

## **EVALUACIÓN Y REDISEÑO DEL BLINDAJE DE LA CÁMARA DE IRRADIACIÓN DE LA FUENTE DE COBALTO-60 DE LA EPN**

**Montenegro, J.A.<sup>1</sup>, Santos, R.A.<sup>2</sup> y Luna, G.M.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Laboratorio de Tecnología de Radiaciones, Escuela Politécnica Nacional,

<sup>2</sup> Laboratorio de Tecnología de Radiaciones, Departamento de Ciencias Nucleares, Escuela Politécnica Nacional

<sup>3</sup> Laboratorio de Tecnología de Radiaciones, Departamento de Ciencias Nucleares, Escuela Politécnica Nacional

### **RESUMEN**

La simulación es una herramienta ampliamente utilizada en la industria nuclear y sus aplicaciones, debido a la ventaja de trabajar en entornos virtuales cuyo comportamiento se aproxima a la realidad, eximiendo así los posibles riesgos asociados y la obtención de datos confiables. El objetivo del presente trabajo fue desarrollar un modelo digital en el programa Monte Carlo N-Particle (MCNP5) que permitió evaluar y rediseñar el blindaje de la cámara de irradiación de la fuente de Cobalto-60 de la Escuela Politécnica Nacional; se validó el mismo mediante la comparación de los datos obtenidos en simulación, con los datos experimentales de la tasa de dosis tomados en puntos establecidos sobre las paredes del irradiador, al considerar una actividad de la fuente de 2 072,1 Ci.

El modelo digital obtenido en este proyecto fue utilizado para obtener el mapa de dosis del blindaje de la cámara de irradiación para una actividad de 100 000 Ci lo que permitió evaluar la condición del blindaje y proponer el diseño de un blindaje auxiliar, para asegurar así la protección radiológica del personal ocupacionalmente expuesto y del público en general de la instalación.

### **1. INTRODUCCIÓN**

Se presenta un modelo digital para evaluar al blindaje actual del irradiador de la Escuela Politécnica Nacional y establecer los requerimientos de rediseño del mismo frente a una recarga de la fuente de 100 000 Ci, para ello se hace uso de la simulación mediante herramientas computacionales, las cuales son herramientas útiles para realizar estudios en la rama de las ciencias nucleares ya que permiten evaluar un diseño en un escenario virtual sin necesidad de realizarlo experimentalmente y poder tomar las decisiones adecuadas mediante el análisis de los resultados los cuales son confiables y obtenidos de manera eficiente [2].

La herramienta computacional con la que se trabaja en el presente proyecto es el programa MCNP5, utilizado para simular el transporte de fotones mediante la ecuación de transporte de Boltzmann. Se presenta resultados de las simulaciones del blindaje del irradiador a las condiciones actuales 2 072,1 Ci y 100 000 Ci y se diseñó el blindaje auxiliar al considerar el límite de tasa de dosis establecido para el personal ocupacionalmente expuesto (POE) [1].

Con la realización de este trabajo se sentarán las bases para permitir, que en un futuro el país sea capaz de desempeñar un papel más importante en el diseño de instalaciones nucleares, además en el desarrollo y aplicación de las radiaciones ionizantes, la cual es una alternativa tecnológica segura y confiable [3].

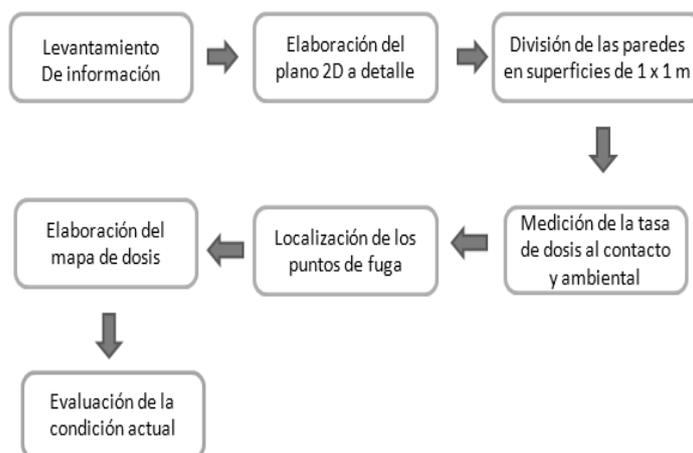
---

<sup>1</sup> jessica.montenegrov@epn.edu.ec

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Evaluación de la condición actual del blindaje de la cámara de irradiación

Para la evaluación de la condición actual del blindaje de la cámara de irradiación, la metodología a seguir se presenta en la Figura 1.



**Figura 1. Diagrama de flujo utilizado para la evaluación de la condición actual del blindaje de la cámara de irradiación**

Para medir la tasa de dosis en los puntos del mallado al contacto de las paredes llamada tasa de dosis al contacto y a un metro de distancia y a una altura de 1,4m, llamada tasa de dosis ambiental se empleó el detector Polimaster modelo PM1401K. Para asegurar la repetitividad y reproducibilidad del proceso se realizaron tres mediciones en cada punto.

Se determinaron con exactitud los puntos calientes o de fuga existentes en las paredes de la cámara de irradiación, para ello se consideró el registro de tasa de dosis disponible en el irradiador en el mes de enero de 2 012.

### 2.2 Diseño del modelo digital de la geometría actual del blindaje de la cámara de irradiación y validación del modelo propuesto

Se diseñó un modelo de partida llamado  $M_0$  el cual fue sometido a cambios hasta alcanzar un porcentaje de error menor o igual al 15 % al comparar los datos obtenidos en la simulación de la tasa de dosis ambiental a las condiciones actuales del irradiador con los datos experimentales y así validar el modelo obtenido.

### 2.3 Rediseño del blindaje de la cámara de irradiación considerando una actividad de 100 000 Ci

Con el modelo validado se obtuvo un modelo digital final el cual permitió la simulación del blindaje a condiciones de 100 000 Ci de actividad y además calcular el espesor del blindaje auxiliar que requiere el blindaje del irradiador al considerar que el límite de la tasa de dosis ambiental debe ser menor o igual a 10  $\mu\text{Sv/h}$  para el Personal Ocupacionalmente Expuesto (POE).

## 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Resultados del levantamiento de información de la condición actual del blindaje de la cámara de irradiación

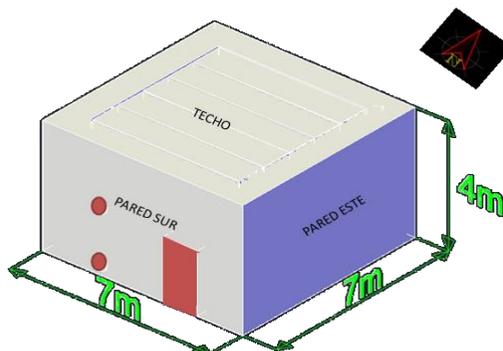
La instalación del irradiador fue diseñada con la ayuda y colaboración del Comisariato de Energía Atómica de Francia (CEA) y técnicos de la Escuela Politécnica Nacional, el irradiador pertenece a la categoría IV, almacenamiento en húmedo y fue construido en el año de 1974.

Los datos técnicos del irradiador se muestran en la Tabla 1.

**Tabla 1. Datos del irradiador de la EPN**

No.	Datos técnicos	Descripción
1	Dimensiones del Irradiador	7 m de largo, 7 m de ancho y 4 m de altura
2	Cámara de Irradiación	Dimensiones : 4 m de largo, 4 m de ancho y 2,6 m de altura
4	Configuración de la fuente	Canasta cilíndrica de 17 cm de diámetro interno, 23,8 cm de diámetro externo , altura 31 cm, material acero inoxidable, 12 lápices
5	Blindaje	Blindaje fijo de paredes de hormigón armado de 1.5 m de espesor con densidad de 2.35 $\text{g/cm}^3$ y techo espesor 1,4 m de hormigón armado
6	Radioisótopo	Cobalto- 60 (vida media: 5,27 años)

La Figura 2 describe las dimensiones del irradiador y la orientación con la cual se identificaron a las paredes del mismo, se consideró como punto sur la pared en la que se encuentra la puerta.



**Figura 2. Dimensiones y ubicación de las paredes del irradiador**

## 3.2 Mapa de tasa de dosis experimental

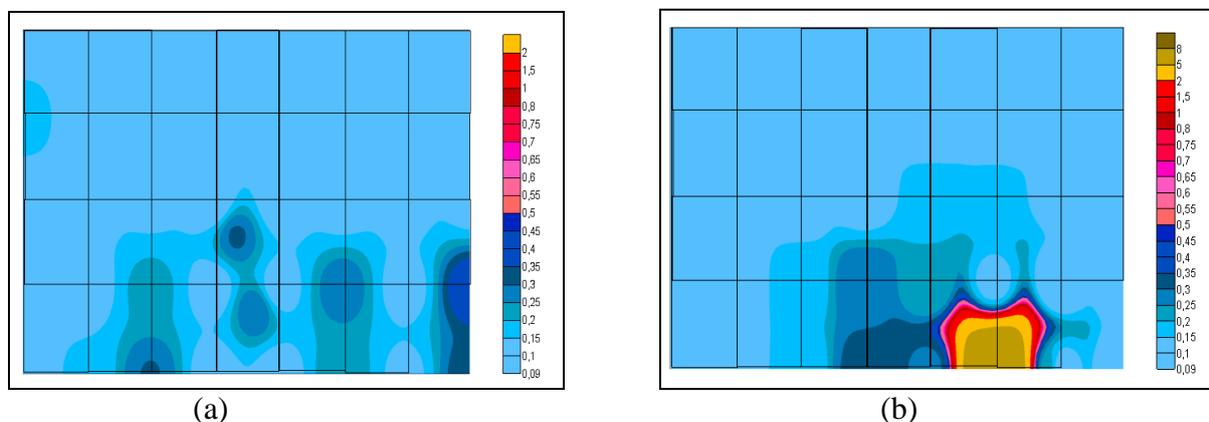
### 3.2.1 Mapa de dosis al contacto

La representación gráfica del mapa de dosis presentado de aquí en adelante corresponde a las medidas reales de la pared 4 m de altura y 7 m de longitud y la tasa de dosis se presenta en unidades de  $\mu\text{Sv/h}$ .

#### 3.2.1.1 Pared Norte y Sur

En las Figuras 3 (a y b) se muestra la representación gráfica del mapa de dosis de la pared norte y sur del irradiador respectivamente en el que se puede observar que con la actividad de la fuente de 2 072,1 Ci, ningún punto del mallado en la pared norte supera la tasa de dosis de  $0,5 \mu\text{Sv/h}$  y se nota la presencia de puntos con tasas de dosis superiores a  $0,12 \mu\text{Sv/h}$  valor correspondiente a la lectura de fondo, la tasa de dosis en estos puntos se encuentra en el rango de  $0,16 \mu\text{Sv/h}$  a  $0,41 \mu\text{Sv/h}$  debido a que las paredes del irradiador al ser construidas de hormigón armado no presentan una densidad homogénea en toda su estructura.

En la pared sur se identificaron puntos de fuga con una tasa de dosis de  $7,77$  y  $7,35 \mu\text{Sv/h}$  debidos al espacio de aire que existe entre la puerta del irradiador y el piso su ubicación se puede observar en la Figura 3b.



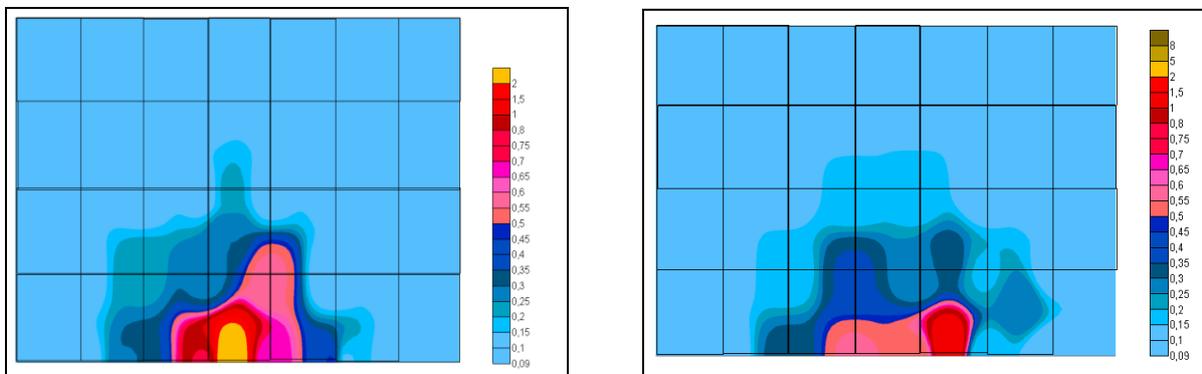
**Figuras 3 (a-b). Puntos de fuga identificados en la pared Norte y Sur del irradiador**

### 3.2.1.2 Pared Este y Oeste

En la Figura 4a se muestra la ubicación y el valor de los puntos de fuga identificados en la pared este, los cuales se encuentran en la parte inferior central y se ubican hasta una altura de 2 m aproximadamente en la parte central de la pared.

El rango de tasa de dosis de los puntos de fuga es de  $0,14 \mu\text{Sv/h}$  a  $2,87 \mu\text{Sv/h}$ , el punto con la mayor tasa de dosis se encuentra ubicado al ras del piso en la parte central de la pared.

Los puntos de fuga identificados en la pared oeste se muestran en la Figura 4b y se encuentran distribuidos en la zona inferior central de la pared, el rango de tasa de dosis para estos puntos es de  $0,15 \mu\text{Sv/h}$  y  $0,55 \mu\text{Sv/h}$ , el valor con la mayor tasa de dosis se encuentra en la parte central inferior de la pared como se puede observar en la Figura 8. Esta zona corresponde a la cámara de irradiación



**Figuras 4 (a-b). Puntos de fuga identificados en la pared Este y Oeste del irradiador**

### 3.2.1.3 Techo

En el techo la zona en la que se presentan las mayores tasas de dosis siendo estas  $7,48$  y  $6,39 \mu\text{Sv/h}$  es en la zona central debido a que en esta ubicación en la cámara de irradiación se encuentra la fuente de Cobalto – 60.

### 3.2.2 Mapa de dosis ambiental

Para el mapa de dosis ambiental se realizó la medida de la tasa de dosis a 1 metro de distancia de las paredes del irradiador y a una altura de 1,40 m.

Los valores de la tasa de dosis de los puntos externos a la pared norte y sur del irradiador no superan el límite de  $0,5 \mu\text{Sv/h}$ , al considerar la actividad de la fuente de  $2\,072,1 \text{ Ci}$  y el valor promedio de tasa de dosis es de  $0,12 \mu\text{Sv/h}$ .

Para las paredes este y oeste se presentan puntos en la zona central de estas, el rango de dosis es de  $0,18$  a  $0,25 \mu\text{Sv/h}$ , debido a que coinciden con la localización de puntos de fuga.

### 3.3 Diseño del modelo digital de la geometría actual del blindaje de la cámara de irradiación y validación del modelo digital

Las características más importantes que presenta el modelo digital  $M_0$ , se detallan en la Tabla 2, el cual sirvió como base para realizar los cambios necesarios con el fin de obtener un modelo que se acerque a la realidad.

El cuantificador de datos utilizado en el trabajo fue el tally F5.

**Tabla 2. Resumen de la definición del modelo digital  $M_0$**

Componentes		Detalles
Paredes de la cámara de irradiación	Material	Hormigón
	Geometría	Paralelepípedo
	Características	Una sola capa
Detectores Tally F5	Al contacto	Todos
	1 m de distancia	Todos
	Fugas	Todas
NPS		1 000 000

Se realizó la comparación de los datos obtenidos en el programa MCNP5 con los datos experimentales conseguidos mediante la lectura de la tasa de dosis experimental, se modificó el método de resolución del programa de análogo a no análogo utilizando la técnica de reducción de varianza de la división de la geometría y ruleta rusa y se definió superficies de aire en las paredes del irradiador para alcanzar un error menor al 15 % y validar el modelo propuesto

En la Tabla 3 se muestran los diferentes modelos digitales obtenidos, los detalles que fueron cambiados y el porcentaje de error medio obtenido en cada uno.

El modelo final obtenido en este proyecto equivale al modelo  $M_4$ , las características de este modelo se detallan en la Tabla 4.

**Tabla 3. Características de los detalles variados en cada modelo digital**

<b>Modelo Digital</b>	<b>Variación de detalles</b>	<b>Error promedio (%)</b>
M <sub>0</sub>	-	100
M <sub>1</sub>	Variación del número de historias de partículas (método análogo)	100
M <sub>2</sub>	División de la pared del irradiador en 5 segmentos iguales (método no análogo)	67,6
M <sub>3</sub>	Determinación del espesor de aire en las paredes del irradiador mediante la relación de la resistencia mecánica con la porosidad	22,85
M <sub>4</sub>	Ubicación de los puntos de fuga al definir superficies de aire en las paredes del irradiador	9,62

**Tabla 4. Características del modelo digital M<sub>4</sub>**

<b>Componentes</b>		<b>Detalles</b>
<b>Paredes de la cámara de irradiación</b>	<b>Material</b>	Hormigón
	<b>Geometría</b>	Paralelepípedos
	<b>Características</b>	División en 5 capas iguales, cuarta capa subdividida en 6 cm de aire y 24 cm de hormigón
	<b>Fugas</b>	Celdas con mayor espesor de aire, cuarta subdivisión
<b>Detectores</b>	<b>Al contacto</b>	Todos/ Simulación por separado para cada pared
	<b>1 m de distancia</b>	Todos/ Simulación por separado
<b>TRV</b>		División de geometría y Ruleta Rusa
<b>NPS</b>		10 000 000
<b>Número de simulaciones realizadas</b>		38

### **3.4 Mapa de tasa de dosis del irradiador al considerar una actividad de 100 000 Ci**

#### **3.4.1 Pared Norte y Sur**

La mayor parte de los puntos del mallado en la pared Norte y Sur tienen en promedio una tasa de dosis de  $6 \mu\text{Sv/h}$ , los puntos con una tasa de dosis superior a  $6 \mu\text{Sv/h}$  en la pared norte corresponden a los puntos identificados como puntos de fuga, el rango de la tasa de dosis para estos puntos es de 10 a  $20 \mu\text{Sv/h}$ , el punto con la mayor tasa de dosis se ubica en la parte inferior derecha de la pared a un metro de altura, la tasa de dosis en el punto mencionado es de  $19,48 \mu\text{Sv/h}$ .

En la zona central inferior de la pared sur se encuentran los puntos del mallado con un rango de tasa de dosis entre los 10 y  $350 \mu\text{Sv/h}$ , los puntos con la mayor tasa de dosis se encuentran en la parte inferior de la pared y coinciden con el espacio correspondiente a la puerta del irradiador.

#### **3.4.2 Pared Este y Oeste**

En la zona central inferior de la pared Este y Oeste se identificaron puntos de fuga el rango de tasa de dosis es de  $10 \mu\text{Sv/h}$  a  $130 \mu\text{Sv/h}$  para la pared Este y 10 y  $50 \mu\text{Sv/h}$  para la pared oeste.

Para el resto de puntos en el mapa de dosis de la pared Este y Oeste del irradiador la tasa de dosis promedio es de  $6 \mu\text{Sv/h}$ .

#### **3.4.2 Mapa de dosis ambiental y techo**

La tasa de dosis ambiental en las paredes Norte y Sur es en promedio  $6 \mu\text{Sv/h}$ , salvo en los puntos identificados como fugas y para las paredes Este y Oeste existen puntos en la zona central que tienen una tasa de dosis de  $10,59 \mu\text{Sv/h}$ .

El techo del irradiador presenta puntos con tasas de dosis mayores a las de las paredes, en el techo el promedio de tasa de dosis es de  $51,65 \mu\text{Sv/h}$ , mientras que en las paredes es de  $9,9 \mu\text{Sv/h}$ .

### **3.5 Rediseño del blindaje del irradiador para una actividad de 100 000 Ci**

En el mapa de dosis obtenido para 100 000 Ci se puede determinar que en todas las paredes de la cámara de irradiación la tasa de dosis no supera el límite de  $10 \mu\text{Sv/h}$  salvo en los puntos de fuga en los que se ubicará el blindaje auxiliar.

Las tasas de dosis más altas se encuentran en el techo, debido a que el acceso al este es restringido mientras la fuente esta en operación, no se requiere de blindaje auxiliar.

El diseño del blindaje auxiliar incluye material, espesor y área de distribución sobre la pared interna del irradiador. El material seleccionado por su densidad homogénea y propiedades blindantes a la radiación gamma fue el plomo.

En la Tabla 5 se muestra el espesor, las dimensiones y la cantidad de láminas de plomo requeridas para el rediseño del blindaje al considerar un límite de dosis de 10  $\mu\text{Sv/h}$ .

**Tabla 5. Propuesta de rediseño del irradiador considerando como límite 10  $\mu\text{Sv/h}$**

Pared	Espesor	Dimensiones	Cantidad
<b>Este</b>	1 in	1x2 m	8
	1 in	2x0,6 m	4
	0,5 in	1x2 m	4
	0,5 in	2x0,6 m	2
	1 in	1x1 m	1
<b>Norte</b>	1 in	1x2 m	8
	1 in	2x0,6 m	4
	1in	1,3x1,2	1
	0,5 in	1,3x1,2	1
<b>Oeste</b>	1 in	1x2 m	8
	1 in	2x0,6 m	4
<b>Sur</b>	1 in	1x2 m	8
	1 in	2x0,6 m	4
	1 in	1,22 x 0,20 m	4

#### 4. CONCLUSIONES

1. Con la evaluación de la condición actual del blindaje se identificó los puntos de fuga o puntos calientes que existen en las paredes del irradiador.
2. La zona central inferior de las paredes corresponde a la zona donde se ubican los puntos de fuga en todas las paredes del irradiador, los mismos que coinciden con el espacio físico de la cámara de irradiación.
3. La técnica de reducción de varianza fue el método utilizado para obtener contaje en los detectores colocados al contacto y a un metro de distancia de las paredes de la cámara de irradiación a diferencia del método análogo de resolución.
4. Para evitar la alteración que se provoca durante la simulación en las lecturas de la tasa de dosis ambiental simuladas a la par con la lectura de la tasa de dosis al contacto, estas se realizaron por separado.
5. El número de historias necesarias para que todos los cuantificadores de datos pasen las 10 pruebas estadísticas realizadas por el programa MCNP5 fue igual a 10 000 000, con

ello se asegura que los resultados obtenidos mediante la simulación son estadísticamente confiables.

6. En el modelo  $M_4$  el porcentaje de error obtenido al comparar los datos experimentales con los datos simulados fue menor al 10 % por lo tanto, con el modelo digital se obtienen valores cercanos al comportamiento real del irradiador y en consecuencia el modelo digital fue validado.

## 5. REFERENCIAS

1. “Protección Radiológica y Seguridad de las Fuentes de Radiación: Normas Básicas Internacionales de Seguridad”, [http://wwwpub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/SupplementaryMaterials/SupM\\_Pub1531\\_S](http://wwwpub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/SupplementaryMaterials/SupM_Pub1531_S) (2012).
2. “La simulación como herramienta de la investigación” <http://www.gsic.uva.es/wikis/yannis/images/3/3a/MIArticuloversionFinal.pdf> (2012).
3. Rangel, W., “El futuro de la irradiación gamma: Tendencias”. *Contacto Nuclear*, N° 57. pp. 38-44 (2010).