D printed radiation shielding materials embedded with bulk and nanoparticles of bismuth,” *Scientific Reports*, 12(1), 12467, 2022.
- [9]. Coyotl Ojeda, M.N., Agustin Serrano, R., y Moreno Barbosa, E., “Estudio de factibilidad de protección radiológica usando polímero cargado con BaSO<sub>4</sub> mediante impresión 3D LCD,” XIII Congreso Nacional y III Internacional de Tecnología Aplicada a Ciencias de la Salud. CDMX-México. (2023).