

Controles de calidad MLC específico para IMRT

 Alejandro Jova Arteaga¹,  Michael Rodríguez Zayas²,  Rodolfo Alfonso Laguardia³

¹ Centro Especializado de Diagnóstico y Terapia (CEDT), Cuba.

² Instituto Nacional de Oncología y Radiobiología (Inor), Cuba.

³ Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (Instec) Universidad de La Habana. Cuba.

ajova@cimeq.sld.cu

Resumen

La radioterapia de intensidad modulada (IMRT) representa uno de los avances técnicos más significativos en radioterapia desde la aparición del acelerador lineal con fines médicos, ya que permite la aplicación clínica de distribuciones de dosis altamente conformadas y no convexas. Sin embargo, estos avances no vienen sin un riesgo, ya que la IMRT representa un nuevo paradigma en el proceso radio-terápico, particularmente en los que respecta a la garantía de calidad de los tratamientos. El trabajo se enfoca en uno de los aspectos de la garantía de calidad de la IMRT, relativo a los controles del colimador multihojas. Se presenta un grupo de pruebas que permitan evaluar de forma rutinaria el comportamiento de este componente del acelerador, para asegurar la fiabilidad y seguridad de los tratamientos. Los resultados obtenidos demuestran que la mayoría de los parámetros estudiados cumplen con las tolerancias internacionalmente aceptadas, por lo que se concluye que esta componente se encuentra apta para su uso en tratamientos de IMRT.

Palabras clave: radioterapia; controles de calidad; colimadores; protección contra las radiaciones; distribución de las dosis de radiación.

Specific MLC quality controls for IMRT

Abstract

Intensity-modulated radiation therapy (IMRT) represents one of the most significant technical advances in radiotherapy since the advent of the medical linear accelerator, as it enables the clinical application of highly conformal and non-convex dose distributions. However, these advances do not come without risk, as IMRT represents a new paradigm in the radiation therapy process, particularly in terms of treatment quality assurance. This work focuses on one of the quality assurance aspects of IMRT, related to quality controls of multileaf collimators. A set of tests is presented to routinely evaluate the performance of this component of the accelerator to ensure the reliability and safety of the treatments. The results obtained show that most of the parameters studied comply with internationally accepted tolerances, so it is concluded that this component is suitable for use in IMRT treatments.

Key words: radiotherapy; quality controls; collimators; radiation protection; quality assurance; radiation dose distributions.

Introducción

La radioterapia de intensidad modulada (IMRT) es una extensión de la radioterapia conformada (3D-CRT) que utiliza intensidades de haces no uniformes que han sido determinados por técnicas de optimización diferentes. Es una forma avanzada de radioterapia conformada para el tratamiento del cáncer que permite, por una parte, administrar una dosis más homogénea a los pacientes en el volumen a irradiar (lo que aumentaría el control local de la enfermedad), y, por otro lado, disminuir la toxicidad en los órganos de riesgo. Este tipo de tratamiento está basado en técnicas de imagen, programas

informáticos dosimétricos y accesorios de inmovilización muy precisos.

La IMRT es cada vez es más utilizada en los departamentos de radioterapia mundialmente. La implementación clínica de este tipo de técnica requiere procedimientos de garantía de calidad más rigurosos tanto para el sistema de generación y entrega del tratamiento (generalmente un acelerador lineal de uso médico) como para la planificación del tratamiento de cada paciente [1] [2].

De manera que, en general, la garantía de calidad (GC) de la IMRT consta de tres componentes principales: primeramente, las pruebas de aceptación y puesta en marcha de los sistemas de planificación y de adminis-

tración del tratamiento, en segundo lugar, la garantía de calidad sistemática del sistema administración del tratamiento y finalmente de verificación de los planes de tratamiento específicos para cada paciente, conocida como Garantía de Calidad Paciente-Específica (GC-PE). Esta última componente del programa de GC de la IMRT ha sido abordada en detalle en otra publicación, como parte del proceso de asimilación e implementación clínica de la IMRT en el Centro Especializado de Diagnóstico y Terapia (CEDT-CIMEQ). El presente trabajo se enfoca en el desarrollo y validación de procedimientos y métodos para la realización de los controles de calidad específicos a la máquina de tratamiento (CC-ME), orientados a perfeccionar el programa existente de garantía de calidad del acelerador lineal, el cual se basa en pruebas e instrumentos diseñados a la 3D-CRT [3].

Uno de los componentes esenciales del acelerador para poder ejecutar la IMRT con la precisión y exactitud requeridas es el modulador de la intensidad de los haces de fotones, que en este caso está a cargo del colimador multiláminas (MLC). Con vistas a poder asegurar de forma fiable la evaluación de los resultados del sistema de GC-PE, es importante asegurarse que el acelerador lineal en general y el MLC en particular, se desempeñan de forma eficiente y según las tolerancias establecidas. El propósito del presente trabajo ha sido desarrollar e implementar un protocolo de controles de calidad del MLC, orientado a su empleo en tratamientos de IMRT.

Materiales y métodos

El CEDT-CIMEQ ha instalado y puesto en marcha un acelerador Elekta modelo Synergy que cuenta con un MLC modelo MLCi2 de 80 láminas de un espesor de 1 cm en el isocentro; el acelerador cuenta además con sistemas de imágenes incorporados, que permiten obtener tanto imágenes portales electrónicas planas como un sistema de tomografía con haz cónico (CBCT), modelo XVI, que permite implementar la radioterapia guiada por imágenes (IGRT). Estos sistemas de imágenes permiten reducir significativamente los errores de posicionamiento del paciente durante su tratamiento, aspecto esencial para la IMRT, donde se intenta “esculpir” el volumen blanco a

tratar con las distribuciones de dosis. Esto solamente se puede lograr si el MLC reproduce, con un elevado grado de precisión, las posiciones definidas en el sistema de planificación de los tratamientos (TPS).

Existen diferentes informes que recomiendan procedimientos e instrumentos para la realización de estos controles de calidad del MLC para fines de IMRT [4] [5] [6].

Tomando como base las recomendaciones de estos documentos, en el presente trabajo se han desarrollado procedimientos para realizar los controles mecánicos y dosimétricos que aseguren que el MLC del acelerador lineal del CEDT-CIMEQ cumple los requerimientos para realizar tratamientos de IMRT con gantry estático, tanto en modo de láminas estáticas como dinámicas.

El control de los aspectos mecánico-geométricos y dosimétricos de las láminas del MLC es una componente primordial del programa de CC-ME para la IMRT, ya que la precisión dosimétrica del tratamiento depende de la exactitud en el movimiento del MLC. La diferencia de dosis debido a un cambio o error sistemático en el MLC producirá un impacto dosimétrico considerable en el paciente. En la tabla 1, se resumen las diferentes pruebas que se realizaron para la comprobación del sistema modulador.

Separación dosimétrica de las láminas

La separación dosimétrica de las láminas refleja el ancho del campo de radiación comparado con el campo de luz, debido a los bordes redondos del MLC.

Para la realización de esta prueba se empleó el arreglo de detectores OCTAVIUS 1500 montado rígidamente al cabezal del equipo, empleando el soporte SC Holding Device® de PTW. El tamaño de campo definido por las muelas del cabezal fue de 5 x 14 cm, se planificaron diferentes aberturas entre láminas, se utilizaron 100 MU en cada caso y se registró el valor de dosis de la cámara central del detector.

A partir de estas medidas se obtuvo el gráfico que muestra los valores de dosis de la cámara central del OCTAVIUS 1500 respecto al ancho de la abertura utilizado; la intersección con el eje X de la curva obtenida representa entonces la separación dosimétrica de las láminas.

Tabla 1. Pruebas MLC específicas, tolerancia y frecuencia de ejecución.

Nombre del control	Tolerancia	Frecuencia QA
Pruebas Mecánicas		
Separación dosimétrica de las láminas	+/- 0,1 mm	Después de mantenimiento correctivo
Estabilidad de la holgura de las láminas	2 %	Trimestral
Estabilidad de la velocidad de las láminas	2 %	Trimestral
Dependencia del ángulo de gantry	+/- 1 mm o 2 %	Anual
Pruebas dosimétricas		
Transmisión del MLC	<1 %	Anual
Reproducibilidad del sistema monitor de dosis	0,5 %	Después de mantenimiento correctivo
Proporcionalidad del sistema monitor de dosis	2 %	Después de mantenimiento correctivo
Estabilidad de los perfiles	2 %	Anual y después de mantenimiento correctivo

Estabilidad de la holgura de las láminas

Las tolerancias mecánicas pueden verse afectadas debido al desgaste por fatiga y esto a su vez causa variaciones en el ancho de la holgura, comprometiendo la exactitud geométrica.

Utilizando la configuración de medición de la prueba anterior se dispone en este caso de evaluar la estabilidad de la holgura de las láminas. En esta oportunidad el tamaño de campo es de $26 \times 26 \text{ cm}^2$ y se realiza la prueba en los cuatro ángulos cardinales del equipo donde se toma como referencia los resultados cuando el gantry está en 0° . La prueba consiste en irradiar dinámicamente un haz estrecho de manera que conforme un campo uniforme. Esta señal se normaliza a la señal estática de un campo de $10 \times 10 \text{ cm}^2$.

Estabilidad de la velocidad de las láminas

Esta es una prueba específica para IMRT dinámica o de "hojas deslizantes". Para la comprobación de la estabilidad en el desplazamiento de las láminas se ha empleado un campo de irradiación dinámico donde el espacio entre láminas opuestas sea de 5 mm; se fija un tamaño de campo de $26 \times 26 \text{ cm}^2$ y se realiza la prueba en dos momentos, en el primero se entregarán 100 MU y en el segundo 800 MU, de esta manera se logra una irradiación uniforme en el mismo tamaño de campo, variando la velocidad de las láminas y la tasa de dosis del acelerador. Esta acción es repetida en los ángulos cardinales del gantry, con lo que se comprueba el efecto de la gravedad sobre el multiláminas. Los valores de referencia corresponden cuando el gantry está en 0° .

Dependencia del ángulo de gantry

Otro detalle significativo es que en las pruebas mecánicas y dosimétricas del MLC existe un punto crítico de evaluación, correspondiente a cuando el gantry se encuentra en las posiciones laterales; en estas condiciones los bancos de láminas del MLC están sometidos, además de a las fuerzas ejercidas por los potenciómetros que ubican a las láminas en la posición fijada, a la fuerza de gravedad. Esta posición es de mucha importancia cuando se evalúa el desempeño de los colimadores multiláminas.

Puede notarse que en todo el conjunto de pruebas realizadas para evaluar las características mecánicas del MLC es necesario emplear el haz de radiación, lo cual no significa que clasifiquen como controles dosimétricos; estos se describen a continuación.

Transmisión (fugas) del MLC

Las características de la fuga de radiación a través del MLC tienen un impacto clínico más significativo en los tratamientos de IMRT que para la 3D-CRT, dado que en muchas ocasiones las láminas se ubican justo encima de la región de tratamiento, por varias UM de una sola fracción. Varios autores como Lafond, et. al. [7] y Petersen, et. al. [8], han investigado la transmisión del colimador de Elekta MLCi2 para tratamientos con arcos y han reportado que dicho factor debe ser $< 1\%$.

El promedio de la transmisión a través del MLC se determinó con una cámara de ionización plano paralela tipo Roos insertada en un maniquí de PMMA. Se colocó la cámara en el plano del isocentro, alejada del eje central de radiación en 7 cm, de manera que quede completamente cubierta por el banco de láminas. Como el diámetro de la cámara cubre varias láminas, las mediciones corresponderían con las fugas inter- y trans-láminas. Las mediciones se realizaron para campos definidos por las muelas con el MLC en la posición de abierto y cerrado. La relación entre esas mediciones representa la transmisión promedio del MLC.

Reproducibilidad del sistema monitor de dosis

A diferencia de la 3D-CRT, para la IMRT esta prueba se extiende al rango total de unidades monitoras (UM) que normalmente son utilizadas en la clínica (2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 y 1000 MU). La reproducibilidad se obtuvo tasa de dosis fija y variable, a partir del coeficiente de variación de los datos medidos con la cámara de ionización en el rango de UM típico de los tratamientos de IMRT.

Estabilidad de los perfiles

La estabilidad de los perfiles del haz tiene que ser determinados para diferentes UM, incluyendo casos de pocas UM, en función del ángulo del gantry. La manera en la que el haz se estabiliza al comenzar la irradiación en cada segmento, salvo el primero, es diferente a la de una irradiación de un tratamiento convencional debido a que el acelerador mantiene continuamente en funcionamiento parte de su sistema de aceleración [5].

Esta prueba se realizó utilizando el arreglo de detectores OCTAVIUS 1500® fijo al gantry mediante el soporte SC Holding Device®. Se realizaron exposiciones de 2, 5, 10 y 50 MUs con campo de $20 \times 20 \text{ cm}^2$, para ángulos cardinales del gantry. Los valores de perfiles en las direcciones paralelas y perpendiculares al eje de rotación del gantry ("inplane" y "crossplane", respectivamente) se normalizaron al valor gantry en 0° .

Resultados y discusión

Separación dosimétrica de las láminas

La figura 1 muestra el resultado de esta prueba, donde se observa un nivel adecuado de ajuste (0,1 mm). Mediciones con un ancho de holgura menores a 5 mm no son permitidos por restricciones del fabricante.

Estabilidad de la holgura de las láminas

En la tabla 2, se puede ver que el resultado más grande se presenta cuando el ángulo del gantry está en 270 grados, sin embargo, este resultado dista de la tolerancia especificada para esta prueba que es del 2%.

Estabilidad de la velocidad de las láminas

La principal diferencia, de -3%, se observó para el gantry a 90 grados con haz dinámico de 100 MU; este resultado es superior a la tolerancia en poco más de 1%. Se propone por lo tanto realizar este control con

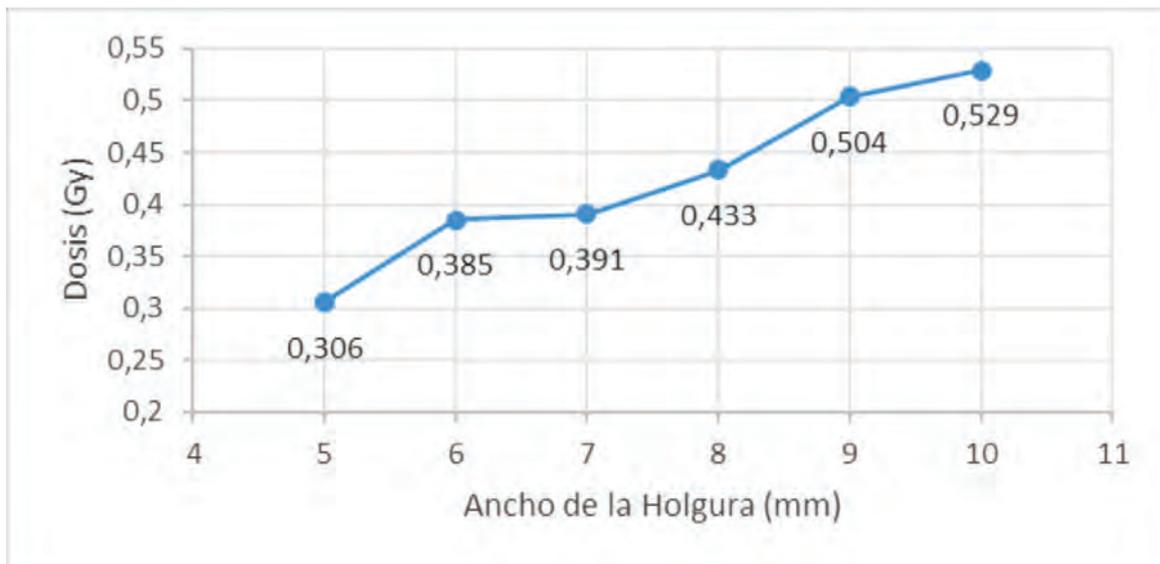


Figura 1. Resultados de la prueba de separación Dosimétricas de las Láminas

Tabla 2. Resultados de la prueba de estabilidad de la holgura ("H") de las láminas

GANTRY 0°		GANTRY 180°		GANTRY 90°		GANTRY 270°	
H= 5 mm	H= 10 mm	H= 5 mm	H= 10 mm	H= 5 mm	H= 10 mm	H= 5 mm	H= 10 mm
0,027	0,048	0,027	0,048	0,026	0,048	0,026	0,047
DIFERENCIA %		0,056	0,564	-1,649	0,702	-1,727	-1,009

una frecuencia mensual, en lugar de la trimestral recomendada en los protocolos internacionales. La tabla 3 muestra los resultados de esta prueba.

Transmisión del MLC

Es importante que la transmisión del MLC corresponda a lo modelado en el sistema de planificación de tratamientos (TPS) y satisfaga las tolerancias para IMRT. En la tabla 4 se muestra que el MLCi2 estudiado presenta una trasmisión de 1.1%, que es algo superior al empleado en el Monaco (0.7%), lo cual está en concordancia con lo recomendado por el TG 142 [9], que establece un $\pm 0.5\%$ de desvío respecto al nivel base.

Reproducibilidad del sistema monitor de dosis

Se pudo observar que cuando se fija una tasa de dosis alta con cantidades pequeñas de MUs, el sistema

monitor de dosis le cuesta ser reproducible, los valores de reproducibilidad obtenidos con tasa de dosis de 300 MU/min irradiando 2 MU y 5 MU son de 0,467% y 0,267% respectivamente; siendo aun así inferiores a la tolerancia especificada de 0,5%.

Proporcionalidad del sistema monitor de dosis

Utilizando los resultados de la prueba anterior mostramos mediante gráficas de UM contra dosis la excelente linealidad que presentan las cámaras monitoras, con un ajuste perfecto, como se puede observar en la figura 2.

Estabilidad de los perfiles

La figura 3, refleja el comportamiento de los perfiles para las direcciones inplane y crossplane respectivamente. La máxima desviación permitida para esta prueba es del 2% y como podrá verse el perfil que más-

Tabla 3. Resultados de la prueba de estabilidad de la velocidad de las láminas

GANTRY 0°		GANTRY 180°		GANTRY 90°		GANTRY 270°	
100 MU	800 MU	100 MU	800 MU	100 MU	800 MU	100 MU	800 MU
0,026	0,220	0,027	0,224	0,025	0,220	0,026	0,220
DIFERENCIA %		1,944	1,785	-3,050	-0,000	-0,478	-0,150

Tabla 4. Resultados de la prueba de transmisión del MLC

TAMAÑOS DE CAMPO EN EL EJE		TAMAÑO DE CAMPO FUERA DEL EJE	
6x6	0,0113	16x16	0,0201
10x10	0,0108		
16x16	0,0103		

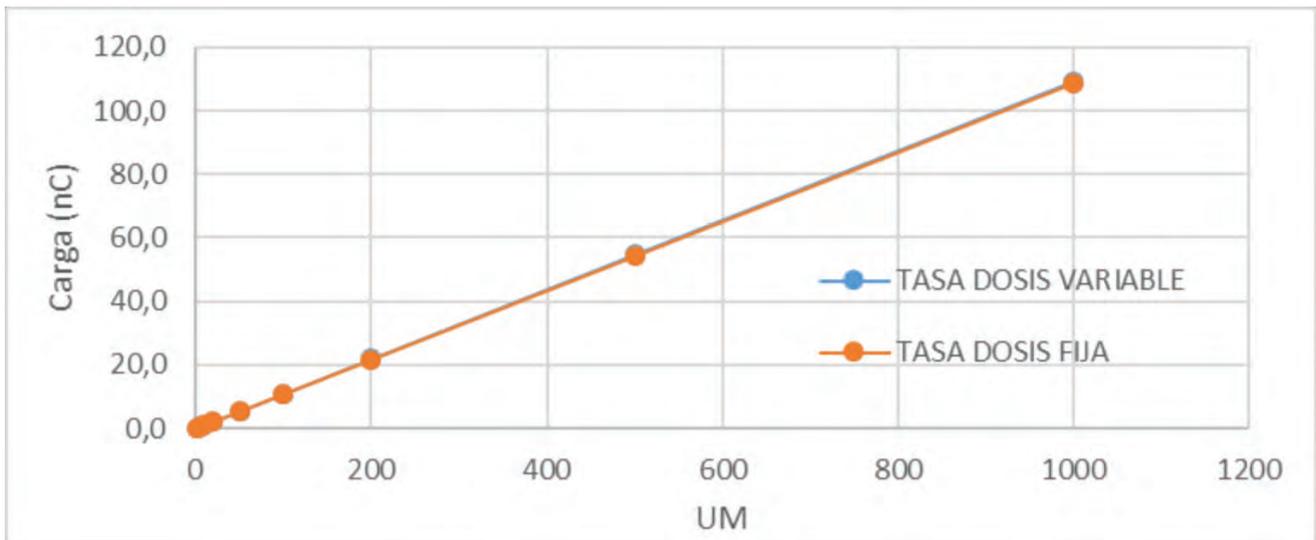


Figura 2. Resultados de la prueba de Proporcionalidad del sistema monitor de dosis.

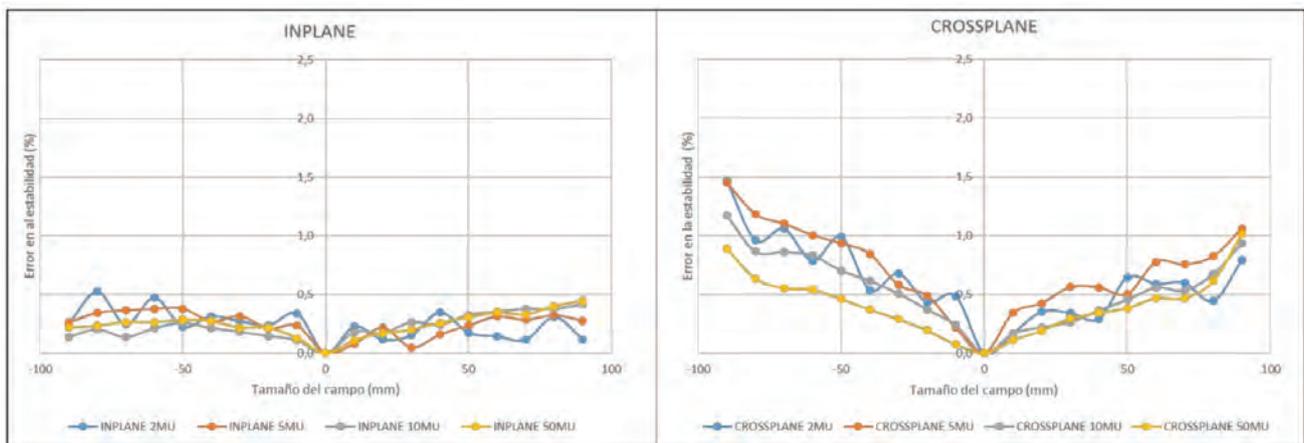


Figura 3. Resultados de la prueba de estabilidad de los perfiles. Se grafican los mayores errores porcentuales reportados con respecto a la posición en milímetros del tamaño de campo

desviación presenta es el correspondiente a 2 MU en la dirección crossplane y ese valor no sobrepasa el límite establecido para la prueba.

Conclusiones

Los resultados obtenidos demuestran que el colimador MLCi2 del acelerador del CEDT-CIMEQ reúne los requisitos mecánicos y dosimétricos para su uso en tratamientos de IMRT. El estudio permitió probar los instrumentos y métodos disponibles en el servicio para poder ejecutar estas pruebas con la frecuencia y precisión requeridas. Uno de los parámetros evaluados (estabilidad de la velocidad de las láminas) cayó ligeramente fuera del nivel de acción especificado; como resultado, se determinó aumentar la frecuencia de esta prueba, en parte para detectar en un plazo menor cualquier deterioro ulterior de este parámetro, así como para detectar cualquier fuente de incertidumbre en el método empleado para evaluar este parámetro, que pudiera incidir en la discrepancia observada.

Recomendaciones

Se recomienda incluir este programa de controles de calidad del MLC en el protocolo actual del servicio para la garantía de calidad de la radioterapia, antes de que se implementen en la clínica los tratamientos de IMRT.

Se recomienda además actualizar el factor de transmisión del MLC en el sistema de planificación de tratamientos.

Referencias bibliográficas

- [1]. European Society for Radiotherapy and Oncology. Guidelines for the verification of IMRT. ESTRO Booklet No.9. 2008.
- [2]. International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU). Prescribing, recording, and reporting photon-beam intensity modulated radiation therapy (IMRT). ICRU Report 83. 2010.
- [3]. Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA). Aspectos físicos de la garantía de calidad en radioterapia. Documentos Técnicos 1151: Protocolo de control de calidad. Viena: OIEA; 2000.
- [4]. BAYOUTH JE, WENDT D, MORRIL SM. MLC quality assurance techniques for IMRT applications. Med Phys. 2003; 30(5): 743-50.

- [5]. Netherlands Commission on Radiation Dosimetry (NCS). Code of practice for the quality assurance and control for intensity modulated radiotherapy. Report 22. NCS: June, 2013.
- [6]. VENENCIA D. Factores físicos de tratamientos de radioterapia por intensidad modulada (IMRT) en forma dinámica y secuencial con colimadores multihojas. FaMAF – UNC 2012 [consulta: 16 enero 2022]. Disponible en: <https://www.famaf.unc.edu.ar/documents/1024/DFis164.pdf>.
- [7]. LAFOND C, CHAJON E, DEVILLERS A, LOUVEL G, et. al. Impact of MLC leaf width on volumetric-modulated arc therapy planning for head and neck cancers. J Appl Clin Med Phys. 2013; (14): 4074.
- [8]. PETERSEN N, PERRIN D, NEWHAUSER W, ZHANG R. Impact of multileaf collimator configuration parameters on the dosimetric accuracy of 6 MV intensity modulated radiation therapy treatment plans. Journal of Medical Physics. 2017; 42: 2-5.
- [9]. KLEIN EE, HANLEY J, BAYOUTH J, YIN FF, et. al. Task Group 142 report: quality assurance of medical accelerators. Med. Phys. 2009; 36(9): 4202-4203.

Recibido: 12 de enero de 2022

Aceptado: 24 de febrero de 2022

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses en la realización, ni la comunicación del presente trabajo.

CRedit / Conceptualización: Alejandro Jova Arteaga, Michael Rodríguez Zayas, Rodolfo Alfonso Laguardia. **Fuentes:** Alejandro Jova Arteaga, Michael Rodríguez Zayas, Rodolfo Alfonso Laguardia. **Curación de datos:** Alejandro Jova Arteaga, Michael Rodríguez Zayas, Rodolfo Alfonso Laguardia. **Software:** Alejandro Jova Arteaga, Michael Rodríguez Zayas, Rodolfo Alfonso Laguardia. **Análisis formal:** Alejandro Jova Arteaga, Michael Rodríguez Zayas, Rodolfo Alfonso Laguardia. **Supervisión:** Alejandro Jova Arteaga, Michael Rodríguez Zayas, Rodolfo Alfonso Laguardia. **Adquisición de fondos:** Alejandro Jova Arteaga, Michael Rodríguez Zayas, Rodolfo Alfonso Laguardia. **Validación:** Alejandro Jova Arteaga, Michael Rodríguez Zayas, Rodolfo Alfonso Laguardia. **Investigación:** Alejandro Jova Arteaga, Michael Rodríguez Zayas, Rodolfo Alfonso Laguardia. **Visualización:** Alejandro Jova Arteaga, Michael Rodríguez Zayas, Rodolfo Alfonso Laguardia. **Metodología:** Alejandro Jova Arteaga, Michael Rodríguez Zayas, Rodolfo Alfonso Laguardia. **Escritura – borrador original:** Alejandro Jova Arteaga, Michael Rodríguez Zayas, Rodolfo Alfonso Laguardia. **Redacción, revisión y edición:** Alejandro Jova Arteaga, Michael Rodríguez Zayas, Rodolfo Alfonso Laguardia.