



TONANTZINTLA, PUEBLA, MEXICO

CARACTERIZACIÓN DOSIMÉTRICA DE UN PHANTOM RW3 CON FOTONES DE 6 MV PARA CONTROL DE CALIDAD

Lenin Vladimir Coronado-Posadas^b, Martín Hernández-Ordoñez^a, Liborio Jesús Bortoni-Anzures^a, Susana Gutiérrez-Martínez^a, Laura Cruz-Vázquez^c, Francisco Mesa^{a, c}.

^a Universidad Politécnica de Victoria, Ciudad Victoria, sgutierrezm@upv.edu.mx, mhernandez@upv.edu.mx, lbortoni@upv.edu.mx, fmesal@upv.edu.mx

^b Hospital Regional de Alta Especialidad de Ciudad Victoria, leninvcposadas@gmail.com

^c Universidad Autónoma de Santo Domingo, República Dominicana,

lauracruzvazquez@hotmail.com, franciscomesalinas@hotmail.com.

RESUMEN: Los phantom sólidos son ampliamente utilizados en diversas aplicaciones dosimétricas. Su fácil transporte, instalación y almacenamiento lo hacen de uso práctico para mediciones rutinarias. No obstante, su aplicación requiere de una serie de ajustes y verificaciones experimentales necesarias para garantizar que puedan cumplir con los estándares internacionales. El propósito de este reporte consiste en realizar la caracterización dosimétrica de un phantom de agua sólida, evaluando su implementación como protocolo para verificación rápida de la calidad del haz de radiación para fotones de 6MV. Se utilizó un phantom RW3 compuesto por un juego de láminas de 30 x 30 cm de área, y grosor variable hasta 30 cm, así como de una cámara de ionización FC65 y un acelerador lineal marca siemens. La caracterización fue realizada a partir de la verificación experimental de sus propiedades físicas y dosimétricas. Los parámetros dosimétricos obtenidos incluyen la obtención de las curvas de dosis a profundidad y de relación tejido-máximo, así como del factor de calidad del haz. Las propiedades físicas del phantom, tales como densidad, también fueron determinadas. Los resultados obtenidos arrojan un error menor al 2% respecto de lecturas correspondientes realizadas en agua. La calibración ha sido desarrollada acorde con el reporte TRS-398, e implementada en el Hospital Regional de Alta Especialidad de Ciudad Victoria. El protocolo permite ahorrar tiempo, promover agilidad en el servicio, y garantizar calidad en las mediciones.

1. INTRODUCCIÓN

Resultan completamente razonables los diversos inconvenientes prácticos asociados a la medición y distribución de dosis de radiación directamente con pacientes, lo que ha motivado, desde los inicios de las prácticas clínicas, la necesidad de desarrollar calibraciones dosimétricas utilizando phantom.

De forma universal el agua representa el elemento más apropiado como materia para simular los efectos de la radiación respecto de músculos y otros tejidos suaves [1,2]. Constituye además, una de las sustancias con mayor disponibilidad y mayor reproducibilidad respecto de propiedades radiológicas.

No obstante, en la literatura resulta cada vez más creciente el número de artículos que promueven el uso de phantom sólidos como procedimiento complementario de diversas aplicaciones dosimétricas [3-8]. Estos phantom constituyen incluso, elementos de vital importancia para muchas pruebas en radioterapia aun cuando los phantom de agua representan el elemento de referencia universalmente aceptado por los principales protocolos internacionales que regulan la dosimetría



TONANTZINTLA, PUEBLA, MEXICO

para fotones de altas energías [9,10]. Lo anterior se comprende con mayor facilidad, al presentarse situaciones en las cuales se cuenta con detectores que no son a prueba de agua [11], así como en aquellas situaciones en donde se requiere aplicar largos campos de radiación asociados a tratamientos no convencionales [12].

Los phantom sólidos, por lo regular resultan de uso más práctico para mediciones rutinarias, ya que tienden a ser de muy fácil transporte, instalación y almacenamiento [13,14].

En la literatura se registra una gran variedad de phantom sólidos comerciales [15-19], siendo probablemente los de mayor aplicación el RMI457 (RMI *Gammex, Middleton, WI, USA*); el *Plastic Water (Computerized Imaging Reference Systems Inc., Norfolk, VA, USA)*; el PMMA (*Poly(methyl 2-methylpropenoate)*); el RMI457; y el RW3 (PTW *Freiburg, Freiburg, Germany*), entre otros; cuyas principales propiedades físicas y dosimétricas requieren ser claramente especificadas [8,18,19]. Para que un material pueda ser considerado como agua equivalente, debe tener propiedades radiológicas similares a las del agua [20], con una incertidumbre inferior al 2%, o en su defecto requerirá la aplicación de cierto factor de corrección [21].

La incertidumbre, respecto de las mediciones de transmisibilidad, resulta ser un factor de mucha importancia a la hora de realizar pruebas con phantom sólidos, y comúnmente es asociada a las variaciones en su densidad provocadas por deficiencia de homogeneidad respecto de la manufactura de las láminas [22]. En el trabajo de Hilla [18] se presenta una metodología práctica para el cálculo de los valores de transmisibilidad para seis phantom sólidos irradiados con rayos gamma, entre los que se incluye el RW3; reportando incluso, que éste último presenta propiedades de transmisión que para ciertas energías supera a las propiedades del PMMA.

El propósito de este artículo consiste en desarrollar un protocolo para la verificación rápida de la calidad del haz de radiación para fotones de 6MV emitidos por un acelerador lineal. El desarrollo incluye la caracterización de un phantom sólido RW3 formado por un juego de placas cuadradas de grosores diversos, así como la determinación del factor de calidad y los porcentajes de dosis a profundidad, entre otros.

El protocolo ha sido desarrollado acorde con los lineamientos planteados en el reporte IAEA TRS-398, e implementado en la unidad de radioterapia del Hospital Regional de Alta Especialidad de Ciudad Victoria. Con dicho procedimiento se persigue ahorrar tiempo y recursos, pero sobre todo se podrá dar un servicio más rápido y garantizando la calidad.

2. PARTE EXPERIMENTAL

El proceso de calibración fue realizado utilizando el phantom sólido RW3, el cual ha sido desarrollado para diversos usos en dosimetría (Figura 1a). Es un phantom de acrílico conformado por un juego de placas rectangulares de 30 x 30 cm de área y grosor variables desde 1 hasta 10 mm, con una tolerancia de apenas ± 0.1 mm. Ha sido diseñado para aplicaciones con fotones en el rango de 70kV a 50 MV [http://www.ptw.de/acrylic_and_rw3_slab_phantoms0.html].

Se utilizó un acelerador lineal marca Siemens, generador de haces de fotones de 6 y 15 MV. Las lecturas en el phantom fueron realizadas con una cámara de ionización FC65 acoplada a un electrómetro marca Farmer (*Scanditronix Wellhofer*), y evaluada a partir de aquellas realizadas en agua, a través de un phantom para dosimetría absoluta.

El factor de transmisibilidad fue determinado a partir del coeficiente de absorción (μ), a través de la relación matemática:

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (1)$$

donde I_0 y I representan las lecturas inicial y atenuada, respectivamente, obtenidas en la cámara de ionización.

V CONGRESO NACIONAL DE TECNOLOGÍA APLICADA A CIENCIAS DE LA SALUD
5, 6 y 7 de junio de 2014
TONANTZINTLA, PUEBLA, MÉXICO

El equilibrio electrónico fue garantizado mediante la aplicación de una cápsula de acrílico diseñada para envolver la superficie de grafito de la cámara de ionización durante las lecturas.

El montaje experimental fue realizado tomando como referencia los parámetros de rendimiento igual a 300 UM/min, tamaño de campo de 10 x 10 cm, voltaje 300 Volts, distancia fuente cámara de 100 cm, temperatura de 20° C, humedad 20 – 80%, y presión atmosférica de 1013 MPa.

La calibración dosimétrica fue desarrollada siguiendo los lineamientos de la Agencia Internacional de Energía Atómica, a través del reporte TRS-398 [9]. Dicho protocolo establece los parámetros necesarios para una adecuada dosimetría clínica, entre los que destaca la distribución de los porcentajes de dosis a profundidad, las razones tejido phantom y tejido-máximo.

Los porcentajes de dosis a profundidad (PDD) fueron evaluados desde 0 a 30 cm de profundidad para una distancia fuente superficie (SSD) de 100 cm.

De igual forma, los TMR fueron evaluados bajo los mismos criterios de profundidad y tamaño de campo que los PDD, pero a diferencia de éste, para distancias isocéntrica (SAD).

El arreglo experimental fue concebido para ser instalado en la cámara de ionización dentro de la placa de RW3 de referencia (Figura 1b), y colocando placas de grosor variable para generar lecturas a distintas profundidades.

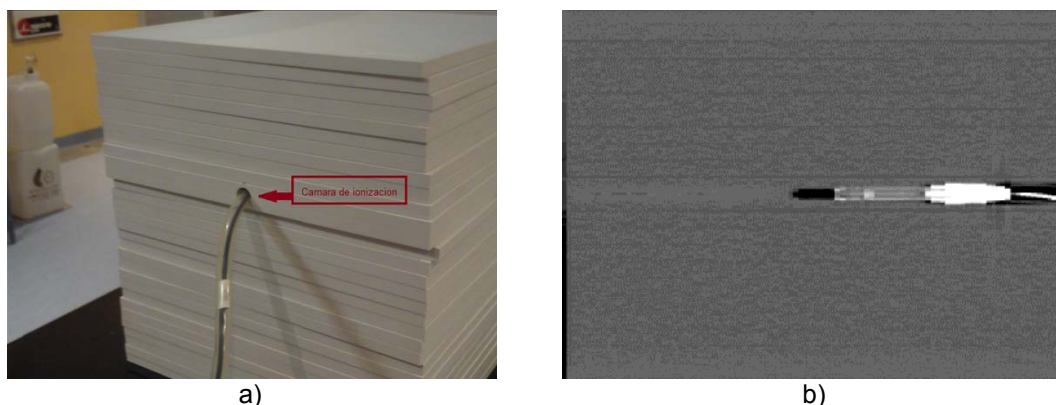


Figura 1: a) Phantom RW3. Se muestra el posicionamiento de la cámara de ionización para las lecturas dosimétricas; b) Tomografía tomada sobre el phantom RW3. Se observa la ubicación de la cámara de ionización Farmer respecto del isocentro.

Para la determinación del índice de calidad del haz de radiación se empleó la relación empírica recomendada por el protocolo TRS-398:

$$TPR_{20,10} = 1.2661 PDD_{20,10} - 0.0595 \quad (2)$$

para valores de los PDD's a profundidades de 20 y 10 g/cm³, tamaño de campo de 10 cm x 10 cm y distancia fuente-cámara (SCD) de 100 cm.

3. RESULTADOS

Los porcentajes de dosis a profundidad fueron obtenidos para el RW3 y comparados con las lecturas respectivas en agua (Figura 2a), arrojando un error inferior al 2.0%.

La Figura 2b muestra las lecturas de los TMR, así como su comparación con los valores obtenidos en agua.



TONANTZINTLA, PUEBLA, MEXICO

El índice de calidad del haz de radiación fue calculado para el RW3 a partir de los PDD registrados a 20 y 10 cm de profundidad, acorde con lo estipulado en las recomendaciones del reporte TRS-398. Los resultados experimentales registrados a partir de los resultados de la Figura 2a generaron valores de 0.672 y 0.672 para el RW3 y el agua, respectivamente.

Los resultados experimentales arrojan un valor de 0.43 cm^{-1} para el coeficiente de absorción del RW3. La densidad del RW3 fue de 1.045 gr/cm^3 , acorde con lo registrado en la literatura [18].

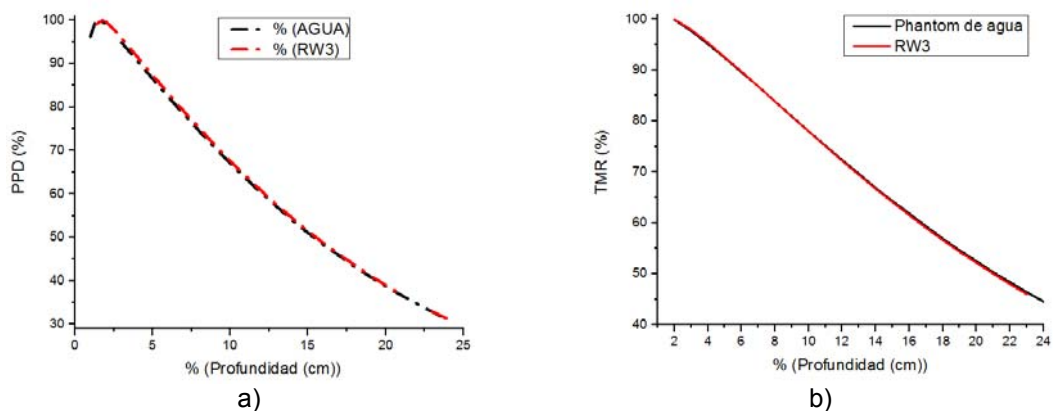


Figura 2: a) Curvas de PDD obtenidas para el RW3 (líneas rojas) y agua (líneas negras); b) Obtención de los TMR para el RW3 (Línea roja) y en agua (Línea negra).

4. CONCLUSIONES

Se presentó la caracterización de un phantom de agua sólida RW3 para su implementación como protocolo de verificación rápida de la calidad del haz de radiación para fotones de 6MV.

La caracterización fue realizada a partir de la verificación experimental de sus propiedades físicas y dosimétricas. Los resultados obtenidos arrojan un error menor al 2% respecto de lecturas correspondientes realizadas en agua, lo cual cae dentro del nivel de tolerancia regulado por el TRS-398. La calibración ha sido desarrollada acorde con dicho protocolo, y servirá de base para la aplicación de un procedimiento complementario de calibración rápida, diseñado para el Hospital Regional de Alta Especialidad de Ciudad Victoria. Su implementación permite ahorrar tiempo en el proceso, además de promover agilidad en el servicio, y garantizar calidad en las mediciones.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores externan sus agradecimientos a la Secretaria de Educación Pública a través de los fondos del Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP), por el apoyo financiero suministrado, necesario para la concepción y ejecución del proyecto. De igual forma, se agradece atentamente la excelente disposición de colaboración por parte del Dr. Daniel E. Sanchez Hinojosa y la Dra. Araní Casillas Ramirez en la Subdirección de Enseñanza e Investigación del Hospital Regional de Alta Especialidad, Ciudad Victoria.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ahmad S, Afzal M, Nazir A. An analysis of depth dose characteristics of photon in water. J Ayub Med Coll Abbottabad 2009; 21(4).



TONANTZINTLA, PUEBLA, MEXICO

2. Papanikolaou N, Battista JJ, Boyer AL, Kappas C, Klein E, Mackie TR, Sharpe M, Van Dyk J. Tissue inhomogeneity corrections for megavoltage photon beams. AAPM Report No. 85. Report of Task Group No. 65 of the Radiation Therapy Committee of the American Association of Physicists in Medicine. August 2004.
3. Kim E, Shim D, Rae K, Kim H, Cheol D, Goo E, Chung W. Assessment of the Effect of Bone Density and Soft Tissue Thickness on Phantom Measurements. *Journal of the Korean Physical Society*, Vol. 57, No. 5, November 2010, pp. 1263-1269.
4. Mihailescu D and Borcia C. Water equivalency of some plastic materials used in electron dosimetry: a Monte Carlo investigation. *Romanian Reports in Physics*, Vol. 58, No. 4, P. 415-425, 2006.
5. Constantinou C, Attix, F, Paliwal B. A solid water phantom material for radiotherapy x-ray and γ -ray beam calibrations. *JF Medical Physics*. 9(3); 436-441 (1982).
6. Palm A and LoSasso T. Influence of phantom material and phantom size on radiographic film response in therapy photon beams. *Med. Phys.* 32(8), August 2005.
7. Paliwal BR, Ritter MA, McNutt TR, Mackie TR, Thomadsen BR, Purdy JA, Kinsella TJ. A solid water pelvic and prostate phantom for imaging, volume rendering, treatment planning, and dosimetry for an RTOG multi-institutional, 3-D dose escalation study. *Radiation Therapy Oncology Group. Int. J Radiat Oncol Biol Phys.* 42(1):205-11 (1998).
8. Fujita Y, Tohyama N, Myojoyama A and Saitoh H. Depth Scaling of Solid Phantom for Intensity Modulated Radiotherapy Beams. *J. Radiat. Res.*, 51, 707-713 (2010).
9. Andreo, P., Burns, D.T., Hohlfield, K., Huq, M.S., Kanai, T., Laitano, F., Smyth, V., Vynckier, S., 2000. Absorbed dose determination in external beam radiotherapy, an international code of practice for dosimetry based on standards of absorbed dose to water. Technical Report Series No. 398, International Atomic Energy Agency, Vienna.
10. Almond P, Biggs P, Coursey BM, et al, AAPM's TG-51 protocol for clinical reference dosimetry of high-energy photon and electron beams. *Med. Phys.* 26 (9). September 1999.
11. Mitchell, G., Kron, T., Back, M., 1998. High dose behind inhomogeneities during medium-energy X-ray irradiation. *Phys. Med. Biol.* 43, 1343-1350.
12. Gabor M, Litoborski M. Dose measurement verification in solid state phantom in place of field connection for non-standard radiotherapy conditions, *Reports of Practical Oncology & Radiotherapy*, Volume 13, Issue 5, September-October 2008, Pages 247-256.
13. Ramaseshan R, Kohli K, Cao F and Heaton R. Dosimetric evaluation of Plastic Water Diagnostic Therapy. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*. 2(8), Spring 2008.
14. Casari B, Zdešar U and Robar V. Evaluation of water equivalency of Plastic Water™ for high-energy electron beams using IAEA TRS-398 Code of Practice. *Radiol Oncol* 2004; 38(1): 55-60.
15. Thomadsen B, Constantinou Ch, Ho A. Evaluation of water-equivalent plastics as phantom material for electron-beam dosimetry. *Med. Phys.* 22(3), March 1995.
16. Ito K, Furuya K, Okano Y, Hamada L. Development and characteristics of a biological tissue-equivalent phantom for microwaves. *Electronics and Communications in Japan (Part I: Communications)*. 84(4): 67-77 (2001).
17. Sandborg M, Carlsson G, Persliden J and Dance DR. Comparison of Different Materials for Test Phantoms in Diagnostic Radiology. *Radiation Protection Dosimetry*. (1993) 49 (1-3): 345-347.
18. Hilla R.F., Browna S, Baldocka C, Evaluation of the water equivalence of solid phantoms using gamma ray transmission measurements, *Rad. Measur.* 43 (2008) 1258 – 1264.



TONANTZINTLA, PUEBLA, MEXICO

19. Borgia C, Mihailescu D. Are water-equivalent materials used in electron beams dosimetry really water equivalent? *Rom. Journ. Phys.*, Vol. 53, Nos. 7–8, P. 851–863 (2008).
20. Chow JC, Owringi AM. Solid water as phantom material for dosimetry of electron backscatter using low-energy electron beams: a Monte Carlo evaluation. *Med Phys.* 2009 May; 36(5):1587-94.
21. ICRU, 1989. Tissue substitutes in radiation dosimetry and measurement. Report 44, International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, MD, USA.
22. Seuntjens, J., Olivares, M., Evans, M., Podgorsak, E., 2005. Absorbed dose to water reference dosimetry using solid phantoms in the context of absorbed dose protocols. *Med. Phys.* 32, 2945–2953.