



*Evaluación del riesgo radiológico para la salud humana en una sala de radiología*

*Radiological risk assessment for human health in a radiology room*

*Avaliação de risco radiológico para a saúde humana em uma sala de radiologia*

Bruno Micciola <sup>I</sup>

[bruno.micciola@esPOCH.edu.ec](mailto:bruno.micciola@esPOCH.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0002-4085-0072>

Leonardo Daniel cabezas Andrade <sup>III</sup>

[leonardo.cabezas@esPOCH.edu.ec](mailto:leonardo.cabezas@esPOCH.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-001-5056-9180>

Miguel Ángel Sáez Paguay <sup>II</sup>

[miguel.saez@esPOCH.edu.ec](mailto:miguel.saez@esPOCH.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0003-3192-5084>

Yesenia Maricela Fiallos Godoy <sup>IV</sup>

[yese.fiallos@gmail.com](mailto:yese.fiallos@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0003-2397-6893>

**Correspondencia:** [bruno.micciola@esPOCH.edu.ec](mailto:bruno.micciola@esPOCH.edu.ec)

Ciencias Física

Artículo de Investigación

\* **Recibido:** 23 de mayo de 2022 \* **Aceptado:** 12 de junio de 2022 \* **Publicado:** 26 de julio de 2022

- I. Docente en EsPOCH, Facultad de Ciencias, Carrera de Física, Ecuador.
- II. Facultad de Recursos Naturales, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Orellana, Ecuador.
- III. Research Group YASUNI-SDC, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Sede Orellana, Ecuador.
- IV. Hospital General, Docente, Ambato, Ecuador.



## Resumen

En este trabajo se midió los valores de tasa de dosis equivalente ambiental anual empleando una cámara de ionización para evaluar las condiciones ambientales de un servicio de radiodiagnóstico en términos de protección radiológica, para verificar que los niveles de exposición ocupacional y del público estén por debajo de los niveles nocivos, para lo cual se siguió la metodología descrita en el Manual de Control de Calidad para Radiodiagnóstico y Radiología Intervencionista Ecuatoriano. Todos los ambientes medidos se encontraron por debajo de los límites establecidos por la normativa nacional e internacional, por lo que no hay necesidad de tomar acciones correctivas para los blindajes de la instalación y se garantiza la protección radiológica del POE, paciente y público en general.

**Palabras Clave:** Cámara de ionización; Radiodiagnóstico; Levantamiento radiométrico; fotones.

## Abstract

In this work, the annual environmental dose equivalent rate values were measured using an ionization chamber to evaluate the environmental conditions of a radiodiagnostic service in terms of radiological protection, to verify that the levels of occupational and public exposure are below harmful levels, for which the methodology described in the Quality Control Manual for Radiodiagnosis and Ecuadorian Interventional Radiology was followed. All the environments measured were below the limits established by national and international regulations, so there is no need to take corrective actions for the shielding of the installation and the radiological protection of the POE, patient and general public is guaranteed.

**Keywords:** Ionization chamber; Radiodiagnosis; radiometric survey; photons.

## Resumo

Neste trabalho, os valores anuais da taxa equivalente de dose ambiental foram medidos usando uma câmara de ionização para avaliar as condições ambientais de um serviço de radiodiagnóstico em termos de proteção radiológica, para verificar se os níveis de exposição ocupacional e pública estão abaixo dos níveis nocivos, por que foi seguida a metodologia descrita no Manual de Controle de Qualidade para Radiodiagnóstico e Radiologia Intervencionista Equatoriana. Todos os ambientes medidos ficaram abaixo dos limites estabelecidos pelas regulamentações nacionais e

internacionais, portanto não há necessidade de tomar ações corretivas para a blindagem da instalação e é garantida a proteção radiológica do POE, paciente e público em geral.

**Palavras-chave:** Câmara de ionização; Radiodiagnóstico; levantamento radiométrico; fótons.

## **Introducción**

La toma de placas de rayos x en un equipo convencional es una de las principales herramientas usadas por médicos para determinar diferentes patologías, sin embargo, es imprescindible tener en cuenta las medidas de seguridad frente a las radiaciones ionizantes considerado que las aplicaciones médicas son responsables de la más alta contribución de exposición a la población. Para la aplicación de recomendaciones y normas de seguridad radiológica, la autoridad reguladora de un país, es el ente encargado de controlar y fiscalizar las instalaciones de radiodiagnóstico.

El radiodiagnóstico médico constituye un instrumento fundamental para un mejor y oportuno diagnóstico para mejorar la calidad de vida de sus usuarios. La toma de placas debe ser debidamente justificada, es decir, cualquier exploración solo estará indicada cuando sirvan para cambiar el diagnóstico, pronóstico, el tratamiento o la técnica terapéutica hacia el paciente.

Por otro lado, el radiodiagnóstico puede representar un riesgo para la salud del personal médico a causa de la radiación no deseada que escapa del equipo o de la sala de irradiación (Bushong, 2010). De acuerdo a la naturaleza de la irradiación, los efectos pueden ser de dos tipos: determinísticos y estocásticos. Son determinísticos si existe un daño letal a causa de la muerte de muchas células somáticas, lo cual se traduce en la aparición de efectos a corto plazo, los cuales dependen de la dosis irradiada, es decir, existe un umbral de dosis por debajo del cual no se observa el efecto. Tomando como referencia al umbral de dosis del efecto determinístico se han creado las restricciones de dosis. Los efectos estocásticos se producen a causa de una lesión subletal es decir de pocas células somáticas o hereditarias, en estos efectos la gravedad es independiente de la dosis y no existe nivel de dosis umbral, además, la aparición de los efectos es tardía. Un ejemplo de efecto determinístico es la supresión del sistema inmune producido a pocas horas de la irradiación con dosis por encima de los 0,1 Grays, o la esterilidad en varones a los dos meses de la irradiación con dosis por encima de los 0,2 Grays. Un ejemplo de efecto estocástico es el cáncer (ICRP, 2007). Este riesgo se reduce al mínimo posible con cálculos de atenuación de la sala y por mediciones de radiación posteriores (Domenech, 2017).

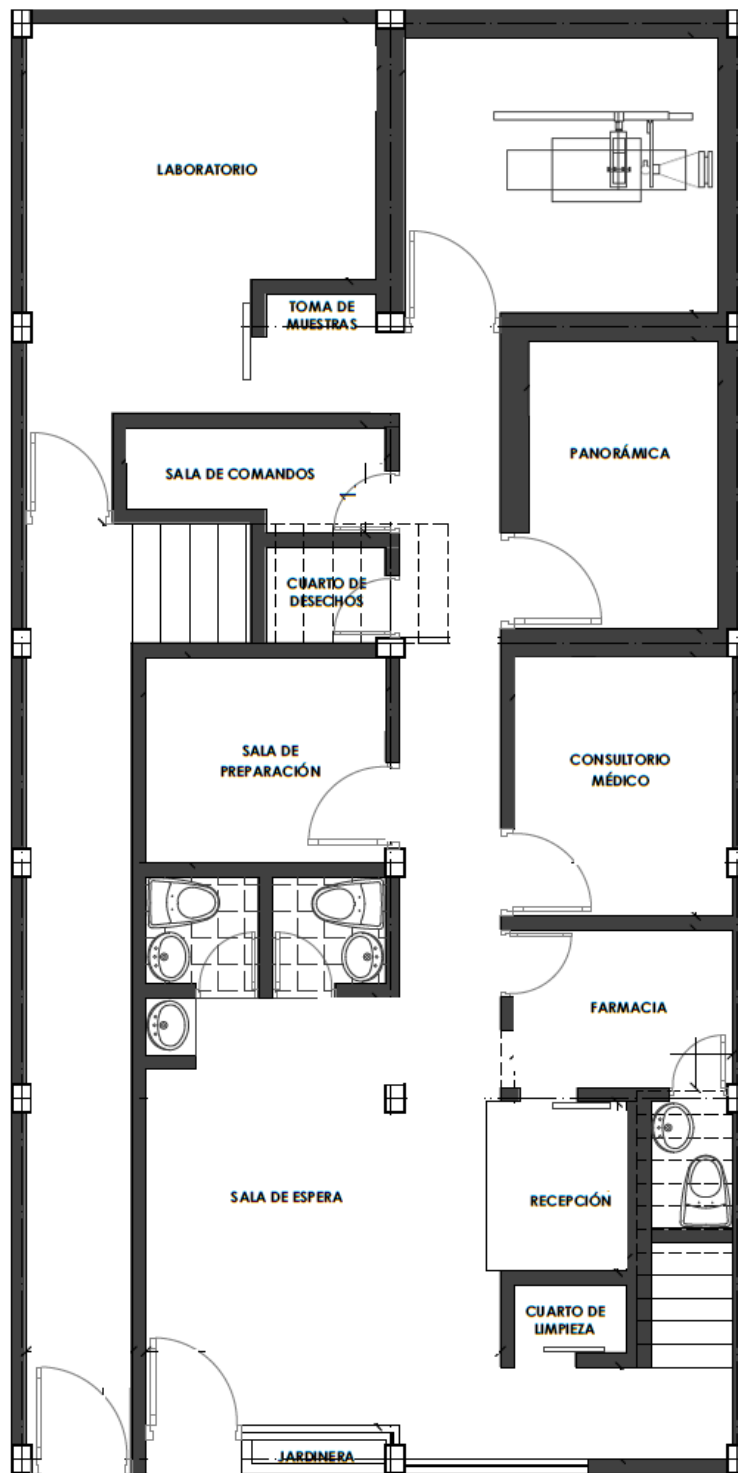
Este estudio emplea una cámara de ionización para medir los niveles de radiación en una sala de irradiación y sus alrededores para determinar el riesgo radiológico. Mediante este trabajo, se puede garantizar de forma experimental que la instalación tiene un confinamiento adecuado para evitar que la radiación ionizante afecte la salud humana del personal de salud y de los usuarios, por lo que el estudio es relevante.

## **Metodología**

Para este estudio se siguió la metodología descrita en el MANUAL DE CONTROL DE CALIDAD PARA RADIODIAGNÓSTICO Y RADIOLOGÍA INTERVENCIONISTA (MERNNR, 2020, págs. 9-10), el cual indica que se debe seguir los siguientes pasos:

- **Elaboración del croquis de la instalación**

Como se observa en la Ilustración 1, se representó en la instalación: el tubo de rayos x, mesa del paciente, biombo, consola del comando, puertas y ventanas. Además, se indicó la naturaleza de las áreas adyacentes, por ejemplo: cuarto oscuro, pasillos, salas adyacentes, sala de espera, recepción, baños, etc. Se identificó con letras mayúsculas los puntos de interés situados dentro y fuera de la sala (Ilustración 2 y 3), donde individuos del público y/o miembros del equipo del servicio puedan estar expuestos a radiación.



*Ilustración 1. Vista superior de la instalación*

- Croquis de la instalación con puntos de medida (vista superior)

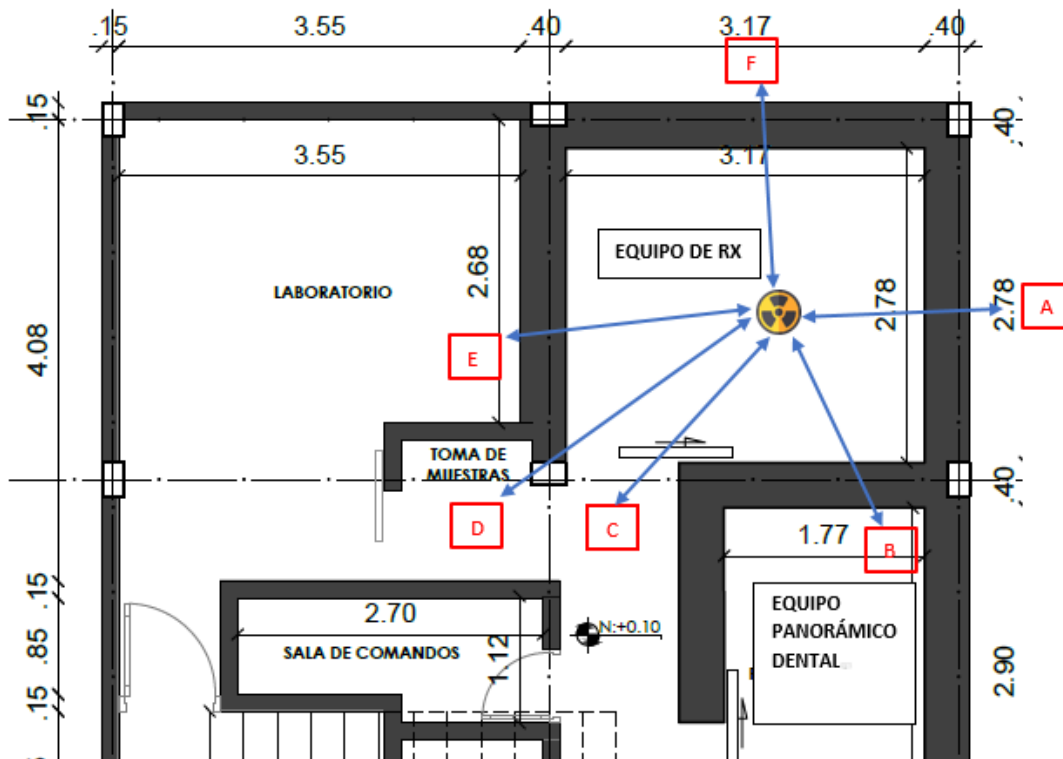


Ilustración 2. Puntos referenciales de medida

- Croquis de la instalación con puntos de medida (vista lateral)

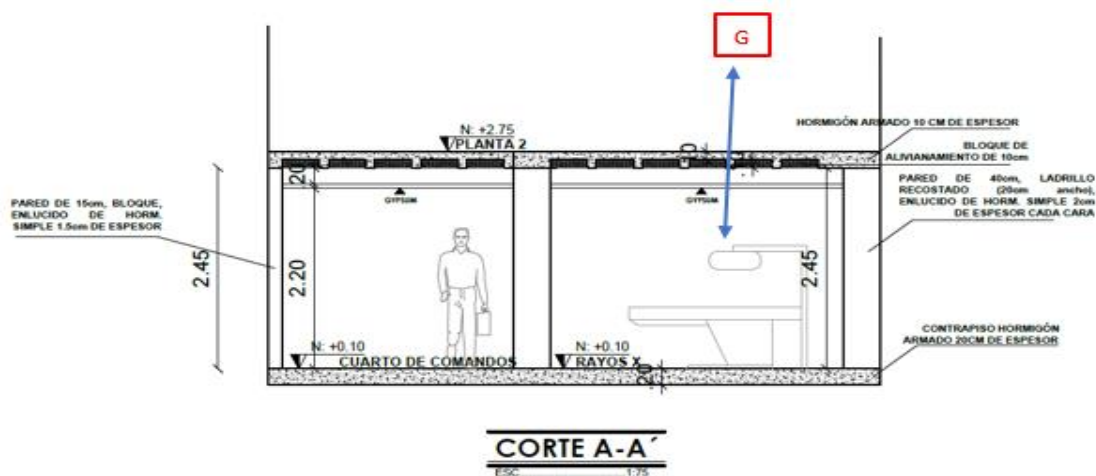


Ilustración 3. Punto G de medida, desde una vista lateral de la instalación.

- Medidas de radiación



Posteriormente se realizó las mediciones de acuerdo a los lineamientos del reglamento (MERNNR, 2020):

Se colocó el objeto dispersor y se centró en el campo de radiación, se fijó el tubo a una distancia de 100 cm de la mesa, con el haz perpendicular a la mesa. Se empleó la técnica a 200 mAs con un tiempo de adquisición de 0.2 s. Para las mediciones de radiación se utilizó una cámara de ionización marca LUDLUM, modelo 9DP, número de serie 25019456 (Ver Ilustración 4), calibrada el 2020-02-19 con radiación de fondo de 0.12  $\mu\text{Sv/h}$ . Se consideró 100 radiografías por semana.



**Ilustración 4.** Mediciones en la instalación y zonas aledañas.

Estos parámetros de exposición corresponden a la mayor técnica utilizada en los exámenes de rutina. Además, se seleccionó el tamaño de campo más amplio permitido por el colimador. Las mediciones se realizaron tres veces en cada punto (rotulado con letras mayúsculas) y se anotó el valor máximo.

Este procedimiento se realizó orientando el rayo central del haz en dirección el Bucky vertical y para la posición en la que el paciente se encuentra tendido sobre la mesa, interponiendo las láminas de PMMA ante el Bucky de pared.

- **Definición de los parámetros de cálculo**



- a) Se definió los factores de uso (U), de acuerdo con la fracción de carga de trabajo durante la cual el local donde se realiza la medida es alcanzado por el haz primario. Para fines de orientación, los valores medios representativos de instalaciones de radiografía general son: 0,7 para el piso y 0,3 para la pared (bucky mural) (MERNNR, 2020)
- b) Se definió los factores de ocupación (T), a partir de la estimación de la ocupación de los individuos en el área en cuestión, durante un período de uso de la instalación. Para fines de orientación, los valores presentados en la Tabla 1 podrán ser adoptados (IAEA, 2018).
- c) Se determinó la carga de trabajo semanal (W), expresada en mA.min/semana, para las condiciones máximas de rutina. Se usó la siguiente ecuación (SEFM, 2012) (MERNNR, 2020):

$$W \left[ \frac{mA \text{ min}}{\text{semana}} \right] = \frac{N_R I \cdot t [mA]}{60 \left[ \frac{s}{\text{min}} \right]} \quad (1)$$

donde:

$N_R$  es el número de radiografías por semana [ $sem^{-1}$ ];

$I \cdot t$  es el producto de la corriente (mA) por el tiempo de exposición (s) promedio por radiografía (por barrido en este caso); y,

1/60 es el factor para convertir de segundos a minutos.

**Table 1.** Factores de Ocupación (T) (NCRP N. C., 2004)

| Ubicación   | Factor de ocupación (T) |
|---|-------------------------|
| Oficinas administrativas o de dirección, laboratorios farmacias y otras áreas de trabajo totalmente ocupadas, área de recepción, salas de espera, zonas de juegos infantiles, salas adyacentes de rayos X, sala de control de rayos X | 1                       |
| Salas de tratamiento y examinación de pacientes   | 1/2                     |
| Pasillos, salas de pacientes, baños de trabajador, salas de estar de trabajadores   | 1/5                     |
| Baños públicos, áreas de venta sin supervisión, depósitos, zonas exteriores con asientos, salas de espera sin atención, áreas de espera de pacientes  | 1/20                    |
| Áreas al aire libre con peatones transitorios solamente, estacionamiento sin vigilancia, área de entrega vehicular (sin vigilancia), áticos, escaleras, ascensores sin supervisión, armario del conserje                              | 1/40                    |

NOTA: Cuando se usa un factor de ocupación bajo, para un cuarto inmediatamente adyacente a una sala de rayos X, se debe tener cuidado en considerar también las áreas más alejadas de la sala de rayos X que pueden tener factores de ocupación significativamente más altos y por tanto tener mayor importancia en el cálculo del diseño a pesar de las distancias largas involucradas.

**Table 2.** Carga de trabajo estimada. (MERNNR, 2020)

TABLA 2. CARGA DE TRABAJO TOTAL ESTIMADA EN VARIAS INSTALACIONES RADIOGRÁFICAS (CLÍNICAS Y HOSPITALES) [3]

| Tipo de Sala                             | Carga de trabajo por Paciente (mA.min/pac) | Número de pacientes por 40-h Semanales |       | Total Carga de trabajo |       |
|--|--|--|-------|------------------------|-------|
|  |  | Promedio                               | Total | Promedio               | Total |
| Sala Radiografía (Bucky de Tórax)        | 0,6  | 120                                    | 160   | 75                     | 100   |
| Sala Radiografía (Fluoro/otras barreras) | 1,9  | 120                                    | 160   | 240                    | 320   |
| Sala de Tórax                            | 0,22                                       | 200                                    | 400   | 60                     | 120   |
| Tubo de Fluoro (Sala R/F)                | 13   | 20                                     | 30    | 250                    | 400   |
| Tubo Radiografía (Sala R/F)              | 1,5  | 20                                     | 40    | 30                     | 60    |
| Sala Mamografía                          | 6,7  | 50                                     | 100   | 350                    | 700   |
| Angiografía Cardíaca                     | 160  | 20                                     | 30    | 3.200                  | 4.800 |
| Angiografía Periférica                   | 64   | 20                                     | 30    | 1.300                  | 2.000 |
| Tomografía                               |  | 60                                     | 125   |                        |       |

### • Cálculo y análisis de los resultados

Utilizando la ecuación (2), se obtiene la dosis equivalente ambiental anual.

$$H^*(10)_{ANUAL} \left[ \frac{mSv}{año} \right] = \frac{Lectura}{I} \cdot \left[ \frac{mSv/h}{mA} \right] \cdot T \cdot U \cdot W \left[ \frac{mA \cdot min}{semana} \right] \cdot \frac{50 \text{ sem}}{año} \quad (2)$$

Donde:

$H^*(10)_{ANUAL} \left[ \frac{mSv}{año} \right]$  es la tasa de dosis equivalente ambiental en un año;

*Lectura* es la tasa de dosis equivalente ambiental medida sustrayendo el valor del fondo de radiación;

*I* es la corriente utilizada en la prueba;

*W* es la carga de trabajo por semana;

*U* es el factor de uso en el punto de medición; y,

*T* es el factor de ocupación del punto de medición, indicado en Tabla 1.

*NOTA: Utilizar los factores de conversión de unidades correspondientes en caso de ser necesario.*

- **Tolerancias**

a) Comparar los valores obtenidos con los niveles de restricción de dosis establecidos en la normativa nacional o en las recomendaciones presentadas en la Tabla 3.

**Table 3.** Niveles de restricción de Dosis (ICRP, 2007)

|                 |                            |
|-----------------|----------------------------|
| Área Controlada | 0,10 mSv/sem o 5,0 mSv/año |
| Área Libre      | 0,01 mSv/sem o 0,5 mSv/año |

b) Señalar con Si o No la aceptación del nivel de radiación en cada punto. En caso de que exista algún punto con niveles no aceptables, señalar la no conformidad en el informe del levantamiento radiométrico.

- **Acciones correctivas**

En caso de que exista algún punto con niveles no aceptables se recomienda: adicionar blindaje necesario, reducir el tiempo de ocupación, cambiar la posición

### **Resultados y discusión.**

La tasa de dosis anual es una proyección considerando una carga de trabajo realista (*W*) de 133.3 mA.min/sem (MERNNR, 2020, pág. 12) y da cuenta de la posible dosis que recibiría una persona que se encuentre en el ambiente contiguo a la sala de radiología general con bucky mural considerando los factores de ocupación (*T*).

**Table 4.** Tasa de dosis ambiental captada por la cámara de ionización.

| Punto de medición | Localización               | Clasificación de la zona | Lectura restado el fondo (uSv/h) | W [mA.min/sem] | Lectura transformada [mSv/mA . min] | Factor de ocupación | Tasa de dosis anual [mSv/año] |
|-------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------------|----------------|-------------------------------------|---------------------|-------------------------------|
| A                 | Propiedad privada habitada | Libre                    | 1,39                             | 66,66666667    | 0,000000089                         | 0,5                 | 0,0001485                     |
| B                 | Sala Panorámico            | Controlada               | 1,16                             | 66,66666667    | 0,000000074                         | 1                   | 0,0002479                     |
| C                 | Puerta a la sala de RX     | Libre                    | 26,78                            | 66,66666667    | 0,000001717                         | 0,50                | 0,0028611                     |
| D                 | Toma de muestras           | Libre                    | 1,39                             | 66,66666667    | 0,000000089                         | 0,50                | 0,0001485                     |
| E                 | Laboratorio                | Libre                    | 1,28                             | 66,66666667    | 0,000000082                         | 0,50                | 0,0001368                     |
| F                 | Terreno baldío             | Libre                    | 1,18                             | 66,66666667    | 0,000000076                         | 0,03                | 0,0000076                     |
| G                 | Techo                      | Libre                    | 1,44                             | 66,66666667    | 0,000000092                         | 0,50                | 0,0001538                     |

Estos valores muestran que la instalación no presenta riesgos asociados a la sobreexposición del personal ni del público, excluyendo la posibilidad de aparición de efectos determinísticos que afecten la salud humana.

### Conclusiones

Todos los ambientes medidos superaron con éxito la prueba con la cámara de ionización como se puede apreciar en la tabla 5, por lo que no hay necesidad de tomar acciones correctivas para los blindajes de la instalación. Sin embargo, en el punto de medición C, debido a que sus niveles de radiación están próximos a los valores de restricción establecidos en la normativa nacional, se recomienda la utilización de un biombo plomado para precautelar la salud y garantizar la protección radiológica del POE, paciente y público en general.

**Table 5.** Comparativa de los valores obtenidos con los niveles de restricción de dosis.

| Punto de medición | Localización               | Clasificación de la zona | Tasa de dosis anual [mSv/año] | Niveles de restricción de dosis [mSv/año] | Aceptación del nivel de radiación |
|-------------------|----------------------------|--------------------------|-------------------------------|---|-----------------------------------|
| A                 | Propiedad privada habitada | Libre                    | 0,000149                      | 0,5                                       | Sí                                |
| B                 | Sala Panorámico            | Controlada               | 0,000248                      | 0,5                                       | Sí                                |
| C                 | Puerta a la sala de RX     | Libre                    | 0,002861                      | 0,5                                       | Si                                |
| D                 | Toma de muestras           | Libre                    | 0,000149                      | 0,5                                       | Sí                                |
| E                 | Laboratorio                | Libre                    | 0,000137                      | 0,5                                       | Sí                                |
| F                 | Terreno baldío             | Libre                    | 0,000008                      | 0,5                                       | Sí                                |
| G                 | Techo                      | Libre                    | 0,000154                      | 0,5                                       | Sí                                |

## Referencias

1. ARCAL, A. D. (2011). Protocolo de Control de Calidad en Radiodiagnóstico, ARCAL XLIX – Implementación. México: IAEA.
2. Bushong, S. (2010). Radiologic Science for technologists. Physics, Biology, and Protection. Barcelona: Elsevier España.
3. Domenech, H. (2017). Radiation Safety. Management and Programs. Suiza: Springer.
4. IAEA, I. A. (2018). Radiation Protection and Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation. Vienna: IAEA.
5. ICRP, I. C. (2007). Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 103, Annals of the ICRP 37. Oxford: ICRP.
6. MERNNR, M. D. (2020). ANEXO III MANUAL DE CONTROL DE CALIDAD PARA RADIODIAGNÓSTICO Y RADIOLOGÍA INTERVENCIONISTA. QUITO: SCAN.

7. NCRP, N. C. (2004). Structural Shielding Design for Medical X-Ray Imaging Facilities, NCRP Report No. 147. USA: NCRP.
8. SEFM-SEPR. (2002). Protocolo Español de Control de Calidad en Radiodiagnóstico. Madrid: Edicomplet.

© 2022 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).