

# Determinación del efecto de suma por coincidencia en detectores HPGe de alta eficiencia relativa

Pablo Mendoza [pmendoza@ipen.gob.pe](mailto:pmendoza@ipen.gob.pe), Patricia Bedregal [pbedregal@ipen.gob.pe](mailto:pbedregal@ipen.gob.pe),  
Blanca Torres [btorres@ipen.gob.pe](mailto:btorres@ipen.gob.pe), Marco Ubillús [mubillus@ipen.gob.pe](mailto:mubillus@ipen.gob.pe)

Departamento de Química, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470,  
Lima 41, Perú

## Resumen

Se establece una metodología para evaluar el efecto de suma por coincidencia en detectores HPGe de alta eficiencia, relativa a mínimas distancias de medición a partir de una geometría referencial relacionando sus tasas de conteo normalizadas, determinándose un total de 40 valores correspondientes a 28 radionúclidos de interés.

## 1 Introducción

El efecto de suma por coincidencia, es una de las mayores fuentes de error sistemático en la espectrometría gamma. Tal efecto ocurre cuando 2 o más rayos  $\gamma$  emitidos en coincidencia en el decaimiento de un mismo núcleo, son tomados simultáneamente como un solo pulso dentro del tiempo de resolución del detector. La magnitud de este efecto depende del esquema de decaimiento del radionúclido, de la eficiencia del detector y de la geometría de medición.

La necesidad de elevar los niveles de detección, especialmente en muestras ambientales, trae consigo el uso de geometrías de medición cercanas al detector asociado, en su mayoría de veces, al empleo de detectores de alta eficiencia relativa. Ello aumenta la probabilidad del efecto de suma por coincidencia resultando en errores de 20-50% en detectores de 15% de eficiencia relativa a geometrías cercanas de medición [1] incrementándose considerablemente para cuando se emplea detectores semiconductores tipo pozo o de tipo n de alta eficiencia.

La tasa de conteo normalizada para un pico de energía plena,  $n_i$ , del fotón genérico  $\gamma_i$  emitido por un radionúclido esta dado por:

$$n_i = A I_{\gamma} \varepsilon_i C_i \quad (1)$$

Donde A es la actividad del radioisótopo,  $I_{\gamma}$  es la probabilidad de emisión,  $\varepsilon_i$  es la eficiencia para la energía del fotopico

evaluado y  $C_i$  es el factor de corrección del efecto de suma por coincidencia.

Autores como Menno Blaauw [2] han investigado procedimientos de corrección para tal efecto, siendo el común denominador el uso de expresiones analíticas para  $C_i$  en función de las eficiencias tanto total como intrínseca y de los parámetros de los esquemas de decaimiento.

En el Departamento de Química se ha desarrollado una metodología para evaluar tal efecto, considerando la diferencia relativa de las actividades específicas normalizadas del radioisótopo de interés, calculada para una geometría de medición estándar (GME) de 12,5 mm y una de medición referencial (GMR) de 200 mm.

Se logra determinar un total de 40 valores de autocoincidencia  $\gamma$ - $\gamma$  (como se la conoce también) correspondiente a 28 radionúclidos de interés, corroborando la validez de la metodología implementada mediante muestras de referencia certificada.

## 2 Parte Experimental

Se deposita a partir de soluciones estándares o de compuestos de estequiometría bien definidos, una masa calculada del analito de interés en envase de polietileno de 10 mm de  $\varnothing$  con 50 mg de celulosa como soporte para el caso de soluciones estándares.

Se procede a irradiar el analito a un flujo de  $10^{12}$  n cm<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> mediante el sistema neumático condicionando el tiempo de irradiación a la

obtención de una estadística de conteo con tiempo muerto menor a 2% para ambas geometrías: GME y GMR.

Se realiza la medición en un detector HPGe marca Canberra, de 70% de eficiencia relativa modelo GC7019, tomando en cuenta un lapso de decaimiento acorde y un tiempo de conteo lo suficiente como para obtener una incertidumbre relativa de área <0,5%.

Se reformula la tasa de conteo normalizada de la ecuación 1, para cada fotopico característico en cada geometría empleada por la siguiente ecuación:

$$n_i = \frac{A_n \lambda e^{\lambda t_d} tr / tv}{(1 - e^{-\lambda T_{irrad}})(1 - e^{-\lambda t_r})} \quad (2)$$

Donde:

$A_n$ : área neta del fotopico evaluado

$T_d$ : tiempo de decaimiento

$T_{irrad}$ : tiempo irradiación

$T_r$ : Tiempo real de conteo

$T_v$ : tiempo vivo de conteo

Dado que el valor de A es el mismo y conocidas las demás variables tanto en (1) como en (2) a excepción de  $C_i$  se puede calcular éste último tomando en cuenta que para la distancia fuente-detector de 200 mm (geometría GMR) el valor de  $C_i$  se considera igual a 1, entonces:

$$n_{i(GMR)} = A I \gamma \varepsilon_{i(GMR)} C_{i(GMR)} \quad (3)$$

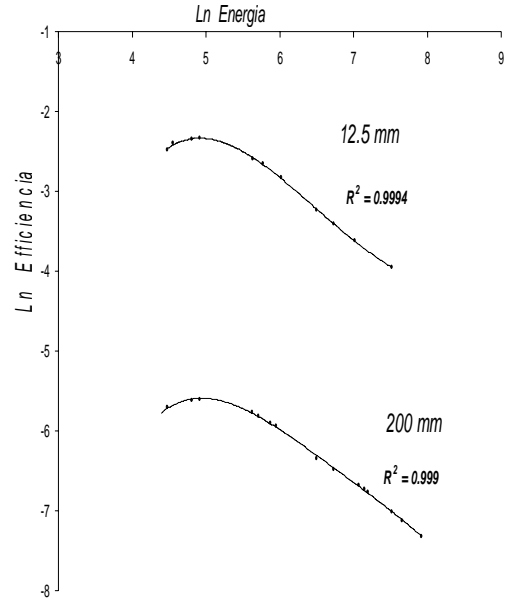
$$n_{i(GME)} = A I \gamma \varepsilon_{i(GME)} C_{i(GME)} \quad (4)$$

Combinando (3) y (4) se tiene:

$$C_{i(GME)} = \varepsilon_{i(GMR)} \frac{\eta_{i(GME)}}{(\eta_{i(GMR)} * \varepsilon_{i(GME)})} \quad (5)$$

Los valores de eficiencia se obtienen de las curvas respectivas determinadas tanto a 200

mm (GMR) y 12,5 mm (GME), tal como se observa en la figura 1.



**Figura 1.** Eficiencia intrínseca del detector Canberra GC7019 a 200 mm y 12,5 mm de distancia.

### 3 Resultados y Conclusiones

Se obtienen los valores de  $C_i$  para los fotopicos de energía  $i$  de los radionúclidos de interés según la ecuación (5). Tales valores se muestran en la tabla 1 con un error expresado como coeficiente de variación (1s) menor al 0,8%

La importancia de la corrección por el efecto de suma por coincidencia se observa en la tabla 2, evaluando los resultados obtenidos de la muestra de referencia certificada cerámica china IAEA-CU-2006-06 mediante la técnica de análisis por activación neutrónica basado en el método de  $K_0$ .

Al comparar los valores experimentales con los de referencia se observa un alto grado de exactitud expresado mediante el parámetro de Z-score ( $-1 < Z\text{-score} < 1$ ) al aplicar las correcciones por  $C_i$  respectivas.

**Tabla 1.** Valores de autocoincidencia  $\gamma$ - $\gamma$  a una geometría de medición de 12.5mm en detector Canberra GC7019.

<i>Radionúclido</i>	<i>Energía</i>	<i>Ci</i>
<i>Ag</i> <sup>110m</sup>	657.7	0.776
<i>Ag</i> <sup>110m</sup>	884.6	0.787
<i>Ag</i> <sup>110m</sup>	1384.3	0.875
<i>As</i> <sup>76</sup>	559.1	0.974
<i>As</i> <sup>76</sup>	657	0.880
<i>Ba</i> <sup>131</sup>	496	0.911
<i>Br</i> <sup>82</sup>	554	0.744
<i>Br</i> <sup>82</sup>	776	0.763
<i>Co</i> <sup>60</sup>	1332.5	0.943
<i>Co</i> <sup>60</sup>	1173.2	0.929
<i>Cs</i> <sup>134</sup>	796	0.877
<i>Eu</i> <sup>152</sup>	1408	0.956
<i>Eu</i> <sup>152m</sup>	841	0.960
<i>Fe</i> <sup>59</sup>	1099	1.034
<i>Fe</i> <sup>59</sup>	1291	1.046
<i>Ga</i> <sup>72</sup>	630	0.799
<i>Ga</i> <sup>72</sup>	834	0.882
<i>K</i> <sup>42</sup>	1524	1.041
<i>La</i> <sup>140</sup>	487	0.829
<i>La</i> <sup>140</sup>	1596	0.870
<i>Mg</i> <sup>28</sup>	843.6	1.011
<i>Mg</i> <sup>28</sup>	1014	1.025
<i>Mn</i> <sup>56</sup>	846.8	1.007
<i>Mn</i> <sup>56</sup>	1810.8	0.898
<i>Mo</i> <sup>99</sup>	739.5	0.897
<i>Na</i> <sup>24</sup>	1368.6	0.942
<i>Np</i> <sup>239</sup>	277.8	0.931
<i>Nd</i> <sup>147</sup>	531	1.000
<i>Pa</i> <sup>233</sup>	312	0.974
<i>Sb</i> <sup>122</sup>	564.3	0.995
<i>Sb</i> <sup>124</sup>	1691	0.892
<i>Sm</i> <sup>153</sup>	103	0.997
<i>Sc</i> <sup>46</sup>	889	0.925
<i>Se</i> <sup>75</sup>	264.6	0.841
<i>Ta</i> <sup>182</sup>	1221	0.999
<i>Tb</i> <sup>160</sup>	879	0.955
<i>W</i> <sup>187</sup>	479.5	0.862
<i>W</i> <sup>187</sup>	685.7	1.009
<i>Yb</i> <sup>175</sup>	396	0.975

Tales valores son específicos para cada detector según la geometría de medición establecida, variando según las dimensiones de la muestra analizada.

**Tabla 2.** Resultados experimentales en mg/kg obtenidos en muestra de referencia cerámica china IAEA-CU-2006-06 según INAA-Ko sin (A) y con (B) factor de corrección  $C_i$  y su comparación con los de referencia.

<i>Elemento</i>	<i>Valor</i>		<i>Valor Certif.</i>	<i>Z-score</i>
	<i>A</i>	<i>B</i>		
<i>Ba</i>	355	366	371±51	-0.1
<i>Co</i>	6.4	6.5	6.6±1.1	-0.1
<i>La</i>	57.7	64.1	68.8±5.4	-0.9
<i>Cs</i>	9.4	10.1	9.4±1.6	0.44
<i>Sc</i>	16.0	16.2	14.9±2.5	0.5
<i>Yb</i>	4.4	4.3	4.0±1.6	0.2
<i>U</i>	6.1	6.1	6.1±0.5	0.0
<i>Sm</i>	10.1	9.5	8.7±1.0	0.8

Tal como se observa en la tabla 1, la evaluación de radionúclidos como el <sup>82</sup>Br en detectores de alta eficiencia sin corrección de  $C_i$ , implica un error sistemático mayor a 25% en caso de emplear métodos paramétricos como el  $K_0$  ó cuando se determinan curvas de eficiencia para análisis de muestras ambientales, careciendo de importancia al usar métodos comparativos.

La elección de la geometría de referencia<sup>1</sup> es fundamental para la validez del método siendo recomendable un mínimo de 200 mm de distancia.

(1) Se puede determinar la geometría adecuada evaluando la actividad absoluta de una fuente de <sup>134</sup>Cs a diferentes distancias empleando en cada caso fuentes patrones de <sup>137</sup>Cs y <sup>54</sup>Mn.

#### 4 Bibliografía

- [1] De Felice P, Angeline P, Fazio A, Biagini R. Fast Procedures for coincidence summing correction. Applied Radiation and Isotopes. 2000; 52:745-52.
- [2] Blaauw M. The use of sources emitting coincident  $\gamma$ -rays for determination of absolute efficiency curves of highly efficient Ge detectors. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A. 1993; 332: 493.