

Herramienta de cálculo de blindaje para adaptar un bunker de braquiterapia de alta tasa de dosis de Iridio 192 a Cobalto 60



Calculation tool to adapt a high dose rate brachytherapy bunker from Iridium 192 to Cobalt 60

Vilma Nohemí Yanchapanta Bastidas¹, Richard Willians Pachacama Choca², Lizbeth Sofía León Quishpe³

Recibido: 10-06-2019 / Revisado: 15-07-2019 / Aceptado: 04-08-2019 / Publicado: 06-09-2019

Abstract.

DOI: <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i3.3.811>

Until the end of the last decade, the most widely used equipments for performing high dose rate (HDR) brachytherapy were based on the use of equipment with Iridium 192 radioactive sources, but in recent years equipment with sources of Cobalt 60 has been introduced to the market. Therefore, a thickness addition will be necessary in the protection barriers of the bunker due to the radiating characteristics of the Co-60, generating the need to develop a method of calculation of shielding in an agile and simple way. These calculated thicknesses should attenuate radiation at 100 uSv / week in controlled areas and 20 uSv / week in uncontrolled areas. The thicknesses of the barriers obtained with this methodology were compared with the methodologies of calculations issued by the International Atomic Energy Agency and the reports of the National Council for Protection and Measurement of Radiation, observing a percentage difference of less than one. To make use of this methodology, it is recommended to have the calculation memory of the bunker to be adapted, to maintain the initial position of the source and the arrangement of the adjoining rooms.

Keywords: Brachytherapy, high dose rate, cobalt 60, iridium 192, bunker

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. rpachacama@gmail.com

³ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba, Ecuador. soffy.lq@gmail.com

Resumen.

Hasta fines de la década pasada, los equipos más difundidos para realizar braquiterapia de alta tasa de dosis (HDR) se basaban en el uso de equipos con fuentes radiactivas de Iridio 192, pero en los últimos años se han introducido al mercado equipos con fuentes de Cobalto 60, por lo que será necesario una adición de espesor en las barreras de protección del bunker debido a las características radiantes del Co-60, generando la necesidad de desarrollar un método de cálculo de blindaje de una manera ágil y sencilla. Dichos espesores calculados deben atenuar la radiación a 100 uSv/semana en las zonas controladas y 20 uSv/semana en zonas no controladas. Los espesores de las barreras obtenidos con esta metodología, fueron comparados con las metodologías de cálculos emitidas por el Organismo Internacional de Energía Atómica y los reportes del Consejo Nacional de Protección y Medición de Radiación, observando una diferencia porcentual menor a uno. Para hacer uso de esta metodología, se recomienda contar con la memoria de cálculo del búnker a adaptar, mantener la posición inicial de la fuente y la disposición de las salas colindantes.

Palabras claves: Braquiterapia, alta tasa de dosis, cobalto 60, iridio 192, bunker

Introducción.

La protección contra la irradiación externa generada por una fuente radiactiva se alcanza mediante la combinación de factores como: tiempo, distancia, blindaje y actividad de la fuente (McGinley, 2002), al combinar estos factores se reduce la tasa de dosis por debajo de los valores permisibles y tan bajo como sea razonablemente posible (Human Health Reports N°10, 2014). Para aprovechar los beneficios del uso de fuentes radiactivas y al mismo tiempo evitar o reducir los posibles perjuicios, la Comisión Internacional de Protección Radiológica recomienda que todas las instalaciones que alojan equipos con fuentes radiactivas de alta energía cumplan con parámetros de seguridad para proteger al Personal Ocupacionalmente Expuesto (POE), público y medio ambiente, del riesgo radiológico (National Council on Radiation Protection and Measurements, 2005), (American Association of Physicists in Medicine, 1997).

Uno de estos parámetros de protección radiológica es el espesor de cada una de las paredes del bunker, que cuando se decide sustituir la fuente de Iridio 192 por una de Cobalto 60 origina que el blindaje del bunker sea deficiente por las diferentes propiedades físicas de cada radioisótopo, por ejemplo, la energía promedio de emisión gamma de la fuente de Co 60 es de 1.25 MeV frente a los 0.38MeV del Iridio 192 (Podgorsak E. B., 2016), por esta característica física es necesario incrementar el grosor de las barreras protectoras, a fin de mantener los niveles de restricción de dosis por debajo de 100 uSv/semana en las zonas controladas y 20 uSv/semana en zonas no controladas (National Council on Radiation Protection and Measurements, 2005) garantizando así, la protección a las personas y medio

ambiente de los efectos estocásticos y determinísticos que se podrían derivar de las exposiciones innecesarias (Hoskin & Coyle , 2011) (Human Health Reports N°10, 2014).

En correspondencia con lo antes expuesto, el objetivo del trabajo es disponer de una metodología de cálculo ágil, sencilla y práctica que permita adaptar un bunker de irradiación destinado a Braquiterapia de alta tasa de dosis(HDR por sus siglas en el inglés) diseñado para fuentes de Iridio 192 a uno que admita realizar Braquiterapia HDR con fuentes de Cobalto 60.

Metodología.

Para realizar esta herramienta de cálculo de blindaje se realizó la investigación según el siguiente orden:

Estudio de la bibliografía existente sobre cálculos de blindaje para salas de Braquiterapia de alta tasa de dosis

Para el estudio del estado actual de la bibliografía existente sobre cálculos de blindaje para salas de Braquiterapia de alta tasa de dosis, se consideró información de valor del marco conceptual de las recomendaciones de los organismos internacionales en el ámbito de la protección radiológica, donde establecen la restricción de dosis permisibles tanto para el Personal Ocupacionalmente Expuestos (POE) y público de 20 y 1 mSv/año respectivamente (ICRP International Commission on Radiological Protection, 2007), además, brinda información sobre los efectos perjudiciales para la salud humana que puede producir la exposición a las radiaciones como alteraciones en las células germinales o en las somáticas (Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), 1997), (AIEA HUMAN HEALTH REPORTS N°10, 2014).

Evalúo de las principales diferencias y semejanzas existentes entre los diseños de una instalación de Braquiterapia HDR con Iridio 192 y Cobalto 60

Las principales semejanzas existentes entre los diseños de una instalación de Braquiterapia HDR con Iridio 192 y Cobalto 60 son: enclavamientos eléctricos y mecánicos de seguridad, el control de acceso al bunker utilizando un dispositivo de señalización que cuente con luces de advertencia cuando la fuente esté en estado de exposición, es decir, cuando la fuente esté fuera de su carcasa protectora (NCRP National Council on Radiation Protection and Measurements, 2005), las dimensiones interiores de la habitación son de 4 metros de largo por 4 metros de ancho y de 3 a 3.6 metros la altura (AIEA HUMAN HEALTH REPORTS N°10, 2014), dimensiones que permiten el espacio suficiente alrededor de los equipos (AAPM American Association of Physicists in Medicine , 1997), el ancho del laberinto es de 1.8 m para permitir el fácil acceso del personal en caso de una emergencia y para el ingreso de las camillas (Perez-Calatayud, y otros, 2015). La principal diferencia son los espesores de las paredes del bunker, con una fuente de Cobalto 60 las paredes son de mayor espesor aproximadamente de 100cm (AIEA HUMAN HEALTH REPORTS N°10, 2014) , espesor que depende de varios factores como la carga de trabajo, factor de uso, restricción de dosis, factor de ocupación, etc. (Organismo Internacional de Energía Atómica OIEA, 2001).

Identificación de las características de los materiales que serían óptimos para la adaptación

Se identificó que los materiales óptimos a utilizar en el refuerzo de las paredes del bunker a adaptar, deben ser de alto número atómico (Z) (Attix, 1986), como es el caso del plomo, acero o concreto tipo 1, los cuales sirven para blindar los fotones de alta energía emitidos por la fuente de Cobalto 60 (Podgorsak E. B., 2005), estos materiales, además de ser buenos atenuadores de radiación también sirven como estructura y no ocupan demasiado espacio (Andrássy, Niatsetsky, & Pérez, 2012).

Desarrollo de un software genérico de la nueva metodología

Para el desarrollo del software genérico de la nueva metodología de cálculo de blindaje para adaptar bunkers de braquiterapia de alta tasa de dosis se determinó los parámetros necesarios, los cuales se detallan a continuación, mismo que será programado en Excel 2016:

Características geométricas del punto de medición: se consideró la distancia de cálculo desde la fuente al punto de cálculo incluyendo la distancia de medición de 0.30 m fuera de la barrera (d), valor que lo recomienda el NCRP (NCRP National Council on Radiation Protection and Measurements, 2005);

Identificación de los tipos de radiación: para el cálculo de blindaje se consideró que para la modalidad terapéutica de Braquiterapia todas las barreras serán consideradas primarias (MCGINLEY, 1998);

Identificación de las áreas colindantes, factores de uso y ocupación: las áreas colindantes a las paredes del bunker fueron clasificadas como zonas controladas y no controladas (ICRP International Commission on Radiological Protection, 2007) las cuales tienen asignados valores de restricción de dosis (P) correspondiente al POE de 100 uSv/semana y para público de 20 uSv/semana (NCRP National Council on Radiation Protection and Measurements, 2005); el factor de uso (U) es igual a 1, mientras que, los factores de ocupación (T) se detallan en la tabla 1 (IAEA International Atomic Energy Agency, 2006) (NCRP National Council on Radiation Protection and Measurements, 2005).

Tabla 1. Factor de ocupación.

Tipo de Área	NCRP 151	IAEA SRS 47
Zonas controladas, Oficinas, Recepciones, Salas de espera con personal, Salas de planificación de tratamiento, etc.	1	1
Otras salas de tratamiento, Salas de exploraciones	1/2	1/2
Pasillos, Áreas de descanso del personal	1/5	1/4
Puerta de la sala de tratamiento	1/8	-
Baños públicos, áreas al aire libre con asientos, Salas de espera sin personal, Zonas de espera del paciente	1/20	1/16

Escaleras, Áreas peatonales, Ascensores sin personal, Áreas de estacionamiento sin personal	1/40	1/16
--	------	------

Las capas décimo reductoras (TVL por sus siglas en inglés) es una característica propia cada radioisótopo, estos valores dependen de la energía y del tipo de material (Tabla 2) (IAEA International Atomic Energy Agency , 2006):

Tabla 2. Valores de TVL para Ir-192 y Co-60

Material	Densidad (g/cm ³)	Iridio 192		Cobalto 60	
		TVL ₁ (cm)	TVL _e (cm)	TVL ₁ (cm)	TVL _e (cm)
Hormigón	2,35	15,2	-	21	21,8
Plomo	11,35	0,16	-	4	4,1
Acero	7,87	0,43	-	7	7,1

Cálculo de blindaje

Debido a que se considera en braquiterapia solo barreras primarias, estas fueron calculadas determinando el factor de transmisión aplicando la ecuación 1;

$$B_{i,j} = \frac{P * d^2}{RAKR_{i,j} * A_{i,j} * t * n * T} \quad (1)$$

Donde: $RAKR_{i,j}$ es la tasa de kerma de referencia en aire (RAKR por sus siglas en inglés): $A_{i,j}$ representa la actividad total de la fuente de radiación, su unidad es MBq; t es el tiempo de duración promedio del tratamiento (en horas); n representa el número promedio de tratamientos llevados a cabo en una semana, los subíndices i,j representan a la fuente de Iridio 192 y Cobalto 60 respectivamente.

Una vez determinado todos los parámetros de cálculo se procedió a determinar el espesor de las barreras, calculando el número de TVL, representada con N

$$\text{Espesor} = \text{TVL} * N \quad (2)$$

Donde:
$$N = -\log_{10}(B) \quad (3)$$

Una vez determinado el espesor de cada una de las paredes, se comprobó que los espesores calculados sean capaces de atenuar la radiación por debajo de la tasa de dosis instantánea (IDR por sus siglas en inglés) en el punto de medición.

$$IRD = \frac{\dot{D}_0 * B}{d^2} \quad (4)$$

Donde \dot{D}_0 es la tasa de dosis que llega al punto de cálculo, se expresa en (uGym²/h), su calcula de la siguiente manera:

$$\dot{D}_0 = RAKR * A \quad (5)$$

Resultados y Discusión.

Después de haber analizado todos los parámetros de cálculo para los espesores de las barreras para cualquiera de las dos fuentes radiactivas, se llega a la ecuación 6, la cual nos ayuda a calcular de una forma ágil y sencilla el espesor final de las barreras del bunker para el Cobalto 60.

$$E_{fj} = \left[\frac{E_{fi}}{(TVL_1)_i} - \log \left(\frac{RAKR_i}{RAKR_j} \right) - \log \left(\frac{A_i}{A_j} \right) \right] * (TVL_1)_j \quad (6)$$

Para verificar que el E_{fj} sea capaz de cumplir con la restricción de dosis fuera del bunker se calcula el IDR_j de la siguiente manera (ecuación 7):

$$IDR_j = \frac{RAKR_j * A_j * 10^{-\left[1 + \left(\frac{E_{fj} - (TVL_1)_j}{(TVL_e)_j}\right)\right]}}{d^2} \quad (7)$$

Aplicando la ecuación 6, se procedió a calcular los espesores de las barreras primarias, utilizando la restricción de dosis P y el factor de ocupación T establecidos en los documentos de IAEA SRS 47 y NCRP 151 para instalaciones de Braquiterapia HDR con fuente de Ir-192 o Co-60, al comparar los resultados obtenidos por las metodologías de cálculo existentes con la propuesta se obtuvieron los resultados que se representan en la tabla 3, 4, 5 y 6:

Al comparar los espesores calculados para las barreras primarias aplicando las metodologías existentes, utilizando las restricciones de dosis (P) y factor de ocupación (T) recomendados en los reportes de la IAEA SRS 47 y NCRP 151 es posible observar diferencias, debido a que no existe un consenso de valores de P y T, mientras que al comparar con la metodología propuesta no existe variación (Tabla 3 y 4).

Del análisis de los resultados se puede ver que la diferencia de espesor más significativa fue de -25%. Esto se debe a que en el cálculo se utilizó los valores de P y T recomendados en cada uno de los documentos mencionados (Tabla 5). Por ejemplo en los puntos C y D tienen la mayor diferencia porcentual, debido a que la restricción de dosis establecida para público por el NCRP 151 es 20 uSv/semana mientras que la recomendada por el IAEA SRS-47 es de 6 uSv/semana. Así también en el punto B hay un variación de -14% entre el resultado obtenido por la NCRP 151 versus el IAEA SRS-47 debido a que, el primero recomienda un valor de T=1/5 mientras que el segundo sugiere un valor de T=1/4 (Tabla 5).

Después de haber realizado todos los cálculos de las barreras primarias de protección radiológica se comprobó que los resultados obtenidos cumplen con la restricción de dosis establecidas en las recomendaciones del NCRP 151, IAEA SRS 47 (Tabla 6), donde se observa que el P_{IDR} es menor a 7,5 uSv/h.

Tabla 3: Comparación de los espesores finales de las barreras primarias del búnker para Cobalto 60 determinados con la metodología del NCRP 151 y metodología propuesta

Punto de cálculo	Espesor de barrera (cm) metodología del NCRP 151	Espesor de barrera (cm) METODOLOGÍA PROPUESTA
PA	57,7	57,7
PB	60,14	60,14
PC	49,1	49,1
PD	37,63	37,63

Tabla 4: Comparación de los espesores finales de las barreras primarias del búnker para Cobalto 60 determinados con la metodología de la IAEA SRS-47 y metodología propuesta

Punto de cálculo	Espesor de barrera (cm) metodología de la IAEA SRS-47	Espesor de barrera (cm) METODOLOGÍA PROPUESTA
PA	58,17	58,17
PB	66,10	66,10
PC	62,33	62,33
PD	50,46	50,46

Tabla 5: Diferencias porcentuales entre los espesores finales de las barreras primarias de acuerdo a los valores de P y T establecido en IAEA SRS 47 y NCRP 151 para el equipo de Braquiterapia HDR con fuente de Cobalto 60

Punto de cálculo	Diferencia (%) NCRP 151 vs IAEA SRS- 47
PA	-1
PB	-9
PC	-21
PD	-25

Tabla 6: Tasa de dosis instantánea (IDR) fuera del búnker de Braquiterapia HDR con fuente de Co-60 de acuerdo a P y T establecidos por el NCRP 151 e AIEA SRS 47.

Puntos de cálculo	NCRP 151 IDR (uSv/h)	IAEA SRS-47 IDR (uSv/h)	METODOLOGÍA PROPUESTA IDR (uSv/h)
PA	5,89	7,07	7,07
PB	5,89	4,00	4,00
PC	6,67	2,00	2,00
PD	6,67	2,00	2,00

Conclusiones.

- Para realizar el cálculo de blindaje para la adaptación del búnker de Braquiterapia HDR con Iridio 192 a Cobalto 60 aplicando la nueva metodología, se deben mantener

constantes varios parámetros de diseño tales como: factores de ocupación de cada área colindante, restricción de dosis para cada área colindante, tiempo promedio de tratamiento y número de pacientes tratados por semana, posición de la fuente, distancias de cálculo.

- Los espesores determinados de acuerdo a las recomendaciones de la NCRP 151 son menores a los calculados con IAEA SRS- 47, debido a que la restricción de dosis P del NCRP 151 es mayor tanto para POE y público (1mSv/año y 5 mSv/año respectivamente), frente a los establecido por el IAEA SRS-47 (0,3 mSv/año para Público y 6 mSv/año para POE).
- Para hacer uso de esta metodología se debe contar con “la memoria de cálculo del búnker a adaptar”, debido a que toda la metodología propuesta, está en función de los espesores del búnker existente.
- Los materiales óptimos para el revestimiento de las paredes del bunker de braquiterapia de alta tasa de dosis con Iridio 192 a Cobalto 60 pueden ser: plomo, hormigón, ladrillo o acero. El material que se utilizará para reforzar el blindaje debe ser analizados considerando varios aspectos: por económico se puede utilizar concreto pero este ocupa un espacio considerable, lo cual puede disminuir las dimensiones de la sala de tratamiento, entonces se puede tomar la alternativa de hacer uso del acero y/o plomo los cuales tienen un costo superior pero ocupan menor espacio.

Referencias Bibliográficas.

AAPM American Association of Physicists in Medicine . (1997). *Code of practice for brachytherapy physics: Report of the AAPM Radiation Therapy Committee Task Group N°56*. Washington Estados Unidos: AAPM Science Council.

AIEA HUMAN HEALTH REPORTS N°10. (2014). *Radiotherapy Facilities: Master Planning and Concept Design Considerations*. Vienna: AIEA.

American Association of Physicists in Medicine. (1997). *Code of practice for brachytherapy physics: Report of the AAPM Radiation Therapy Committee Task Group N°56*. Washington Estados Unidos: AAPM Science Council.

Andrássy, M., Niatsetsky, Y., & Pérez, J. (2012). Co-60 frente a Ir-192 en braquiterapia. *Revista Física Médica*, 1-6.

Attix, F. (1986). *Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry*. New York Estados Unidos: John Wiley & Sons.

Hoskin, P., & Coyle, C. (2011). *Radiotherapy in Practice - Brachytherapy*. Oxford: Oxford University Press.

- Human Health Reports N°10. (2014). *Radiotherapy Facilities: Master Planning and Concept Design Considerations*. Vienna: AIEA.
- IAEA International Atomic Energy Agency . (2006). *Radiation Protection in the Design of Radiotherapy Facilities* . Vienna Austria: s.ed .
- ICRP International Commision on Radiological Protection. (2007). *Recomendación 2007 de la Comisión Interncional de Protección Radiológica*. Madrid-España: Senda.
- MCGINLEY, P. (1998). *Shielding Techniques for Radiation Oncology Facilities*. Wisconsin : Physics Publishing.
- McGinley, P. H. (2002). *Shielding Techniques for Radiation Oncology Facilities*. Wisconsin: Physics Publishing.
- National Council on Radiation Protection and Measurements. (2005). *Structural Shielding Desing and Evaluation for Megavoltage X and Gamma Rays Radiotherapy Facilities*. Washington Estados Unidos: s. ed.
- NCRP National Council on Radiation Protection and Measurements. (2005). *Structural Shielding Desing and Evaluation for Megavoltage X and Gamma Rays Radiotherapy Facilities*. Washington Estados Unidos: s. ed.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). (1997). Normas básicas internacionales de seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación. Colección Seguridad N° 115.
- Organismo Internacional de Energía Atómica OIEA. (2001). Training in Radiation Protection and the Safe Use of Radiation Sources, Colección Informes de Seguridad No 20. Viena.
- Perez-Calatayud, J., Corredoira Silva, E., Crispín Contreras, V., Eudaldo Puell, T., Baraja, J., Pino Sorroche, F., . . . Sancho, J. (2015). *Radiation Protection in Brachytherapy. Report of the SEFM Task Group on Brachytherapy*. España: SEFM.
- Podgorsak, E. B. (2005). *Radiation Oncology Physics, A Handbook for Taechers and Students*. Vienna Austria: Technical Editor.
- Podgorsak, E. B. (2016). *Radiation Physics for Medical Physics*. Suiza: Springer International Publishing. doi:10.1007 / 978-3-319-25382-4

PARA CITAR EL ARTÍCULO INDEXADO.

Yanchapanta Bastidas, V., Pachacama Choca, R., & León Quishpe, L. (2019). Herramienta de cálculo de blindaje para adaptar un bunker de braquiterapia de alta tasa de dosis de Iridio 192 a Cobalto 60. *Ciencia Digital*, 3(3.3), 231-240. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i3.3.811>



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**.

