

ESPECTROMETRIA GAMMA, MONOCANAL CON DETECTOR DE NaI (Tl)

Juan ARELLANO

Instituto Peruano de Energía Nuclear Apdo. 1687, Lima 13, Perú.

RESUMEN

Se presenta un estudio de los parámetros del sistema para espectrometría gamma monocanal, a partir de una serie de experiencias que están destinadas a confirmar y dar pautas sobre las normas generales que rigen la Espectrometría Gamma de Centelleo, ya sea en la parte instrumental, como en el análisis espectral. Todos los espectros experimentales fueron obtenidos con el espectrómetro gamma monocanal Berthold de 200 canales y con un detector de NaI (Tl).

ABSTRACT

A study of the system parameters for gamma-ray monochannel spectrometry is presented starting from a series of experiences destined to confirm and to give guide lines about the general specification conducting the Gamma-Ray Scintillation Spectrometry, in the instrumental field as much as in the spectral analysis. All the experimental spectra were obtained by means of a Berthold gamma monochannel spectrometer of 200 channels and a NaI (Tl) detector.

4. INTRODUCCION

El objetivo final de todo estudio espectrométrico, es el análisis espectral, en este caso del espectro gamma de una muestra radiactiva. Para un mayor entendimiento del comportamiento de los espectros ante diferentes variables, se han elaborado espectros de radioisótopos emisores gamma y una serie de experiencias que nos proporcionan, por un lado el conocimiento de los parámetros del sistema espectrométrico tales como: ganancia, ancho de ventana, linealidad del sistema y resolución del detector. Por otro lado, se hace un análisis espectral preliminar, como: variación de la resolución del detector, con la energía del fotopico; desplazamiento del espectro, por variación del voltaje de trabajo del detector; superposición de espectros, etc. cuyos comentarios se dan a continuación.

2. PARAMETROS DEL SISTEMA ESPECTROMETRICO

2.1 GANANCIA

Normalmente los radionucleidos se identifican porque cada uno de ellos posee una energía de emisión característica; para esta identificación juega un papel muy importante un parámetro propio del espectrómetro, la Ganancia, que nos fija los límites energéticos inicial y final (ancho de banda en KeV), que abarcará el espectro total obtenido. El espectrómetro monocanal Berthold utilizado posee 5 ganancias diferentes: 1, 3, 10, 30 y 100, donde cada ganancia está dada para un rango energético definido, que se determina experimentalmente. La Ganancia se escoge de tal forma que la energía característica del radioisótopo (fotopico) en análisis, esté en el rango de energías de la ganancia escogida. Cada espectro que se presenta en este trabajo, se da generalmente con dos ganancias diferentes: 10 y 30.

2.2 ANCHO DE VENTANA

El número de canales (N), con los que se desea trabajar, depende directamente del % de ancho de ventana (V) a usar. Donde el valor de V nos informa sobre el porcentaje de 1 voltio que vale cada canal. En nuestro equipo de trabajo nos dan 7 porcentajes posibles a usar: 5, 10, 20, 30, 50, 75 y 100 % de 1 voltio (200, 100, 50, 33, 20, 13 y 10 canales respect.); para un rango (R) de voltaje espectral de 10 voltios. Es decir: la sumatoria del valor de cada canal, expresado en voltios, debe ser 10 voltios. Así por ej: para un ancho de ventana de 5 %, cada canal vale: $5 \times 1/100 = 0.05$ voltios/canal, por lo que el número total de canales será $N = 10/0.05 = 200$ canales.

Por lo que la cantidad de canales con los que se desea trabajar, depende sólo del % de ancho de ventana y del rango del voltaje del monocanal utilizado y viene dado por la sgte. fórmula:

$$N = 100R/V \quad (1)$$

Generalmente, para los espectrómetros monocanales $R = 10$ volt. la ecuación anterior se reduce a:

$$N = 1000/V \quad (2)$$

2.3 LINEALIDAD DEL SISTEMA

Todo sistema para espectrometría de radiaciones gamma debe poseer linealidad, es decir: debe de existir una equivalencia constante de KeV/canal a través de todo el espectro, de tal modo, que si graficamos energía de la fuente vs. canal, para varias fuentes radiactivas conocidas, resulta una línea recta [1]; de no ser así, se dice que el sistema es no lineal y puede llevarnos a errores en la determinación de la energía del radioisótopo en análisis.

Para la determinación de la linealidad del monocanal se utilizaron los espectros de 5 radionucleidos: Co57, Na22, Cs137, Mn54 y Co60 (fig. 3). Para cada espectro: se determinó el canal del pico y se le asignó su energía real correspondiente, luego se graficó ca-

nal vs. energía real del fotopico (fig. 1), determinándose la recta de calibración [2], cuya ecuación fue ajustada por mínimos cuadrados. Tal calibración se realizó para dos ganancias diferentes: 10 y 30, cuyas rectas son:

$$\text{ganancia 10 : } E = 0.0185(C) + 0.368 \quad F_c = 0.9998 \quad (3)$$

$$\text{ganancia 30 : } E = 0.0062(C) + 0.113 \quad F_c = 0.999998 \quad (4)$$

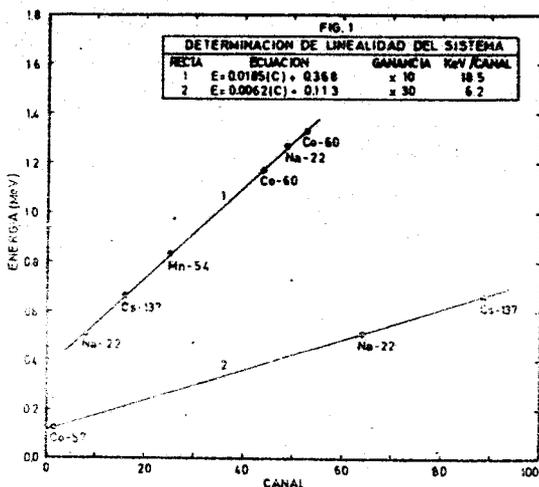
donde : E = Energía calculada (MeV), C = Número de canal y F_c = Factor de correlación.

Los datos [3] y resultados se presentan en la Tabla No. 1 y grafican en la Fig. 1

TABLA 1

Radionucleidos Utilizados para la Calibración del Espectrómetro Gamma Monocanal

RADIO NUCLEIDO	VIDA MEDIA	ENERGIA REAL CANAL	GANANCIA: 10		GANANCIA: 30	
			PICO EN CANAL C	ENERGIA CALCULADA E en MeV	PICO EN CANAL C	ENERGIA CALCULADA E en MeV
Co-57	270 d	0.122	—	—	1.5	0.122
Na-22	2.6 a	0.511	8	0.516	64	0.510
Cs-137	30.1 a	0.662	15.75	0.659	88.5	0.662
Mn-54	312.5 d	0.835	25	0.831	—	—
Co-60	5.26 a	1.173	43.75	1.177	—	—
Na-22	2.6 a	1.275	48.5	1.265	—	—
Co-60	5.26 a	1.332	52.5	1.339	—	—



Con los resultados de tabla No. 1 se puede encontrar las equivalencias de KeV/canal que posee cada ganancia:

$$\text{Ganancia 10: } (1339 - 516) / (52.5 - 8) = 18.49 \text{ KeV/canal}$$

$$\text{Ganancia 30: } (662 - 122) / (88.5 - 1.5) = 6.21 \text{ KeV/canal}$$

Es evidente que estas equivalencias pueden ser deducidas directamente de las rectas de calibración, ya que son precisamente las pendientes de las rectas (3) y (4) respectivas.

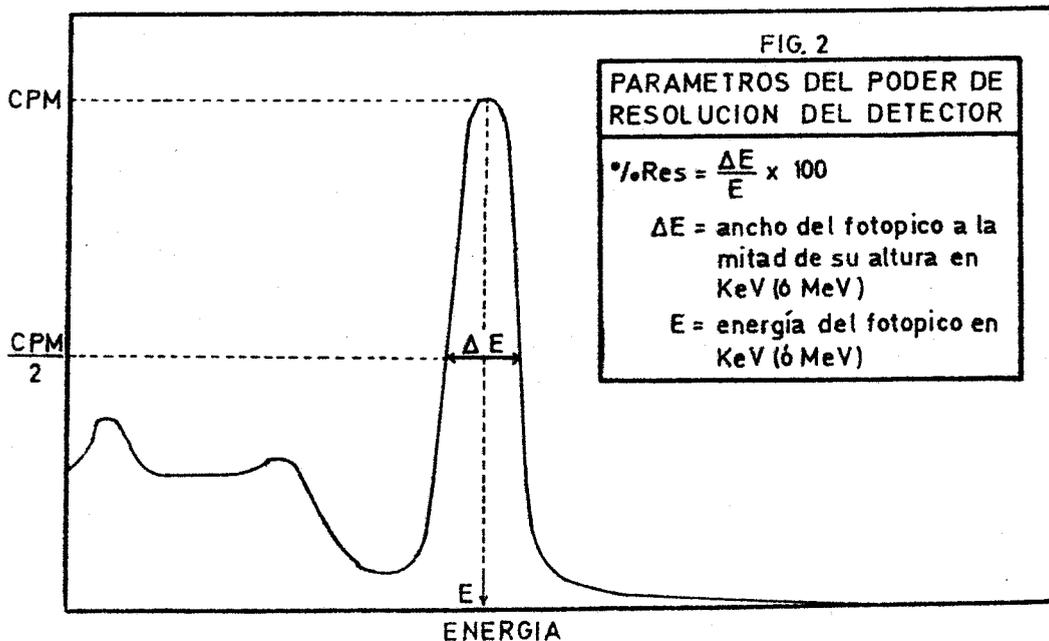
2.4 PODER DE RESOLUCION DEL DETECTOR

Informa sobre la capacidad del detector de distinguir en el espectro gamma la presencia de 2 tipos de rayos gamma de energías muy próximas. Esto depende del ancho del fotopico en análisis; a menor anchura del fotopico, mayor poder de resolución del detector [4]. Por convención, la resolución del detector se expresa en porcentaje:

$$\% \text{ Resolución} = \frac{\Delta E}{E} \times 100 \quad (5)$$

Donde: ΔE = Anchura del fotopico a la mitad de su altura máxima. Ancho expresado en energía (KeV ó MeV)

E = Energía característica del fotopico (KeV ó MeV). Estos parámetros se explican en la fig. 2



Como norma, la resolución de un detector de NaI (TI), se refiere al fotopico del Cs 137 (662 KeV), dependiendo de la forma y tamaño del cristal del NaI (TI). Una segunda forma de expresar la resolución es dar como dato, solamente ΔE (en KeV), e indicar la energía del fotopico al que está referida:

$$\text{Resolución (KeV)} = \Delta E \quad (6)$$

Ej: Para Cs 137 y ganancia 10 (fig. 3a):

$$\text{Resolución (o/o)} = \frac{4.5 \text{ canales} \times 18.49 \text{ KeV/canal}}{662 \text{ KeV}} = 12.6 \text{ o/o}$$

$$\text{Resolución (KeV)} = 4.5 \text{ canales} \times 18.49 \text{ KeV/canal} = 83.2 \text{ KeV (Cs137)}$$

3. INSTRUMENTACION Y METODO DE TRABAJO

3.1 INSTRUMENTACION

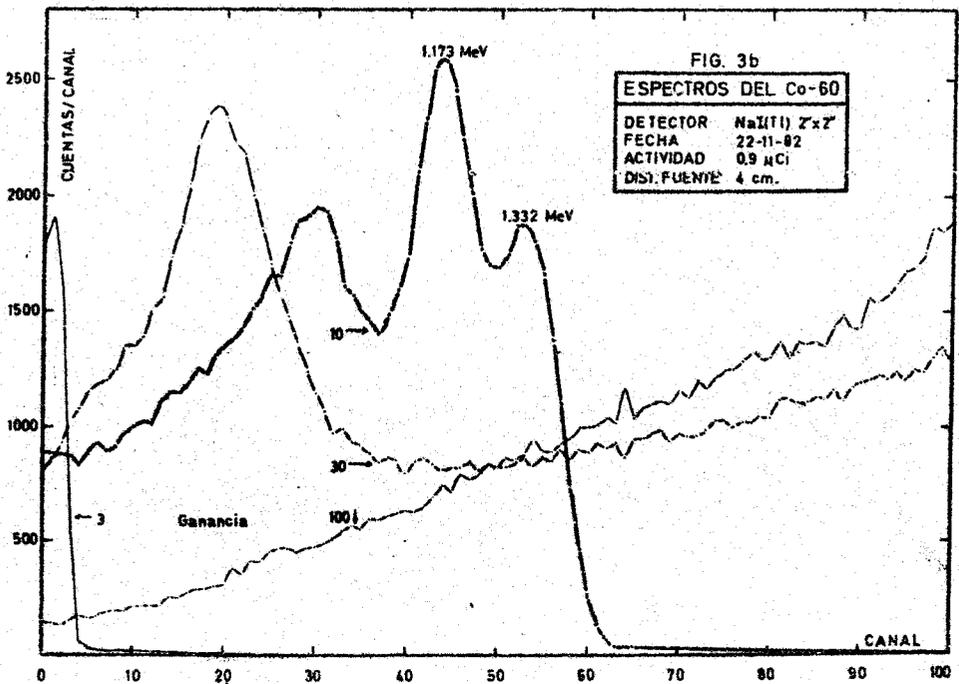
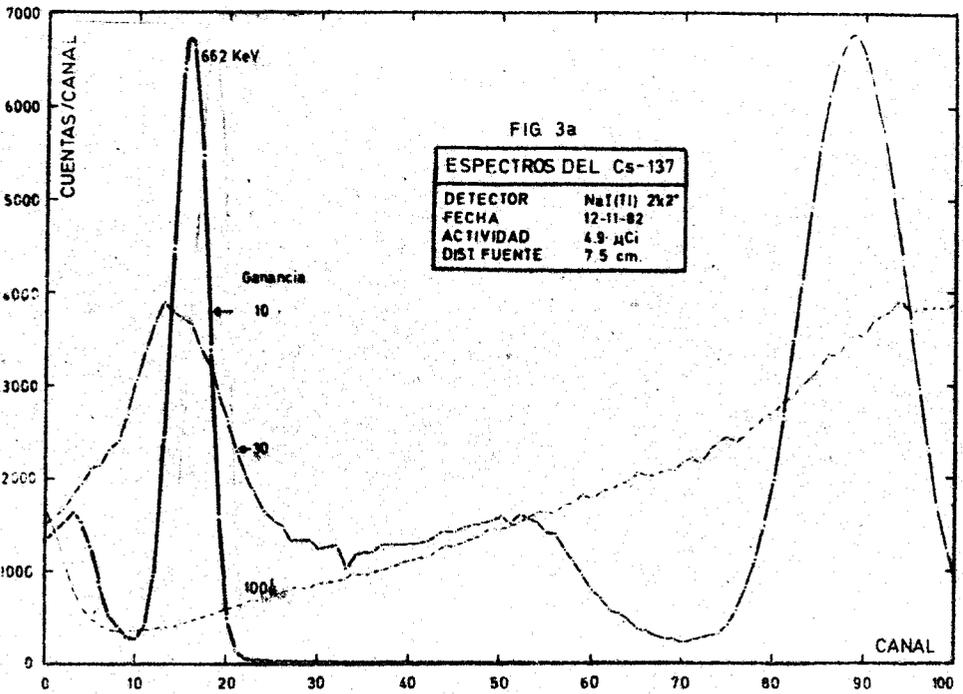
El equipo utilizado consistió de: espectrómetro monocanal Berthold tipo LB 2551 Gi serie 8086, de 200 canales y constituido por un amplificador LB 2425, una fuente de alta tensión LB 2417, un "counter - timer" LB 2510; un detector de NaI (TI) cilíndrico de 2" x 2", de ventana plana, con voltaje de trabajo de 1000 voltios; fuentes radiactivas gamma (puntuales) calibradas por IAEA y Nucleus.

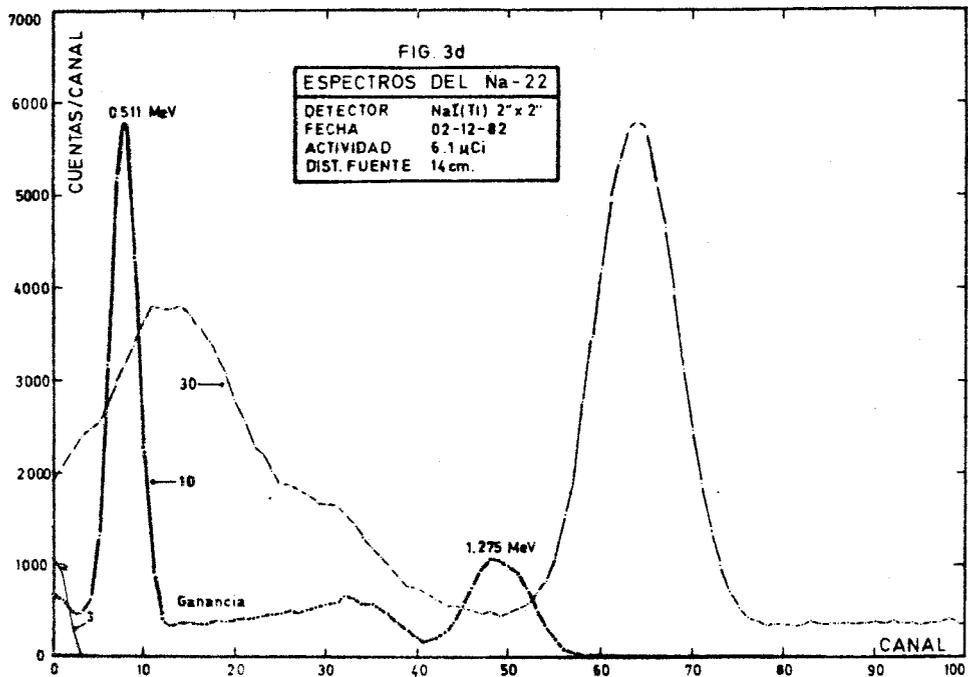
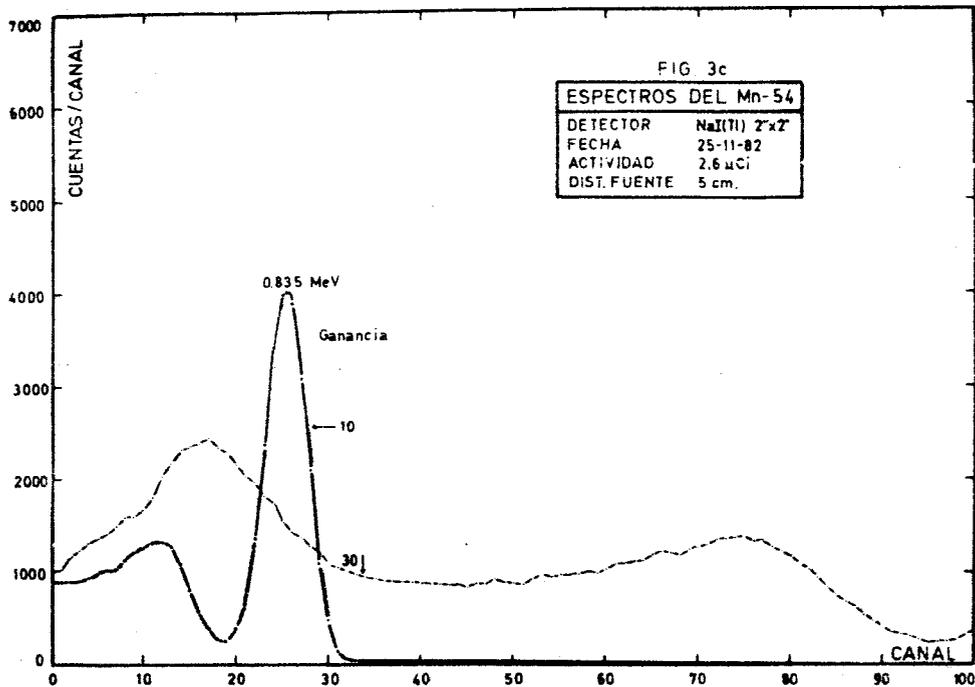
3.2 METODO DE TRABAJO

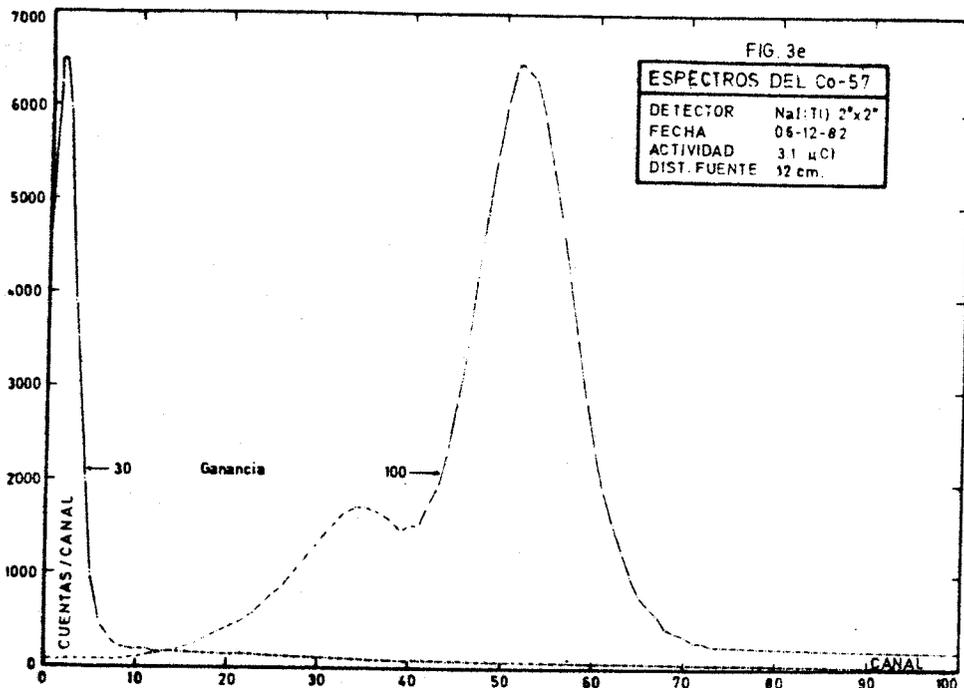
Se conecta el detector al espectrómetro y se coloca la fuente cerca del detector de tal trabajo del detector (1000 v). Se fija el o/o de ancho de ventana deseado. Esto define la forma que el conteo no exceda 10,000 CPM. Se enciende el equipo y se fija el voltaje de cantidad de canales y el valor en voltaje que posee cada canal. Se escogió 10 o/o de ancho de ventana (100 canales). Se fija la ganancia, que define el rango de energías que tendrá el espectro. Luego, moviendo el control de discriminación baja (selector de canales), se irá tomando el conteo de cada canal, hasta completar el total de los N canales del espectro; obteniéndose así los datos (cuentas/min. de cada canal), con los que se elaborará el espectro.

3.3 ESPECTROS OBTENIDOS

Cada sustancia radiactiva tiene un espectro particular y por ende, su fotopico característico (energía definida) que lo identifica. La posición y altura de este fotopico en el espectro obtenido, determinan la energía e intensidad respectivamente del rayo gamma en análisis. Este fotopico es casi simétrico y cercanamente gaussiano (forma de campana); la energía del rayo gamma se ubica en el centro geométrico del fotopico y no en el máximo conteo superior del mismo [5]. En la fig. 3 se dan los espectros de los 5 radionucleidos utilizados para el presente trabajo: Cs 137, Co 60, Mn 54, Na 22 y Co 57.







4. RESULTADOS Y ANALISIS ESPECTRAL

4.1 VARIACION DE LA RESOLUCION CON LA ENERGIA DEL FOTOPICO

Para analizar esta variación se ha tomado datos de los espectros experimentales (con ganancia 10) del Cs 137, Mn 54, y Na 22 (Figs. 3a, 3c y 3d respect.) y encontrando las resoluciones con ecuaciones (5) y (6), se elaboró la Tabla No. 3

TABLA No. 3

Variación de la Resolución con la Energía del Fotopico

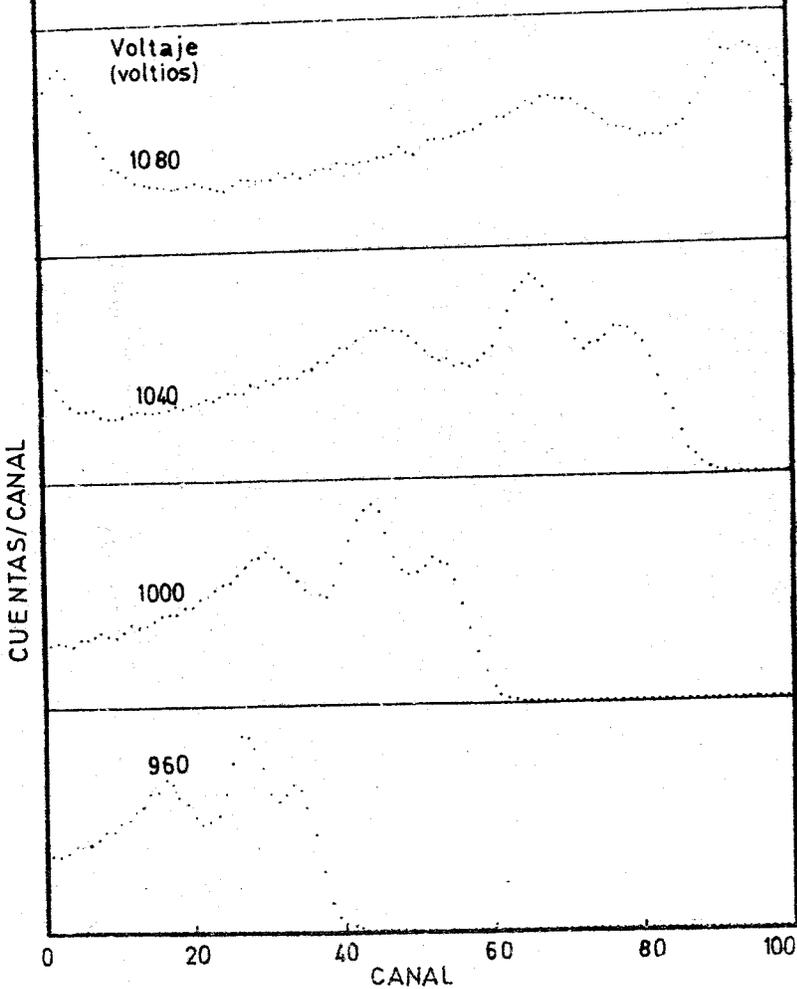
Fuente	Energía Fotopico KeV	Canal Fotopico No.	ΔE En canales	Resolución %	KeV
Na 22	511	8	3.8	13.75	70.26
Cs 137	662	15.75	4.5	12.57	83.21
Mn 54	835	25.5	5.6	11.96	99.85

Es evidente según estos resultados, que la resolución del detector, varía con la energía analizada. Así, el % de Resolución del detector disminuye al aumentar la energía del fotopico [6]. Con mayor exactitud: aumenta de modo inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la energía del fotón [4].

FIG. 4

DESPLAZAMIENTO DEL ESPECTRO
 POR VARIACION DEL VOLTAJE
 DE TRABAJO DEL DETECTOR

DETECTOR	NaI(Tl) 2" x 2"
FECHA	15-12-82
FUENTE	Co-60
ACTIVIDAD	0.9 μ Ci
DIST. FUENTE	3.8 cm.
GANANCIA	10



4.2 DESPLAZAMIENTO DEL ESPECTRO POR VARIACION DEL VOLTAJE DE TRABAJO DEL DETECTOR

Para esta prueba, se obtuvieron 6 espectros del Co 60, manteniendo para todos ellos las mismas condiciones de trabajo, excepto el voltaje de trabajo, que será el parámetro variable, desde 960 a 1080 volt. En la Fig. 4 están dibujados 4 de los 6 espectros del Co 60 obtenidos; éstos evidencian un desplazamiento regular hacia la derecha, a medida que aumenta el voltaje del detector.

Los resultados obtenidos están registrados en la Tabla No. 4 en la que se presentan también los resultados para el Cs 137 (con ganancia 10).

TABLA No. 4

Variación del Canal del Fotopico con el Voltaje de Trabajo del Detector

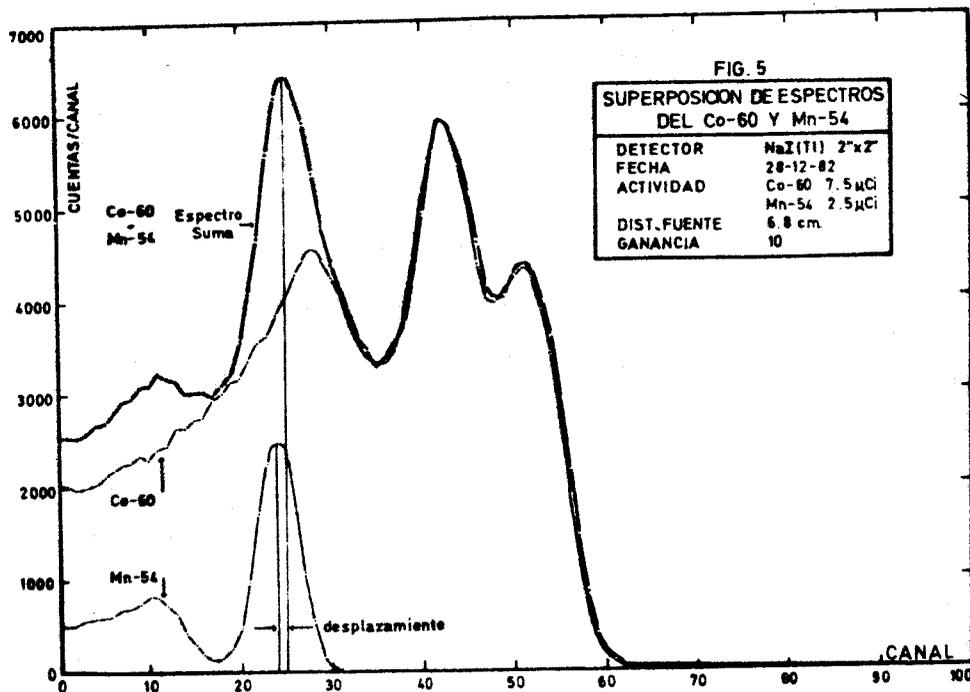
Voltaje Del Detector (voltios)	No. del Canal					
	C	Co 60		Sc	Cs 137	
		F ₁	F ₂		C	F
960	16	27	33	5	32	61
980	22	34	42	10	41	73
1000	30	44	52	14	51.5	88.5
1020	38	54	63	19	63	--
1040	46	65	76	--	--	--
1080	68	94	--	--	--	--

Donde las letras en la parte superior de cada columna, proporcionan el No. de canal de los sgtes. picos: F, Fotopico del Cs 137, cuya energía es: 662 KeV; F₁, Fotopico del Co 60 cuya energía es: 1173 KeV; F₂, Fotopico del Co 60 cuya energía es: 1332 KeV; C, Pico por efecto Compton; Sc, Scattering del Cs 137. Se observa que existe un aumento muy regular del No. del canal donde se ubica el pico, al aumentar el voltaje de trabajo del detector.

4.3 SUPERPOSICION DE ESPECTROS

Anteriormente se obtuvieron espectros de fuentes radiactivas individuales; en esta parte se obtendrá el espectro de una muestra de 2 radioisótopos, que será comparado con el espectro individual de cada uno de ellos. Para lo cual se obtiene, primero el espectro individual de cada componente y luego conservando la geometría, el espectro de ambos a la vez, consiguiéndose de esta forma la superposición de ambos espectros. Para esto se escogen dos fuentes puntuales adecuadas, Co 60 y Mn 54 que poseen picos muy cercanos. Ambas fuentes son ubicadas simétricamente bajo el detector, obteniéndose de esta forma 3 espectros, cuya secuencia en la obtención de los mismos es la siguiente: i) se coloca la fuente de Co

60 y se obtiene el espectro del Co 60; ii) se agrega la fuente de Mn 54 y se obtiene el espectro Co 60 + Mn 54; iii) se retira la fuente de Co 60 y se obtiene el espectro del Mn 54. Los 3 espectros obtenidos se dan en la Fig. 5.



De la Fig. 5 se desprenden las sgtes. conclusiones:

— El fotopico del Mn 54 ubicado inicialmente en el canal 24, se ubica en el espectro suma (Co60 + Mn54) en el canal 25, debido a la influencia del compton del Co60.

Este desplazamiento de 1 canal es despreciable para un total de 100 canales (nuestro caso), pero se hace notorio en el caso de 1024 (espectrómetros multicanales), donde el desplazamiento sería de aproximadamente 10 canales, el cual es considerable para una buena identificación cualitativa.

Los 2 picos del Co60 también manifiestan un ligero desplazamiento hacia la derecha. Con respecto a las áreas bajo cada espectro (sumatoria de cuentas de los 100 canales), se observan los siguientes resultados: i) espectro del Mn 54, 24525 cuentas/100 canales; espectro del Co 60, 202369 cuentas/100 canales; espectro Mn54 + Co60, 227929 cuentas/100 canales; y el área del espectro suma = 227929 es prácticamente igual a la suma de las áreas individuales = 24525 + 202369 = 226893; siendo el error porcentual de la suma teórica con respecto a la suma experimental de 0.45 %; error despreciable considerando las fluctuaciones estadísticas de los contajes. Es decir que: la suma de las áreas de cada espectro es igual al área del espectro superpuesto.

5. CONCLUSIONES

- Cuando el detector opera en su voltaje de trabajo (1000 v), puede analizar e identificar fotopicos, que para la ganancia de 10 y 30 las energías varían en los rangos 0.5 – 1.8 MeV y 0.12 y 0.7 MeV, valores deducidos de ecuaciones (3) y (4) respectivamente; o también de la Fig. 1. Cabe destacar que estos rangos energéticos pueden ser variados, al cambiar el voltaje de trabajo del detector, como se observa en la Fig. 4.
- Al variar la ganancia o al variar el voltaje de trabajo del detector, la altura del fotopico (contaje máximo del mismo) se mantiene constante. Figs. 3a, 3d, 3e y Fig. 4.
- Para una misma ganancia, el No. de canal en el que se ubica el fotopico, es directamente proporcional al voltaje de trabajo del detector; es decir: a mayor voltaje, mayor es el No. del canal del fotopico (Fig. 4). Esta variación puede aprovecharse como ganancia fina del sistema.
- Si se obtiene el espectro de un radioisótopo A y posteriormente se obtiene otro espectro del mismo radioisótopo A, pero en presencia de uno o más radioisótopos diferentes; el fotopico de A varía su posición espectral original, debido a la influencia de picos vecinos de los otros componentes (Fig. 5).

REFERENCIAS

- [1] G. Knoll. Radiation Detection and Measurement, 717, Canadá. John Wiley & Sons.
- [2] Ortec. AN 34, Experiments in Nuclear Science, 15, USA. Ed. Ortec (1976).
- [3] B.J. Wilson, R. Bayly, J. Catch. Manual de Radioquímica, Tabla A-1, 144. Amersham. Ed. Alhambra.
- [4] A. Travesí. Análisis por Activación Neutrónica, 266, Madrid JEN (1975).
- [5] R. Heath, R. Helmer, L. Schmitroth and G. Catzer. IDO 17017 (1965) 3.
- [6] G. Knoll. Radiation Detection and Measurement, 335, Canadá. John Wiley & Sons.

Espectrometría gamma, monocanal con detector de NaI (TI) por Juan Arellano se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.