

Dosimetría gamma de un Plasma Focus de 4.7 kJ

Gamma dosimetry of a 4.7 kJ Plasma Focus

Dajczgewand J.¹, Raspa V.², Carelli J.³, Knoblauch P.², y Di Lorenzo F.²

¹ Dto. de Física FCEyN, UBA

² Becario Doctoral CONICET Dto. de Física FCEyN, UBA INFIP-PLADEMA

³ Laboratorio de Dosimetría Física, ARN, CAE

En el presente trabajo se muestran y discuten los resultados dosimétricos obtenidos para la radiación X de alta energía (~ 100 keV) generada por un Plasma Focus tipo Mather de 4.7 kJ (30 kV, 10.5 μ F) de energía almacenada, operado empleando mezclas de deuterio y argón. Las mediciones dosimétricas se realizaron utilizando detectores termoluminiscentes TLD 700 (LiF:Mg,Ti con dimensiones típicas: 3 x 3 x 0.89 mm³ cada uno). Los detectores fueron leídos en un equipo marca Harshaw Modelo QS3500. Los resultados obtenidos caracterizan la dosis absorbida en función de la distancia a la fuente y a la posición angular respecto del eje de simetría de los electrodos. La distancia detector-fuente fue variada entre 50 cm y 100 cm. Se exploraron posiciones angulares comprendidas entre $\pm 70^\circ$ respecto del eje de los electrodos.

Palabras Clave: Plasma Focus, Rayos X duros, Dosimetría gamma, TLD

In this paper we present and discuss a dosimetric study of the hard x-ray radiation (~ 100 keV) emitted by a Mather-type Plasma Focus (30 kV, 10.5 μ F). The device was operated at 4.7 kJ of stored energy with an admixture of deuterium and argon as filling gas. The dose measurements were carried out with a set of thermoluminescent detectors TLD 700 (LiF:Mg,Ti; with typical dimensions: 3 x 3 x 0.89 mm³ each). The detectors were processed with a Harshaw QS3500 device. We present results of the dose dependence with the distance to the source as well as the angular position relative to the symmetry axis of the electrodes. The source-detector distance was changed in the range from 50 to 100 cm, and the angular positions were explored between $\pm 70^\circ$ relative to the symmetry axis of the electrodes.

Key Words: Plasma Focus, Hard X rays, Gamma dosimetry, TLD

I. Introducción

Los equipos Plasma Focus pueden optimizarse para ser emisores de pulsos de radiación X de alta energía (~ 100 keV) y muy corta duración temporal (~ 50 ns). Si se trabaja en una atmósfera de deuterio, también pueden ser empleados como fuente pulsada de neutrones de fusión (2.45 MeV)^{1,2}. Por su poder de penetración, intensidad y brevedad, los pulsos X resultan aplicables al ensayo no destructivo de piezas metálicas pequeñas tanto estáticas^{3,4,5} como en rápida rotación⁶. También pueden ser empleados como radiación de sondeo en recintos metálicos^{7,8}.

Debido al amplio espectro de potenciales aplicaciones de este tipo de fuentes X no radioactivas, resulta interesante caracterizarlas desde el punto de vista dosimétrico.

La dosis X emitida por equipos Plasma Focus, fue medida con anterioridad empleando detectores termoluminiscentes (TLD). Pueden citarse entre otros, los trabajos de Filippov *et. al.*⁹, y Castillo *et. al.*^{10,11}. El primero condujo su investigación en un Plasma Focus tipo Filippov de 50 kJ de energía almacenada empleando un espectrómetro de absorción diferencial basado en detectores TLD para caracterizar el espectro de emisión X. Por

su parte, Castillo *et. al.* investigaron la distribución angular de la radiación X de alta energía emitida por equipos Plasma Focus tipo Mather de 2 y 4.8 kJ de energía almacenada.

En el presente trabajo se midió la dosis absorbida en tejido equivalente debida a la radiación X de alta energía emitida por un Plasma Focus tipo Mather de 4.7 kJ de energía almacenada, operado empleando mezclas de deuterio y argón como gas de trabajo. Las mediciones se realizaron empleando detectores TLD 700. Estos detectores son altamente sensibles a la radiación gamma mientras que presentan una muy baja sensibilidad a la radiación neutrónica¹².

II. Metodología experimental

Fuente de radiación X empleada

Como fuente de radiación X de alta energía se empleó un Plasma Focus de cámara compacta tipo Mather de 4.7 kJ de energía almacenada (10.5 μ F, 30 kV)^{6,13}. El mismo fue operado con deuterio dosificado en volumen con un 2.5 % de argón, a una presión total de 4 mbar.

La emisión de rayos X fue monitoreada empleando un fotomultiplicador acoplado ópticamente a un centellador plástico NE102A. El conjunto fue ubicado a 3.9 m

de la pared frontal de la cámara de descargas. La señal entregada por el fototubo diagnóstica la eficiencia de cada disparo en cuanto a la producción de rayos X. Una bobina de Rogowski fue empleada para medir la derivada de la corriente de descarga. Ambas señales fueron registradas empleando un osciloscopio de 2.5 Gs/seg y 300 Mhz de ancho de banda.

Metodología dosimétrica

Las mediciones dosimétricas, cuyos resultados se presentarán en la sección III, fueron realizadas empleando un conjunto de 100 detectores TLD 700 (composición química: LiF:Mg,Ti, dimensiones típicas: $3 \times 3 \times 0.89 \text{ mm}^3$ cada uno).

La lectura de los TLD se realizó mediante un equipo Marca Harshaw Modelo QS3500. Durante la lectura de cada detector, se aplicó una rampa térmica de tasa $10^\circ\text{C}/\text{seg}$, elevando la temperatura del mismo desde 23°C (preheating) hasta 300°C . Para el borrado, en cambio, se los expuso sucesivamente a 400°C y 100°C por el lapso de una y tres horas respectivamente.

La ecuación (1) permite calcular la dosis (D) registrada por cada detector, a partir de la lectura (L) correspondiente¹⁴:

$$D = \frac{L - L_o}{f} \quad (1)$$

donde L_o corresponde a la lectura promedio de tres TLD que no fueron irradiados y f es un factor de conversión de Kerma a dosis. Este último puede ser calculado a partir de la ecuación (2):

$$f = \frac{L_{Cal} - L_o}{K} \quad (2)$$

donde L_{Cal} representa la lectura de un detector que fue irradiado en condiciones controladas (lapso y distancia fuente-detector fijas) empleando una fuente calibrada y K indica el Kerma de la fuente empleada.

Las componentes relevantes del espectro de emisión X del Plasma Focus empleado, se localizan entre 50 y 150 keV¹⁵. Para energías comprendidas en el rango entre 20 keV y 1 MeV, puede asumirse que la respuesta de los TLD 700 no presenta dependencia considerable con la energía de la radiación incidente¹⁶. De acuerdo con esto, la calibración de los detectores se realizó empleando una fuente de ^{137}Cs ($\sim 661 \text{ keV}$) calibrada en Kerma libre en aire. Para ello los detectores se irradiaron durante 30 minutos ubicándolos a 1 m de la fuente. A fin de asegurar que la exposición de los detectores se realice siempre en condiciones de equilibrio electrónico, los mismos fueron dispuestos en contenedores plásticos adecuados¹⁴. El desvío estadístico de las lecturas individuales de los TLD empleados, permite estimar que la incerteza en la señal recogida para cada detector es del 6%.

Dosis X sobre el eje de simetría

En la figura 1 se muestra un esquema simplificado del dispositivo utilizado para realizar las mediciones. En ella se observa un banco óptico dispuesto paralelamente al eje de simetría de los electrodos y sobre el cual

está montado un posicionador. Este permite fijar los detectores a diversas distancias de la fuente, siempre a lo largo del eje de simetría de los electrodos. La cámara de descargas se encuentra recubierta lateralmente por un blindaje de bronce de 16 mm de espesor. La distancia d corresponde a la comprendida entre la pared frontal de la cámara de descargas y el contenedor. Durante el desarrollo de las mediciones fue fijada en 40 cm, 60 cm. y 80 cm respectivamente. Esta elección equivale a establecer distancias fuente – detector iguales a 53 cm, 73 cm y 93 cm. Dichas mediciones fueron realizadas empleando 80 TLD ubicados en un contenedor plástico conformando un arreglo rectangular plano. El mismo se fijó al posicionador con su plano ortogonal al eje de simetría de los electrodos y centrado respecto del mismo.

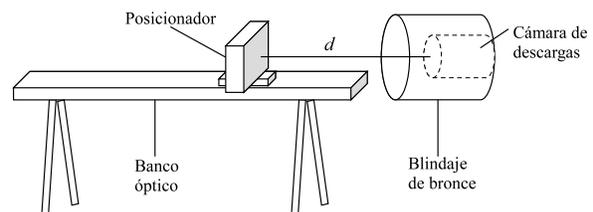


Figura 1. Esquema simplificado del dispositivo experimental empleado para la medición de la dosis X a lo largo del eje de simetría de los electrodos.

Dependencia angular de la dosis X

La figura 2 presenta el diseño experimental empleado para la medición de la dependencia angular de la dosis respecto del eje de simetría de los electrodos. En ella se distinguen la cámara de descargas y la disposición implementada para los detectores. Como muestra la figura, los detectores se ubicaron concéntricamente con la posición de la fuente dentro de la cámara de descargas, a dos distancias radiales diferentes: 54 y 74 cm respectivamente. En cada posición se ubicó un contenedor plástico con tres TLD 700, estimándose la dosis correspondiente como el promedio de los registros individuales.

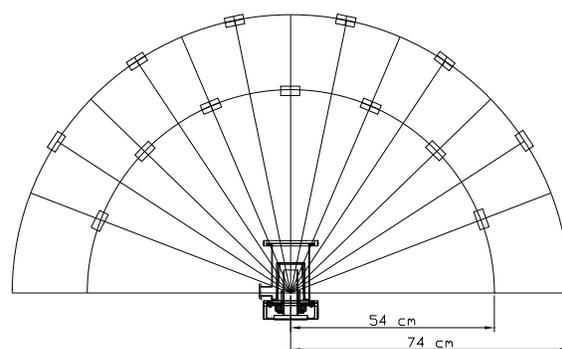


Figura 2. Esquema del dispositivo experimental empleado para medir la distribución angular de la dosis de radiación X.

III. Resultados

Dosis X a lo largo del eje

La figura 3 presenta la dosis absorbida en tejido equivalente (mGy), registrada empleando el arreglo rectangular descrito en la sección II. El eje horizontal corresponde a la posición angular de cada una de las columnas del arreglo, medida respecto del eje de los electrodos. En el eje vertical se presenta la dosis correspondiente. Los resultados que muestra la figura 3 corresponden a la dosis absorbida luego de 40 exposiciones sucesivas de los detectores, habiendo ubicado el conjunto a 53 cm de fuente.

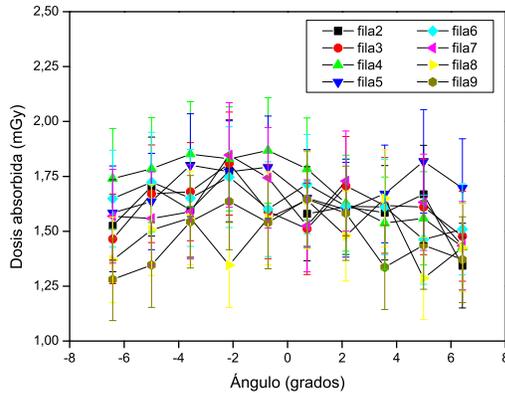


Figura 3. Dosis absorbida en en tejido equivalente, registrada luego de 40 irradiaciones sucesivas del arreglo rectangular de detectores ($d=40$).

Como se observa en la figura 3, las dosis asociadas a cada una de las columnas del arreglo son indistinguibles entre si. La misma característica presentan las dosis asociadas a las filas. Idénticos resultados fueron obtenidos ubicando el conjunto de detectores a 73 y 93 cm de la fuente. De acuerdo con ello, la dosis absorbida a lo largo del eje de los electrodos se determinará, en cada caso, promediando la dosis registrada por cada uno de los detectores del arreglo.

Adicionalmente, los resultados mostrados en la figura 3 indican que la dosis a 53 cm de la fuente, no varía para semiángulos menores a 6° . Equivalentemente, se determinaron semiángulos máximos de 4° y 3° para 73 y 93 cm de la fuente, respectivamente.

La figura 4 muestra los resultados obtenidos para la dosis absorbida por disparo en función de la distancia fuente – detector.

Dependencia angular de la dosis X

La figura 5 muestra el gráfico de la distribución angular, respecto al eje de simetría de los electrodos, de la dosis absorbida por disparo para las dos distancias de irradiación consideradas. Los resultados obtenidos son consistentes con que la dosis absorbida es mucho mayor sobre el eje de simetría de los electrodos, que para posiciones angulares alejadas de él. Ambas mediciones muestran que existe un rango angular donde la dosis registrada de-

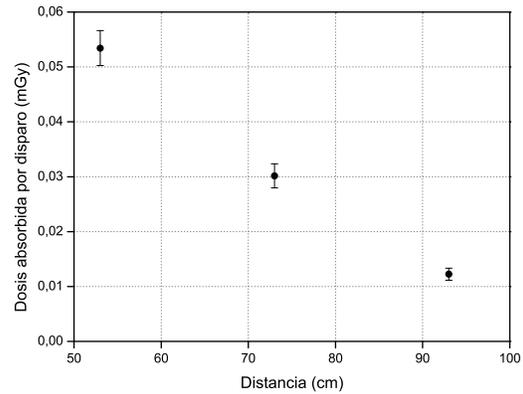


Figura 4. Dosis absorbida por disparo en función de la distancia fuente – detector.

cae respecto de su valor máximo central y fuera del cual tiende a crecer nuevamente.

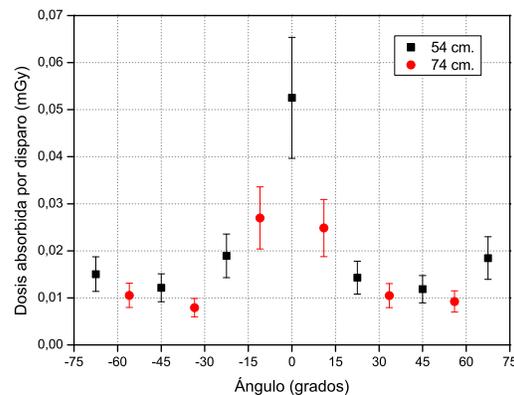


Figura 5. Dosis absorbida por disparo en función del ángulo respecto al eje de simetría de los electrodos para dos distancias de irradiación diferentes.

La figura 6 muestra un detalle de la cámara de descargas, la cual está construida en acero inoxidable. En su interior pueden verse el electrodo central (ánodo de cobre), el electrodo externo (cátodo de bronce) y un aislante que los separa en su base. Adicionalmente se destacan las direcciones que subtienden ángulos de 45° y 70° respecto del eje de simetría de los electrodos. Por las características geométricas y constructivas de la cámara, así también como por la ubicación espacial de la fuente, la radiación debe atravesar materiales y espesores muy distintos antes de su registro. Como lo ejemplifica la figura 6, un detector dispuesto 45° del eje recibe radiación que debió atravesar al menos 3.6 mm de cobre y 3.4 mm de acero inoxidable; mientras que sobre uno dispuesto a 70° del eje, inciden fotones atenuados en 2.8 mm de cobre y 2.7 mm de acero inoxidable. Esta diferencia de atenuaciones del campo de radiación, puede justificar que la dosis correspondiente a 70° resulte mayor que aquella medida a 45° .

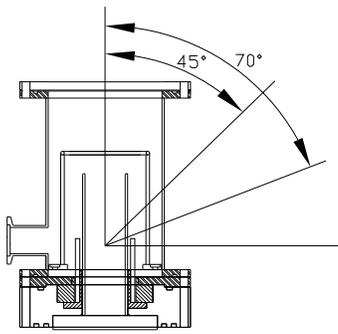


Figura 6. Detalle de la cámara de descargas. Se destacan las direcciones que subtienen ángulos de 45° y 70° respecto del eje de simetría de los electrodos.

IV. Conclusiones

Se midió la dosis absorbida en tejido equivalente debida a la radiación X de alta energía emitida por un Plasma Focus tipo Mather de 4.7 kJ, empleando TLD 700.

Sobre el eje de simetría de los electrodos y para distancias a la fuente comprendidas en el rango entre 53 y 93 cm, la dosis promedio decae con la distancia a la fuente de emisión y es uniforme para semiángulos menores a 3° .

Respecto de la dependencia angular de la dosis, se observó que la mayor fluencia de radiación X se registra en la dirección del eje de los electrodos y que existe un rango angular (de $\sim 20^\circ$) dentro del cual la dosis disminuye simétricamente respecto del valor máximo central.

La geometría y materiales de construcción de la cámara y sus componentes, son un factor de peso en la determinación de las características dosimétricas del campo de radiación.

Referencias

- 1 - Mather J. W., *Dense Plasma Focus, in Methods of Experimental Physics 9 Part B*, págs. 187–249, edited by Lovberg H. and Griem H. R., Academic Press, New York and London (1971).
- 2 - Bernard A., Bruzzone H., Choi P., Chuaqui H., Gribkov V., Herrera J., Hirano H., Krejci A., Lee S., Luo C., Mezzetti F., Sadowski M., Schmidt H., Ware K., Wong C. S., and Zoita V. *Moscow Physical Society Journal* **8**, 97 (1998).
- 3 - Moreno C., Clausse A., Martínez J., Llovera R., Tartaglione A., Vénere M., Barbuzza R., and Del Fresno M. *AIP Conf. Proc.* **563**, 300 (2000).
- 4 - Moreno C., Clausse A., Martínez J., Llovera R., and Tartaglione A. *Nukleonika* **46**, 33 (2001).
- 5 - Moreno C., Vénere M., Barbuzza R., Del Fresno M., Ramos R., Bruzzone H., Florido P., González J., and Clausse A. *Braz. J. Phys.* **32**, 20 (2002).
- 6 - Raspa V., Sigaut L., Llovera R., Cobelli P., Knoblauch P., Vieytes R., Clausse A., and Moreno C. *Braz. J. Phys.* **34**, 1696 (2004).
- 7 - Moreno C., Raspa V., Sigaut L., Vieytes R., and Clausse A. *App. Phys. Lett* **89**, 091502 (2006).
- 8 - Raspa V., Di Lorenzo F., Knoblauch P., Lazarte A., Tartaglione A., Clausse A., and Moreno C. *PMC Physics A* **2**, 5 (2008).

- 9 - Filippov N. V., Filippova T. I., Karakin M. A., Krauz V. I., Tykshaev V. P., Vinogradov V. P., Bakulin Y. P., Timofeev V. V., Zinchenko V. F., Brzosko J. R., and Brzosko J. S. *IEEE Trans. Plasma Sci.*, **24**, 1215 (1996).
- 10 - Castillo–Mejía F., Milanese M. M., Moroso R. L., Pouzo J. O., and Santiago M. A. *IEEE Trans. Plasma Sci.* **29**, 921 (2001).
- 11 - Castillo F., Herrera J. J. E., Gamboa I., Rangel J., Golzarri J. I., and Espinosa G. J. *Appl. Phys.* **101**, 013303 (2007).
- 12 - Horowitz Y. S. and Yossian D. *Radiat. Prot. Dosim.* **60**, No. 1, Chapter 3, (1995).
- 13 - Moreno C., Bruzzone H., Martínez J., and Clausse A. *IEEE Trans. Plasma Sci.* **28**, 1735 (2000).
- 14 - Attix F. H., *Introduction to radiological physics and radiation dosimetry*, Jonh Wiley & Sons, New York, (1986).
- 15 - Raspa V., Moreno C., Sigaut L., and Clausse A. *Journal of Applied Physics* **102**, 123303 (2007).
- 16 - Luo L. Z., Velbeck K. J., and Rotunda J. E. *Radiat. Prot. Dosim.* **101**, 211 (2002).