

# Diseño de un sistema para la verificación de la Sonda Detectora EUROPROBE para Cirugía Radioguiada

A. Palau San Pedro<sup>1</sup>, A. López Díaz<sup>1</sup>, K. Ventura Llanta<sup>1</sup>, C. Varela Martínez<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Hospital Clínico Quirúrgico 'Hermanos Ameijeiras', Servicio de Medicina Nuclear  
Calle Animas s/n, e/ Márquez González y Oquendo, Centro Habana, La Habana, Cuba.

<sup>2</sup>Centro de Control Estatal de Equipos Médicos.

e-mail: mnrad@infomed.sld.cu

## RESUMEN

El éxito en la detección durante la cirugía radioguiada depende en gran medida del funcionamiento correcto de la sonda intraoperatoria.

Este trabajo obtuvo un protocolo viable y práctico de verificación de la eficiencia de conteo, linealidad de la respuesta a la actividad y resolución espacial empleando recursos ya disponibles en los servicios de Medicina Nuclear, abaratando los costos del control de calidad del equipo, sin dejar de garantizar su funcionamiento adecuado, estableciendo los controles operacionales del equipo, a través de la obtención de valores de referencia y sus límites de aceptación. Se utilizó la Sonda Intraoperatoria EuroProbe S553U con sus tres detectores. Para estudiar el comportamiento de estos parámetros y verificar su concordancia se emplearon fuentes de  $^{137}\text{Cs}$  y  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ . Garantizando la reproducibilidad de las medidas con un dispositivo de posicionamiento de poliuretano, evaluando los parámetros por período de dos meses diariamente.[1,2] Se estableció 5 cm como distancia óptima entre la sonda detectora y la fuente para la verificación de la eficiencia y operatividad del sistema con  $^{137}\text{Cs}$ , demostrándose una buena linealidad de la respuesta a la variación del flujo de radiación. La resolución espacial fue menor de  $(10,3 \pm 0,1)$  mm para la sonda Small y de  $(15,4 \pm 0,3)$  mm para la Sonda Endoscópica. Se estableció 5 cm. como distancia óptima entre la sonda detectora y la fuente para la verificación de la eficiencia y operatividad del sistema con  $^{137}\text{Cs}$ , demostrándose una buena linealidad de la respuesta a la variación del flujo de radiación que arriba detector. La resolución espacial fue menor de  $(10,3 \pm 0,1)$  mm para la sonda Small y de  $(15,4 \pm 0,3)$  mm para la Sonda Endoscópica.

Los valores obtenidos de linealidad y los límites establecidos para la eficiencia demuestran que las fuentes de  $^{137}\text{Cs}$  de 3,7 MBq, destinadas a la verificación de los calibradores de dosis radiactivas, son útiles para la verificación operacional de la sonda a una geometría preestablecida.

**Palabras claves:** Cirugía radioguiada, sonda intraoperatoria, control de calidad, eficiencia, linealidad, resolución.

## ABSTRACT

The successes during radioguide surgery using radiopharmaceutical procedure depend of intraoperative radiation probes proper performance.

A new protocol to check efficiency and linearity of activity response in the probe was evaluated, and was established the daily operational test for radiation probe. The idea was generated a practical protocol using the most common source available in Nuclear Medicine Service:  $^{137}\text{Cs}$ , decreasing the cost of quality control with the same value of efficacy.

We use an equipment EUROPROBE S553U with three different probes, the usual  $^{137}\text{Cs}$  dose calibrator check source of 3,7 MBq of activity and the  $^{57}\text{Co}$  source recommended by the manufacturer<sup>1</sup>. In order to warranty the reproducibility of the measurement with  $^{137}\text{Cs}$ , we built a simple device with polyurethane, with fixed point of evaluation. These parameter variations were followed for 3 months in order to characterize the probe behaviour and establish the normal variability. The agreement between both source measurements were analysed and established, finding the best position to repeat the verification daily.

5cm of distance was established for daily check, following these distance a count rate variation for all period was less than 5%. A good linearity in response to radiation flow that arrives to detector (between 1 and 10cm of distance) was obtained; the slope varied less than 6 %.

**Conclusion:** The operational verification for the intraoperative probe with  $^{137}\text{Cs}$  source is a practical solution to establish QC protocols for long time terms.

**Key words:** radioguide surgery, radiation probes, quality control test.

## INTRODUCCIÓN

La técnica de cirugía radioguiada, se basa en la utilización de una sonda detectora de radiaciones para la localización y posterior extracción a través de procedimientos quirúrgicos del tejido enfermo, el que acumula selectivamente el radiofármaco previamente administrado.

El éxito de la detección intraoperatoria del tejido anómalo depende en gran medida del funcionamiento correcto de la sonda detectora, por eso crear un protocolo de verificación y control de calidad periódico del equipo constituye un paso vital en el establecimiento de la técnica, que deberá extenderse a todos los servicios del país.

La sonda detectora de radiaciones está compuesta por dos partes principales: un módulo de control y uno o varios detectores de radiación asociados, el primer componente analiza y procesa las señales provenientes de los detectores de radiación.

Entre los parámetros característicos de cualquier detector de radiaciones se encuentran:

- La eficiencia de conteo
- La resolución energética
- La resolución espacial
- La linealidad de la respuesta del detector al incremento del flujo de radiación (actividad de la fuente que está midiendo), que están estrechamente relacionados entre sí y que son un producto del diseño especial de cada detector [3].

Todos estos parámetros deben ser medidos y verificados para cada equipo dentro del programa de control de calidad que incluye la realización de pruebas de aceptación, referencia y periódicas.

Este trabajo tiene como objetivo crear un protocolo viable y práctico de verificación que emplee recursos ya disponibles en los servicios de Medicina Nuclear, abaratando los costos del equipo sin dejar de garantizar su funcionamiento adecuado. No pretende establecer y poner a punto protocolos para la verificación de cada uno de los parámetros característicos del detector, pero si para aquellos que se alteran primeramente cuando hay un funcionamiento inadecuado de la electrónica, es decir la eficiencia de conteo y la linealidad de la respuesta a la actividad.

A partir de los estudios realizados se establecieron controles operacionales para el equipo, a través de la obtención de valores de referencia y sus límites de aceptación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La sonda detectora Europrobe S553U, que posee el servicio de Medicina Nuclear del HCQ "Hermanos Ameijeiras", posee tres detectores: uno pequeño (Small) que consiste en un diodo de Telurio de Cadmio (CdTe), diseñado para radionúclidos de energías bajas y medias, una sonda larga (Large) que es un detector de

centelleo de yoduro de cesio (CsI) destinada a detectar energías mayores o para obtener alta sensibilidad (ambas dotadas de colimadores como parte integral de las sondas) y otro detector (Endoscopic) de Telurio de Cadmio para energías bajas y medias pero dotado de un tubo largo que permite exploraciones endoscópicas [1] (Figura 1).

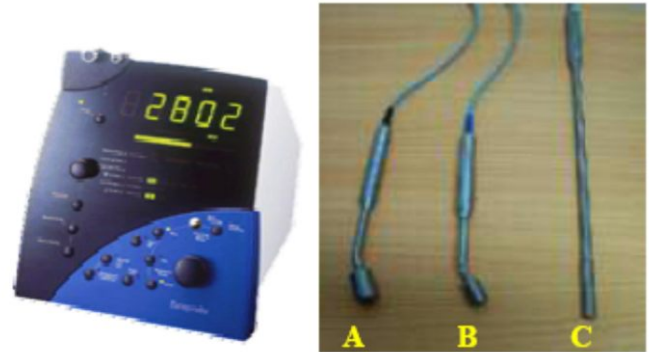


Fig. 1 Equipo detector para cirugía radioguiada Europrobe S553U. Puntas detectoras: A) Sonda larga, B) Sonda Pequeña C) Sonda Endoscópica [1].

El panel de control permite seleccionar los distintos modos de operación, los radionúclidos y las ventanas energéticas, los tiempos de medición, la adquisición y substracción del fondo, ubicación y selección de alarmas de conteos, etc.

Para obtener la eficiencia de conteo y verificar el estado técnico del equipo el fabricante recomienda el empleo de una fuente puntual de  $\text{Co}^{57}$  (actividad 0,87 FCi) o el uso de un dispositivo especial (diseñado a tales fines) que posee una fuente de 10FCi de ese mismo material [1], [4], ninguna de las dos variantes está disponible en el país pues los costos de adquisición son altos y requieren reemplazo mínimo anual por el tiempo de vida medio (270,8d). Por esta razón para estudiar los parámetros operacionales de cada una de las sondas se utilizó una fuente de  $\text{CS}^{137}$  de 100FCi (Fabricada por Amersham, fecha de calibración 1 de julio 2000 ) que posee una vida media de 30 años, y que está disponible en los servicios de Medicina Nuclear pues se emplea para evaluar la reproducibilidad de los calibradores.

Con el objetivo de verificar y comparar la eficiencia de conteo con los valores reportados con el fabricante se utilizó una fuente de  $\text{Co}^{57}$  de 1,34 FCi (calibrada para 250FCi para septiembre del 2001) con el objetivo de evaluar los parámetros operacionales recomendados por el fabricante.

Para garantizar la reproducibilidad de las medidas, se construyó un dispositivo de posicionamiento de poliuretano, que ubica cada sonda y la fuente de  $\text{CS}^{137}$  con precisión de  $\pm 1\text{mm}$  (Figura 2). Este aditamento posee una escala graduada para el posicionamiento de la fuente que permite acercarlo o alejarlo del detector, permitiendo la variación del flujo de radiación que arriba al detector.

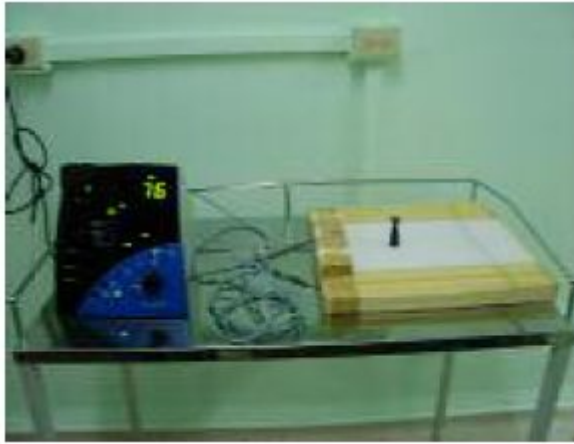


Fig. 2. Dispositivo de posicionamiento de las sondas detectoras para garantizar la reproducibilidad de las mediciones.

Para evaluar la eficiencia de conteo y la linealidad de la respuesta del detector al flujo incidente, se ubicó la fuente de  $CS^{137}$  a 5cm, 10cm, 15cm, 20cm, 25cm, 30cm de distancia del detector (para cada uno); se registraron 15 medidas empleando un tiempo de 10s de medición para cada posición.

Estas mediciones fueron repetidas durante 15 días para verificar la estabilidad del instrumento y establecer los límites de tolerancia para su operación.

La incertidumbre que caracteriza la eficiencia de conteo se calculó, considerando que esta medida está sujeta a incertidumbres del tipo A, es decir que puede ser evaluada por métodos estadísticos luego de repetidas observaciones independientes y expresada como la desviación estándar de la media aritmética calculada.

La linealidad de la respuesta al incremento de la actividad se analizó teniendo en cuenta que el flujo de radiación que arriba al detector es proporcional al inverso del cuadrado de la distancia fuente-detector. Se realizaron los ajustes a una recta empleando el programa Microcal-Origin V.6.0 y se calcularon los errores del ajuste de la recta por el método de mínimos cuadrados.

Para el análisis y establecimiento de los límites de aceptación de las verificaciones periódicas de ambos parámetros, se encontró que no hay establecidas normas internacionales a tales fines, por ser una técnica suficientemente novedosa, por lo que los autores se limitaron a aceptar como válidas las recomendaciones del OIEA para detectores de pozo, equipo detector que trabaja en rangos similares de actividad y considerando que son suficientemente estrictas para la práctica clínica que se propone.

Para estimar la resolución espacial de cada sonda se realiza un escáner de forma lateral, a 10 mm de distancia, de dos fuentes puntuales de  $Tc-99m$  ( $\varnothing = 3$  mm y 15  $\mu Ci$  cada una), de adecuada actividad, separadas a 25 mm entre si [2], [3]. La resolución espacial se evalúa a través del cálculo del ancho a la mitad de la altura del pulso (FWHM) de las graficas obtenidas en cada caso. En el caso de la sonda endoscópica se realizó el escáner a una sola fuente, ya que al no presentar colimador la distancia entre estas fuentes sería mayor de 25 mm.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Según el fabricante cada sonda detectora tiene su eficiencia para valores específicos de actividad.

### Sonda Small.

Fuente de  $Co^{57}$ , de 0,87  $\mu Ci$  de actividad, a 10 mm de la sonda detectora, se debe obtener:

Espectro en posición  $Tc-99m > 60$  c/s.

Espectro en posición Total  $> 150$  c/s.

Se utilizó la fuente de  $Co^{57}$ , de 1.34  $\mu Ci$  de actividad, dando como resultado:

Espectro en posición  $Tc-99m$ : 109 c/s.

Espectro en posición Total: 235 c/s.

### Sonda Other.

Fuente de  $Co^{57}$ , de 0,87  $\mu Ci$  de actividad, a 10 mm de la sonda detectora, se debe obtener:

Espectro en posición  $Tc-99m > 80$  c/s/  $\mu Ci$ .

Se utilizó una fuente de  $Co^{57}$ , de 1.34  $\mu Ci$  de actividad, dando como resultado:

Espectro en posición  $Tc-99m$ : 167,16 c/s/  $\mu Ci$

Los valores medios del número de conteos obtenidos en 10 segundos para cada una de las sondas, en cada posición y su desviación estándar expresada en % se reportan en la Tabla I.

Tabla I. Valores medios del numero de conteos y su desviación estándar.

d(cm.)	Small		Large		Endoscópica	
	Conteos	$\sigma$ (%)	Conteos	$\sigma$ (%)	Conteos	$\sigma$ (%)
5	1737	4,3	3451	1,7	1618	4,4
10	537	6,9	1141	3,5	563	5,2
15	273	5,9	580	3,3	284	6,7
20	170	6,5	357	5	174	5,7
25	120	10,8	245	5,7	122	12
30	84	9,5	182	5,5	97	12,4

Como era de esperar la eficiencia de conteos de la sonda detectora de centelleo (larga) muestra mayores valores para cada posición, pues por su principio de funcionamiento y materiales de construcción detecta con mayor sensibilidad la radiación gamma (ver Figura 3). La desviación estándar demuestra también que es un instrumento más preciso para estas energías y actividades.

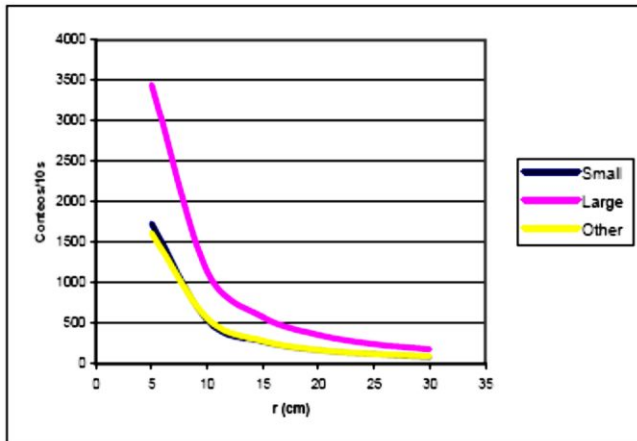


Fig. 3 Curvas experimentales de respuesta del detector con la distancia a la fuente.

En cuanto a la linealidad de la respuesta de las sondas al aumento del flujo de radiación, el ajuste de las rectas arrojó los siguientes valores:

Tabla II. Valores de la pendiente del grafico de linealidad (Fig.4) obtenidos para cada sonda.

Sonda	Pendiente
Small	193,31±3,25
Large	270,22±7,06
Endoscópica	183,65±5,16

Como se observan los errores del ajuste (método de mínimos cuadrados) son pequeños para cada sonda, observándose también que la sonda larga responde de forma más precisa. La linealidad de la respuesta fue comprobada y debe mantenerse con el paso del tiempo (observar los gráficos 2, 3 y 4). En el caso de la linealidad de la respuesta a la actividad, el OIEA recomienda que los valores de conteos estimados no difieran más de un 5% de los estimados por la recta.

Las incertidumbres asociadas a las mediciones de las sondas endoscópica y pequeña superan el 5% a medida que disminuye el flujo de radiación (es decir a medida que la distancia fuente-detector aumenta), la respuesta

de ambas sondas es similar pues tienen el mismo principio de funcionamiento y los mismos materiales de construcción, independientemente de que el diseño exterior es diferente.

A pesar de estos valores de incertidumbre el comportamiento de las sondas fue lineal (Figura 4) de manera que la efectividad de la metodología es válida y puede ser usada periódicamente para evaluar la linealidad.

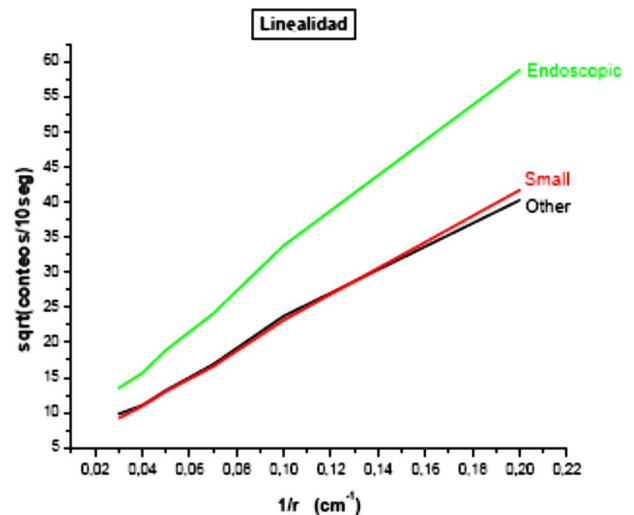


Fig. 4 Linealidad de la respuesta a la variación del flujo de actividad.

Para la verificación operacional del sistema se requiere solamente verificar la eficiencia de conteo y su estabilidad en el tiempo, de manera que se puede recurrir a establecer un protocolo de verificación fijo para todas las sondas.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos y la incertidumbre de la medida se escogió 5cm como distancia óptima para verificar la operatividad del sistema, pues está sujeta a menor incertidumbre y tiene mejor estadística de cuentas (los valores a verificar se señalan en la Tabla I).

Los límites de aceptación recomendados por el OIEA para la eficiencia de conteos se establecen a partir de la media  $\pm 2Q$ ; este intervalo se señala en los gráficos con dos líneas. Si observamos el comportamiento temporal de las sondas todas se mantuvieron en los rangos de tolerancia establecidos, demostrando la eficacia de este método de verificación, que quedaría establecido en la práctica clínica.

Los valores a tomar como referencia para la eficiencia absoluta de conteo a 5 cm de las distintas sondas son:

**Tabla III. Valores de referencia para la eficiencia de conteos a 5 cm de la sonda detectora para la fuente de  $^{137}\text{Cs}$  destinada a la verificación de activímetros.**

Sonda	C / 10 s/ $\mu\text{Ci}$
Small	$21,2 \pm 0,1$
Large	$42,1 \pm 0,1$
Endoscópica	$19,2 \pm 0,1$

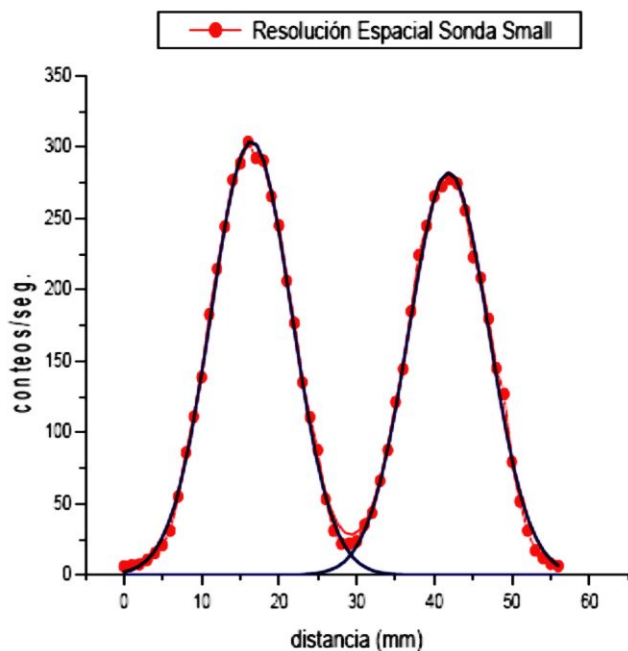
Para cada sonda se obtuvieron los siguientes valores de resolución espacial a partir del análisis del FWHM en cada caso.

Sonda Small: FWHM =  $(10,3 \pm 0,1)$  mm

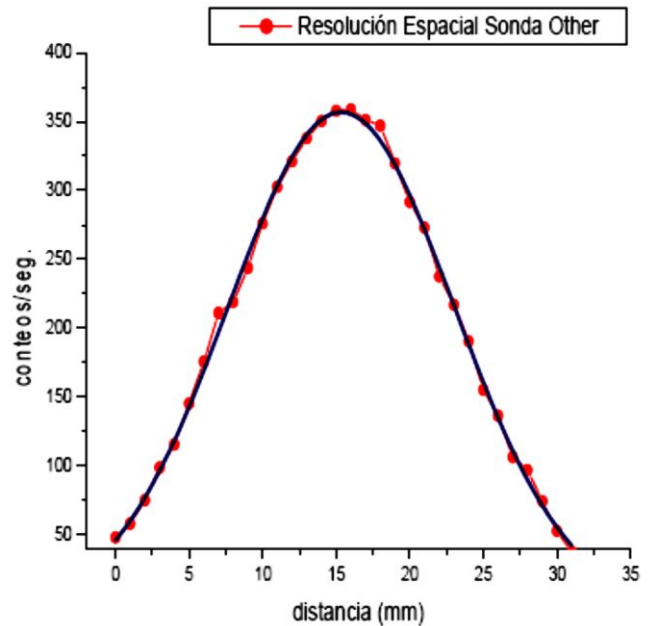
Sonda Endoscópica: FWHM =  $(15,4 \pm 0,3)$  mm

Los valores obtenidos anteriormente se encuentran por debajo de los reportados por la literatura consultada, en este caso se reporta una resolución espacial menor de 25mm para ganglio en axila, inguinales e ilíacos y menor o igual que 15 mm para cabeza, cuello o supraclaviculares.

Las figuras 5 y 6 muestran los valores obtenidos de resolución espacial para cada sonda detectora.



**Fig. 5. Resolución espacial Sonda Small.**



**Fig. 6. Resolución espacial Sonda Endoscópica.**

## CONCLUSIONES

Las sondas para cirugía radioguiada estudiadas se encuentran en perfecto estado de funcionamiento, siendo factible su uso y verificación.

La utilización de las fuentes de  $^{137}\text{Cs}$ , destinadas a la verificación de los calibradores de dosis radiactivas, son útiles para la verificación operacional de las tres sondas y garantizan el establecimiento de un protocolo a tales fines. Este protocolo de medición de la eficiencia absoluta de conteo, linealidad de la respuesta de los detectores y resolución espacial es válido, práctico y reproducible, con un mínimo de costos asociados en cualquier servicio de medicina nuclear.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Eurorad, Surgical Probe Europrobe System Operation Manual, 27-29, 2003.
- [2] H. Wengenmair, Gamma Probes: Quality Criteria, Minimal Requirements and Future Developments.
- [3] OIEA, TECDOC-602/S Control de calidad de los instrumentos de medicina nuclear, 59-84, 1996.
- [4] M.Claudia Bagnara, Caratterizzazione dei parametri funzionali di una sonda per chirurgia radioguiadata.