



## ESTUDIO DE LA ANISOTROPÍA DE UNA FUENTE DE Am-Be DE 111GBq

R. Méndez-Villafañe<sup>1,♦</sup>, E. Gallego Díaz<sup>2</sup>, A. Lorente Fillol<sup>2</sup>, S. Ibáñez Fernández<sup>2</sup>, J.E. Guerrero Araque<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Laboratorio de Metrología de Radiaciones Ionizantes, CIEMAT, Madrid

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Nuclear, ETSII-UPM, Madrid

### RESUMEN

Se ha estudiado la anisotropía de una fuente de Am-Be de 111 GBq (3Ci) mediante el uso de un pequeño motor que permite girar paso a paso la fuente situada en su posición de irradiación habitual. Las medidas se han realizado con un contador proporcional de <sup>3</sup>He alojado en el interior de una esfera moderadora de 8" correspondiente a un sistema de espectrometría de esferas Bonner. Se reportan los resultados obtenidos y el factor de anisotropía determinado para esta fuente.

**Palabras claves:** Fluencia neutrónica, neutrón, ciclotrón, TLDs, activación

### ABSTRACT

The anisotropy of an Am-Be source of 111 GBq (3Ci) has been studied using a small engine that allows rotate step by step the source located in its usual position of irradiation. Measurements were performed with a <sup>3</sup>He proportional counter housed inside a 8" moderating sphere belonging to a spectrometry system of Bonner spheres. The obtained results and the determined anisotropy factor for this source have been reported.

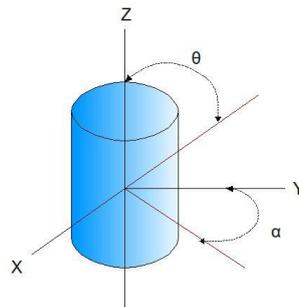
**Key Words:** Neutron source, neutron, anisotropy, Am-Be.

### 1. Introducción

Las fuentes isotópicas de <sup>241</sup>Am-Be y de <sup>252</sup>Cf son las recomendadas la norma ISO-8529-2 [1] para la calibración de monitores y dosímetros neutrónicos. Se trata de fuentes neutrónicas alojadas habitualmente en cápsulas dobles cilíndricas de diferentes dimensiones dependiendo de su tasa de emisión, pudiendo considerarse las segundas como prácticamente puntuales a efectos prácticos, ya que sus dimensiones normalmente no pasan de 7,8 mm de diámetro por 10 mm de altura. Sin embargo, las de <sup>241</sup>Am-Be presentan una cierta anisotropía, debido a su tamaño, que puede ser de hasta 30 mm de diámetro por 60 mm de altura en las más grandes, y a su geometría cilíndrica, unido a las inhomogeneidades de los materiales que constituyen la fuente, tanto en la parte activa como en la cápsula.

---

♦ [roberto.mendez@ciemat.es](mailto:roberto.mendez@ciemat.es)



**Fig. 1** Sistema de coordenadas considerado para analizar la anisotropía de la fuente.

Si consideramos un sistema de coordenadas esféricas con el centro de la fuente como origen del mismo, Fig.1, tendremos dos posibles anisotropías correspondientes a los dos ángulos que definimos. Por un lado la anisotropía dependiente del ángulo polar,  $\alpha$ , y por otro lado la dependiente del ángulo azimutal,  $\theta$ . En el primer caso, debido a la supuesta geometría de cilíndrica de la fuente será poco importante, si bien será medida. En el segundo caso será más importante y dará lugar a que sea necesario introducir el factor de anisotropía de una fuente,  $F_I(\theta)$  que se determina habitualmente para  $\theta = 90^\circ$ , que es la situación más frecuente de medida, es decir, con el detector a una cierta distancia de la fuente sobre el plano XY.

El factor de anisotropía puede ser definido como la relación entre la fluencia neutrónica en un punto de una línea desde el centro de la fuente y haciendo un ángulo  $\theta$  con respecto al eje de la fuente cilíndrica,  $\Phi_\theta$ , y la fluencia promediada sobre todos los puntos localizados a la misma distancia del centro de la fuente  $\Phi_{prom}$ , (ec.1).

$$F_I(\theta) = \frac{\Phi_\theta}{\Phi_{prom}} \quad (1)$$

Así, la fluencia neutrónica para una fuente con una tasa de emisión  $B$  a una distancia  $r$  dependerá del factor de anisotropía  $F_I(\theta)$  como se muestra en la ec.2. [2]

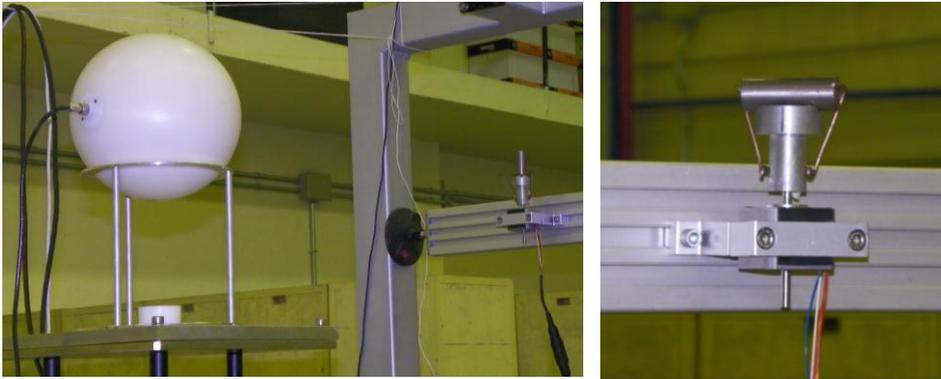
$$\Phi_\theta = \frac{BF_I(\theta)}{4r^2} \quad (1)$$

## 2. Materiales y métodos

El Departamento de Ingeniería Nuclear de la Universidad Politécnica de Madrid cuenta con una sala de irradiación de dimensiones 9m x 16m x 8m en la que se emplea una fuente de  $^{241}\text{Am-Be}$  de 111 GBq (3 Ci) alojada en una doble cápsula cilíndrica de acero inoxidable con dimensiones de 19,05 mm de diámetro y 50,20 mm de longitud. Se trata de una fuente antigua por lo que no se dispone de datos precisos sobre su composición interna. Existen otros trabajos en los que se ha determinado la anisotropía de un extenso catálogo de fuentes neutrónicas con diferentes tamaños [3,4] pero en ninguno de ellos se ha estudiado la anisotropía para las dimensiones de la fuente analizada aquí.

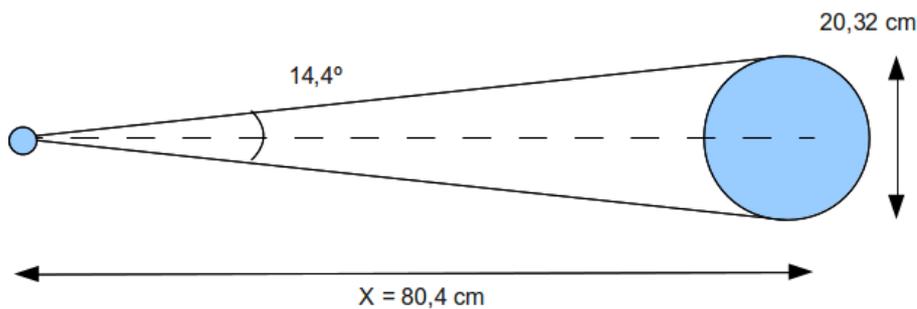
Para estudiar con precisión la anisotropía de dicha fuente se ha diseñado un dispositivo, Fig. 2 que consta de un soporte para la fuente unido al eje de un motor paso a paso cuyo movimiento está controlado por un autómata programable, que permite girar la fuente según una secuencia

previamente establecida. El dispositivo instalado en la bancada se ha situado de forma que la fuente mantiene una posición análoga a la que tiene durante las irradiaciones, lo que permite usar los elementos de posicionamiento del detector con la misma precisión. La fuente con su doble encapsulamiento está alojada a su vez dentro de una cápsula de transporte, que es la que se aprecia en las fotografías de la Fig.2.



**Fig. 2** Fotografías de las disposiciones de la fuente neutrónica para determinar su anisotropía relativa al ángulo  $\alpha$  y al ángulo  $\theta$ . También se observa en la primera fotografía la situación de la esfera de 8" con el detector de  $^3\text{He}$  alojado en su interior.

En las diversas medidas realizadas se ha utilizado la esfera de 8" con el detector activo de  $^3\text{He}$  perteneciente al sistema de espectrometría mediante esferas de Bonner del CIEMAT, situándolo a una distancia de 0,804 m de la fuente, distancia que corresponde al ángulo sólido de  $14,4^\circ$  ( $1,8^\circ \times 8$ ) visto por la esfera de 20,32 cm del detector. El ángulo de  $14,4^\circ$  se ha elegido por ser el múltiplo más adecuado de  $1,8^\circ$ , que es el paso angular mínimo del motor, Fig. 3.



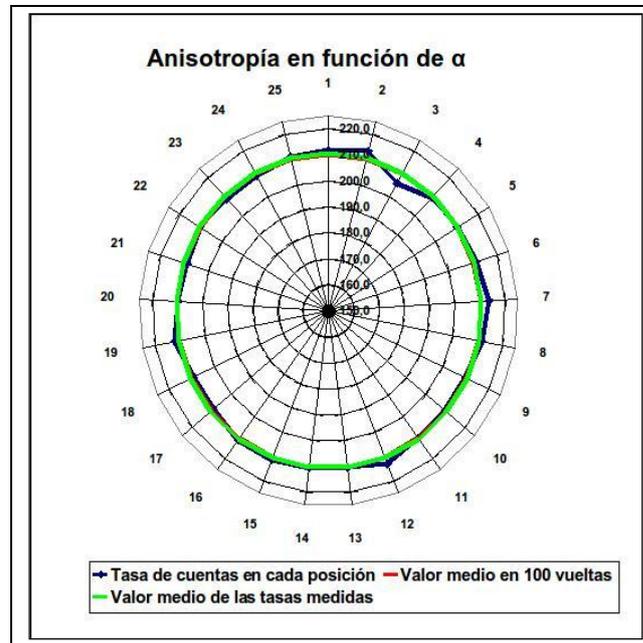
**Fig. 3** Ilustración del cálculo de distancia para la cual el ángulo de  $14,4^\circ$  cubre toda la esfera de 8".

Se han efectuado 25 medidas cubriendo sectores circulares de  $14,4^\circ$ , dando una vuelta completa a la fuente. Se han realizado medidas tanto con la fuente en posición vertical, para determinar la anisotropía con el ángulo  $\alpha$ , como en posición horizontal, para determinar la anisotropía con la variación del ángulo  $\theta$ . Finalmente se ha determinado el factor de anisotropía para  $\theta = 90^\circ$ .

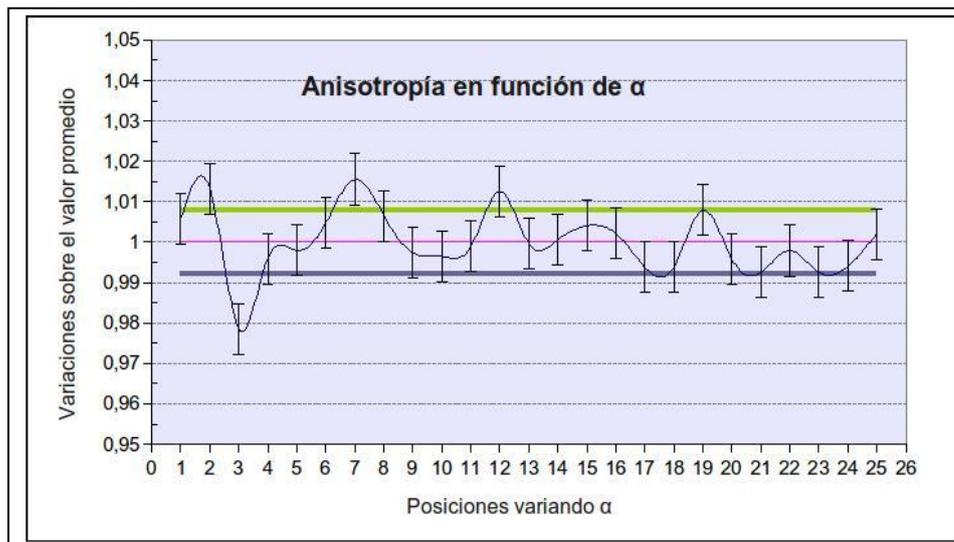
### 3. Resultados

Los resultados para el estudio de la anisotropía dependiente del ángulo  $\alpha$  son los que se muestran en la Fig. 4. Se han comparado las medidas con el detector para cada posición, que corresponde a un intervalo angular de  $14,4^\circ$ , con el promedio para las medidas en todas las posiciones y también para el resultado de girar de forma continua durante un periodo de 1000 s que corresponde aproximadamente a 100 vueltas, tomando registros periódicamente. En este último caso, la medida proporcionada por el detector en cuentas por segundo es de 210,37 con una incertidumbre estadística del 0,3% ( $k=1$  en todos los casos), mientras que el valor promedio para el total de las 25 medidas corresponde a una tasa de cuentas de 210,57 con una desviación máxima del 2,05%.

En la Fig. 5 se muestran estos resultados normalizados sobre el valor promedio para que se aprecie mejor las variaciones para cada posición de medida sobre este valor, incluyendo las incertidumbres estadísticas en cada una de ellas.

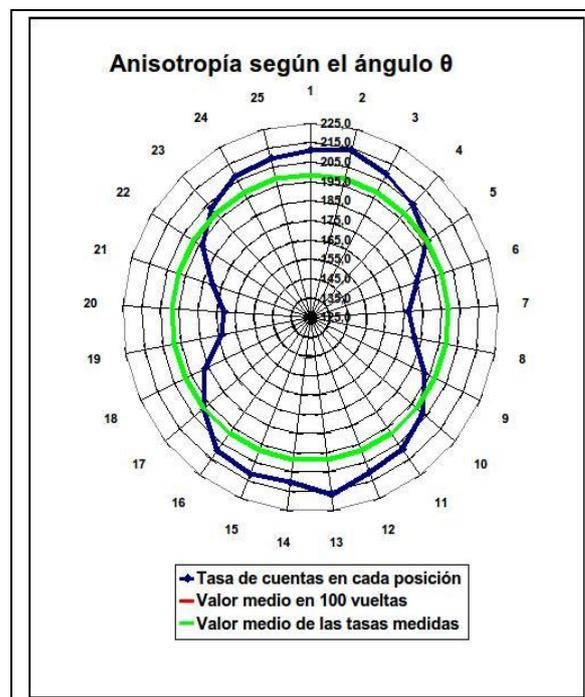


**Fig. 4** Anisotropía en función de la variación del ángulo polar  $\alpha$ , es decir el ángulo de rotación de la fuente cilíndrica.



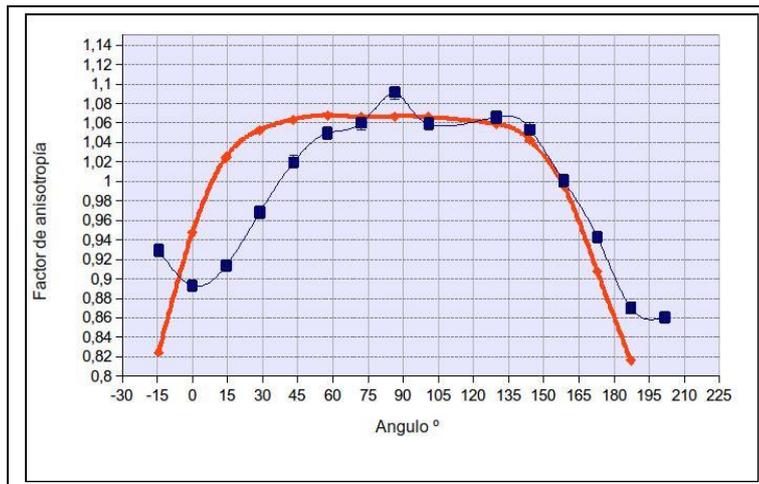
**Fig. 5** Anisotropía en función de la variación del ángulo polar  $\alpha$ . Análisis de las variaciones sobre el valor promedio.

Un estudio similar se ha realizado para la anisotropía variando el ángulo azimutal  $\theta$ , tal y como se aprecia en la Fig.6.



**Fig. 6** Anisotropía en función de la variación del ángulo azimutal  $\theta$ .

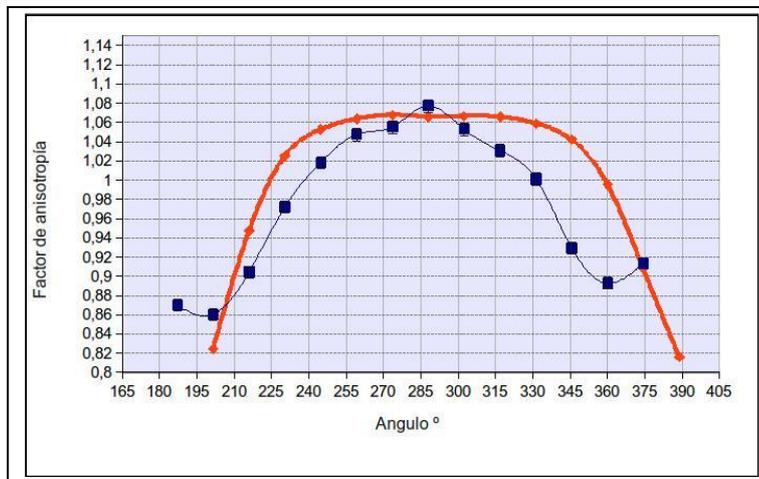
En este caso las variaciones son más acusadas y se pone de manifiesto claramente la geometría cilíndrica de la fuente, con una desviación estándar del 13% sobre el valor promedio obtenido por el detector, 198,65 cps, a partir de las medidas realizadas en 100 vueltas.



**Fig.7** Factor de anisotropía para  $0^\circ < \theta < 180^\circ$ .

Estudiamos a continuación el factor de anisotropía para  $\theta = 90^\circ$ , ec.1, y los resultados son los que se muestran en las Fig.7 y Fig.8. En estas figuras se muestra la anisotropía en función de la variación del ángulo  $\theta$ , para el intervalo  $0^\circ < \theta < 180^\circ$  en la primera de ellas, y el intervalo  $180^\circ < \theta < 360^\circ$ , de modo que se están analizando la base superior y la inferior de la fuente cilíndrica.

También se ha incluido el resultado (en rojo) de una simulación detallada de la fuente de Am-Be con MCNPX [5] que ha permitido validar el modelo de fuente elegido [6].



**Fig.8** Factor de anisotropía para  $180^\circ < \theta < 360^\circ$ .

Para el primer caso tendríamos un valor de  $F_I(90) = 1,091 \pm 0,007$ , mientras que para el segundo caso tendríamos  $F_I(270) = 1,055 \pm 0,007$ . Los resultados reportados por otros autores [3] para la fuente más parecida a la estudiada en este trabajo, que correspondería a la que presenta un encapsulado del tipo X4, de dimensiones 22,4 mm de diámetro por 48,5 mm de altura para una actividad también de 111GBq (3 Ci), son  $F_I(90) = 1,044 \pm 0,003$ .

Mientras la parte inferior de la cápsula que aloja la fuente es lisa, la parte superior presenta un reborde con rosca que permite su manipulación. Estas diferencias en el diseño de las partes superior e inferior de la cápsula podrían explicar en parte las ligeras diferencias en los resultados obtenidos para  $90^\circ$  y  $270^\circ$ .

#### 4. Conclusiones

Se ha estudiado la anisotropía de una fuente de neutrones de Am-Be en su posición de irradiación de 111GBq (3 Ci). Los resultados obtenidos son coherentes con los reportados por otros autores para fuentes de Am-Be en cápsulas de dimensiones similares y el factor de anisotropía obtenido podrá emplearse para mejorar los procedimientos de calibración de equipos. Estos resultados se han comparado también con los obtenidos mediante simulación Monte Carlo.

#### REFERENCIAS

- [1] International Organization for Standardization, Draft International Standard, Reference Neutron Radiations: Calibration fundamentals related to the basic quantities characterizing the radiation field, ISO 8529-2.DIS, 24 February 1998.
- [2] International Organization for Standardization, Draft International Standard, Reference Neutron Radiations: Characteristics and methods of production. ISO 8529-1.DIS, 24 February 1998.
- [3] Bardell, A.G., Burke, M., Hunt, J.B., Tagziria, H., Thomas, D.J. Anisotropy of Emission from Radionuclide Neutron Sources. NPL Report CIRM 24 (1998).
- [4] Tsujimura, N., Yoshida, T. & Momose, T. Calculations of anisotropy factors for radionuclide neutron sources due to scattering from source encapsulation and support structures. Radiation Protection Dosimetry 126, 168-173 (2007)
- [5] Briesmeister, J F, ed, MCNP – A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, version 4B Los Alamos National Laboratory report LA-13709-M (2000).
- [6] Méndez Villafañe, R., Los Arcos Merino, J.M., Guerrero Araque J.E., Ortiz Rodríguez J.M., Martínez Blanco M.R., Vega Carrillo, H.R., Gallego Díaz, E., Lorente Fillol, A., Töre, Candan. <sup>241</sup>Am-Be source term simulation with Monte Carlo methods, VI International Symposium on Radiation Physics, Zacatecas (México) (2010).