

Desarrollo de un dispositivo de medición usando un Geiger Müller para la determinación de actividad en un prototipo de generador de ^{99m}Tc

Rafael Urquiza^{1,*}, Javier Gago², César Cruz-Saco³, Jorge Rojas⁴, Pablo Mendoza²

¹ Facultad de Ingeniería de Sistemas y Electrónica, Universidad Tecnológica del Perú. Av. 28 de Julio 826, Lima 15046, Perú

² Dirección de Investigación y Desarrollo, Instituto Peruano de Energía Nuclear. Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

³ Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Ingeniería. Av. Túpac Amaru s/n, Rímac, Lima 25, Perú

⁴ Facultad de Química e Ing. Química, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Av. Venezuela S/N, Lima 1, Perú

Resumen

En el presente artículo se muestra la implementación de un sistema de medición empleando un detector Geiger Müller (GM) con la finalidad de adaptarlo a un prototipo de generador de ^{99m}Tc . La señal de respuesta del sistema de medición diseñado en términos de tasa de conteo es linealmente proporcional a la variación de la actividad permitiendo medir entre 280 mCi y 170 mCi de ^{99m}Tc con un error relativo del $\pm 2,8\%$. No obstante, queda pendiente realizar mayores pruebas a fin de evaluar su correlación a un nivel de actividad menor a 20 mCi con el fin de obtener un rango adecuado de uso.

Development of a measurement device, using a Geiger Müller type detector, for the determination of the activity in a ^{99m}Tc generator prototype

Abstract

This article presents the implementation of a measurement system using a Geiger Müller detector (GM) in order to adapt it into a ^{99m}Tc generator prototype. The response signal of the measurement system designed in terms of count rate is linearly proportional to the variation of the activity measured between 280 and 170 mCi of ^{99m}Tc with a relative error of $\pm 2,8\%$. However, further tests are needed to evaluate the correlation for an activity level lower than 20 mCi in order to obtain an adequate range of use.

1. Introducción

Desde su descubrimiento, los rayos gamma han sido empleados en medicina nuclear [1] debido a su propiedad de atravesar el tejido biológico, pero para el cálculo de la dosis correcta a suministrar a un paciente, se debe censar dicha muestra con un detector de radiación.

El prototipo generador bajo implementación produce ^{99m}Tc en un volumen definido de eluato cuya actividad será indicada por el detector [2,3]. El dispositivo de medición que se adaptará al prototipo generador será compatible y práctico en su funcionamiento [4].

2. Metodología

Se emplea un detector modelo LND7121 cuyo rango de trabajo se adecúa al requerimiento del prototipo de generador,

adaptando para tal fin un material absorbente de plomo para bajar la actividad del ^{99m}Tc al rango del detector.

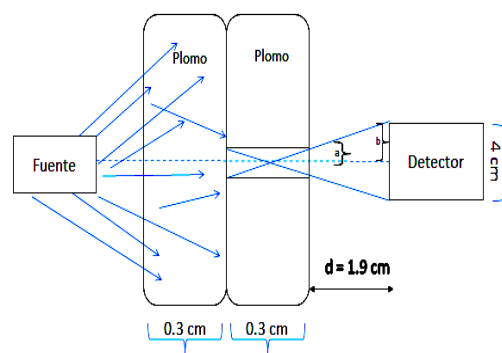


Figura 1. Colimación de la fuente emisora gamma al detector.

Se verifica experimentalmente que 2 láminas de plomo de 3 mm de espesor y 8 cm de

* Correspondencia autor: rafael_u_r@hotmail.es

diámetro son suficientes para atenuar la radiación gamma al detector siendo necesario solo colimar la segunda lámina.

En la Figura 1 se muestra la disposición geométrica del material absorbente y el colimador acoplado entre el detector Geiger Müller y el eluato de ^{99m}Tc. En el esquema de la Figura 1, “2b” es la longitud del detector, “d” es la distancia del colimador al detector y “a” se calcula a partir de la ecuación 1. El cálculo de “a” es 1,5 mm.

$$\frac{a}{b} = \frac{0.15\text{cm}}{1.9\text{cm} + 0.15\text{cm}} \quad (1)$$

Con este esquema se consigue atenuar la actividad de los rayos gamma y también dirigirlos a lo largo del detector. Para su desarrollo se implementó un soporte para el detector, los materiales absorbentes y el recipiente que contendrá al ^{99m}Tc. En la Figura 2 se muestra una vista en 3D diseñado en SolidWork 2014.

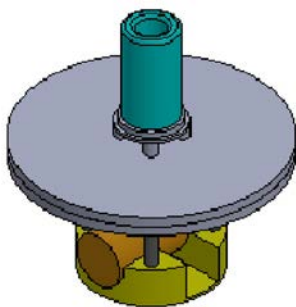


Figura 2. Vista en 3D del diseño de los soportes.

El diseño del soporte se establece para un solo vial bajo una posición y volumen fijo. En la figura 3 se muestran los materiales ensamblados y posicionados junto con el vial conteniendo ^{99m}Tc de actividad 280 mCi para las primeras pruebas preliminares.



Figura 3. Primeras pruebas en el laboratorio.

La adquisición de la señal del detector se realiza mediante una placa electrónica según

el esquema de la Figura 4. Cada etapa realiza una función con el detector y con la señal que ésta entrega.

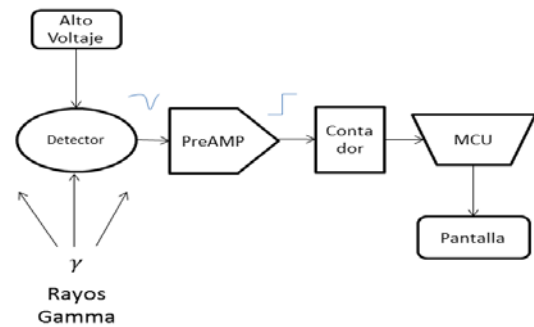


Figura 4. Procesado de las señales del detector.

Se usan componentes electrónicos pasivos y activos de bajo costo como se ve en la Figura 5. Para la etapa de alto voltaje se usó un multiplicador de voltaje a la entrada VAC para alimentar al detector, la entrada VDC alimenta el preamplificador, el cual a la vez, invierte la señal a un pulso positivo de 5 voltios por cada impulso negativo de señal del detector. El contador es una interrupción del microcontrolador el cual cuenta los pulsos, el MCU es el encargado de calcular la actividad y la pantalla es un LCD.

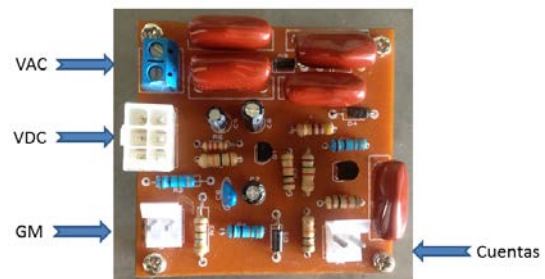


Figura 5. Placa electrónica del detector GM.

3. Procedimiento y Resultados

Se halla el voltaje de operación del GM, ubicando el voltaje dentro de la zona de Plateau, encontrándose que el voltaje más óptimo es de 680 VDC siendo este el valor a alimentar al detector desde la entrada VAC que es de 110 VAC de la Figura 5.

Luego, se toma un vial conteniendo ^{99m}Tc y se mide su actividad inicial mediante un Activímetro marca Capintec. Luego, en función de ese primer dato se grafica siguiendo la ecuación de desintegración (ecuación 2) como se muestra en la Figura 6.

$$A = A_0 * e^{-\ln 2 / (T_{1/2} * t)} \quad (2)$$

Siendo: $\lambda = 361,2 \text{ m}^{-1}$
 t= tiempo de decaimiento en minutos
 A= Actividad actual
 A₀=Actividad inicial

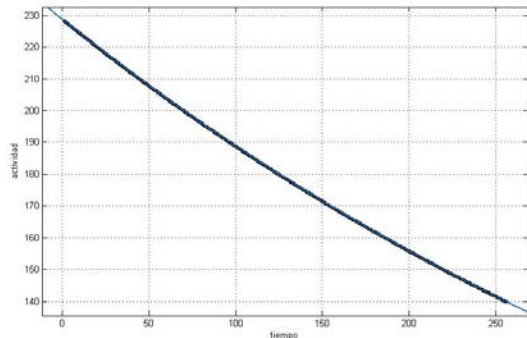


Figura 6. Actividad del ^{99m}Tc en función del tiempo.

Después de obtener la actividad inicial inmediatamente se coloca el vial en el dispositivo de Geiger Müller (GM), tal como se muestra en la Figura 3 para medir la tasa de conteo (cps) a lo largo de 15360 segundos o 256 minutos [5] (Figura 7).

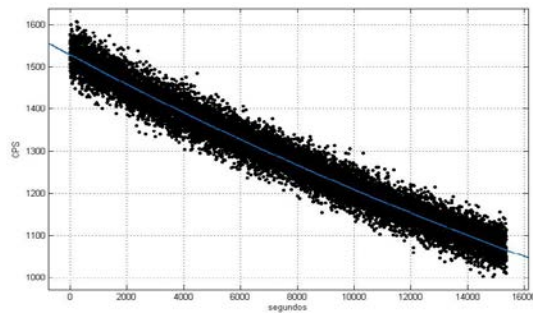


Figura 7. Tasa de conteo en términos de cps versus Tiempo de decaimiento.

Se analizan las cps en rangos de 60 datos, obteniéndose un histograma (Figura 8), se calcula la media para cada rango de dichas dispersiones que siguen la función de Gauss o campana de Gauss.

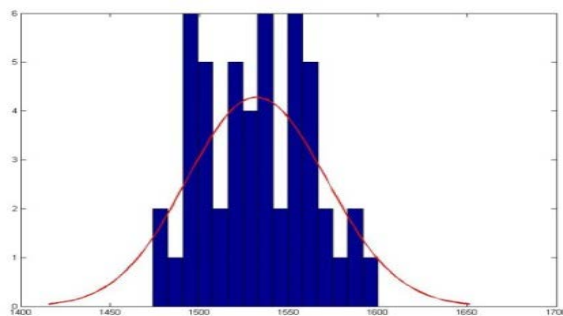


Figura 8. Análisis de los datos en azul y campana de Gauss en rojo.

Se observa una dispersión muy amplia. Para mejorar el análisis [6] de los datos se decidió medir en términos de cuentas por minuto (cpm) y tal valor dividirlo entre 60, con la finalidad de calcular la media (Figura 9).

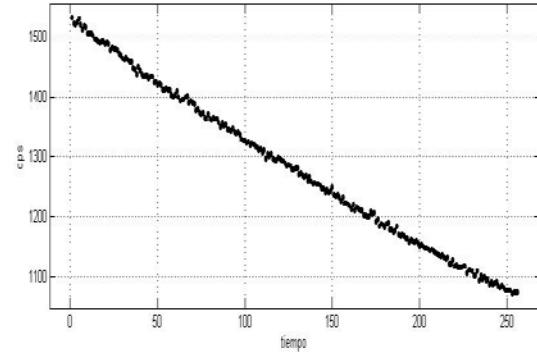


Figura 9. Variación de la tasa de conteo en términos de cpm en función del tiempo.

Para un mismo tiempo se establece la correlación de actividad (mCi) y la tasa de conteo (cpm) indicada por el detector GM. Tal correlación se muestra en la Figura 10.

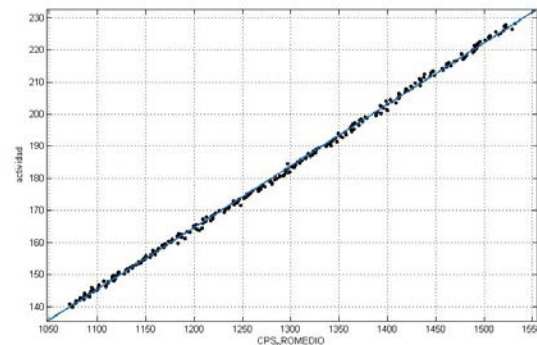


Figura 10. Actividad del eluato ^{99m}Tc en función de la tasa de conteo en el GM.

Se obtiene una ecuación de primer grado con un factor de correlación de R²= 0,9995 [7].

$$A_i(\text{mCi}) = \bar{x}_i * 0.1915 - 64.936 \quad (3)$$

En la Tabla 1 se muestra el test realizado con la fuente de ^{99m}Tc de 280 mCi y los valores obtenidos por el detector GM expresados como tasa de conteo.

En la Tabla 1 \bar{x} es el valor medio por cada 60 datos tomados cada minuto, “S” es la desviación estándar y DR% es la desviación estándar relativa porcentual.

El activímetro Capintec empleado como referencia tiene un error del 0,2 % considerándose despreciable para los fines de cálculo y medición propuesta.

Tabla 1. Variación de la tasa de conteo en detector GM en función del tiempo para una actividad inicial de 280 mCi de ^{99m}Tc .

Tiempo de Decaimiento (min)	Actividad (mCi)	\bar{x}	S	DR %
0	280	1533	30	2,0
15	272	1492	32	2,1
30	264	1463	29	2,0
45	257	1429	31	2,2
60	250	1405	29	2,1
75	242	1371	27	2,0
90	236	1345	31	2,3
105	229	1319	30	2,3
120	222	1298	27	2,1
135	216	1269	31	2,4
150	210	1247	26	2,1
165	204	1211	30	2,5
180	198	1182	26	2,2
195	193	1161	23	2,0
210	187	1138	28	2,5
225	182	1112	31	2,8
240	177	1085	27	2,5
255	172	1067	29	2,7

4. Conclusiones

El dispositivo desarrollado puede trabajar en un volumen definido de 10 mL en actividades menores a 280 mCi de ^{99m}Tc con un error del 2,8 %, valor aceptable para los propósitos de trabajo del generador de ^{99m}Tc en desarrollo en el IPEN.

No obstante, se requiere realizar pruebas adicionales a fin de verificar la correlación lineal de la respuesta del detector GM para niveles de actividad cercana a los 20 mCi de ^{99m}Tc .

5. Agradecimiento

Se agradece a INNOVATE-PERU por el apoyo financiero dado al desarrollo del presente trabajo a través del contrato FINCyT N° 162-2013.

6. Bibliografía

- [1]. Evans RD. The atomic nucleus. New York: McGraw-Hill; 1955. Chapter 26-28.
- [2]. Knoll GF. Radiation detection and measurement. 3rd Edition. New York: John Wiley and Sons Inc. 1979. Chapter 7, p. 201-215.
- [3]. Technische Universität Dresden. El detector Geiger-Müller. [monografía en Internet]. 2010. Disponible en: http://wwwpub.zih.tu-dresden.de/~fhgonz/carrera/4o/fnp/labfnp_p1.pdf
- [4] Ghuge NN, Jasrotia S, et al. Geiger Muller: A thin end window tube radiation detector. International Journal of Research in Engineering and Technology. 4(5): 190-196.
- [5]. Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares de México. Test procedure for geiger-mueller radiation detectors. Procedure N° MRNI-501 REV. D0, December 2008. [monografía en Internet]. Disponible en: http://www.inin.gob.mx/mini_sitios/documentos/MRNI-501D0.pdf
- [6]. MacDonald L. Counting statistics and error propagation. Imaging Research Laboratory, Radiology Dept. Nuclear Medicine Physics Lectures 10/4/11. [monografía en Internet] Disponible en: http://depts.washington.edu/imreslab/2011%20Lectures/ErrorProp-CountingStat_LRM_04Oct2011.pdf
- [7]. Pirchio R, Lindner C, Molina L, Vallejos M. Calibration of radioprotection instruments and calibrated irradiation: Characterization of gamma beam of ^{137}Cs and ^{60}Co . In: 12. International Congress of the International Radiation Protection Association (IRPA). Buenos Aires (Argentina); 19-24 Oct 2008.