

PROCEDIMIENTO PARA EL USO DE LA RADIOGRAFÍA COMPUTARIZADA EN EL CONTROL DOSIMÉTRICO DE LA CALIDAD DE LAS UNIDADES DE COBALTOTERAPIA

MSc. Karel Luis Faedo Nieto

karelcicemhlg@infomed.sld.cu

Centro de Electromedicina-Holguín, República de Cuba

Dra. C. Maira Rosario Moreno Pino

mayramp188@gmail.com

Universidad de Holguín, República de Cuba

Dr.C. Rodolfo V. García Bermúdez

rodgarberm@gmail.com

Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

Karel Luis Faedo Nieto, Maira Rosario Moreno Pino y Rodolfo V. García Bermúdez (2020): "Procedimiento para el uso de la radiografía computarizada en el control dosimétrico de la calidad de las unidades de cobaltoterapia", Revista de Desarrollo Sustentable, Negocios, Emprendimiento y Educación RILCO DS, n. 4 (febrero 2020). En línea:
<https://www.eumed.net/rev/rilcoDS/04/cobaltoterapia.html>
<http://hdl.handle.net/20.500.11763/rilcoDS04cobaltoterapia>

RESUMEN

Dentro del control de calidad de los equipos de teleterapia de Cobalto 60 revierte gran importancia su caracterización dosimétrica. Una de las vías para ejecutar este procedimiento es utilizando imágenes digitales. El presente trabajo tiene como objetivo desarrollar un procedimiento que incluya el procesamiento matemático para el uso efectivo de la radiografía computarizada en el control dosimétrico de la calidad de las unidades de cobalto 60 que asegure la calidad de los tratamientos de los pacientes. Para su diseño se estudiaron la uniformidad de la respuesta y el nivel de exposición útil de este sistema de imágenes. Se seleccionó el filtro de imagen adecuado y se calculó el modelo matemático para la conversión de los valores de píxeles en valores de dosis relativa. Se implementó en

Matlab un una aplicación para el procesamiento de las imágenes y el control. Para la evaluación del procedimiento se ejecutó un estudio de precisión en la obtención de los parámetros de control de la calidad y se compararon los perfiles obtenidos por el procedimiento propuesto y los obtenidos por un arreglo de detectores. Como resultado se obtuvieron diferencias menores al 1 % en la región del perfil donde se realizan las mediciones de los parámetros del control. La aplicación del procedimiento propuesto permite la evaluación técnica de las unidades de cobalto 60 sin que esto conlleve a la salida de su uso terapéutico, lo que hace posible una mejor planificación de los mantenimientos preventivos. De forma general favorece la organización del trabajo y representa una mejora en el aseguramiento de la calidad de los tratamientos a los pacientes.

Palabras clave: procedimiento, control de la calidad, radiografía computarizada, unidades de cobalto 60, equipos de teleterapia.

ABSTRACT

Within the quality control of the teletherapy equipment of Cobalt 60, its dosimetric characterization is of great importance. One of the ways to execute this procedure is using digital images. The objective of this work is to develop a procedure that includes mathematical processing for the effective use of computerized radiography in the dosimetric quality control of cobalt units 60 that ensures the quality of patient treatments. For its design, the uniformity of the response and the useful exposure level of this image system were studied. The appropriate image filter was selected and the mathematical model was calculated for the conversion of pixel values into relative dose values. An application for image processing and control was implemented in Matlab. For the evaluation of the procedure, a precision study was carried out in obtaining the quality control parameters and the profiles obtained by the proposed procedure and those obtained by an array of detectors were compared. As a result, differences of less than 1% were obtained in the region of the profile where the measurements of the control parameters are made. The application of the proposed procedure allows the technical evaluation of the units of cobalt 60 without this leading to the exit of its therapeutic use, which makes possible a better planning of the preventive maintenance. In a general way it favors the organization of work and represents an improvement in the assurance of the quality of the treatments to the patients.

Key words: procedure, quality control, computerized radiography, cobalt units 60, teletherapy equipment.

INTRODUCCIÓN

La radioterapia es una modalidad de tratamiento utilizada en más de la mitad de los pacientes diagnosticados con cáncer (Atun R, Jaffray DA y otros, 2015). Basa su acción terapéutica en la utilización de radiaciones ionizantes para destruir las células tumorales.

Las radiaciones ionizantes son producidas por radioisótopos, tubos de rayos catódicos o

aceleradores médicos. Estas radiaciones en su acción terapéutica pueden al mismo tiempo afectar el tejido sano. Es por esto que el principal objetivo de la radioterapia es suministrar una dosis de radiación prescrita tan precisa como sea posible a la región del tumor, mientras se minimiza lo máximo posible las distribuciones de dosis a los tejidos sanos circundantes, que resulte en la erradicación del tumor y la prolongación de la vida del paciente con una mayor calidad de vida (Informe de Seguridad No. 115, 1997).

La calidad de un tratamiento de radioterapia está determinada, entre otros aspectos, por factores dosimétricos o físicos, entre los que se encuentran las características del haz de radiaciones y la idoneidad de los equipos de suministrar este haz de radiación consecuente con la planificación del tratamiento. La caracterización dosimétrica del haz de radiación en los equipos de cobalto 60 se ejecuta en los controles dosimétricos de la calidad que se le realizan a estas unidades. Tiene gran importancia pues permite su utilización en los cálculos de los tratamientos a los pacientes (planificación del tratamiento) y es a partir de la misma que se obtiene información del estado del equipo que entrega las dosis de radiaciones prescritas.

Los controles dosimétricos de la calidad pueden ser realizados de forma no automatizada, utilizando una cámara de ionización, un electrómetro y un maniquí, y de forma automatizada, utilizando dispositivos específicos, caros en el mercado y placas radiográficas especiales (Pai, S y otros, 2007). La ejecución de estos controles por la vía no automatizada implica la realización de un número considerable de mediciones puntuales de la dosis bajo una misma condición del haz de radiación en diferentes posiciones sobre un plano perpendicular al eje del haz. Esto conlleva a la localización precisa de la cámara de ionización dentro del maniquí y a la repetición por parte de la unidad de cobalto 60 de las características del haz que se está evaluando para cada punto de medición. Estas formas de control se caracterizan por consumir mucho tiempo en su ejecución.

El Centro Oncológico Regional de Holguín se encuentra ubicado dentro del Hospital V.I. Lenin y se encarga de combatir las enfermedades oncológicas en pacientes residentes en las provincias de Holguín, Las Tunas y Granma. Cuenta entre sus departamentos con un servicio de radioterapia y dentro de este servicio con dos unidades de teleterapia de cobalto

60. En el caso de esta institución, la ejecución de los controles dosimétricos de la calidad se realiza de forma no automatizada, siguiendo el protocolo de control de calidad de la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA) referente a esta rama (OIEA, Aspectos físicos de la garantía de calidad en radioterapia, 2000), lo que provoca un consumo importante de tiempo por parte de los físico-médicos en la realización de los mismos y la salida del equipo del servicio. Una de las tendencias, dentro del control de calidad en radioterapia, es la realización de la caracterización dosimétrica del haz de radiaciones de los equipos de teleterapia a partir del análisis de imágenes digitales generadas de la irradiación a un detector de imagen bajo condiciones predefinidas (Silvestre, P.I, 2010). La rapidez de la realización de los controles de calidad y la gran resolución espacial que se obtiene, son dos de las ventajas que muestra este método sobre los tradicionales.

Entre los sistemas de imágenes digitales para el servicio de radioterapia del Hospital V.I. Lenin está un equipo de radiografía computarizada (CR, por sus siglas en inglés, *Computed Radiography*). Sin embargo, no se utiliza en la institución este sistema digital de imágenes médicas para la caracterización del haz de radiación de los equipos de cobalto 60. En entrevistas con el personal del Centro Oncológico se pudo constatar que, en un intento por la explotación de la CR con este fin, se han encontrado entre las limitantes para generar una imagen válida para el control de calidad, a las características particulares en los modos de operación de esta tecnología, al manejo de sus componentes, así como a la selección del rango útil de dosis para la exposición de las placas de imagen.

En una búsqueda bibliográfica a propósito del tema se encontraron trabajos relacionados con la utilización de este sistema de imágenes en el control dosimétrico de la calidad de unidades de teleterapia. Existen además investigaciones sobre la utilización de la CR en los chequeos de equipos de tomografía axial computarizada. Sin embargo, en el hospital Lenin no se ha instituido aun un procedimiento para el uso de este sistema de imágenes médicas en los controles dosimétricos de la calidad de las unidades de teleterapia de cobalto 60.

Estas dificultades sustentan el siguiente **problema científico**: ¿cómo favorecer la calidad del servicio de radioterapia en el Hospital Lenin a partir de la mejora del proceso del control de calidad de los equipos de teleterapia de cobalto 60?

Para intentar dar respuesta al problema se propone como **objetivo de la investigación**: Desarrollar un procedimiento que incluya el procesamiento matemático para el uso efectivo de la radiografía computarizada en el control dosimétrico de la calidad de las unidades de cobalto 60 que asegure la calidad de los tratamientos de los pacientes.

METODOLOGÍA

Para materializar el objetivo propuesto se requiere de la aplicación de diversos métodos científicos de la investigación del nivel teórico, empírico y estadísticos. A continuación se detallan cuáles fueron estos métodos y de la forma en que fueron empleados:

Histórico - lógico: para adquirir los conocimientos necesarios en el principio de funcionamiento de la CR y de las unidades de cobalto 60, la caracterización dosimétrica del haz de radiación de dichas unidades y la relación con sus diferentes componentes.

Sistémico-Estructural: en la descomposición del procedimiento para la utilización de la radiografía computarizada en el control dosimétrico de la calidad de los equipos de cobalto 60 en sus diferentes etapas y la determinación de los nexos entre éstas.

Observación: en el estudio del proceso de control dosimétrico de la calidad en los servicios de cobaltoterapia del Hospital V.I. Lenin para su caracterización y determinación de sus potencialidades de perfeccionamiento a partir de la aplicación de la radiografía computarizada.

La entrevista: para recopilar información sobre las dificultades en la utilización de la CR en los controles de la calidad de las unidades de teleterapia de cobalto 60, sobre los procedimientos actuales de control dosimétrico de la calidad, sobre los antecedentes en la utilización de placas radiográficas en la realización de estos controles y para una mejor comprensión de los procedimientos del control de la calidad de los equipos de cobalto 60 y de su operación en el tratamiento a los pacientes.

Experimentación: para determinar las características de cada una de las etapas del procedimiento para la utilización efectiva de la radiografía computarizada (CR) en la caracterización de los haces de radiación de los equipos de

cobalto 60. Además fueron empleados **métodos estadísticos** en la obtención del modelo y para realizar la verificación del procedimiento.

DESARROLLO DEL TEMA

El procedimiento que se describe a continuación se utiliza para el uso de las imágenes de radiografía computarizada en la realización de los controles de la calidad del haz de radiación de los equipos de teleterapia de cobalto 60. En el mismo se detallan cada una de sus diferentes fases con las etapas y con los pasos a seguir en estas.

Fase 1: Preparación y cumplimiento de las condiciones

Objetivos de la fase:

- 1- Asegurar los requisitos para la ejecución de los controles de la calidad.
- 2- Conocer la dosis adecuada a la que va a ser expuesto el conjunto chasis-IP.

Paso 1: Obtención del nivel de dosis adecuado

Objetivo del paso:

- 1- La selección del nivel de dosis óptimo para la IP. Este valor es el que permite una respuesta de la IP adecuada para la ejecución del control de la calidad de los equipos de teleterapia de cobalto 60.

Se expone una misma IP a diferentes niveles de dosis en un mismo equipo de cobalto 60 con un campo de 10 x 10 cm. Es preciso conocer el rendimiento de la fuente radioactiva de la unidad en el momento de realización del estudio, para el cálculo de la dosis. Por cada tiempo de exposición aplicado se realiza la lectura de la IP y el borrado de la misma. Para la lectura se utiliza un menú de procesamiento común para todas las pruebas (QC/TEST AVE 4.0 con modo EDR FIX = 5). Los perfiles en los ejes centrales de cada imagen obtenida son evaluados. Se puede ir aumentando el nivel de exposición en pasos de 0.01 minutos hasta que se aprecien en los perfiles obtenidos un nivel de saturación.

En la figura 1 se muestra la superposición de cuatro perfiles que son resultado de la exposición de una misma IP a diferentes valores de dosis en sesiones separadas. El orden de los perfiles del perfil 1 al perfil 4 coincide con el orden en forma ascendente de la dosis que se aplicó en cada sesión a la IP. En la misma figura se señala un perfil que está saturado.

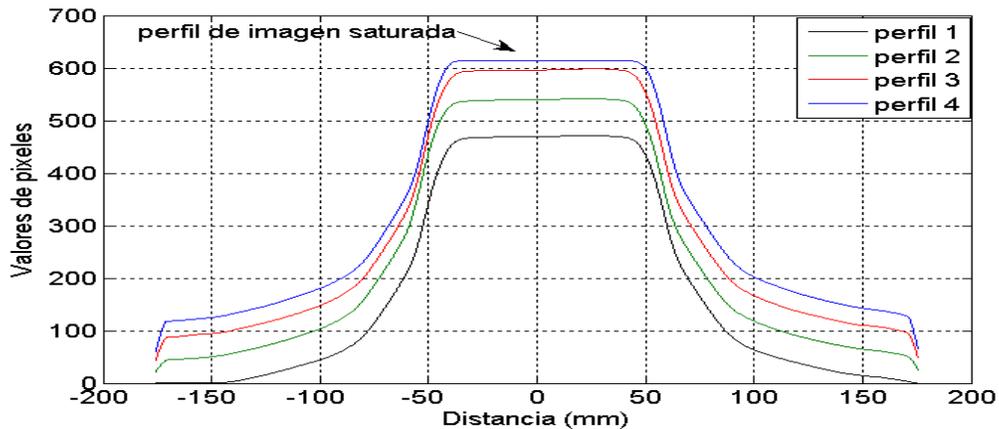


Figura 1: Perfiles de las imágenes de CR obtenidos de la radiación de una IP con diferentes tiempos de exposición.

Para los procedimientos posteriores de calibración y ejecución de los controles de la calidad se selecciona un nivel de dosis menor al que provocó la saturación de la imagen. Se recomienda seleccionar el nivel de dosis equivalente a un tiempo de exposición 0.01 minutos menor que el tiempo que provocó la saturación.

Se recomienda evitar tiempos de exposición de 0.01 min para la realización de las pruebas. El nivel de dosis seleccionado es con el que se realizan todos los procedimientos de modelación y control de la calidad.

Este paso solo deberá realizarse una sola vez, antes del cálculo del modelo (calibración). El modelo que se obtendrá estará restringido al nivel de dosis seleccionado y a los componentes y a las condiciones que se utilizan en su obtención.

Como resultado de las pruebas se obtuvo una saturación de la imagen para un tiempo de exposición de 0.07 minutos para el equipo 1 y de 0.04 minutos para el equipo 2. Estos valores pueden servir de referencia para el cálculo de la dosis para los componentes utilizados en el presente estudio. En cualquier caso se recomienda realizar un estudio similar y seleccionar como exposición óptima la equivalente a un tiempo de exposición 0.01 minutos menor a la que satura la imagen. Este valor de exposición debe ser el utilizado para la calibración de los valores de píxeles en valores de dosis relativa y para la realización de las pruebas de control de la calidad.

Fase 2: Obtención de la imagen

Objetivos de la fase:

- 1- La obtención de una imagen que permita la corrección de las no uniformidades del sistema IP-chasis-Lector de CR.
- 2- La obtención de una imagen que permita caracterizar el haz de radiación con la que fue expuesta la IP.

Etapas 1: Obtención de la imagen para la corrección de uniformidad

Previo al uso de la CR en la ejecución del control de la calidad de los equipos de teleterapia de cobalto 60, debe realizarse una corrección de la no uniformidad presente en la respuesta de la IP y del lector de la radiografía computarizada que se utilizarán en los mencionados controles (R. A. Day, A. P, 2011). En este sentido el fabricante provee procedimientos de ajustes (llamados específicamente en Inglés *shading correction* en el caso de Fujifilm) para hacer cumplir al equipo con los valores de tolerancia de la uniformidad de la respuesta para su utilización (FujiFilm, C., *FCR Capsula X / FCR Carbon X CR-IR 357 Service Manual Fujifilm*,2008). Estos procedimientos parten de la lectura de una IP que ha sido expuesta a un campo homogéneo a una distancia determinada fuente superficie (180 cm). La imagen resultante es procesada bajo determinados requerimientos para obtener un mapa de corrección de la no uniformidad. Este mapa se utiliza para corregir la no uniformidad cada vez que se genera una imagen en la CR (Seibert , J.A, 2006). Los ajustes del fabricante deberán ser aplicados, en caso de encontrar valores fuera de tolerancia en la uniformidad de la imagen. El objetivo de esta etapa es la obtención de una imagen que permita corregir la no uniformidad de la respuesta del sistema IP – chasis - lector.

Paso 2: Obtención de la imagen para la corrección de uniformidad

Objetivo del paso:

- 1- La obtención de una imagen que permita la corrección de las no uniformidades del sistema IP-chasis-Lector de CR.

Para la corrección de la uniformidad se realiza el borrado de la IP que será utilizada en los controles, luego se realiza una lectura de la IP para corroborar que la misma ha sido borrada. Luego de estos pasos, se irradia la IP en conjunto con el chasis, que serán utilizados en las pruebas, con un campo homogéneo en un equipo de rayos X. Para la irradiación se posiciona la IP a 180 cm de distancia fuente imagen. Las dimensiones del campo para el ajuste deben exceder como mínimo en 2 cm las dimensiones del chasis de la IP. El posicionamiento de la IP con respecto al tubo de rayos X será aquel que permita que el ánodo se ubique sobre la parte inferior de la IP, haciendo coincidir el centro señalado por el colimador con el centro geométrico del chasis que contiene la IP. Para la exposición se selecciona una técnica en el equipo de rayos X de 80 kV, 100 mA y 50 mAs. Luego de la exposición se esperan 10 minutos antes de realizar su procesamiento en el lector de la CR. Para la lectura de la IP será seleccionado el menú QC/TEST AVE 4.0 con EDR semiautomático.

Como resultado del procedimiento descrito anteriormente se obtiene una imagen que se utiliza para generar un mapa para la corrección de la no uniformidad en las imágenes que se obtendrán en los procedimientos de control de la calidad. El procesamiento para la corrección de las no uniformidades será descrito más adelante en el presente trabajo.

Etapa 2: Obtención de la imagen

Objetivo de la Etapa:

- 1- La obtención de una imagen que permita caracterizar el haz de radiación con la que fue expuesta la IP.

Para la obtención de la imagen en la CR es necesario cumplir un grupo de condiciones y seguir una serie de procedimientos con el fin de obtener una respuesta válida de la IP a la exposición incidente, evitar la saturación de la imagen, propiciar una referencia geométrica con respecto al haz de radiación del equipo y asegurar que el procesamiento que realiza el lector de la CR a la imagen obtenida en la IP, sea el que no tenga procesamiento de frecuencia, así como el que presente un proceso de transformación (LUT, por sus siglas en inglés, *look-up-table*) lineal. Las condiciones son las relacionadas con el manejo de los componentes de la CR y el tipo de chasis que se utiliza para los controles de la calidad

previamente descritas. Los procedimientos definen la ubicación de la IP, su exposición y finalmente el procesamiento de la misma en la unidad lectora de la CR. (Ver figura 2)

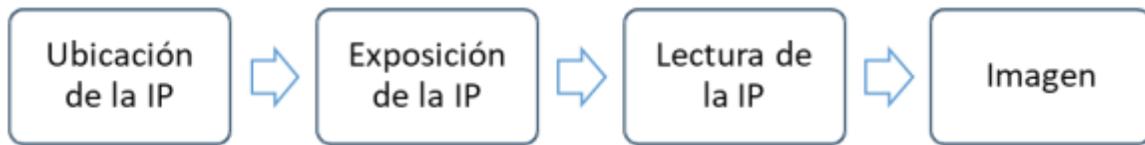


Figura 2: Procedimientos para la obtención de la imagen.

Paso 3: Ubicación de la IP para la realización de los controles

Objetivo del Paso:

- 1- Establecer en la imagen una referencia geométrica con respecto al haz de radiación del equipo de teleterapia. De esta forma se establece una correspondencia entre cada región de la imagen y la ubicación en el momento de la exposición de los componentes del equipo de teleterapia de cobalto 60.

Paso 4: Exposición de la IP

Objetivo del Paso:

- 1- Ejecutar la exposición de la IP a una dosis adecuada

La IP deberá ser expuesta a la dosis calculada en el paso 1 de la fase 1. La dosis obtenida será la utilizada en la modelación y en los controles de la calidad.

Paso 5: Lectura de la IP

Objetivo del Paso:

- 1- Establecer una forma de lectura de la IP que propicie una estabilidad en la respuesta de la IP.
- 2- Garantizar que el procesamiento que realiza el lector de la CR a la imagen obtenida en la IP, sea el que no tenga procesamiento de frecuencia, así como el que presente un proceso de transformación lineal.

Fase 3: Procesamiento de la imagen

Objetivo de la fase:

- 1- Acondicionar la imagen para obtener una imagen válida.
- 2- Calcular y almacenar el modelo para la conversión de los valores de pixeles en valores de dosis relativa
- 3- Convertir la imagen en un mapa de dosis.
- 4- Ejecutar el control de la calidad.

El procesamiento de la imagen agrupa todos los procesos aplicados a esta luego de obtenida en la fase 2 previamente descrita. Se incluyen además, el cálculo de cada uno de los parámetros del control de la calidad.

Etapa 3: tratamiento de la imagen

Esta etapa consta de los pasos para la corrección de las no uniformidades en la respuesta de la IP y del lector de la CR y el filtrado de la imagen. Estos procesos se aplican siempre a la imagen de la CR antes de cualquier procedimiento posterior.

Paso 6: Corrección de la uniformidad

Objetivo del Paso:

- 1- Acondicionar la imagen. Corregir no uniformidades del sistema.

En la ejecución de este paso se utiliza la imagen previamente obtenida en el paso 2, etapa 1, fase 2. El procesamiento específico está detallado más adelante en el presente trabajo.

Paso 7: Filtrado de la imagen

Objetivo del Paso:

- 1- Acondicionar la imagen. Eliminar ruido.

En este paso se le aplica un filtro pasabajo de Gauss con frecuencia espacial de corte igual a 7 a la imagen para la eliminación del ruido.

Etapa 4: Calibración

En esta etapa se ejecutan los pasos para el cálculo del modelo y su almacenamiento para su uso posterior.

Paso 8: Cálculo del modelo

Objetivo del Paso:

- 1- Obtener un modelo que describa la relación entre los valores de píxeles y los valores de dosis relativa.

Este paso se ejecuta en el modo de calibración. En este paso se realiza el cálculo de un modelo para la conversión de los valores de píxeles en valores de dosis relativa. En la práctica se necesita de un asistente matemático para su ejecución.

Paso 9: Almacenar el modelo

Objetivo del Paso:

- 1- Almacenar el modelo calculado previamente en el paso 8.

Este paso se ejecuta en el modo de calibración. En este paso se almacena el modelo para su posterior uso en la etapa de control de calidad.

Etapa 5: control de la calidad

Esta etapa es donde se convierte la imagen en un mapa de dosis relativa y se realizan los controles de la calidad.

Paso 10: Convertir la imagen en mapa de dosis relativa

Objetivo del Paso:

- 1- Convertir la imagen en un mapa de dosis relativa.

Condiciones:

- 1- Poseer un modelo adecuado.

Este paso se ejecuta en el modo de control y depende de la existencia de un modelo almacenado. En este paso se le aplica el modelo previamente calculado y se convierte la imagen en un mapa de dosis relativa.

Paso 11: Ejecutar los controles de la calidad

Objetivo del Paso:

- 1- Ejecutar los controles de la calidad.

Utilización del Matlab como asistente en el procedimiento de control de calidad

Para la utilización de la radiografía computarizada en la realización de las pruebas del control de la calidad de los equipos de radioterapia de cobalto 60, es necesaria la utilización de una herramienta para el procesamiento de las imágenes y la ejecución de los diferentes procesos. En el diseño de la misma existen una serie de tareas que deberán implementarse para poder cumplir con el objetivo planteado.

Las tareas específicas a ejecutarse para la realización de los controles de calidad dosimétricos en los equipos de teleterapia de cobalto 60 a partir de imágenes obtenidas en la radiografía computarizada (CR) son:

1. Leer y mostrar imágenes en formato DICOM.
2. Corregir la no uniformidad de la imagen leída.
3. Filtrar las imágenes para eliminar el ruido inherente.
4. Leer los datos de los controles de calidad (CC) realizados por la vía tradicional.
5. Realizar la modelación matemática de las imágenes para su conversión en mapa de dosis relativa.
6. Obtener el mapa de dosis relativa a partir de la imagen de CR.
7. Obtener los perfiles del mapa de dosis relativa.
8. Realizar los cálculos de las pruebas de CC a partir de los perfiles obtenidos en el paso 7.
9. Generar un reporte de CC con el mapa de dosis y con los cálculos realizados en paso 8.

De forma adicional se tienen en consideración aspectos que complementan la implementación de las tareas como son:

1. Mostrar la imagen DICOM y el Mapa de dosis relativa con el uso de colores que permita una mejor visualización de las diferentes áreas de dosis.

2. Mostrar la imagen DICOM y el Mapa de dosis relativa con indicadores de distancia en milímetros en el borde de estas para facilitar la localización física de las diferentes áreas en la imagen.
3. Mostrar en la imagen y en el Mapa de dosis relativa la ubicación de los datos desde los cuales se trazaron los perfiles.
4. El diseño debe ser sencillo.
5. La aplicación resultante debe ser fácil de utilizar.
6. No permitir errores en la operación de la herramienta.
7. Crear manual de usuario de la herramienta.

El Matlab como asistente matemático facilita la implementación de todas las acciones enunciadas anteriormente.

CONCLUSIONES

1. El objetivo de la presente investigación fue logrado pues se diseñó un procedimiento para la utilización de la radiografía computarizada en los controles dosimétricos de la calidad de las unidades de cobalto 60 que garantiza la calidad de los tratamientos de los pacientes.
2. En el mismo se describen los métodos matemáticos y estadísticos utilizados en el procesamiento de los datos. Para facilitar la ejecución de estos se diseñó en Matlab una aplicación que sirve como asistente en la ejecución del procedimiento.
3. La aplicación del procedimiento permite el seguimiento frecuente del estado técnico de las unidades de cobalto 60, sin que esto conlleve a una salida de servicio de este equipamiento.
4. Esto representa una mejora del estado anterior de la ejecución de los controles de calidad y posibilita una mejor organización del trabajo en los departamentos de radioterapia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Atun R, Jaffray DA. (2015). *Expanding global access to radiotherapy*. Lancet Oncology, p. 1153-1186.
2. FujiFilm, C. (2008). FCR Capsula X / FCR Carbon X CR-IR 357 Service Manual Fujifilm, Editor. Japan.

3. OIEA. (1997). Normas básicas internacionales de seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación, in *OIEA Informe de Seguridad No. 115*, Viena.
4. OIEA. (2000). Aspectos físicos de la garantía de calidad en radioterapia: Protocolo de Control de Calidad, in TECDOC-1151 OIEA.
5. Pai, S.(2007). *AAPM TG-69: Radiographic film for megavoltage beam dosimetry*. American Association of Physicists in Medicine.
6. R. A. Day, A. P. (2011). MacLeod *On the use of computed radiography plates for quality assurance of intensity modulated radiation therapy dose distributions*. Med. Phys. 38 No 2, 115-131.
7. Seibert , J.A. (2006). ed. *AAPM Technical Report No 93 Acceptance testing and quality control of photostimulable storage phosphor imaging systems*. American Association of Physicists in Medicine.
8. Silvestre, P.I. (2010). *Uso del sistema imagen portal electrónica iViewGT para control de calidad del haz de radiación de un acelerador lineal de uso clínico*. Revista Cubana de Física. 27 , No. 2B, 34-65.