

Dispositivo para diagnóstico de cámaras gamma

Device for diagnosis of gamma camera

Ivón Oramas Polo¹

¹Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC), Facultad de Ciencias y Tecnologías Nucleares. La Habana, Cuba
Correo electrónico: ioramas@instec.cu

Este documento posee una licencia Creative Commons Reconocimiento/No Comercial 4.0 Internacional 

Recibido: 20 de septiembre de 2018 Aprobado: 6 de diciembre de 2018

Resumen

El presente artículo resume el trabajo investigativo llevado a cabo para el desarrollo de un dispositivo para diagnóstico de cámaras gamma. El dispositivo es un sistema universal que puede ser conectado a cualquier cámara gamma analógica o semidigital. Se encuentra compuesto por un sistema electrónico que incluye funcionalidades de hardware y software y opera a partir de la adquisición de las 4 señales de posición del cabezal detector de una cámara gamma. El resultado es un espectro de la energía entregada por la radiación nuclear en el cabezal detector de la cámara. Este sistema incluye el procesamiento analógico de las señales de posición de la cámara, la posterior digitalización y procesamiento de la señal de energía en un analizador multicanal, el envío de los datos a un ordenador por un puerto estándar USB y el procesamiento de los datos en una computadora personal para la obtención del histograma final.

Palabras claves: cámara gamma, cabezal detector, FPGA, fotomultiplicador, señal de energía

Abstract

This paper summarizes research work carried out to develop a device for diagnosis of gamma cameras. The device is a universal system that can be connected to any analogue or semi digital gamma camera. It is composed of an electronic system that includes hardware and software functionalities and it operates from the acquisition of the four position signals of detector gamma camera head. The result is a spectrum of the energy delivered by nuclear radiation coming from the camera detector head. This system includes the analogue signal processing of the camera position, the subsequent digitization and signal processing of energy signal in a multichannel analyser, sending data to a computer via a standard USB port and processing of data in personal computer to obtain the final histogram.

Key words: gamma camera, detector head, FPGA, photomultiplier, energy signal

INTRODUCCIÓN

Los servicios de medicina nuclear y centros de investigación donde se realizan mediciones de radiaciones en Cuba, no cuentan con un sistema externo flexible para el ajuste y calibración de las cámaras gamma. En muchos casos, el sistema se ha deteriorado tecnológicamente y el ajuste del espectro de energía para realizar el estudio de órganos o la detección de lesiones en tejidos, se hace de forma manual con un osciloscopio.

La corrección y ajuste adecuado de la señal de energía proveniente de los cabezales de detección de las cámaras gamma, constituye uno de los procedimientos más importantes para el funcionamiento estable de este equipamiento [1,2]. El ajuste adecuado de la señal de energía garantiza una buena calidad de imagen para la práctica clínica y el diagnóstico preciso [3,4].

Cada fabricante de cámaras gamma tiene sus propios procedimientos para el procesamiento de la información y el control de calidad de sus equipos. Muchas veces el acceso a estos para mantenerlos funcionando, resulta altamente costoso y en la mayoría de los casos, no existen contratos para reparación y mantenimiento con las firmas proveedoras.

El propósito de este trabajo es diseñar y comprobar un circuito analógico de tipo universal para la adquisición y acondicionamiento de las señales de posición, diseñar y fabricar un prototipo de circuito impreso para el ajuste de la señal de salida de los cabezales de las cámaras gamma, conectar el circuito analógico con una tarjeta digital para el procesamiento de la señal de energía y desarrollar un instrumento virtual para la obtención de un histograma correspondiente a dicha energía para diferentes radionúclidos.

Un aspecto a destacar es que, con la utilización del sistema de análisis desarrollado, además de realizar el diagnóstico del cabezal detector, es posible la comprobación de cualquier tubo fotomultiplicador en particular de manera independiente.

MATERIALES Y MÉTODOS

La cámara gamma es un instrumento para lograr imágenes de la distribución espacial de un radionúclido. Consiste en un detector de radiaciones montado en un gantry, que permite que el cabezal de la cámara se posicione de manera flexible sobre diferentes regiones del cuerpo del paciente. El detector está formado por un cristal de Ioduro de sodio activado con talio (NaI (TI)), de gran diámetro, acoplado a un conglomerado de varios tubos fotomultiplicadores (PMT). Los fotones gamma que emiten los radionúclidos presentes en el paciente, o en una fuente radiactiva de prueba, alcanzan al cristal después de pasar por las perforaciones de un colimador de plomo que define la dirección de los fotones que se aceptan. Los PMT se encuentran acoplados a la superficie posterior del cristal, directamente o a través de una guía de luz, y reciben el voltaje de una fuente de alimentación común [4,5]. En cada PMT se pueden efectuar ajustes ligeros del voltaje o de la ganancia. Una interacción fotónica en una localización espacial particular del cristal, definida por un sistema de coordenadas X-Y, produce en ese lugar un centelleo que se esparce por el cristal. La fracción de esa luz que llega al fotocátodo de cada fotomultiplicador, varía inversamente con la distancia que separa al fotomultiplicador del punto de la interacción fotónica. La distribución de las amplitudes de los pulsos provenientes de todos los fotomultiplicadores en una sola interacción fotónica, contiene la información relativa a la posición geométrica de la interacción. Cuando un evento cae dentro de la ventana de energía seleccionada, se habilita la transferencia de la señal, de posición X y Y hacia la computadora. Los valores de las señales X y Y se almacenan en un arreglo bidimensional de elementos de imagen o píxeles y se forma una imagen de un histograma de números de eventos en cada posible localización de X y Y. La energía de la interacción es definida por la amplitud de un pulso Z que se obtiene mediante la suma de las salidas de todos los PMT [6, 7].

El dispositivo para diagnóstico de cámaras gamma está compuesto por un sistema electrónico que incluye funcionalidades de hardware y software y que opera a partir de la adquisición de las 4 señales de posición del cabezal detector de una cámara gamma. El sistema da como resultado un registro de datos con el espectro de energía entregada por la radiación nuclear que proviene del cabezal detector de la cámara. El mismo incluye el procesamiento analógico de las señales de la posición de incidencia de la radiación en el cabezal detector, el procesamiento de la señal de energía en un analizador multicanal, el envío de los datos a un ordenador por un puerto estándar USB y el procesamiento de los datos en la computadora personal para la obtención del histograma final [6]. En la figura 1 se muestra el diagrama general del dispositivo con los componentes principales cuyos circuitos se encuentran separados en 2 placas independientes: Una placa para la adquisición y procesamiento analógico y una tarjeta universal de entradas, salidas digitales y analógicas para módulos con microcontrolador UNIO-52 [8].

El circuito de adquisición y procesamiento analógico, cuyo esquema en bloques se muestra en la figura 2, realiza la adquisición de las 4 señales de posición de la radiación proveniente del cabezal detector de la cámara gamma y entrega la señal con la energía total amplificada. Este circuito consta de 4 canales similares que realizan la función de adquirir las señales de posición (Bloque de Adquisición). Estas 4 señales tienen diferentes amplitudes, dependiendo de la posición de incidencia del fotón en el cristal de la cámara gamma. Cada canal tiene dos etapas consecutivas con un acoplador de entrada y otro de salida. Entre estas etapas tiene lugar una diferenciación de los impulsos a través del circuito que posee una constante de tiempo de $0,1 \mu\text{s}$. Para estas funciones se utilizaron circuitos integrados OP467 que constan en su encapsulado de 4 amplificadores operacionales de precisión, alta velocidad ($170 \text{ V}/\mu\text{s}$) y bajo ruido [9].

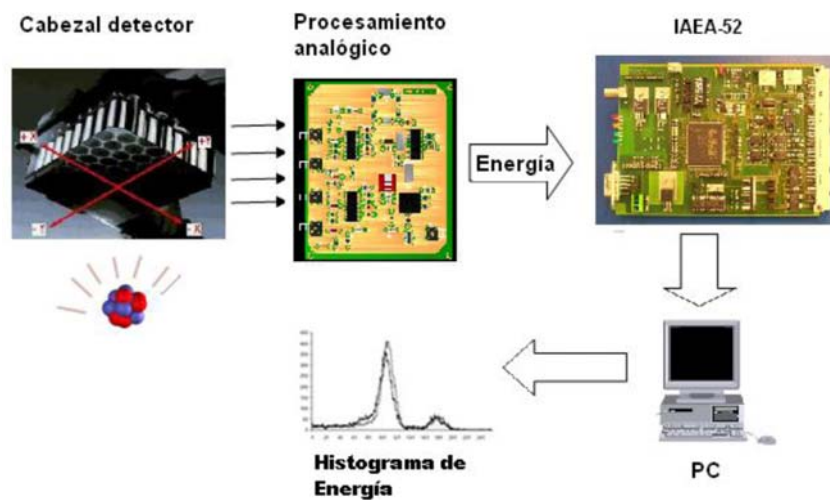


Fig. 1. Diagrama del dispositivo para diagnóstico de cámaras gamma

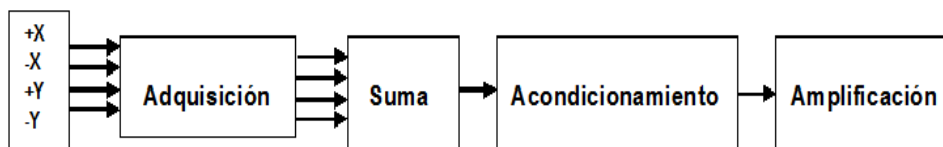


Fig. 2. Esquema en bloques del circuito de adquisición y procesamiento analógico

Una vez adquirida las 4 señales de posición, se implementa la suma de todos los canales, la cual es proporcional a la energía total del rayo gamma, obteniéndose así la señal correspondiente a la energía del sistema (Bloque de Suma). En la siguiente etapa, se realiza el ajuste del corrimiento (*offset*) y se aumenta o disminuye la ganancia del sistema (Bloque de Acondicionamiento). Por último, la señal de la energía ya ajustada pasa a la última etapa formada por un amplificador operacional en configuración diferencial. En esta etapa se puede variar la polaridad de la señal de entrada y amplificarla con una ganancia de 10, para ajustarla a los requerimientos de la tarjeta de procesamiento digital (Bloque de Amplificación). Para esta función se utiliza el circuito integrado HA2525 que es un amplificador operacional rápido con una alta impedancia de entrada [9].

El diseño del circuito impreso realizado con el programa Protel DXP [10] tiene 2 caras. La cara de tierra analógica cubre toda la cara superior del circuito para reducir los efectos indeseables de lazo con la señal de tierra y las caídas de voltaje para la obtención de una baja impedancia. Para el correcto filtrado, eliminación de los ruidos de alta frecuencia y la estabilidad del circuito, se han colocado condensadores cerámicos de $0,1 \mu\text{F}$ y filtros de $22 \mu\text{F}$, 35 V en todas las entradas de alimentación de los circuitos integrados. Los condensadores están

físicamente situados junto a los pines de alimentación de los circuitos integrados. El circuito se alimenta con una fuente de +12 V y -12 V. Para realizar las conexiones con las señales de la cámara gamma se utilizó cable coaxial que es lo establecido para el diseño de instrumentación nuclear [11]. En la figura 3 se muestra el circuito impreso diseñado.

Para la formación del espectro de energía, solo son útiles aquellos fotones gamma cuya energía corresponde con la de la fuente radiactiva de referencia y solamente estos deben considerarse válidos y ser procesados [2,12]. En la tarjeta de desarrollo UNIO-52 se realiza la selección de los pulsos generados por fotones provenientes de la fuente, que no hayan perdido energía en otras interacciones desde su emisión hasta su captura en el cabezal de la cámara gamma. Las amplitudes de los pulsos son digitalizadas con una precisión de 12 bits y los datos son enviados a la computadora por medio del puerto USB. El principal componente del kit universal es el arreglo de compuertas programables (FPGA) Spartan 2 XC2S150 de Xilinx. El FPGA está configurado para usar la UNIO-52 como tarjeta de adquisición de datos de propósito general, por lo tanto, el microcontrolador tiene acceso a todos los componentes de entradas/salidas en el kit y todas las transacciones son inicializadas y manipuladas por él. El microcontrolador accede a los diferentes componentes de entradas/salidas escribiendo o leyendo en los registros del FPGA [8].

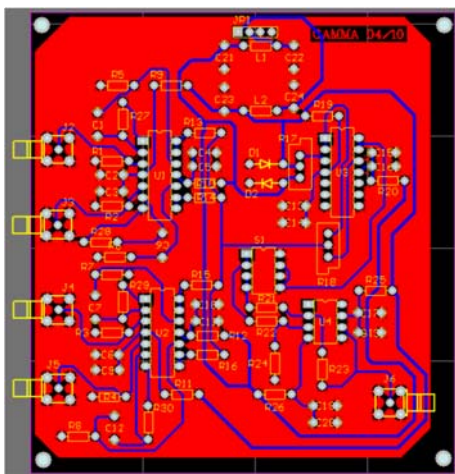


Fig. 3. Circuito impreso de adquisición y procesamiento analógico

El programa del instrumento virtual fue desarrollado con LabVIEW 8.6 [13] Este programa es el encargado de leer la cantidad de muestras y transmitir a través del microcontrolador los parámetros necesarios al FPGA para que realice el procesamiento de las mismas y definir el pico o valor máximo del pulso nuclear. Una vez realizado el procesamiento, se construye el histograma final de energía indicando el radionúclido correspondiente para comprobar el correcto funcionamiento del cabezal detector de la cámara gamma. Toda la programación de la tarjeta UNIO-52 y la transferencia del programa a través del puerto USB se realizan a través de la librería de funciones dinámicas (dll) HrEzUsb52.dll, el fichero cabecera HrEzUsb52.h para programar en C y la librería de instrumentos virtuales VI HrEzUsb52.llb, desarrollados por los fabricantes de esta tarjeta [8].

Una vez construido el histograma, se debe hacer la comparación de la energía del isótopo para ver si coincide con la energía conocida. En caso que no haya coincidencia, el técnico de la cámara gamma y el físico médico pueden ir ajustando los amplificadores de ganancia de los tubos fotomultiplicadores hasta obtener el valor energético preciso. De esta manera se puede lograr el ajuste y calibración de la cámara gamma.

El procedimiento para el trabajo con el dispositivo para diagnóstico de cámaras gamma es el siguiente: Primeramente se debe colocar el cabezal detector de la cámara en posición adecuada para la medición, se coloca la fuente radiactiva de referencia en contacto con el detecto, se conecta la fuente de alimentación de +12 V y -12 V a la tarjeta de adquisición y procesamiento analógico, se conectan las señales de posición a las entradas de la tarjeta analógica. En caso de que el cabezal detector de una cámara específica entregue la señal de energía en uno de sus conectores, esta será conectada a uno de los canales de entrada para su procesamiento. A través

del osciloscopio se determina la amplitud y la duración del pulso de “Energía” para el establecimiento de estos parámetros en el instrumento virtual, se ajusta la ganancia y el *offset* de la señal de “Energía”, se conecta la tarjeta UNIO-52 y se ejecuta el programa del instrumento virtual. Una vez que el programa esté en ejecución se ajustan los parámetros de los umbrales necesarios para la medición, se comprueba el ajuste para el pico mayor de energía y que el canal para este pico corresponde a la energía de la fuente radiactiva de referencia. En caso que el espectro energético esté desplazado, se deben ajustar los controles de ganancia de los tubos fotomultiplicadores y realizar la medición nuevamente.

RESULTADOS

Como resultado de este trabajo se desarrolló, ajustó y comprobó el dispositivo para diagnóstico de cámaras gamma.

El diseño logrado permite el análisis de cabezales detectores de cámaras gamma y de cada uno de los tubos fotomultiplicadores que componen los mismos.

Para el ajuste del dispositivo se utilizó un generador de pulsos nucleares con las siguientes características: tiempo de subida = $0,5 \mu\text{s}$, línea de base = 0 V , tiempo de caída = $5 \mu\text{s}$, amplitud pico = 1 V , rango del generador = 10 V , referencia interna y polaridad positiva. La figura 4 muestra el generador de pulsos nucleares y el osciloscopio con las señales de entrada y salida para el ajuste.

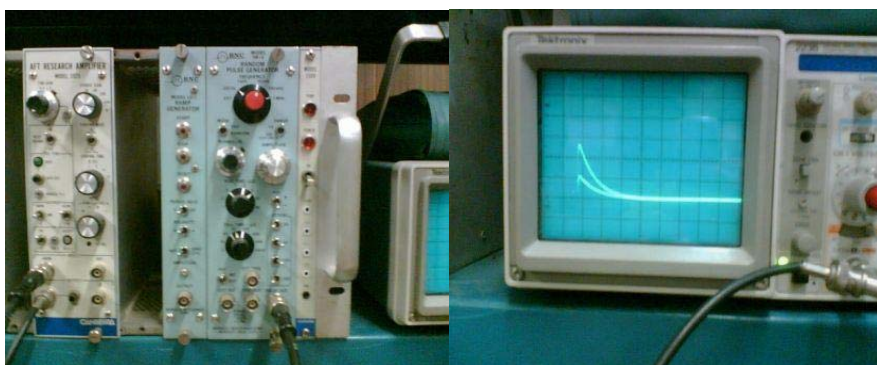


Fig. 4. Generador de pulsos nucleares Berkeley Nucleonics Corp. (BNC). Modelo DB-2. (izquierda). Pulso a la entrada y a la salida del osciloscopio Tektronix 100MHz. Modelo 2236 (derecha)

Para la comprobación del dispositivo se realizaron mediciones con el cabezal detector Digitrac 7500 de una cámara gamma Orbiter, que se encuentra en uno de los locales del Departamento de Medicina Nuclear del Instituto Nacional de Oncología y Radiobiología (INOR) (figura 5). En la figura 6 se muestra la ventana del instrumento virtual mostrando el espectro de una fuente plana de ^{57}Co medido con este detector.



Fig. 5. Cabezal detector Digitrac 7500 de la cámara gamma Orbiter

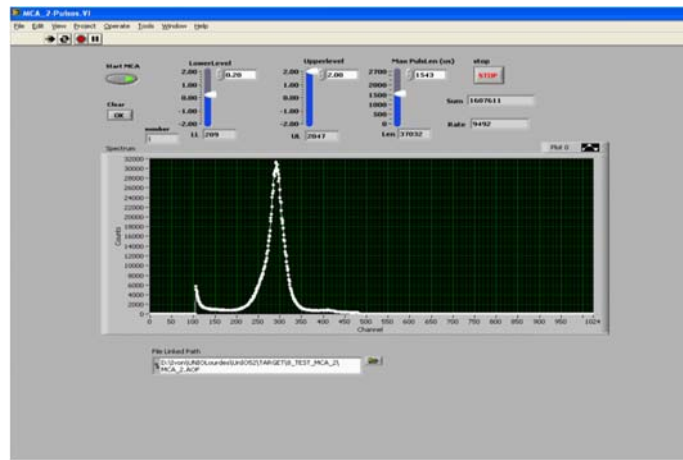


Fig. 6. Espectro de una fuente plana de ^{57}Co medido con el detector Digitrac 7500

DISCUSIÓN

Para la comprobación del correcto funcionamiento del sistema se realizaron varias pruebas de control. Para la prueba de conteo de pulsos se colectaron los espectros de fuentes de energías conocidas y se realizó la evaluación de la linealidad del sistema mediante una recta de calibración. En la figura 7 se muestra el gráfico de dicha recta y en la tabla 1 se presentan los parámetros de la misma, así como las diferentes fuentes de energía que se usaron para la obtención de la recta.

Según [11,14], la recta de calibración, así como sus parámetros muestran una linealidad adecuada para el funcionamiento de este sistema

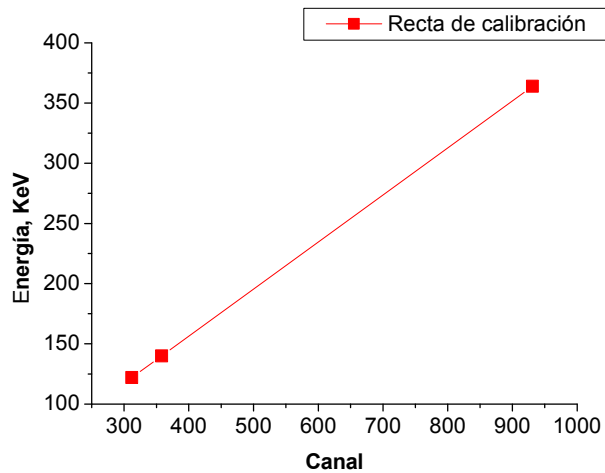


Fig. 7. Recta de calibración

Tabla 1. Valores obtenidos en la calibración y parámetros de la recta

Radionúclido (Actividad)	Energía	Canal
¹³¹ I (2 mCi)	364 KeV	931
^{99m} Tc (0.5 mCi)	140 KeV	358
⁵⁷ Co (0.3 mCi)	122 KeV	312
$Y = A + B * X$		
Parámetro	Valor	Error
A	0,03437	0,01465
B	0,39094	2,42718 E-5

CONCLUSIONES

Con el desarrollo de este trabajo se diseñó y comprobó un circuito analógico de tipo universal para la adquisición y acondicionamiento de las señales de posición de una cámara gamma; se diseñó y fabricó un prototipo de circuito impreso para el ajuste de la señal de salida de los cabezales de las cámaras; se logró la conexión del circuito analógico con la tarjeta digital comercial UNIO-52; se desarrolló un programa para un microcontrolador en lenguaje C y se implementó un instrumento virtual para diagnóstico de las cámaras. Por último, se procesó la señal de energía y se obtuvo el histograma correspondiente a diferentes radionúclidos.

El diseño e implementación de este sistema permite contar con un dispositivo para el diagnóstico de cámaras gamma que puede ser útil en los servicios de medicina nuclear del país y laboratorios donde se encuentren estos dispositivos para el diagnóstico clínico.

RECONOCIMIENTOS

La autora desea agradecer a la doctora Angelina Díaz García y al máster Juan Francisco Osorio Deliz por haberla introducido en el mundo de la física médica y al INOR y al Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (CEADEN) por haber puesto a su disposición las instalaciones y equipamiento para el desarrollo de este trabajo.

REFERENCIAS

1. Magdy K. Basic Sciences of Nuclear Medicine. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. ISBN 978-3-540-85961-1.
2. Sprawls P. The Physical Principles of Medical Imaging. Second Edition. Lippincott Williams and Wilkins, 1987. ISBN: 978-0871896445. Disponible en Web: <http://www.sprawls.org/ppmi2> [consultado en febrero 2016].
3. Prekeges J. Nuclear Medicine Instrumentation. Second Edition. Jones & Bartlett Learning, 2012. ISBN: 978-1449652883.
4. Cantone MC, Hoeschen Ch. Radiation Physics for Nuclear Medicine. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. ISBN 978-3-642-11326-0
5. International Atomic Energy Agency, IAEA Nuclear Medicine Physics a Handbook for Teachers and Students. Vienna International Atomic Energy Agency, 2014. ISBN 978-92-0-143810-2. Disponible en Web: <http://www.iaea.org/books>. [consultado en febrero 2016].
6. Oramas Polo I. Analizador para diagnóstico de cámaras gamma. Tesis de maestría, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, La Habana, Cuba. 2011.
7. Blackwel W. Essentials of Nuclear Medicine Physics and Instrumentation. Third Edition. Wiley-Blackwel, 2013. ISBN: 978-0470905500.

8. Tarjeta universal de entradas, salidas digitales y analógicas para módulos con microcontrolador UNIO-52. Sensorik und Signalverarbeitungssysteme. Hrongen rangiert auf Platz 6.357.324 in Deutschland. Disponible en Web: <http://www.hrongen.de> [consultado en enero 2011].
9. Online datasheet source for electronic components and semiconductors. Disponible en Web: <http://www.datasheetcatalog.com/> [consultado en enero 2011].
10. Altium PCB. Design Tool. Supplier of EDA and embedded software design tools for the Microsoft Windows environment. Disponible en Web: <http://www.altium.com> [consultado en febrero 2016].
11. Knoll Glen F. Radiation Detection & Measurement. Fourth Edition. John Wiley & Sons, 2010. ISBN: 978-0-470-13148-0.
12. Sorenson J, Cherry S, Phelps M. Physics in Nuclear Medicine. Fourth Edition, 2012. ISBN: 978-1-4160-5198-5.
13. Essick J. Hands-On-Introduction-LabVIEW-Scientists-Engineers. New York. Oxford University Press, Inc., 2013. ISBN 978-0-19-992615-5.
14. Colectivo de autores. Protocolo Nacional de Control de Calidad de Instrumentos de Medicina Nuclear. Centro de Control de Equipos Médicos. La Habana, Cuba, 2004.