

# Evaluación de blindaje mediante levantamiento radiométrico para Búnker de Rayos Gamma de Alta Tasa de $^{60}\text{Co}$ en LSCD-GUA

De Florán, D.<sup>1</sup> ; Gómez, D.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad del Valle de Guatemala (UVG) - Departamento de Física - Prácticas Profesionales

<sup>2</sup>Ministerio de Energía y Minas (MEM) - Laboratorios Técnicos - Aplicaciones Nucleares

## 1. Resumen

El objetivo principal de esta investigación gira en torno a la determinación si la instalación de un nuevo irradiador de  $^{60}\text{Co}$  con fines de calibración dosimétrica, nivel Radioterapia, eleva la tasa de dosis equivalente ambiental dentro de áreas supervisadas y controladas del LSCD y en puntos de interés alrededor, por encima de los límites al trabajador ocupacionalmente expuesto y al público, establecidos dentro de la legislación nacional vigente y con ello, establecer el nivel de riesgo radiológico asociado a esta nueva práctica. Se realizó un levantamiento radiométrico de 17 puntos para lograr obtener las tasas de dosis equivalentes promedio para campos de radiación de 10 cm x 10 cm (campo de referencia para calibraciones Nivel Radioterapia) y 30 cm x 30 cm (campo máximo permisible por el irradiador) con muestras de 200 mediciones de tasas de dosis equivalentes para cada punto en ambas condiciones de campo. Se logra determinar a partir de las tasas de dosis equivalentes la dosis efectiva anual evidenciando que la instalación del nuevo irradiador de rayos gamma por  $^{60}\text{Co}$  no representa riesgo alguno para los TOE y el público.

## 2. Introducción

La energía nuclear y el uso de radioisótopos, como el  $^{60}\text{Co}$ , han abierto nuevas fronteras en diversos campos, desde la medicina y la industria hasta la investigación científica. Estos avances han permitido diagnósticos médicos más precisos, tratamientos de cáncer más efectivos, y mejoras significativas en procesos industriales. El aprovechamiento de estos beneficios viene acompañado de la responsabilidad de garantizar la seguridad radiológica, protegiendo tanto a los profesionales que trabajan con estas fuentes de radiación como al público en general debido a los riesgos intrínsecos de los radioisótopos. Este hecho permite garantizar la correcta utilización de la energía nuclear con fines meramente pacíficos tomando en cuenta los riesgos. El nuevo irradiador de  $^{60}\text{Co}$ , nivel radioterapia, contribuye a la salud general de la población, al proveer servicios de calibración a hospitales que realizan radioterapia, para su adecuada trazabilidad al Sistema Internacional de Medidas.

## 3. Instrumentación y metodología

### 3.1 Instrumentación

En la realización de todo el proceso de experimentación y recopilación se emplearon diversos equipos y detectores para lograr llevar a cabo todo el levantamiento radiométrico.

#### 3.1.1 Irradiador de rayos gamma por $^{60}\text{Co}$

La fuente de  $^{60}\text{Co}$  se encuentra dentro de un irradiador de rayos gamma de nivel de teleterapia G100 de Hopewell Design Incorporation (véase Figura 1). El irradiador está diseñado para realizar lecturas y calibración de cámaras empleadas en radioterapia. Dentro de sus estándares de seguridad se encuentran los blindajes de plomo que recubren toda la estructura principal del equipo. La fuente actual dentro del irradiador presenta un actividad de 176 TBq.



Figura 1: Irradiador de rayos gamma por  $^{60}\text{Co}$ , Hopewell Designs G-100.

#### 3.1.2 Fantoma

Además, en Figura 1, se muestra justo enfrente de los colimadores del irradiador una fantoma de PMMA con dimensiones de 30 x 30 x 30 cm. El mismo permanece lleno de agua (y centrado a una distancia foco-superficie de 95cms) para la medición de la radiación secundaria debido a la dispersión producida por el mismo en los puntos de interés y se quita del haz principal para la medición de la radiación primaria en la pared opuesta al irradiador.

#### 3.1.3 Automess 6150 AD6

Para la recolección de las tasas de dosis equivalente ambiental, en el levantamiento radiométrico, se emplea el medidor de tasa de dosis Automess modelo 6150 AD6. El equipo está diseñado para medir radiación por fotones gracias al detector interno tipo Geiger-Müller. El equipo en su modalidad de tasas de dosis promedio ofrece una sensibilidad de hasta cuatro cifras significativas con un margen de error del 0.05%.



Figura 2: Medidor de tasa de dosis Automess 6150AD6

### 3.1.4 Software

Para la tabulación y análisis estadístico de los datos experimentales de la tasa de dosis equivalente promedio de los puntos del levantamiento radiométrico se emplea el software de licencia Excel. Para la elaboración de las curvas de densidad de las tasas de dosis equivalentes se emplea el lenguaje estadístico R.

## 4. Metodología

### 4.1 Diseño experimental

A lo largo de todo el proceso de recopilación y análisis estadístico se emplea el siguiente diseño experimental:

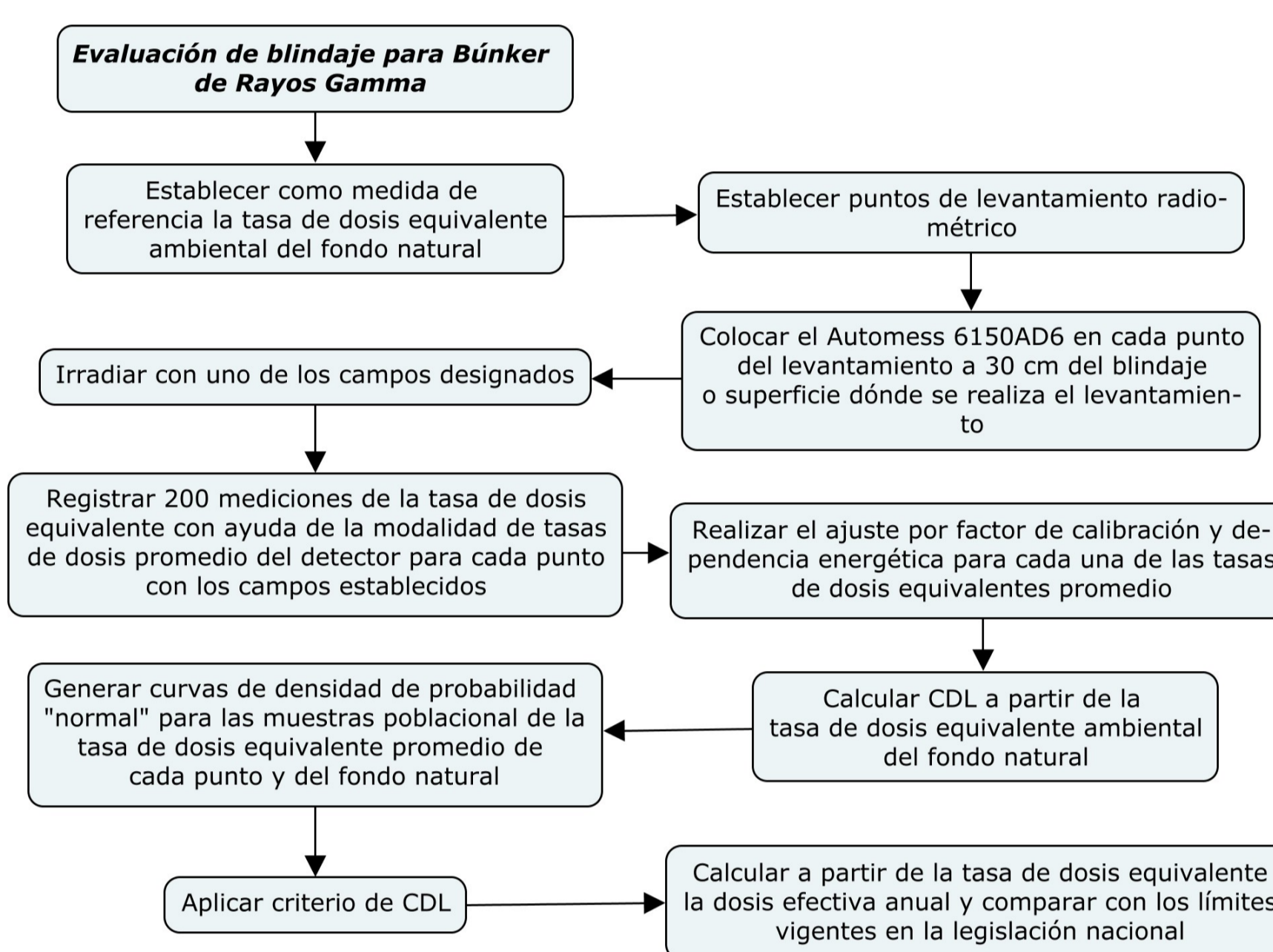


Figura 3: Esquema - diseño experimental

### 4.2 Puntos de levantamiento radiométrico

Se establecen 17 puntos del levantamiento radiométrico a largo del LSCD - GUA y su alrededor. Figura 4 evidencia la disposición de los mismos.

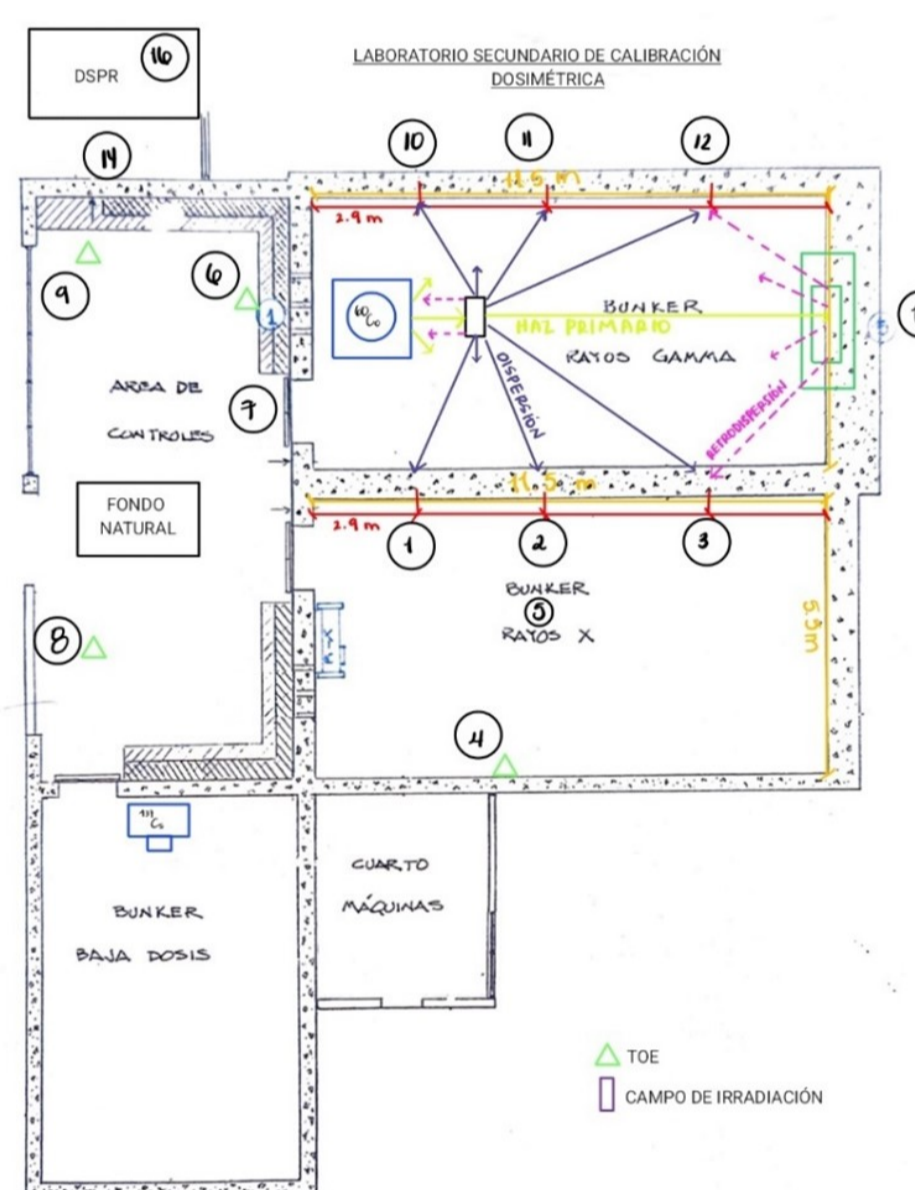


Figura 4: Croquis de puntos de levantamiento radiométrico

## 5. Cálculos

(1) evidencia el cálculo para el CDL con un nivel de confianza del 95% para indicar si la señal detectada es o no debido a un incremento en la magnitud medida a partir de las varianzas de las poblaciones muestrales de la tasa de dosis equivalente ambiental del fondo  $\sigma_B^2$  y del punto del levantamiento con el irradiador en funcionamiento  $\sigma_G^2$ .

$$CDL = 1.645 * (\sigma_G^2 + \sigma_B^2)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

(2) indica el valor  $CDL_{AJUSTADO}$  para el nivel de referencia de la tasa de dosis equivalente ambiental por el fondo natural.

$$CDL_{AJUSTADO} = CDL + L_B \quad (2)$$

Si la tasa de dosis equivalente ambiental medida para el punto del levantamiento es superior al CDL por un 10% se considera que el irradiador aumenta la tasa de dosis equivalente ambiental.

(3) permite calcular la dosis efectiva anual de cada punto del levantamiento radiométrico, utilizando la lectura de la tasa de dosis equivalente promedio  $L$  del punto en  $\mu\text{Sv h}^{-1}$ . Los factores  $\frac{1}{1000}$  y  $\frac{1}{60}$  convierten  $\mu\text{Sv}$  a  $\text{mSv}$  y 60 minutos a 1 hora, respectivamente. Los factores adimensionales  $T$  y  $U$  representan los factores de ocupación en el punto de levantamiento y el uso del blindaje principal del búnker, respectivamente. El factor  $W_T$  [ $\text{Gy año}^{-1}$ ] es la carga de trabajo total del irradiador, considerando la calibración de cámaras de ionización para radioterapia y el mantenimiento del irradiador. Se estima que el irradiador funcionará 20 semanas al año, de ahí el factor multiplicativo al final de (3). Finalmente, el factor  $D$  es la tasa de dosis que entrega el irradiador en el isocentro del búnker, siendo  $D = 0.85 \text{ Gy min}^{-1}$  para esta investigación.

$$H^*(10)_{ANUAL} = \frac{L * \frac{1}{1000} * \frac{1}{60} * T * U * W_T * 20}{D} \quad (3)$$

## 6. Resultados

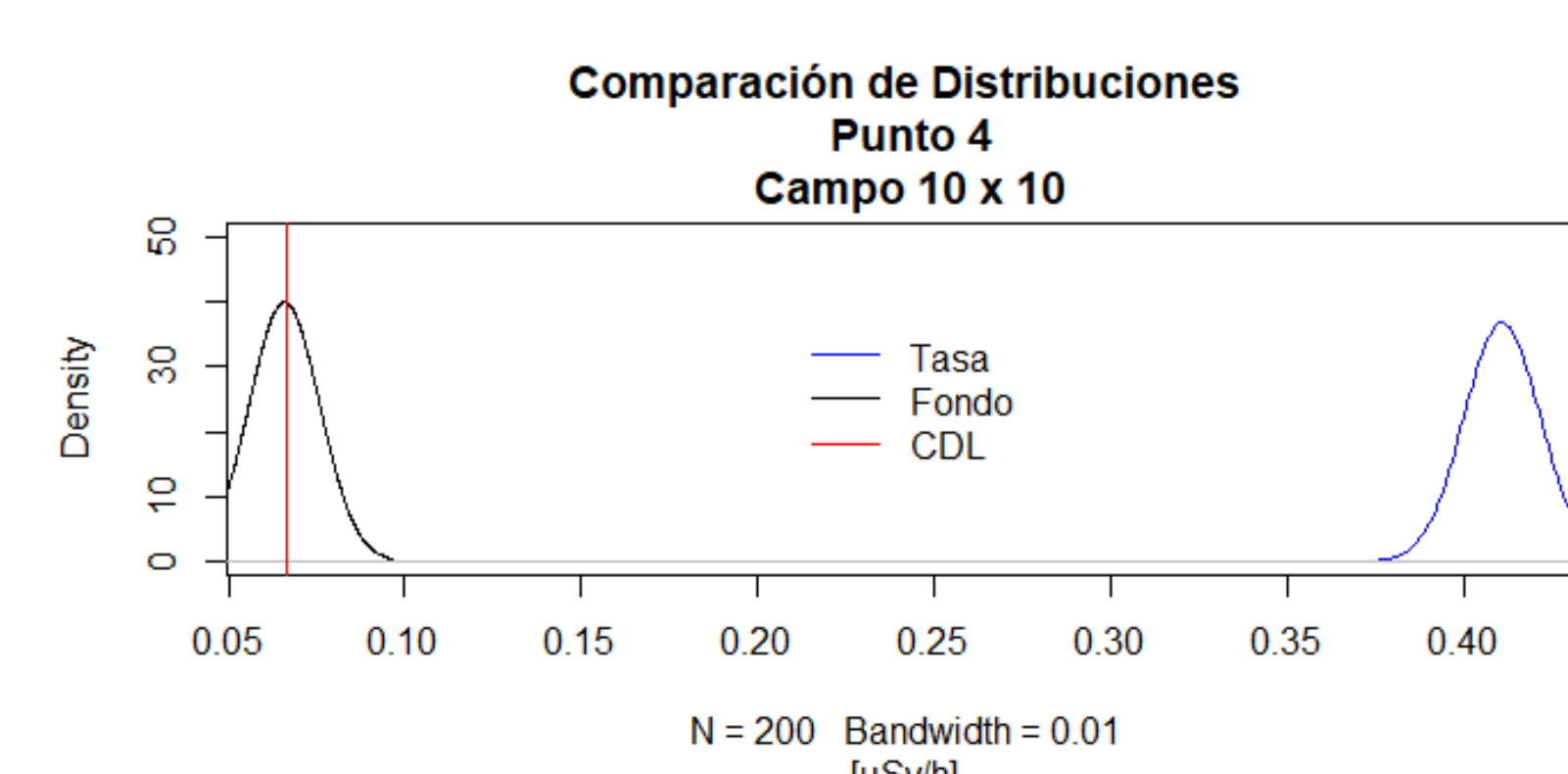


Figura 5: Comparación de distribuciones - Punto 4

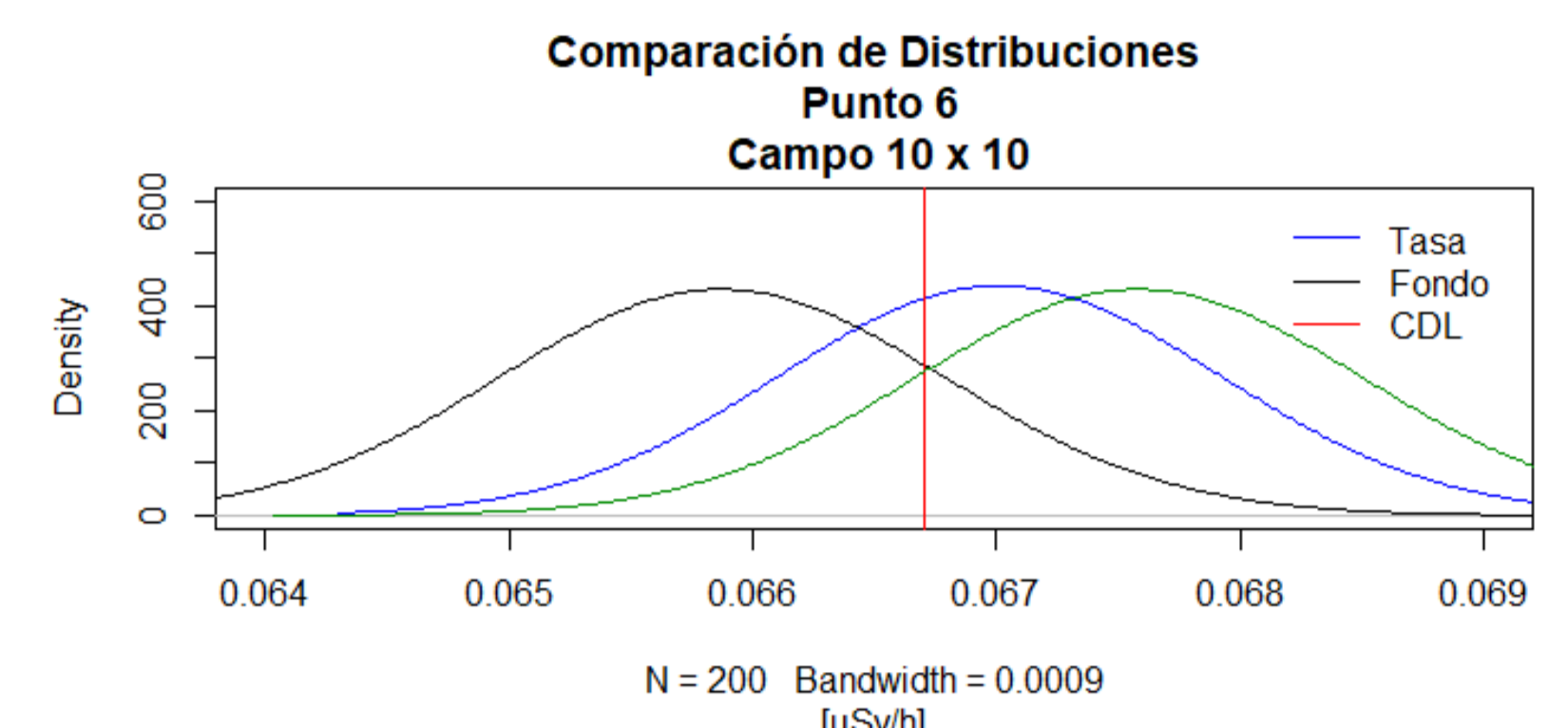


Figura 6: Comparación de distribuciones - Punto 6

Las Figuras 5 y 6 muestran las curvas de distribución de las tasas de dosis equivalente ambiental (curva negra) y de los puntos 4 y 6 (curva azul), así como el CDL (rojo). En la Figura 5, se observa que la tasa de dosis equivalente del punto 4 es mayor al CDL, indicando que cuando la fuente está en funcionamiento, la tasa de dosis equivalente ambiental aumenta. En la Figura 6, las curvas de la tasa de dosis equivalente ambiental y del punto 6 son similares, con una diferencia media de  $0.0014 \text{ mSv h}^{-1}$ . Utilizando el criterio de CDL, se traza una tercera curva de prueba con una región de probabilidad de error del 5% que delimita el CDL, ubicada sobre la cola inferior para considerar falsos-positivos. La tasa de dosis equivalente del punto 6 se encuentra dentro de esta región y no supera el CDL por más del 10%. Por ello, el punto 6 no muestra un aumento en la tasa de dosis equivalente ambiental al comparar las condiciones de "fuente expuesta" y "fuente cerrada". Este proceso se usa para los demás puntos.

No. de punto de levantamiento radiométrico	$H^*(10)$ [ $\text{mSv año}^{-1}$ ]	
	Campo 10 x 10 cm	Campo 30 x 30 cm
1	1.08	4.19
2	1.82	7.54
3	1.02	3.42
4	0.74	2.84
5	1.45	5.72
6	0.12	0.21
7	0.00	0.01
8	0.12	0.11
9	0.12	0.28
10	0.04	0.15
11	0.04	0.14
12	0.01	0.04
13	0.05	0.07
14	0.03	0.03
15	0.02	0.03
16	0.12	0.19
17	0.01	0.03

Tabla 1:  $H^*(10)$  anual por campo de radiación y punto de levantamiento radiométrico

En la Tabla 1 se muestran las dosis equivalentes ambientales anuales  $H^*(10)$ , como mejor estimador de la dosis efectiva al trabajador ocupacionalmente expuesto, en cada punto de levantamiento radiométrico para cada campo ensayado de irradiación. Esta cantidad se compara con los límites de dosis efectivas anuales establecidos por la legislación nacional. Se determina que, para los campos de irradiación de 10 cm x 10 cm, ninguno de los puntos de levantamiento supera el límite de exposición de  $1 \text{ mSv año}^{-1}$  establecido para el público y sus áreas, y mucho menos el límite de exposición de  $5 \text{ mSv año}^{-1}$  establecido para TOE. Solo para los campos de 30 cm x 30 cm, se observan dos puntos que superan el límite de exposición para TOE; sin embargo, no se prevé utilizar este campo de irradiación.

## 7. Conclusiones

- Se registra que en 27 de 34 puntos totales del levantamiento radiométrico la tasa de dosis equivalente ambiental se eleva cuando el irradiador se encuentra en funcionamiento para cada uno de los campos establecidos (11 de 17 para campo 10 cm x 10 cm, 16 de 17 para campo 30 cm x 30 cm).
- A pesar de que casi el 80% de los puntos del levantamiento radiométrico evidencian un incremento en la tasa de dosis equivalente ambiental con el irradiador en funcionamiento, SOLO 2 de 34 puntos del levantamiento evidencian más  $5 \text{ mSv año}^{-1}$  en la dosis efectiva anual.
- Se evidencia a partir de la dosis efectiva anual que la instalación del nuevo irradiador de rayos gamma por  $^{60}\text{Co}$  no representa riesgo alguno para los TOE y el público, y por ello puede ser OPERADO con TOTAL SEGURIDAD para todos los involucrados (TOE y público).

## 8. Bibliografía

- Automess, Automation und Messtechnik GmbH. (2004). Operating Manual for the Dose Rate Meter 6150AD...
- DSPR. (s.f.). Reglamento de Protección Radiológica. Guatemala.
- Hopewell Designs Incorporation. (s.f.). Hopewell Designs, Inc. Obtenido de Products/Gamma Irradiator Systems: <https://www.hopewelldesigns.com/products/gamma-irradiator-systems/>
- Knoll, G. (2000). Radiation Detection and Measurement. John Wiley & Sons, Inc.
- NCRP. (2005). Structural Shielding Design and Evaluation for Megavoltage X- and Gamma-Ray Radiotherapy Facilities. Bethesda: NCRP.
- Podgorsak, E. (2005). Radiation oncology physics : a handbook for teachers and students . Austria: IAEA.
- Tsoufanidis, N., & Landsberger, S. (2015). Measurement & Detection of Radiation. Boca Raton, FL: CRC Press.