

# Análisis de riesgos para el trabajo con un analizador de diagnóstico de cámaras gamma

Ivón Oramas Polo, Diana G. Figueroa del Valle  
Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC)  
Ave. Salvador Allende y Luaces. La Habana, Cuba  
ioramas@instec.cu

## Resumen

En el trabajo se realizó un análisis de los riesgos laborales al emplear un analizador de diagnóstico de cámaras gamma. El método que se empleó se basa en la determinación del número de riesgo (Hazard Rating Number). Las capacidades del método permiten el ordenamiento de los riesgos por su importancia. Los resultados muestran la preponderancia de algunos riesgos como electrocución y el contacto directo con la fuente. Una aplicación muy útil del análisis es la determinación de las reglas de seguridad para el uso del sistema. Finalmente, se presenta un plan de acción para la gestión de los riesgos.

*Palabras clave:* riesgos, fotomultiplicadores, cámaras gamma, valoración del riesgo

## Risk analysis for working with an analyzer for gamma cameras diagnostic

### Abstract

In the present paper, occupational risks associated with the use of analyzer for gamma camera diagnosis were analyzed. The used method is based on determining the *Hazard Rating Number*. The capabilities of the method allow the classification of risks according to their importance. The results show the preponderance of certain risks as electrocution and direct contact with the source. A very useful application of the analysis is the determination of the safety rules to use the system. Finally, an action plan for risk management is presented.

*Key words:* hazards, photomultipliers, gamma cameras, risk assessment

## Introducción

La evaluación de los peligros asociados a una instalación industrial se lleva a cabo mediante el análisis de riesgos, orientado a determinar los accidentes que puedan ocurrir, la frecuencia de estos y la magnitud de sus consecuencias con la mayor aproximación posible. Normalmente estos análisis son del tipo determinista o probabilistas, en función de la disponibilidad de la información que se tenga, así como del alcance y la magnitud del estudio que se quiera realizar [1].

Frecuentemente se han estudiado los riesgos asociados al uso de instalaciones industriales. Esto no ocurre así en las instalaciones médicas donde, con el desarrollo tecnológico alcanzado cada día, se concen-

tra un mayor número de equipamiento, cuyo fallo en la manipulación o componentes podría traer la ocurrencia de eventos no deseados o potencialmente peligrosos para el personal médico, de mantenimiento, pacientes y público en general.

Un análisis exhaustivo del riesgo es sin duda, el mejor sistema para establecer cuál es el riesgo en una determinada situación y si es o no tolerable [2,3]. Sin embargo, estos métodos tienen el inconveniente de ser relativamente complejos y caros, y de requerir bastante tiempo para su implementación, así como de personal especializado.

Por ello, se han propuesto otros métodos mucho más sencillos para hacer estimaciones no tan precisas, que puedan estar aptas para comparar situaciones, emprender determinadas acciones o adoptar otro tipo de

medidas, más acordes o sencillas de tomar en función de la gravedad del caso estudiado [4-7].

El propósito del trabajo fue estudiar los riesgos asociados con un analizador de diagnóstico de cámaras gamma a través del método *Hazard Rating Number* (HRN), el cual se basa en la determinación del número de riesgo. Es un método sencillo y se utiliza para determinar el producto de cuatro factores a los que se le atribuye un rango y una categoría de riesgo determinada. Se sustenta en estudios realizados por instituciones científicas internacionales sobre análisis de riesgos [4], pero trasladado a la situación concreta de Cuba, con una debida aplicación en la instrumentación nuclear para equipamiento de uso médico. Métodos como este no se han implementado en el país. De ahí, su marcado interés científico.

## Materiales y Métodos

El analizador para diagnóstico de cámaras gamma está compuesto por un sistema electrónico completo de hardware y software que opera a partir de la adquisición de las cuatro señales de posición del cabezal detector de una cámara gamma. El sistema proporciona un registro de datos con el espectro de energía entregada por la radiación nuclear que proviene del cabezal detector de la cámara. Se usa para el diagnóstico del cabezal detector de la cámara gamma y el análisis de todos los tubos fotomultiplicadores (TFM) que lo componen [8].

La metodología para el trabajo con el analizador comprende el posicionamiento del cabezal detector de la cámara de manera tal, que permita a su vez, colocar una fuente radiactiva de referencia en contacto con el detector. Una vez conectado el dispositivo para el diagnóstico, la fuente se manipula para que esté posicionada en la porción del detector que corresponda a cada uno de los TFM que forman el conjunto del cabezal de la cámara correspondiente (Figura 1). Si como resultado del diagnóstico se detecta alguna anomalía, se ajustarán los controles de ganancia de los TFM y se sustituirá este cuando sea necesario [8].

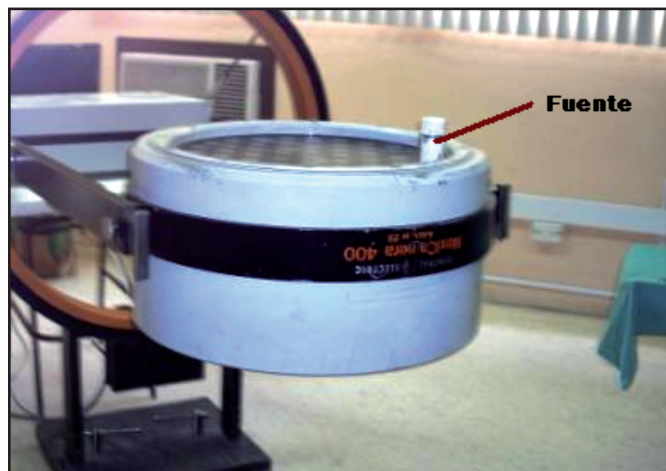


Figura 1. Fuente posicionada en el cabezal detector

Teniendo en cuenta la metodología que se empleó para efectuar el diagnóstico y la manipulación de fuentes radiactivas selladas para el análisis, así como otros peligros asociados al uso del analizador, y para garantizar su explotación segura, fue necesario un análisis de los riesgos que están relacionados con el trabajo. Con tal propósito se emplearon los criterios y experiencias que se usan para instalaciones industriales. La metodología aplicada se adaptó al equipo de acuerdo con la experiencia propia en el trabajo con cámaras gamma, así como la experiencia acumulada del personal que labora en su mantenimiento.

Según su relación con las actividades industriales, los riesgos se clasifican en tres categorías [4]:

Riesgos convencionales: relacionados con la actividad y el equipo existentes en cualquier sector (electrocución, caídas).

Riesgos específicos: asociados al uso o manipulación de productos, que por su naturaleza, pueden ocasionar daño (productos tóxicos, radiactivos).

Riesgos mayores: relacionados con accidentes y situaciones excepcionales. Sus consecuencias pueden presentar una especial gravedad, ya que la rápida expulsión de productos peligrosos o de energía podría afectar áreas considerables (escape de gases, explosiones).

A continuación se expone brevemente el sistema de evaluación, el cual consiste en determinar el número de riesgo HRN [9]. Este método simplificado evalúa cuatro factores a los que se les atribuye un valor teniendo en cuenta:

1. Posibilidad de exposición al peligro (valor comprendido entre 0 = imposible y 15 = seguro).
2. Frecuencia de la exposición al peligro (de 0.1 = no frecuente a 5 = constante).
3. Número de personas sometidas al riesgo (desde 1 = entre 1 y 12 personas a 12 = 50 o más personas).
4. Máxima pérdida probable (de 0.1 = arañazos o lesiones leves a 15 = muerte).

El producto de estos cuatro factores da un valor de HRN. Las categorías de riesgo correspondientes, así como los planes de acción adecuados a cada valor obtenido se aprecian en la Tabla 1.

Para el trabajo con el analizador se usan fuentes selladas, que se emplean en la práctica clínica con los radionúclidos  $^{99m}\text{Tc}$  y  $^{131}\text{I}$ . Estas fuentes se encuentran en contenedores sellados [10]. Sin embargo, siempre existe la posibilidad de que se produzca una contaminación, tanto al personal que se encuentra haciendo el diagnóstico como al medio ambiente. Además, existen otros riesgos debido a la manipulación de los preamplificadores de los TFM (Figura 2).

**Tabla 1.** Estimación del riesgo y niveles del riesgo de acción para la gestión

Riesgo	HRN	Plan de acción para la gestión
Tolerable	0-1	Aceptar el riesgo/considerar posibles acciones
Muy bajo	1-5	El plan de acción se ejecutará teniendo en cuenta la situación y el riesgo en cuestión
Bajo	5-10	
Importante	10-50	
Alto	50-100	
Muy alto	100-500	
Extremo	500-1000	Parar la actividad/eliminar el peligro
Intolerable	> 1000	

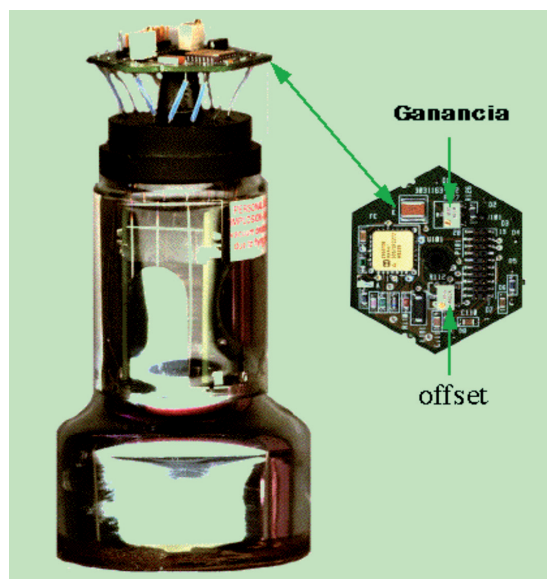
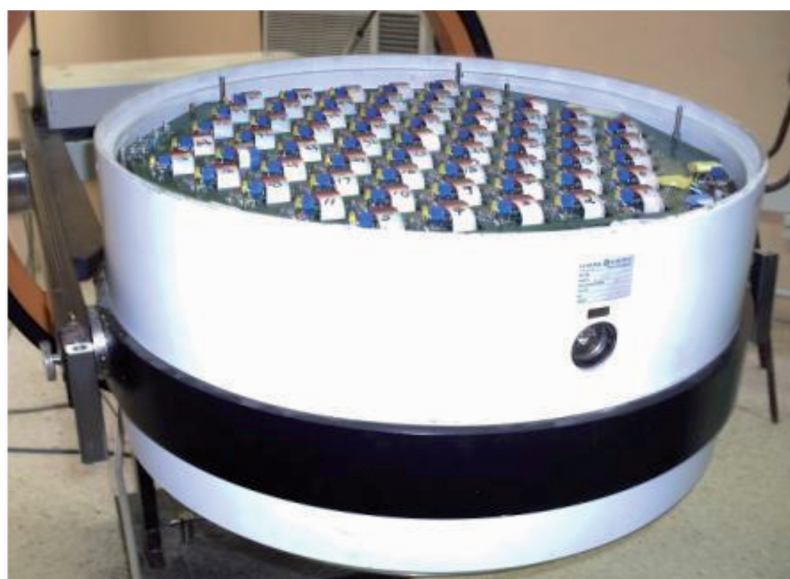


Figura 2. a) Tubos fotomultiplicadores,



b) Preamplificadores en una cámara gamma

## Resultados y Discusión

Al clasificar los riesgos que se pudiesen relacionar con la metodología propuesta, los resultados arrojaron un total de siete riesgos fundamentales:

Como riesgos convencionales:

- Riesgo de electrocución al manipular los preamplificadores de los TFM debido al alto voltaje para su funcionamiento.
- Riesgo por mala manipulación del gantry de la cámara gamma.

Como riesgos específicos:

- Riesgo por caída del contenedor de la fuente.
- Riesgo al tocar el contenedor de la fuente con las manos.
- Riesgo por mal blindaje del contenedor de la fuente (deshermatización).
- Riesgo por dosis elevada de la muestra en el contenedor.

Como riesgos mayores:

- Riesgo por fractura del cristal del detector de la cámara gamma (Figura 3) y escape del gas yoduro de sodio activado con talio (NaI (Tl)), gas altamente venenoso y tóxico.

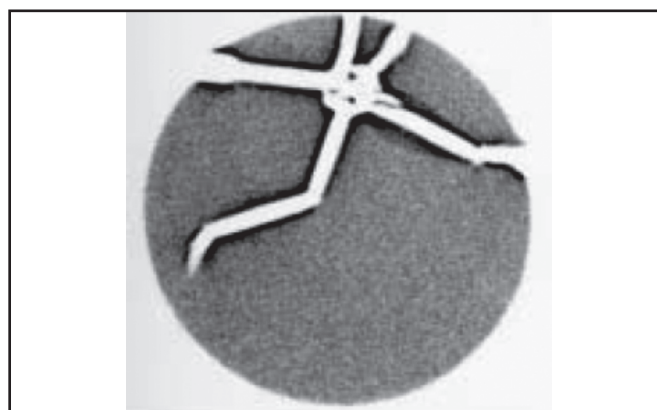


Figura 3. Fractura de cristal de NaI (Tl) [11]

Los valores asociados a cada uno de los cuatro factores a tener en cuenta durante la implementación del método se obtuvieron a partir del análisis de expertos. Para cada uno de los factores, en los que se basa la evaluación del riesgo realizada, se analizaron los rangos propuestos y se hicieron las siguientes subevaluaciones que dieron paso a la clasificación final.

En el caso de la posibilidad de exposición al peligro, cuyo valor comprendido es entre 0 = imposible y 15 = seguro, se reajustó de la siguiente manera:

De 0 a 5 poco probable.  
De 6 a 10 muy probable.  
De 11 a 15 seguro.

En el caso de la frecuencia de exposición al peligro, cuyo valor comprendido es entre 0.1 = no frecuente y 5 = constante, se analizó teniendo en cuenta que los riesgos señalados para el equipo en estudio, el de mayor frecuencia de ocurrencia estaría en un nivel 3.

En el análisis del número de personas sometidas al riesgo siempre se toma como valor 1, ya que en todos los casos ese número se encuentra por debajo de 12. Teniendo en cuenta la cantidad máxima de personas que podrían estar simultáneamente por las actividades que se realizarían, sería de 6.

En el caso de la máxima pérdida probable, cuyo valor comprendido es entre 0.1 = arañazos o lesiones leves y 15 = muerte, se reajustó de la siguiente manera:

De 0.1 a 5 arañazos o lesiones leves.  
De 6 a 10 daños graves o severos.  
De 11 a 15 muerte.

Partiendo de los resultados obtenidos se elaboró un plan de acción general para la gestión de los riesgos en función de las categorías alcanzadas según la metodología del HRN y se propusieron medidas de seguridad particulares para cada uno de los riesgos analizados. (Tabla 2).

En la Tabla 3 se muestra el número de riesgo HRN para los riesgos asociados al uso del analizador teniendo en cuenta los análisis anteriores.

La Figura 4 muestra los números de riesgos HRN determinados para los diferentes tipos de riesgos que pueden existir al efectuar el diagnóstico de un cabezal detector de una cámara gamma, incluyendo la calibración de los TFM.

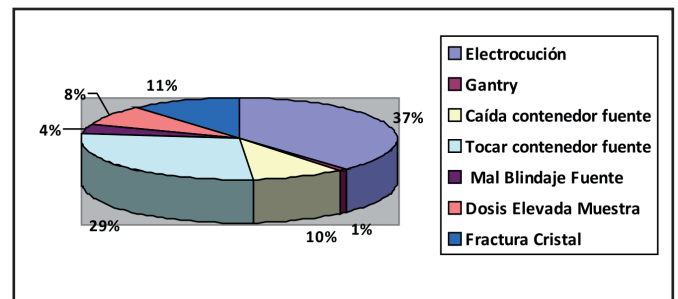


Figura 4. Números de riesgo HRN asociados al uso del analizador para diagnóstico de cámaras gamma

Los resultados muestran que el riesgo con mayor HRN es por electrocución con un valor de 100. Por tanto, ese riesgo se clasifica de "Muy Alto". El siguiente riesgo con un HRN de 75 y considerado de "Alto" está relacionado con tocar el contenedor de la fuente con las manos. Como "Importante" se clasificaron los siguientes riesgos: caída del contenedor de la fuente (HRN = 25), dosis elevada de la muestra en el contenedor (HRN = 20) y fractura del cristal del detector (HRN = 30). El mal blindaje del contenedor de la fuente (HRN = 10) es un riesgo que se clasifica como "Bajo". Por tanto, los riesgos que más implicaciones tienen son los dos primeros mencionados.

Tabla 2. Estimación del riesgo y plan de acción para la gestión específica del analizador

Riesgo	HRN	Plan de acción para la gestión
"Tolerable"	0-1	Aceptar el riesgo/considerar posibles acciones
Muy bajo	1-5	Poner en práctica acciones para disminuir la exposición al riesgo
Bajo	5-10	
Importante	10-50	Chequear la preparación del personal técnico que realiza las tareas y extremar la vigilancia en el cumplimiento de las normas
Alto	50-100	
Muy alto	100-500	Extremar las medidas de seguridad e implementar acciones y valorar nuevamente la pertinencia de realizar la práctica bajo las condiciones de riesgo calculadas
Extremo	500-1000	
Intolerable	> 1000	Parar la actividad/eliminar el peligro

Tabla 3. Estimación del número de riesgo para el uso del analizador

Riesgo	Posibilidad de exposición al peligro	Frecuencia de la exposición al peligro	Número de personas sometidas al riesgo	Máxima pérdida probable	HRN	Clasificación del riesgo
Electrocución	10	2	1	5	100	Muy Alto
Mala manipulación del gantry	2	0.1	1	10	2	Muy Bajo
Caída del contenedor de la fuente	5	1	1	5	25	Importante
Tocar el contenedor de la fuente con las manos	5	3	1	5	75	Alto
Mal blindaje del contenedor de la fuente	2	1	1	5	10	Bajo
Dosis elevada de la muestra en el contenedor	2	2	1	5	20	Importante
Fractura del cristal del detector	5	1	1	6	30	Importante



A continuación se expone un grupo de medidas de seguridad que consisten en las mejores prácticas de la medicina nuclear y la protección radiológica [12], así como la experiencia ganada en el trabajo con este tipo de equipamiento electrónico.

**Reglas de seguridad para el uso del analizador para diagnóstico de cámaras gamma**

1. No tocar las partes metálicas de los componentes electrónicos, tanto del analizador como de los preamplificadores de los TFM.
2. Manipular los componentes electrónicos que estén energizados con extremo cuidado y solo por personal técnico.
3. Los instrumentos de medición se deben poner a tierra.
4. Manipular los componentes electrónicos susceptibles a la electricidad estática con los dispositivos adecuados.
5. Manipular correctamente el gantry sin perder de vista los contrapesos donde sea pertinente.
6. Las fuentes solo se deben manipular por personal autorizado.
7. No comer, no fumar y no beber mientras se manipula la fuente.
8. No dejar la fuente sin atención.
9. No mirar directamente hacia el agujero del contenedor de la fuente y no cubrirlo con ninguna parte del cuerpo.
10. Mantener la fuente sellada con una capa de plomo blindando el agujero.
11. No remover el radionúclido de la fuente de su contenedor.
12. Se deben usar guantes para la manipulación de las fuentes.
13. El personal que manipule las fuentes debe lavar sus manos después del trabajo con ellas y chequear mediante un monitor de contaminación.
14. Los contenedores rotos o mal blindados no se deben usar para almacenar fuentes.
15. En caso de ruptura del cristal se debe abandonar el local y determinar las medidas para su dispensa.

En la Tabla 4 se muestran los riesgos con sus medidas de seguridad asociadas.

**Tabla 4.** Medidas de seguridad para cada riesgo

Riesgo	Medidas de seguridad
Electrocución	1-4
Mala manipulación del gantry	5
Caída del contenedor de la fuente	6-8
Tocar el contenedor de la fuente con las manos	9-14
Mal blindaje del contenedor de la fuente	10-13
Dosis elevada de la muestra en el contenedor	6-14
Fractura del cristal del detector	15

**Conclusiones**

Se realizó un análisis de los riesgos asociados al trabajo con un analizador para el diagnóstico de cámaras gamma mediante el cálculo del HRN. Se estimaron los riesgos que más implicaciones tienen para el uso del sistema y se obtuvieron los números de riesgo HRN para cada caso, así como se recomendaron medidas de seguridad a emplear en cada caso en particular. El análisis realizado es de utilidad, no solo para garantizar la explotación segura de las cámaras gamma y la instrumentación asociada a su mantenimiento, sino que cobra gran importancia en un campo hasta hoy poco tratado o estudiado; debido a la baja disponibilidad no solo del personal técnico, sino también del personal de mantenimiento de este tipo de instalaciones en el país. Con vistas al creciente empleo de la tecnología nuclear en instalaciones de atención médica en Cuba se propone generalizar y realizar más estudios de riesgos asociados al equipamiento médico.

**Referencias**

1. FIGUEROA DEL VALLE D. Sistema matricial de evaluación de la gestión de la seguridad partiendo de los principios básicos de seguridad [tesis en opción al grado de máster en Ingeniería en Instalaciones Energéticas y Nucleares]. La Habana: InSTEC, 2013.
2. PERDOMO M, SALOMON J, RIVERO J. et. al. ASeC – sistema avanzado para avilacao de segurança e risco em indústrias com elevados requisitos de confiabilidade. Brasil Rio Oil and Gas Expo and Conference, 2010.
3. TORRES A. Control de configuraciones peligrosas en instalaciones con riesgo asociado. Revista Ingeniería Mecánica. 2010; 13(2): 13-21.
4. CASALS J, MONTIEL H, PLANAS E, VILCHES JA. Análisis del riesgo en Instalaciones industriales. Barcelona: Ediciones UPC, 1999.
5. TORRES A, RIVERO J. Methodology of risk based configuration control of nuclear power plant operation. 14th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering. ENCIT 2012 – 092. Brazil, 2012.
6. TORRES A, PERDOMO M, RIVERO JJ. Computerized matrix of safety basic principles: a useful alternative for their learning and application. Revista Ingeniería Mecánica. 2011; 14(3): 221-229.
7. Centro Politécnico Superior de la Universidad de Zaragoza. Grupo Universitario de Investigación Analítica de Riesgos. Departamento de Química Analítica. Política de prevención de Accidentes.
8. ORAMAS PI. Analizador para diagnóstico de cámaras gamma [tesis de maestría en Sistemas Digitales]. La Habana: ISPJAE, 2011.
9. STEEL J. Risk estimation. The safety and health practitioner. 1990.
10. CHERRY S. Physics in nuclear medicine. Third edition. 2004.
11. IAEA. IAEA quality control atlas for scintillation camera systems. Viena: IAEA, 2003.
12. Centro Nacional de Seguridad Nuclear (CNSN). Guía para implementación de los reglamentos de seguridad en la práctica de la medicina nuclear. La Habana: CNSN, 2001.

**Recibido:** 12 de diciembre de 2013

**Aceptado:** 8 de mayo de 2014