

## **Montaje de un Laboratorio para Calibraciones en Braquiterapia. Comparación de Respuestas con Diferente Instrumentación.**

**Pirchio Rosana y Saraví Margarita**

*Comisión Nacional de Energía Atómica*

*Pbro. J. González y Aragón N°16, (B1802AYA) Ezeiza, Buenos Aires, Argentina*

*pirchio@cae.cnea.gov.ar; saravi@cae.cnea.gov.ar*

### **Resumen**

Una práctica común en programas de control de calidad para dosimetría en braquiterapia es la calibración de fuentes. La AAPM (American Association of Physicists in Medicine) en la Task Group N° 40 (TG-40) recomienda que cada institución que ofrezca un servicio de braquiterapia verifique la intensidad de cada fuente provista por el fabricante con trazabilidad secundaria. Por tal motivo es necesario contar con laboratorios capaces de efectuar calibraciones de fuentes, cámaras-electrómetros trazables a laboratorios primarios o acreditados.

El Centro Regional de Referencia de Dosimetría de la CNEA (Comisión Nacional de Energía Atómica) se encuentra en la etapa de finalización del montaje de un Laboratorio para la calibración de fuentes y equipos de uso en braquiterapia. Para ello dispone de dos cámaras de ionización tipo pozo y dos electrómetros calibrados por el Accredited Dosimetry Calibration Laboratory de la Universidad de Wisconsin. Además cuenta con una amplia variedad de soportes y con un tubo de  $^{137}\text{Cs}$  patrón 3M modelo 6500/6D6C. Los procedimientos para la calibración de fuentes y equipos fueron elaborados a partir del TECDOC- 1274.

Por otro lado, se realizaron mediciones con diferente instrumentación para la comparación de respuestas y al mismo tiempo para implementar los procedimientos de calibración.

Para ello se emplearon cámaras y electrómetros de la institución, de hospitales y de la empresa nacional "Solydes". En las mediciones se utilizaron semillas de  $^{125}\text{I}$  producidas en Argentina y el tubo de  $^{137}\text{Cs}$  patrón mencionado previamente.

En primer lugar se procedió a la determinación del centro de la región del plateau en la respuesta axial para las semillas de Iodo-125 y el tubo de Cesio-137 patrón utilizando diferentes cámaras. Posteriormente se realizaron mediciones de cargas acumuladas durante un determinado intervalo de tiempo en dicha posición.

Se determinaron los factores de calibración de cada cámara,  $N_{sk}$  ( $\mu\text{Gy m}^2 \text{h}^{-1} \text{A}^{-1}$ ), como el cociente de la tasa de kerma en aire de referencia de la fuente  $S_k$  ( $\mu\text{Gy m}^2 \text{h}^{-1}$ ) con la correspondiente corriente, corregida por presión y temperatura, cuando fuera necesario. Estos valores fueron comparados a diferentes voltajes. Finalmente se determinó la respuesta de cada cámara en nA/Ci. Se utilizó la unidad de Curie porque es la utilizada en los manuales de las cámaras de ionización.

## **1. INTRODUCCIÓN**

Braquiterapia es una técnica que utiliza fuentes radiactivas encapsuladas para liberar una alta dosis a tejidos cercanos a la fuente. Una importante parte de un programa general de calidad para dosimetría de braquiterapia es la calibración de fuentes.

Los fabricantes de fuentes para braquiterapia le ofrecen al usuario los valores de actividad con su correspondiente incertidumbre, en algunos casos dicho valor alcanza un  $\pm 10\%$ . Entonces la calibración de las fuentes radiactivas por parte del usuario es necesaria para chequear la calibración del fabricante y para asegurar la trazabilidad a standards internacionales.

Esto lo refleja la AAPM (American Association of Physicists in Medicine) en su Task Group N° 40 (TG-40) [1] en la cual recomienda que cada institución que ofrezca un servicio de braquiterapia verifique la intensidad de cada fuente provista por el fabricante con trazabilidad secundaria.

La AAPM TG-56 [2] recomienda que un físico médico calificado calibre cada fuente de braquiterapia de alta o baja tasa de dosis en término de la tasa de kerma en aire de referencia antes del uso clínico y use ese valor como la base para la planificación y prescripción de tratamientos. También recomienda verificar la constancia y exactitud de la calibración de fuentes del fabricante. En el caso de tratamientos en los que se utilizan muchas semillas, por ejemplo casi 100 para tumores de próstata, la AAPM TG-56 sugiere que un mínimo del 10% de todas las semillas sean medidas antes del uso clínico. La variación de la tasa de kerma en aire de referencia de semilla a semilla de un mismo lote, medida por el usuario, puede mostrar una desviación tan alta como un 10 % del promedio del lote. Se sugiere que la media de la tasa de kerma en aire de referencia medida por el usuario concuerde con el valor del fabricante dentro del 3% y que la variación de las semillas medidas esté dentro del  $\pm 5\%$  de la media.

Por los motivos mencionados anteriormente es necesario contar con laboratorios capaces de efectuar calibraciones de fuentes y cámaras-electrómetros trazables a laboratorios primarios o acreditados.

El Centro Regional de Referencia de Dosimetría de la CNEA (Comisión Nacional de Energía Atómica) se encuentra en la etapa de finalización del montaje de un Laboratorio para la calibración de fuentes y equipos de uso en braquiterapia. En este trabajo se describe el equipamiento disponible para efectuar esas calibraciones y se muestran los resultados de las mediciones que se efectuaron utilizando distintos tipos de cámaras de pozo, electrómetros y fuentes radiactivas.

## 2. MATERIALES Y METODOS

### 2.1. Montaje del Laboratorio de Braquiterapia

El detector recomendado para la calibración de todas las fuentes emisoras de fotones de braquiterapia en los laboratorios secundarios, SSDLs (Secondary Standard Dosimetry Laboratory), es una cámara tipo pozo apropiadamente calibrada. Para los SSDLs el método para obtener la trazabilidad en las calibraciones de las fuentes consiste en tener la cámara tipo pozo calibrada contra el standard primario de un Laboratorio Primario (PSDL, Primary Standard Dosimetry Laboratory). Sin embargo, debido a razones prácticas las calibraciones en un ADCL

(Accredited Dosimetry Calibration Laboratory) o en el Laboratorio de Dosimetría del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), los cuales son trazables a un PSDL, pueden ser utilizados como una alternativa.

En cuanto a la trazabilidad en calibraciones para hospitales o clínicas, se recomienda que las fuentes de fotones para braquiterapia sean calibradas con una cámara tipo pozo apropiadamente calibrada. Para la trazabilidad desde los hospitales la cámara tipo pozo debe ser calibrada en el SSDL o ADCL.

En nuestro país, se está finalizando el montaje de un Laboratorio de Braquiterapia en el Laboratorio Secundario de Calibración Dosimétrica (SSDL), que es centro regional de referencia para dosimetría, perteneciente a la Comisión Nacional de Energía Atómica

El sistema elegido para la medición de la intensidad de fuentes y calibración de cámaras-electrómetros de usuarios consiste en una cámara de ionización tipo pozo y un electrómetro.

El modelo de la cámara es HDR 1000 Plus producida por Standard Imaging [3], con un volumen de medición de  $200 \text{ cm}^3$ , 15,6 cm de altura, 10,2 cm de diámetro y 2,7 kg de peso. Esta cámara está abierta al ambiente y por lo tanto es necesario aplicar correcciones de presión y temperatura a las lecturas del electrómetro.

El electrómetro MAX-4000 de Standard Imaging fue utilizado para las mediciones debido a que es capaz de medir corrientes tan altas como 200 nA para las fuentes de alta tasa de dosis con una resolución de la señal de 0,1 %. Para fuentes de baja tasa de dosis es capaz de medir corrientes del orden del pA con una resolución de la señal inferior a 10 fA.

El conjunto cámara HDR 1000 Plus-electrómetro MAX-4000 es el más utilizado en braquiterapia debido fundamentalmente a su estabilidad.

El Laboratorio de Braquiterapia cuenta con 2 cámaras HDR 1000 Plus con una amplia variedad de portafuentes, 2 electrómetros MAX-4000 y un tubo 3M de  $^{137}\text{Cs}$  para verificar la estabilidad de los equipos de medición. El instrumental mencionado fue calibrado en el *Accredited Dosimetry Calibration Laboratory* de la Universidad de Wisconsin.

El Laboratorio también dispone de un banco de calibración construido en acrílico y de una cámara esférica para realizar mediciones de tasa de kerma en aire de referencia. A los efectos de radioprotección dispone de un blindaje de plomo con un visor de vidrio plomado y un dosímetro de Standard Imaging, Ludlum Modelo 3 N° Serie 224398 y un centelleador gama de baja energía Modelo 44-3 N° Serie PR-236060.

El Laboratorio posee instrucciones de trabajo para la realización de calibraciones de cámaras-electrómetros de usuarios de braquiterapia, fuentes de Cesio-137, semillas de Iodo-125 y fuentes de Iridio-192. Estos procedimientos fueron confeccionados a partir del TECDOC- 12744].

La próxima etapa a cumplir es la autorización de operación del Laboratorio por parte de la Autoridad Regulatoria Nuclear.

## 2.2. Mediciones

En este trabajo se realizaron mediciones de carga eléctrica con diferentes equipamientos y con distintas fuentes radiactivas de braquiterapia con el objeto de estudiar el comportamiento del instrumental.

### 2.2.1. Materiales

Las cámaras tipo pozo proveen un método confiable para las calibraciones de fuentes de braquiterapia antes del uso clínico. Existen como mínimo 2 tipos de cámara pozo: cámaras llenas con gas a alta presión (usualmente argón), las cuales fueron diseñadas originalmente para mediciones de radionucleidos de baja actividad, y cámaras tipo pozo que son abiertas a la atmósfera.

En este trabajo se utilizaron seis cámaras de ionización tipo pozo y siete diferentes electrómetros para las mediciones de carga. Se emplearon 5 nuevas semillas de braquiterapia de Iodo-125, modelo Braquibac™, de actividades aparente similares, y un tubo de Cesio-137.

A continuación se detalla el equipamiento utilizado.

1. Dos cámaras fabricadas en Argentina marca Solydes Modelo CIP-114 B #3, con portafuentes diseñados en acrílico para fuentes LDR y tubo de cesio (3,2 y 4,4mm de diámetro interno). Un electrómetro marca Solydes.
2. Una cámara Standard Imaging - Modelo HDR 1000 Plus - Serie N° A021021, con portafuentes para fuentes LDR y tubo de cesio (5,1mm de diámetro interno), electrómetro Modelo MAX-4000– Serie N° E032937. Equipamiento perteneciente al CRRD.
3. Una cámara Standard Imaging - Modelo HDR 1000 Plus - Serie N° A060051, con portafuentes para tubo de cesio y semillas de iodo (LDR), un electrómetro Modelo MAX-4000– Serie N° E060172. Equipamiento perteneciente al CRRD.
4. Una cámara Standard Imaging - Modelo HDR 1000-Plus - Serie N° A053347, un electrómetro Keithley 35617EBS Programmable Dosimeter, Serie N° 55446. Equipamiento perteneciente a una clínica privada.
5. Una cámara re-entrante “Sweet Spot” Nuclearlab Modelo 34-070 5000. Un electrómetro PTW-UNIDOS Modelo 10002 - Serie N° 20119 (CNEA), un Farmer dosemeter 2570/1B Serie N° 1304 y un Keithley Therapy Dosemeter Modelo 35040, N° Serie 92146. Equipamiento perteneciente a Hospitales y al CRRD.
6. Un tubo de  $^{137}\text{Cs}$  calibrado por un laboratorio acreditado (ADCL), marca 3M, Modelo 6500/6D6C – Serie N° 07788. Características físicas: 3,05mm diámetro interno, 20mm de longitud, espesor de acero inoxidable 0,5mm, 13,8 mm longitud activa, 1,19 diámetro activo, distancia desde un extremo del tubo hasta el inicio de la parte activa 2,3 mm. La cavidad interna es un paquete con microesferas de cerámica de  $2,22 \text{ g/cm}^3$ .
7. Semillas de  $^{125}\text{I}$  modelo Braquibac™ producidas por el Laboratorio Bacon. Estas fuentes tienen forma cilíndrica, su longitud es de  $4,675 \pm 0,060$  mm y el diámetro es de  $0,779 \pm 0,013$  mm. Las fuentes tienen un núcleo de plata de  $3,07 \pm 0,10$  mm de longitud y  $0,47 \pm 0,05$  mm de diámetro. Este núcleo se halla encapsulado por una capa de titanio de  $0,09 \pm 0,03$  mm de espesor y de  $0,39 \pm 0,06$  mm de espesor en las puntas. El material radiactivo, Iodo-125, según datos del fabricante se encuentra adsorbido sobre el núcleo de plata.

La cámara **Nuclearlab** [5] se halla herméticamente sellada y contiene argón puro a 1 atmósfera, por lo tanto la lectura de carga no necesita ser corregida por presión y temperatura (no tiene que ser compensada por la densidad de aire). La cámara **Nuclearlab** tiene 12,7 cm de diámetro, 35,56 cm de altura, volumen activo de 1,11 litros y pesa 3,45 kg. Es una cámara diseñada con geometría de aproximadamente  $4\pi$  lo cual ofrece un medio simple, reproducible y confiable para calibrar

una amplia variedad de fuentes  $\gamma$  (con energías superior a 20 keV) y  $\beta$  (con energía superior a 0,9 MeV). La estabilidad de éstas cámaras debe ser analizada periódicamente porque una posible pérdida del gas afecta fuertemente la sensibilidad.

La cámara Solydes tiene un diseño similar a la Nuclearlab, pero es abierta a la atmósfera y puede ser utilizada con una fuente de alto voltaje de  $-288V$  y un electrómetro o solamente con un electrómetro.

Los electrómetros utilizados operaron en los voltajes mencionados a continuación

MAX-4000	+300V
PTW-UNIDOS	+250V y +300V
Farmer dosimeter 2570/1	+250V y +300V
<sup>1</sup> Keithley Model 35040 Therapy Dosimeter	+300V
<sup>2</sup> Keithley 35617EBS Programmable Dosimeter	+250V y $-250V$
Solydes	+300V

### 2.2.2. Procedimiento

El procedimiento seguido para las calibraciones de cámara-electrómetro de usuarios para una dada fuente consistió en realizar mediciones en el sistema patrón para la obtención de la tasa de kerma en aire de referencia y luego hacer mediciones en el equipo del usuario para el cálculo del factor de calibración.

La AAPM Task Group N° 43 [6,7] es un protocolo de dosimetría de braquiterapia el cual muestra que la tasa de kerma en aire de referencia de una fuente,  $S_k$ , puede ser calculada como:

$$S_k(\mu Gy m^2 h^{-1}) = N_{S_k}(\mu Gy m^2 h^{-1} A^{-1}) \times FCE(A R dg^{-1}) \times Lect\ elec \times C_{T,P} \quad (1)$$

donde

$N_{S_k}$  es el factor de calibración para el equipo patrón y es dado por el ADCL.

FCE es el factor de calibración del electrómetro.

$C_{T,P}$  es un factor utilizado para cámaras abiertas a la comunicación con la atmósfera.

La cámara fue calibrada en el ADCL para 1 atmósfera (760 Torr, o 101,3 kPa) y 20°, entonces el uso del equipo en otras condiciones requiere una corrección. Para cámaras tipo pozo presurizadas no es necesario efectuar correcciones por densidad de aire

El factor de corrección por presión y temperatura es

$$C_{T,P} = \frac{273,15 + T}{293,15} \times \frac{760}{P} \quad (2)$$

Con respecto al factor de calibración del electrómetro, este vale 1 para el equipo patrón, pero para el usuario se calibra el conjunto cámara-electrómetro, no por separado.

El factor de calibración para el equipo del usuario,  $N_{S_k}$ , se calcula como el cociente de la tasa de kerma en aire de referencia obtenida con el equipo patrón a la correspondiente corriente colectada por la cámara, corregida a la densidad del aire en 1 atmósfera (760 Torr o 101,3 kPa) y 20°C si corresponde.

Es importante recordar que  $N_{Sk}$  es un factor válido solamente para la cámara calibrada y tiene unidades de  $\mu\text{Gym}^2\text{h}^{-1}\text{A}^{-1}$ .

Ninguna corrección es realizada por el Laboratorio Acreditado por humedad del aire cuando la misma se halla entre el 20% y 80% [8].

### 2.2.1 Obtención de $S_k$

Para la realización de estas mediciones se utilizó la instrucción de trabajo titulada ***“Calibración con cámara de pozo patrón de cámaras de usuarios para fuente de  $^{137}\text{Cs}$  utilizadas en braquiterapia”***.

La cámara y el electrómetro patrón fueron colocados en el lugar de medición durante 24 horas para lograr equilibrio térmico. La cámara fue ubicada como mínimo a 1 metro de paredes, techo y piso para tener mínima dispersión de fotones.

Se colocó un termómetro en el interior de la cámara y se registró la temperatura luego de su estabilización. Posteriormente se introdujo un portafuentes, el cual mantuvo a la fuente con su eje longitudinal paralelo al eje cilíndrico de la cámara.

Se midió la carga acumulada de fuga (en la escala más baja y durante 30 segundos) y la carga acumulada para cada fuente en una posición y en la polar opuesta. Se realizaron 10 mediciones, durante 15 segundos, que no fueran ni monótonamente crecientes ni decrecientes para cada posición de la fuente y se tomó un promedio. La carga acumulada fue corregida por temperatura ambiente y presión.

Utilizando la ecuación 1, 2 y el factor de calibración dado por el ADCL se calculó el  $S_k$  para cada semilla de  $^{125}\text{I}$  y para el tubo de  $^{137}\text{Cs}$ .

### 2.2.2 Obtención del $N_{Sk}$

Para la realización de estas mediciones se utilizó la instrucción de trabajo ***“Calibración con cámara de pozo patrón de fuentes de  $^{137}\text{Cs}$  y  $^{125}\text{I}$  utilizadas en braquiterapia”***.

La carga acumulada fue medida para diferentes fuentes en el punto de la cámara de máxima respuesta. Para las cámaras Nuclearlab y Solydes dicha posición fue encontrada moviendo la fuente cada 0,5 cm a lo largo del eje de la cámara, dentro del portafuentes, y registrando la lectura del electrómetro. Los portafuentes tenían marcadas líneas para indicar la posición del tubo de  $^{137}\text{Cs}$  o de la semilla de  $^{125}\text{I}$  respecto al fondo de la cámara.

Para cada posición se realizaron 10 mediciones de carga acumulada que no fueran ni monótonamente creciente ni decreciente. El periodo de medición dependió de la factibilidad de cada electrómetro. Las mediciones estuvieron dentro del  $\pm 0,5\%$  de la lectura promedio. Se graficó la lectura en función de la posición y se observó un plateau de aproximadamente 1 cm de longitud. La posición de máxima respuesta fue tomada en el punto medio de dicha región.

Una vez determinadas dichas posiciones se procedió a realizar las mediciones para el cálculo del factor de calibración.

El procedimiento de medición fue el mismo que el descrito en el punto 2.2.1.

Para el Keithley Programmable las mediciones de carga fueron realizadas en periodos de 60 segundos, para el resto de los electrómetros la carga de fuga se acumuló durante 30 segundos y la carga con fuente se acumularon durante 15 segundos.

Las mediciones fueron repetidas en total 3 veces desarmando todo el sistema de medición.

Se calculó el factor  $N_{sk}$  para cada cámara-electrómetro y para las semillas de  $^{125}\text{I}$  y el tubo de  $^{137}\text{Cs}$ . Este factor se despejó de la ecuación 1. Para las semillas se tomó un valor promedio de los factores de calibración.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSION

#### 3.1. Tubo de $^{137}\text{Cs}$

En la Tabla I se muestran los valores de la corriente neta promedio para las dos posiciones de la fuente mencionadas previamente, corregidas por presión y temperatura fue necesaria.

También muestra el factor de calibración y la respuesta para diferentes equipamientos a +300V. La fuente utilizada fue el tubo de cesio patrón con un  $S_k$  de  $53,22 \mu\text{Gy m}^2\text{h}^{-1}$ .

El factor de conversión de tasa de kerma en aire de referencia a actividad aparente para tubos de  $^{137}\text{Cs}$  (3M o Amersham) es de  $2,873 \text{ U/mCi}$ .

**Tabla I. Corriente neta, factor de calibración y respuesta para diferentes equipamientos a +300V para el tubo de cesio.**

Equipo	SOLY-PTW (soporte 1)	SOLY-PTW (soporte 2)	SI MAX <sub>1</sub>	NUC-PTW	NUCL-KEITH <sub>1</sub>	NUCL-MAX <sub>1</sub>	SOLY-SOLY <sub>2</sub>	SI PTW	NUC-2570	SI MAX <sub>2</sub>	NUC-PTW
Ineta promedio (A)	1,89E-10	1,89E-10	1,06E-10	1,84E-10	1,85E-10	1,85E-10	1,89E-10	1,06E-10	1,84E-10	1,05E-10	1,84E-10
$N_{Sk}$ ( $\mu\text{Gy m}^2\text{h}^{-1} \text{ A}^{-1}$ )	2,81E+11	2,82E+11	5,02E+11	2,89E+11	2,88E+11	2,88E+11	2,81E+11	5,01E+11	2,89E+11	5,48E+11	2,88E+11
% $N_{Sk}$ relativo SI-MAX <sub>1</sub>	-44,01	-43,87	0,00	-42,45	-42,56	-42,67	-43,99	-0,07	-42,45	9,16	-42,56
Respuesta cámara (nA/Ci)	10,33	10,30	5,78	9,98	9,99	10,02	10,33	5,79	9,98	5,84	10,01

Según el Manual de Instrucciones de la cámara Nuclearlab, la respuesta típica para Cesio-137 es  $16,62 \text{ nA/Ci}$  y para Iodo-125 es  $34,4 \text{ nA/Ci}$ .

De acuerdo al Manual del usuario de la cámara Standard Imaging la respuesta típica para Cesio-137 es  $5,6 \text{ nA/Ci}$  y para Iodo-125 es  $5,4 \text{ nA/Ci}$ .

En la Tabla II se muestran los valores de corriente neta promedio para el tubo de cesio, el factor de calibración y la respuesta para diferentes equipamientos. Esto se realizó para +250V y -250V.

**Tabla II. Corriente acumulada, factor de calibración y respuesta para diferentes equipamientos a +250V y -250V para el tubo de cesio.**

	NUC-PTW (+250V)	NUC-2570 (+250V)	HDR-KEIT <sub>2</sub> (+250V)	HDR-KEIT <sub>2</sub> (-250V)
Ineta promedio (A)	1,85E-10	1,81E-10	1,05E-10	1,05E-10
$N_{Sk}$ ( $\mu\text{Gy m}^2\text{h}^{-1} \text{ A}^{-1}$ )	2,88E+11	2,94E+11	5,05E+11	5,06E+11
% $N_{Sk}$ relativo SI MAX	-42,56	-41,38	0,66	0,76

Respuesta cámara (nA/Ci)	9,99	9,79	5,68	5,68
--------------------------	------	------	------	------

### 3.2. Semillas de <sup>125</sup>I modelo Braquibac™.

En la Tabla III se muestran valores de corriente promedios para semillas de Iodo-125 también se muestra el factor de calibración y la respuesta para diferentes equipamientos para +300V. Además se muestran los valores suministrados por el Laboratorio Bacon, productor de las semillas modelo Braquibac™. Dicho Laboratorio posee una cámara y electrómetro Solydes. Para las semillas los valores de  $S_k$  variaron entre 0,845 y 0,873  $\mu\text{Gym}^2\text{h}^{-1}$ . El factor de conversión de tasa de kerma en aire de referencia a actividad aparente para todas las fuentes de <sup>125</sup>I es de 1,270 U/mCi.

**Tabla III. Factor de calibración y respuesta para diferentes equipamientos a +300V para 5 semillas de Iodo-125 Braquibac™.**

	SOL-PTW	SI MAX <sub>1</sub>	SI MAX <sub>2</sub>	SI-KEIT <sub>2</sub> +250V	SI-KEIT <sub>2</sub> -250V	LAB BACON	NUCL-PTW	NUCL-MAX <sub>1</sub>	NUCL-KEIT <sub>1</sub>
Ineta promedio (A)	3,28E+11	2,68E+11	2,78E+11	2,70E+11	2,70E+11	4,05E+11	4,12E+11	4,12E+11	4,24E+11
N <sub>Sk</sub> ( $\mu\text{Gy m}^2 \text{h}^{-1} \text{A}^{-1}$ )	2,82E+11	2,30E+11	2,39E+11	3,33E+11	2,32E+11	3,48E+11	3,54E+11	3,55E+11	3,64E+11
% N <sub>Sk</sub> relativo SI-MAX <sub>1</sub>	22,59	0	3,78	0,83	0,96	51,23	53,90	54,04	58,32
Respuesta (nA/Ci)	4,66	5,69	5,46	5,47	5,47	3,65	3,68	3,74	3,61

## 4. CONCLUSIONES

El Laboratorio de Braquiterapia prestará un importante servicio en la calibración de cámaras-electrómetros y fuentes de braquiterapia. De esta forma, cada centro médico podrá calcular la tasa de kerma en aire de referencia de sus fuentes.

En cuanto a las respuestas de los equipos para las diferentes fuentes, se concluye que los resultados obtenidos para la cámara Standard Imaging están en acuerdo con los del Manual del usuario. Sin embargo las respuestas obtenidas para la cámara Nuclearlab tienen diferencias de un 40% y 90% para Iodo y Cesio respectivamente, respecto a los valores que figuran en el Manual.

Las respuestas de las cámaras Solydes y Nuclearlab con diferentes electrómetros, utilizando la fuente de Cesio-137 son muy similares. En cambio las diferencias con la cámara Standard Imaging son de hasta un 80%.

Las diferencias de las respuestas de los diferentes equipos para las semillas de Iodo-125, con respecto a la cámara patrón son aproximadamente de un 22% para la Solydes y de un 54% para la Nuclearlab.



Se concluye que las cámaras Nuclearlab y Solydes tienen mayor sensibilidad para las fuentes de Cesio-137 con respecto a la cámara HDR 1000 Plus de Standard Imaging, mientras que ésta última tiene mayor sensibilidad para las semillas de Iodo-125, bajas energías. Esto se debe fundamentalmente al diseño de cada cámara.

Por otro lado, se concluye que no hubo variaciones significativas en las respuestas para una cámara con diferentes electrómetros a diferentes voltajes y polaridad.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Gustavo Montaña y a la Licenciada Silvia Thorp por su colaboración en la realización de las mediciones.

## REFERENCIAS

1. Kutcher, G.J. "Comprehensive QA for radiation oncology: Report of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group 40", *Med. Phys.* **21(4)**, p. 581-618 (1994).
2. Nath. Et al., "Code of Practice for Brachytherapy Physics, Radiation Therapy Committee Task Group N° 56", *Med. Phys.* **24(10)**, p. 1557-1598 (1997).
3. Manual de la cámara HDR 1000 Plus Standard Imaging, Middleton, Wisconsin, (2004).
4. IAEA-TECDOC-1274- Calibration of photon and beta ray sources used in brachytherapy, Viena, Austria (2002).
5. Instruction Manual Sweet Spot Re-Entrant Ionization Chamber. Model 34-070 5000. Published Nuclear Associates Div. of VICTOREEN. INC, (1998).
6. Nath, R., Anderson, L.L. et al. "Dosimetry of interstitial brachytherapy sources: Recommendations of the AAPM Radiation Therapy Committee Task Group N° 43", *Med. Phys.* **22(2)**, p. 209-235 (1995).
7. Rivard, M.J., Coursey, B.M., DeWerd, L.A., Hanson, W.F., Huq, M.S., Ibbot, G.S., Mitch, M.G., Nath, R., Williamson, J.F. "Update of AAPM Task Group N° 43 Report: A revised AAPM protocol for brachytherapy dose calculations", *Med. Phys.* **31(3)**, p. 633-674 (2004).
8. Bohm, T.D., Griffin, S.L., DeLuca, P.M., DeWerd, A.L. and Jr. "The effect of ambient pressure on well chamber response: Monte Carlo calculated results for the HDR 1000 Plus", *Med. Phys.* **32(4)**, p. 1103-1114 (2005).