

Diseño y cálculo de blindaje para zonas de alto, medio y bajo riesgo radiológico de la unidad de medicina nuclear con SPECT-CT



Design and shielding to high, medium and low risk radiological zones of the nuclear medicine unit with SPECT-CT

Vilma Nohemí Yanchapanta Bastidas¹, Mary Elizabeth Ganán Andino², Juan Miguel Olalla Pilco³, Rosa Maricela Ormaza Hugo⁴, Nadia Aimee González López⁵ & Richard Willians Pachacama Choca⁶

Recibido: 22-03-2019 / Revisado: 27-04-2019 / Aceptado: 26-05-2019/ Publicado: 05-06-2019

Abstract.

DOI: <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i2.6.55>

The objective of the present work was to design and calculate the shielding for areas of high, medium and low radiological risk of a facility that will include a computer hybridized computed tomography by emission of a single photon added with a computerized tomography. The technical considerations of radio protection recommended by International Organizations were taken into account. For the calculation of shielding, a code was generated in MATLAB according to the methodology used in the SRS-2/1 of the International Atomic Energy Agency and TG 108 of the working group of the American Association of Physicists in Medicine, which took into account dose restrictions for both occupationally exposed and public personnel, use factor, occupation factor, distances, workloads, patient flow, type of radiopharmaceutical and the different rooms where the patient can be. The radiopharmaceutical taken as a reference was Iodine-131 due to its energy value. As a

¹ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba, Ecuador. vilma.yanchapanta@esPOCH.edu.ec

² Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba, Ecuador. maryeliza0792@gmail.com

³ Hospital Teodoro Maldonado Carbo – IESS Guayaquil, Ecuador. miguelolallap@hotmail.com

⁴ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba, Ecuador. rormaza@esPOCH.edu.ec

⁵ Universidad Técnica de Manabí, Instituto de Ciencias Básicas, Portoviejo, Ecuador. nadiaaimegl@gmail.com

⁶ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba, Ecuador. rpachacama@gmail.com

result, the design of the Nuclear Medicine enclosure was obtained, which has a total of 31 premises, distributed in accordance with the recommendations of the regulations used and in compliance with the principles of radiological protection, of which 11 needed to be shielded. The thicknesses of the protection barrier were determined in lead and concrete, which vary from 25 to 65 cm in concrete, which is equivalent to lead sheets of 4 to 10 mm

Keywords: Shielding, iodine-131, shielding, radiopharmaceutical, nuclear medicine.

Resumen.

El objetivo del presente trabajo fue realizar el diseño y cálculo del blindaje para zonas de alto, medio y bajo riesgo radiológico de una instalación que abarcará un equipo híbrido de tomografía computarizada por emisión de un fotón simple añadido con un tomógrafo computarizado. Se tomó en cuenta las consideraciones técnicas de radio protección recomendadas por Organismos Internacionales. Para el cálculo de blindaje se generó un código en MATLAB según la metodología utilizada en el SRS-2/1 del Organismo Internacional de Energía Atómica y el TG 108 del grupo de trabajo de la Asociación Americana de Físicos en Medicina, en donde se tuvieron en cuenta las restricciones de dosis tanto para el personal ocupacionalmente expuesto y público, factor de uso, factor de ocupación, distancias, cargas de trabajo, flujo de pacientes, tipo de radiofármaco y las diferentes salas donde el paciente puede estar. El radiofármaco tomado como referencia fue el Yodo-131 debido a su valor de energía. Como resultado se obtuvo el diseño del recinto de Medicina Nuclear que cuenta con un total de 31 locales, distribuidos de acuerdo con las recomendaciones de las normativas usadas y cumpliendo con los principios de protección radiológica, de los cuales 11 necesitaron ser blindados. Los espesores de la barrera de protección fueron determinados en plomo y concreto los mismos que varían de 25 a 65 cm en concreto lo que equivale en láminas de plomo de 4 a 10 mm

Palabras claves: Blindaje, yodo-131, blindaje, radiofármaco, medicina nuclear

Introducción

La protección radiológica es un conjunto de medidas establecidas para la seguridad y la protección de los seres humanos y del medio ambiente frente a los posibles riesgos que se deriven de la exposición a las radiaciones ionizantes (International Commission on Radiation Units and Measurements, 2016), convirtiéndose en un tema de vital importancia en todo centro que haga uso de fuentes radiactivas no encapsuladas como es el caso de Medicina Nuclear. Las medidas de protección vienen condicionadas por aspectos fundamentales como el diseño de la instalación, material radiactivo, equipamiento, construcción y adquisición de elementos de blindaje o la definición de los procedimientos de trabajo (Castro, Muñoz-Bravo, & Plazas, 2015).

En el área de Medicina Nuclear se utilizan equipos híbridos como tomógrafos computarizados (CT) acoplados a un equipo de Tomografía Computarizada por Emisión Mono fotónica (SPECT) (Hé Hernández, Rodríguez, & Ramos , 2018), el cual permite a los médicos rastrear la ruta de los radiofármacos una vez incorporado a los pacientes (Mariani, y otros, 2010). Este equipo está instalado en una área que cumple con ciertos requisitos de diseño como: garantizar que las dosis que reciba el Personal Ocupacionalmente Expuesto (POE) y el público cumpla con el principio ALARA (International Commission on Radiological Protection, 2011).

Una vez administrado el material radiactivo a los pacientes, estos se convierten en fuentes radiactivas ambulantes, cuya posición debe ser considerada para el cálculo de blindaje (Castro, Muñoz-Bravo, & Plazas, 2015), por tanto, las habitaciones de tratamiento, salas de administración, cuarto caliente, salas de adquisición de imagen, entre otras, deben estar ubicados de preferencia en una zona poco transitada, las mismas que deben tener un control de acceso, con una baja probabilidad de riesgo de incendio, inundaciones, de fácil traslado del material radiactivo y contar con el espesor del blindaje capaz de atenuar la radiación a los niveles permisibles (Centro Nacional de Seguridad Nuclear , 2001) además, que cada centro de imagen debe contar con sus propios cuartos de captación y almacenamiento de material radiactivo (Hé Hernández, Rodríguez, & Ramos , 2018).

En correspondencia con lo antes expuesto, el objetivo del trabajo es realizar el diseño y cálculo del blindaje para una instalación de un híbrido SPECT-CT, tomando en cuenta las consideraciones técnicas de radio protección recomendadas por Organismos Internacionales.

Metodología

El diseño y cálculo de blindaje del SPECT-CT se realizó según el siguiente orden: i) análisis del estado actual de la bibliografía y del objeto de investigación, ii) selección de la institución hospitalaria donde se realizaría el estudio, iii) diseño y distribución de los diferentes ambientes de la Instalación de Medicina Nuclear y de las zonas de riesgo, iv) cálculo del blindaje.

Para el análisis del estado actual de la bibliografía y del objeto de investigación se efectuó una minuciosa revisión bibliográfica, detección y extracción de información de valor sobre el estado del arte del marco conceptual del diseño y cálculo de blindajes tomando como referencia las recomendaciones de la Asociación Americana de Físicos Médicos (AAPM TG-108) (Guevara Rojas, Romero Carlos, & Berrocal Ti, 2014), Consejo Nacional de Protección y Mediciones Radiológicas NCRP 147 (National Council Radiation Protection and Measurements, 2004) , NCRP 151 (National Council On Radiation Protection & Measurements, 2005) y de la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA SRS 2/1) (Agency International Energy Atomic, 2016).

La selección de la instalación hospitalaria objeto de estudio se efectuó en base a la necesidad de diseño de nuevas instalaciones con infraestructura especializada que permitiera la instalación de nuevos estudios de diagnóstico usando otros radiofármacos. En función de ello se eligió el Hospital de Especialidades Teodoro Maldonado Carbo IEES-Guayaquil el que presta 60 servicios de salud, incluido el de Medicina Nuclear, cuyo servicio es de forma limitada, realizándose solamente procedimientos relacionados con terapia metabólica ambulatoria usando Yodo-131 y el resto de pacientes son derivados a otras instituciones de salud.

En el diseño y distribución de los diferentes ambientes de la Instalación de Medicina Nuclear, se ha tomado como referencia las recomendaciones internacionales antes mencionadas. En este diseño se consideraron criterios para la delimitación de zonas de alto, mediano y bajo riesgo radiológico, de acuerdo con las exigencias establecidas para este tipo de instalación, a fin de asegurar el cumplimiento con las normas de seguridad y protección radiológica para el POE, público y medio ambiente (Organismo internacional de energía atómica, 2011). Dentro de los principales criterios se tuvo en cuenta lo siguiente:

- Las áreas se distribuyeron de tal manera que las salas con mayores niveles de tasa de dosis (habitaciones, sala de imagen, sala de captación, cuarto caliente, cuarto de desechos y almacenamiento) estén cerca al límite del hospital (área libre), y que las salas con menores niveles de tasa de dosis (consultorio, oficinas, secretaría, estación de enfermería, sala de espera) estén próximos a las áreas donde se encuentra el público en general (Guevara Rojas, Romero Carlos, & Berrocal Ti, 2014).
- Para las dimensiones de las salas, se consideró las dimensiones del equipo SPECT-CT (para la sala de imagen), la cámara de flujo laminar (para el cuarto caliente), camas (para las habitaciones de internamiento) (Guevara Rojas, Romero Carlos, & Berrocal Ti, 2014).
- El cuarto caliente y la sala de captación del paciente están separados del ambiente donde se encuentra el equipo SPECT-CT (sala de imagen) por un corredor, con la finalidad de no aumentar la radiación de fondo (Guevara Rojas, Romero Carlos, & Berrocal Ti, 2014).
- Para el Área Controlada y no controlada se realizó una adecuada señalización en cumplimiento con los estándares internacionales (National Council On Radiation Protection & Measurements, 2005).

Durante la clasificación de zonas de riesgo se tomó en cuenta la restricción de dosis equivalentes usadas para la protección de los trabajadores y público, es decir, 20 mSv y 1 mSv año para POE y público respectivamente (National Council On Radiation Protection & Measurements, 2005). El área designada para la construcción de la Unidad de Medicina Nuclear fue de 400 m² (16 metros de ancho por 25 metros de largo), y que las áreas aledañas en su mayoría son áreas verdes, siendo este un parámetro importante en el momento de realizar el cálculo de blindaje como se observa en la figura 1. Además, se ha considerado un pozo para el almacenamiento de las aguas residuales de esta nueva Unidad, las cuales serán

retenidas y monitoreadas hasta que la actividad por litro esté por debajo de los límites establecidos por la Autoridad Reguladora, para su posterior desemboque en la alcantarilla colectiva.

Figura 1. Ubicación de la Unidad de Medicina Nuclear



Para el cálculo del blindaje se realizó a través de una hoja de cálculo utilizando el programa MATLAB, considerando la metodología establecida en la publicación de la Asociación Americana de Física Médica (Guevara Rojas, Romero Carlos, & Berrocal Ti, 2014).

Para la determinación del espesor de las barreras primarias, se estimó la carga de trabajo (W) y el factor de transmisión (B), el cual está dado por la ecuación (1) tanto para los cuartos de inyección, radio-farmacia y habitaciones de internamiento de pacientes que han recibido Yodo-131 se consideró que permanecerían 72 horas y máximo 2 pacientes por habitación.

$$B = \frac{10.9 \times P \times d^2}{T \times N_w \times A_0 \times t_U (h) \times R_{tU}} \quad (1)$$

Donde: P representa la restricción de dosis para POE o público; d es la distancia fuente-punto de cálculo; T representa el factor de ocupación; N_w es igual al número de pacientes por semana; A_0 es la actividad del radionúclido; t_U representa el tiempo de captación según el radionucleido utilizado; R_{tU} es el factor de reducción de la dosis al tiempo de captación.

Para el bunker donde abarca al equipo de SPECT-CT se calculó B a través de la ecuación (2):

$$B = \frac{12.8 \times P \times d^2}{T \times N_W \times A_O \times F_U \times t_I (h) \times R_{tI}} \quad (2)$$

Donde a diferencia de la ecuación (1), esta considera el tiempo de duración del estudio (t_I); el factor de decaimiento debido al tiempo de captación (F_U) y R_{tI} que representa el factor de reducción de la dosis al tiempo del estudio. Una vez calculado el factor B, se realizó el cálculo del espesor de la barrera utilizando el número de capas décimo reductoras (TVL) (Robledo & Russo, 2009) , utilizando la ecuación (3):

$$x = TVL \times \log \left(\frac{1}{B} \right) \quad (3)$$

Resultados y discusión.

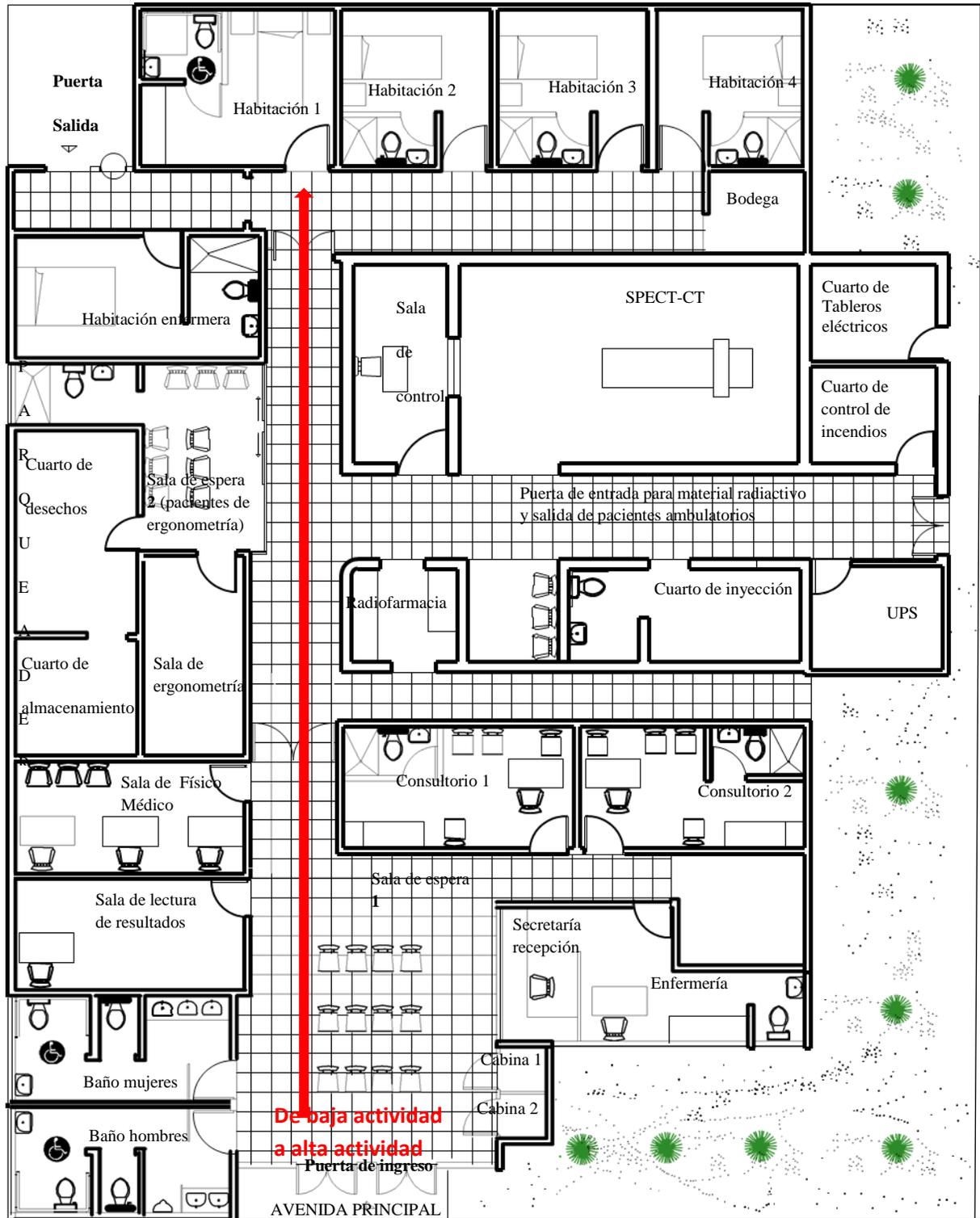
Los resultados del diseño del recinto de Medicina Nuclear fueron un total de 31 locales (gráfico 1), los cuales fueron distribuidos de acuerdo a las recomendaciones del OIEA SRS-2/1 referente a la clasificación de las zonas de riesgo y de estancia de pacientes, considerándose la construcción de ambientes idóneos para personas con discapacidad. En la Tabla 1 y 2, se muestran los ambientes de las áreas controladas y no controladas, donde se observó lo siguiente:

Los ambientes de las áreas determinadas como parte de las zonas controladas y no controladas, tiene relación directa con lo presentado en otros estudios (González González, y otros, 2015) con la diferencia en la determinación del sistema de ventilación, debido a que la normativa ecuatoriana no considera especificaciones (Comisión de Energía Atómica, 1978) y se trabaja en función de los procesos de ventilación usados dentro del hospital (Hospital Dr. Teodoro Maldonado Carbo, 2017)

Los ambientes de la zona no controlada, incluye las áreas como salas de espera, baños, consultorios, etc., además de nuevas áreas como la secretaría, áreas de control eléctrico, control de incendios, cabinas telefónicas, etc. (González González, y otros, 2015).

En la zona utilizada por el equipo SPET-CT (área controlada), se contó con áreas de espera, cuartos de administración de radiofármacos y zonas de adquisición de imágenes (Calderón Marín, y otros, 2017).

Gráfico 1. Diseño propuesto para la construcción de una Unidad de Medicina Nuclear



Los ambientes que se consideraron con alto riesgo radiológico (área controlada), son el cuarto caliente (área que se encuentra destinada para almacenar las moléculas transportadoras que se usarán para los diferentes radioisótopos), cuartos de tratamiento (lugar donde los pacientes permaneces aislados aproximadamente tres días cuando se realizan tratamientos metabólicos utilizando Yodo 131), cuarto de almacenamiento y cuarto de desechos (lugar en donde se almacenara los bultos que contengan sábanas, vómito, etc)

Los ambientes que presenta un nivel medio de riesgo radiológico (área controlada), son la sala que abarca el SPECT-CT, sala de inyección y la sala de espera uno, mientras que los de bajo riesgo radiológico (área no controlada) se tienen en la sala de ergometría, baño para pacientes, sala de espera 2 y el cuarto de comandos.

Tabla 1. Distribución de ambientes Área controlada

ÁREA CONTROLADA			
Número	Ambientes	Número	Ambientes
1	Habitación para la enfermera en turno	2	Salas de espera para pacientes inyectados
4	Habitaciones de internamiento	1	Cuarto caliente
1	Sala de equipo SPECT-CT	1	Sala de Ergometría
1	Sala de control	1	Cuarto de Desechos
1	Cuarto de Inyección	1	Cuarto de Almacenamiento

Tabla 2. Distribución de ambientes Área no controlada

ÁREA NO CONTROLADA			
Número	Ambientes	Número	Ambientes
1	Sala de Físicos Médicos	1	Estación de enfermería
2	Consultorios Médicos	1	Secretaría
1	Sala de lectura de resultados	2	Estaciones de cabinas telefónicas
1	Bodega	1	UPS
4	Baños	1	Sala de tableros eléctricos
1	Sala de espera	1	Sala de control de incendios

Además se consideraron dos cabinas telefónicas para una mejor comunicación con los pacientes de tratamiento metabólico desde la sala de espera 1, una puerta exclusiva para el ingreso del material radiactivo; el ancho de los pasillos para el ingreso del equipo; la presencia de puertas separando cada una de las zonas de riesgo con sus porterías eléctricas; el ingreso de la alimentación para los pacientes en las habitaciones de tratamiento por la puerta de salida de la Instalación de Medicina Nuclea la que se diseñó con un dispositivo giratorio evitando el contacto con la persona encargada de la alimentación.

En las tablas 3, 4 y 5 muestran los resultados del cálculo de blindaje para las zonas de alto y medio riesgo radiológico (área controlada) y bajo riesgo radiológico (área no controlada), respectivamente. Sobre estos resultados se comenta lo siguiente:

Los valores de espesor para la zona de alto riesgo radiológico (habitaciones, cuarto caliente, cuartos de desechos y almacenamiento) fueron de 42 y 65 cm de concreto y de 7 a 11 mm en plomo utilizando una densidad de concreto de 2.3 g/cm^3 y del plomo de 11.33 g/cm^3 . En el caso de la habitación uno y dos los espesores se encuentran entre los 37 y 39 cm para el concreto y los 6 y 7 mm de plomo, pues dependen de los factores de ocupación con cada área colindante.

Tabla 3: Blindaje requerido para la zona de alto riesgo radiológico

Zona a Blindar	Espesor en Concreto [cm]	Espesor en Plomo [mm]
Habitación 1	65	11
	37	6
	49	8
Habitación 2	62	11
	39	7
	65	11
Habitación 3	62	11
	52	9
	39	7
Habitación 4	65	11
	62	11
	51	9
Radio Farmacia	55	9
	56	10
	45	8
	45	8
	42	7
Cuarto de desechos	46	8
	46	8
Cuarto de Almacenamiento	65	11
	59	10
	55	9
	59	10

Los espesores de las barreras para la zona que presenta un nivel medio de riesgo radiológico donde se encuentra la SPECT-CT, sala de inyección y la sala de espera uno, requieren un blindaje menor, se observan valores entre 28 a 50 cm de concreto y de 5 a 9 mm en plomo,

esto se debe a la actividad del radiofármaco que se administra al paciente, al tiempo de permanencia en sala y a las distancias que existe entre la camilla y las barreras primarias (paredes, techo y piso) .

Tabla 4: Blindaje requerido para las zonas que presente un valor medio de riesgo radiológico

Zona a Blindar	Espesor en Concreto [cm]	Espesor en Plomo [mm]
Sala SPECT-CT	33	6
	37	6
	33	6
	28	5
Cuarto de Inyección	40	7
	48	8
	45	8
Sala de espera 1	45	8
	48	8

Las paredes para las zonas de bajo riesgo radiológico donde se encuentran la sala de ergometría, baño para pacientes y el cuarto de comandos varían sus espesores entre los 25 y 45 cm.

Tabla 5: Blindaje requerido para las zonas de bajo riesgo radiológico

Zona a Blindar	Espesor en Concreto [cm]	Espesor en Plomo [mm]
Sala de Ergometría	30	8
	45	8
	25	4
	34	6
Baño	37	6
Sala de espera 2	30	5
Sala de Control	a ¹	A
	a	A
	a	A

Representa las paredes donde no se necesita blindaje.

CONCLUSIONES

- Se diseñaron un total de 31 locales que satisfacen los estándares de seguridad radiológica, además, garantizan un adecuado funcionamiento de las áreas controladas y no controladas, y sobre todo una independencia en actividades que tienen que ver con pacientes y personal ocupacionalmente expuesto, en función del manejo de material radiactivo utilizado teniendo en cuenta las recomendaciones internacionales de seguridad y protección radiológica, generando un alto nivel de calidad en la seguridad de pacientes, público y trabajadores.
- Se determinaron los espesores de la barrera de protección a 11 locales en plomo y concreto, los mismos varían de 25 a 65 cm en concreto lo que equivale en láminas de plomo de 4 a 10 mm.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Agency, I. A. (2016). Safety of Nuclear Power Plants: Design. Vienna: IAEA.
- Calderón Marín, C., González González, J., Duménigo Ámbar, C., Quezada Cerepo, W., Sinconegui Gómez, B., & Solá Rodríguez, Y. (2017). Análisis de seguridad radiológica de una instalación PET/CT mediante el empleo de la matriz de riesgo.
- Castro, J. E., Muñoz-Bravo, J., & Plazas, M. (2015). Cálculo interactivo de blindajes en una instalación de Medicina Nuclear (Vol. 1). Colombia: Alfim.
- Centro Nacional de Seguridad Nuclear. (2001). Guía para la implementación de los reglamentos de seguridad en la práctica de medicina nuclear. Habana: CNSN.
- Comisión de Energía Atómica. (1978). Reglamento de Seguridad Radiológica del Ecuador. Quito.
- González González, J., Calderón Marín, C., Quesada Cepero, W., de Prit, A., Varela Corona, C., Figueroa Pérez, R., & Duménigo González, C. (2015). Diseño del Centro PET/CT del Instituto de Oncología y Radiología (Vol. 57). Habana: Scielo. doi:ISSN 0864-084X
- Guevara Rojas, V., Romero Carlos, N., & Berrocal Ti, M. (15 de 12 de 2014). Diseño de una instalación PET/CT considerando El cálculo de blindaje según AAPM TG – 108. (Q. D. S.A.C., Ed.) Lima-Perú. Recuperado el 25 de 11 de 2017
- Hernández, C., Rodríguez, L., & Ramos, S. (2018). Cálculo de blindajes del nuevo Departamento de Medicina Nuclear del Instituto Nacional de Cancerología. España: ELSEIVER.
- Hospital Dr. Teodoro Maldonado Carbo. (28 de 07 de 2017). Historia del Hospital Dr. Teodoro Maldonado Carbo. Obtenido de <https://www.iess.gob.ec/documents/10162/3321619/PMF+HOSPITAL+TEODORO+MALDONADO+CARBO.pdf>

- International Commission on Radiation Units and Measurements. (2016). Proceedings of the Third International Symposium on the System of Radiological Protection. Reino Unido: ICRU. Recuperado el 26 de 02 de 2017, de <http://www.radiologia-salud.es/radiological-protection/proteccion-radiologica-concepto-y-principios-generales/>
- International Commission on Radiological Protection. (2011). Protección Radiológica en Medicina. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Sociedad Argentina de Radioprotección.
- Mariani, G., Bruselli, L., Kumwert, T., Kim, E., Flotats, A., Israel, O., Watanabe, N. (24 de 08 de 2010). A review on the clinical uses of SPECT/CT. Eur j Nucl Med Mol Imaging.
- National Council On Radiation Protection & Measurements. (2005). Structural Shielding Design And Evaluation For Megavoltage X-And Gamma-Ray Radiotherapy Facilities. Washington.
- National Council Radiation Protection and Measurements. (2004). Structural Shielding Design for Medical Ray imaging Facilities. Washington: NCRP.
- Organismo internacional de energía atómica . (2011). Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: normas básicas internacionales de seguridad. En OIEA, Colección de normas de seguridad de la OIEA, GRS Par. 3 . Viena: OIEA. Recuperado el 23 de 01 de 2018, de http://www.ipen.gob.pe/site/regulacion/normatividad/otan_req_medicina_nuclear.pdf.
- Robledo, J., & Russo, S. (2009). Protocolo de radioprotección destinado al personal de internación al cuidado de pacientes en tratamiento con 131 I (Vol. AATN 2009: 36). Cuba: Energía nuclear en el mundo actual, Argentina: AATN.

PARA CITAR EL ARTÍCULO INDEXADO.

Yanchapanta Bastidas, V., Ganán Andino, M., Olalla Pilco, J., Ormaza Hugo, R., González López, N., & Pachacama Choca, R. (2019). Diseño y cálculo de blindaje para zonas de alto, medio y bajo riesgo radiológico de la unidad de medicina nuclear con SPECT-CT. *Ciencia Digital*, 3(2.6), 206-218.
<https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i2.6.559>



El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Ciencia Digital**.

El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Ciencia Digital**.

