

ESPECTROSCOPIA GAMMA CON DETECTORES DE CENTELLEO

Juan Alejandro Farauste
TE II, Nuclear (Universidad de Sevilla)
Viernes 18 de junio de 2021

ÍNDICE

1. OBJETIVOS
2. INTRODUCCIÓN TEÓRICA
3. MONTAJE E INSTRUMENTAL
4. RESULTADOS
5. CONCLUSIONES

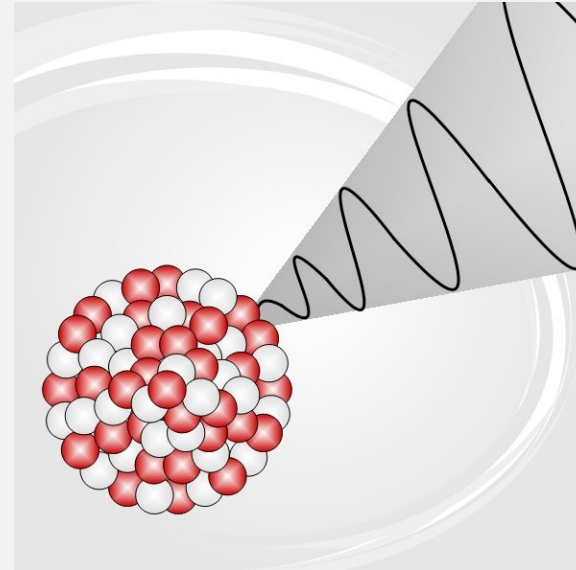
OBJETIVOS

- Entender el uso de los detectores de centelleo (NaI(Tl)) ante la presencia de radiación γ .
- Realizar la calibración en energía, resolución y eficiencia del detector.
- Interpretar la representación gráfica de los espectros de muestras conocidas.
- Identificar una muestra desconocida usando su espectro.
- Calcular el coeficiente de atenuación μ en el plomo.

INTRODUCCIÓN TEÓRICA

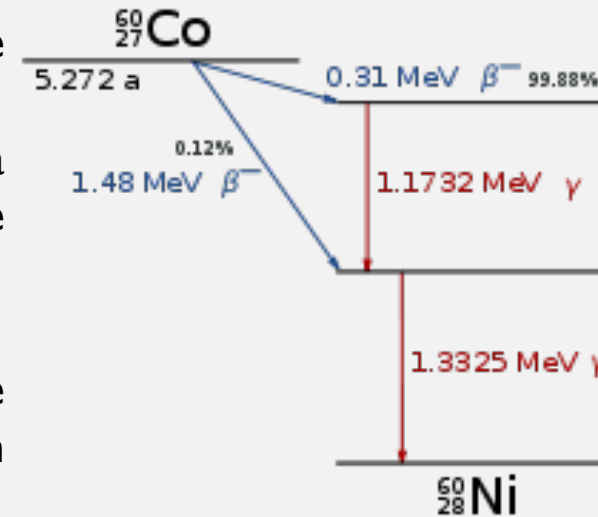
RAYOS GAMMA

- Núcleo caracterizado por niveles discretos de energía.
- Las transiciones entre niveles dan lugar a la emisión u absorción de fotones altamente energéticos (desde decenas de KeV a MeV).
- Emisión prácticamente instantánea.
- Pueden ser generados como consecuencia de la desexcitación de un núcleo hijo tras un proceso de desintegración α o β .

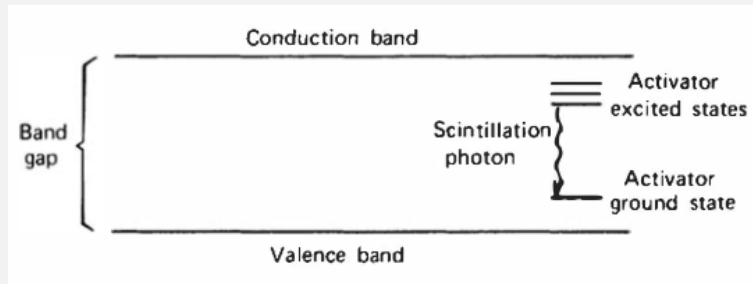


RAYOS GAMMA

- Núcleo caracterizado por niveles discretos de energía.
- Las transiciones entre niveles dan lugar a la emisión u absorción de fotones altamente energéticos (desde decenas de KeV a MeV).
- Emisión prácticamente instantánea.
- Pueden ser generados como consecuencia de la desexcitación de un núcleo hijo tras un proceso de desintegración α o β .



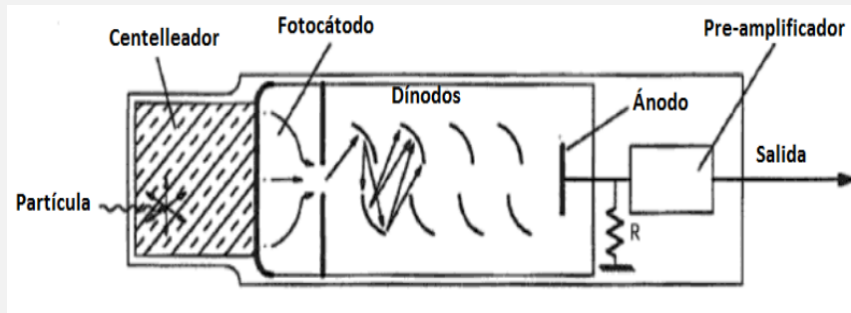
DETECTOR DE CENTELLEO



- Al paso de la radiación se producen pares e^- - hueco \propto energía depositada
- Se recombinan \rightarrow fotones de baja energía

- Radiación de 1 MeV se generan aprox.:
 - 50.000 pares
 - 40.000 fotones de centelleo

DETECTOR DE CENTELLEO



- En el fotocátodo son transformados en electrones.
- Eficiencia no ideal → menos e^-
- Se focalizan y multiplican usando dinodos
- Pulso de corriente proporcional a energía depositada

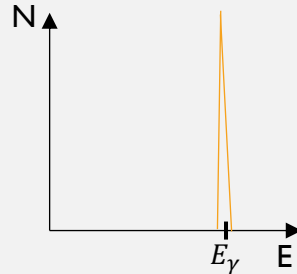
- Radiación de 1 MeV se generan aprox.:
 - 50.000 pares
 - 40.000 fotones de centelleo
 - 30.000 fotones en el fotocátodo
 - 6000 fotoelectrones convertidos por el foto cátodo

Factor multiplicativo
 $\times 10^7 - \times 10^{10}$

INTERACCIÓN DE γ CON LA MATERIA

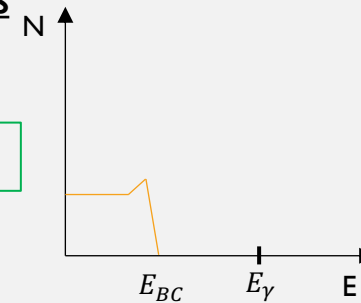
Efecto fotoeléctrico

$$E_{e^-} = E_\gamma - E_b$$
$$+ R-X + e^- \text{Auger}$$



Creación de pares

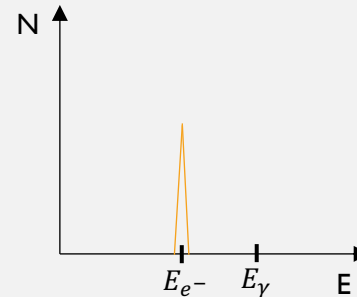
$$E_{e^-} = E_\gamma - 1.02 \text{ MeV}$$



Efecto Compton

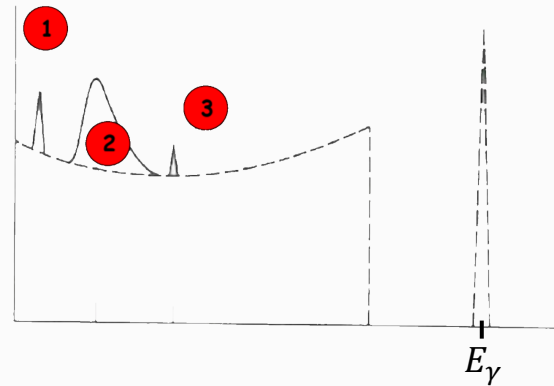
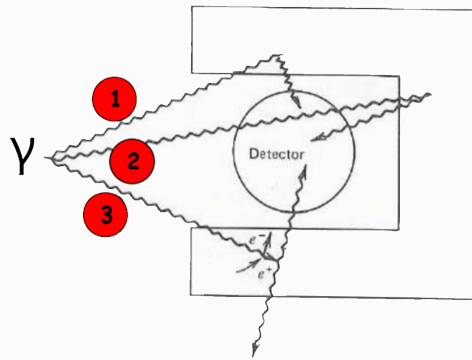
$$E_{e^-} = \frac{E_\gamma \left(\frac{E_\gamma}{m_0 c^2} \right) (1 - \cos \theta)}{1 + \left(\frac{E_\gamma}{m_0 c^2} \right) (1 - \cos \theta)}$$

$$0 \leq E_{e^-} \leq E_{BC}$$



INTERACCIÓN DE γ CON LA MATERIA (DEFECTOS EN EL DETECTOR)

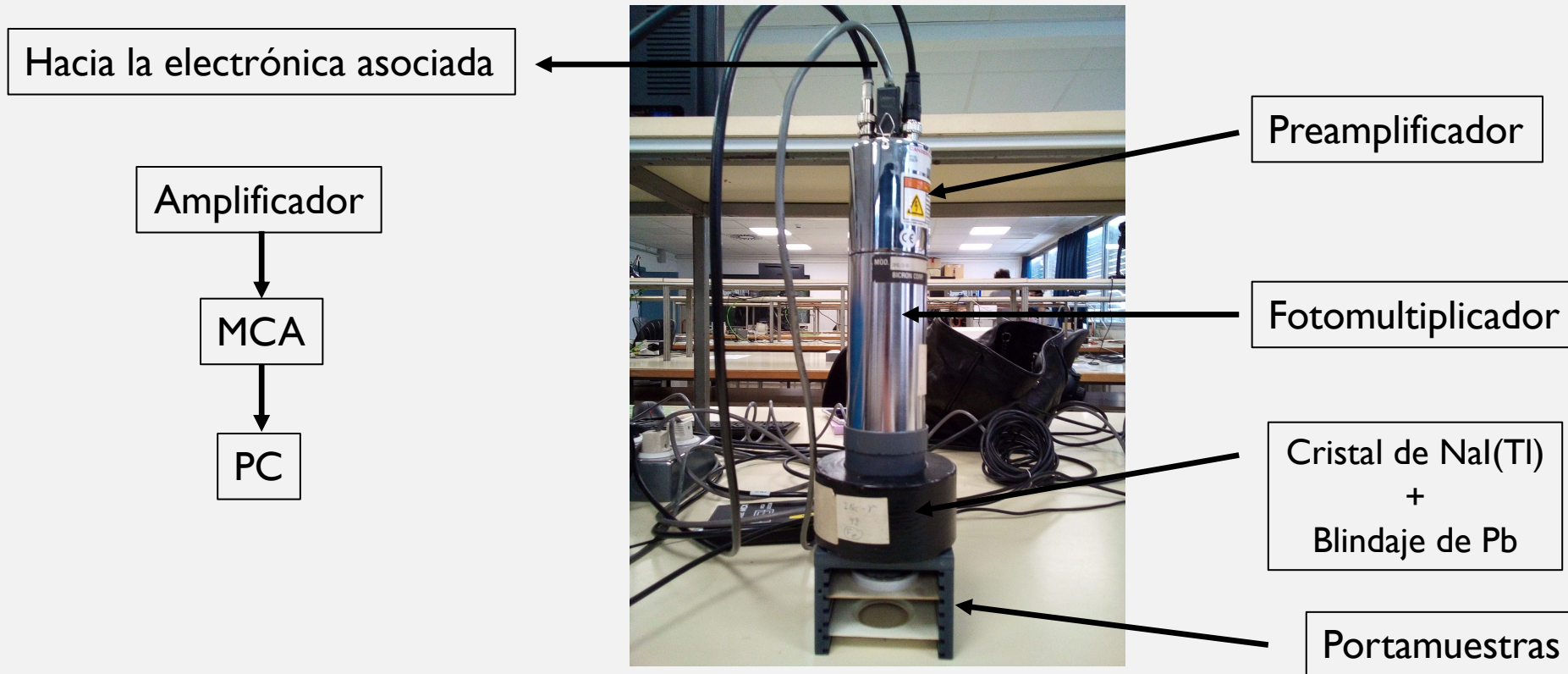
Defectos en el detector



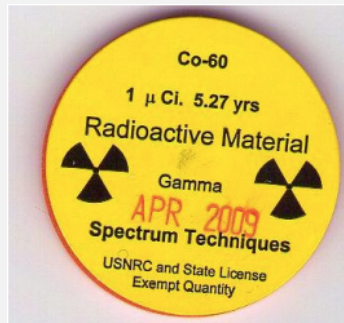
1. Rayos X del blindaje
2. Retrodispersión
3. Aniquilación y picos de escape

MONTAJE E INSTRUMENTAL

MONTAJE EXPERIMENTAL



MUESTRAS RADIOACTIVAS

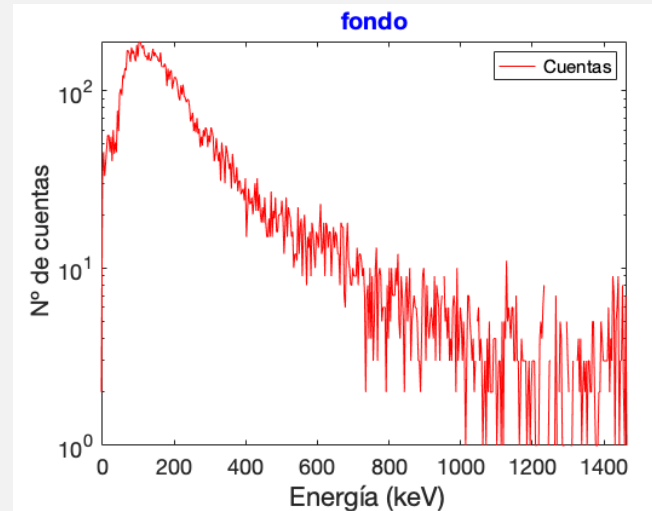
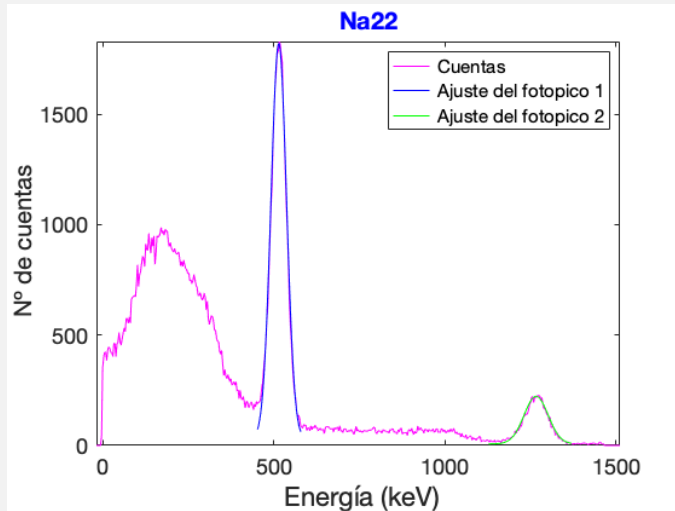
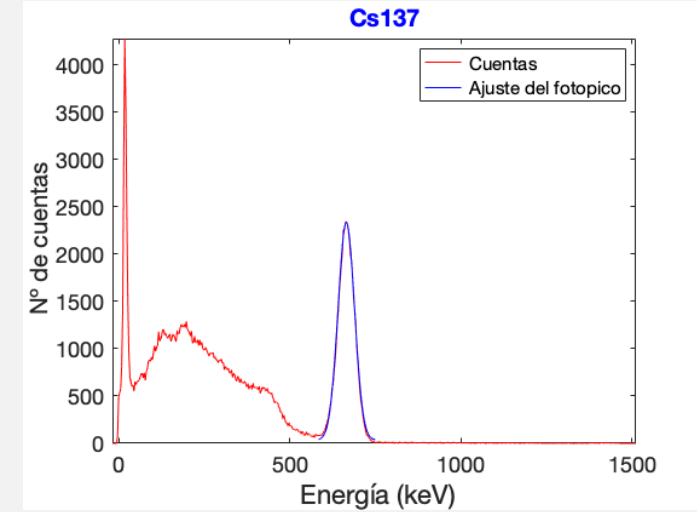
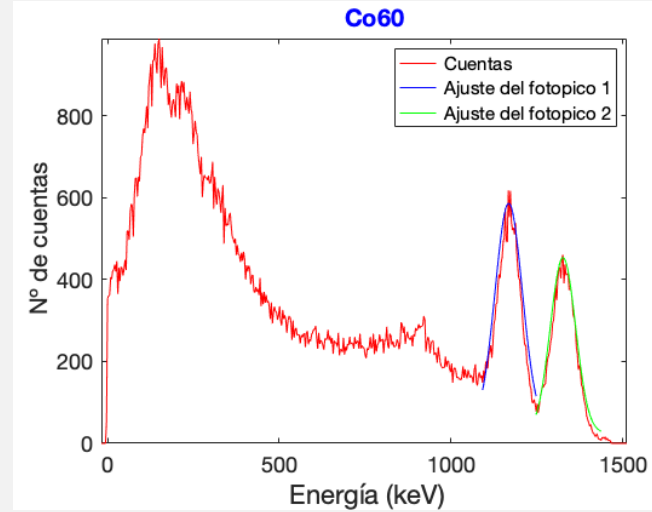
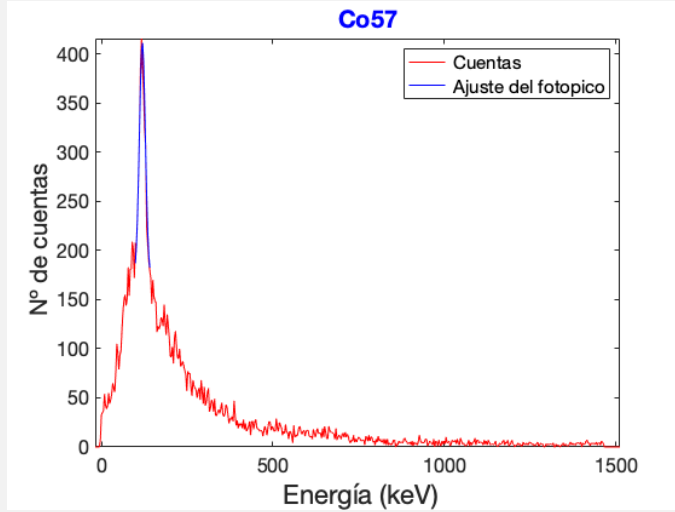


Fuente	T _{1/2}	Emisiones Principales (keV)	Intensidad (%)
¹³⁷ Cs	30.2a	661.660	84.7
⁶⁰ Co	5.3a	1173.238 1332.502	99.89 99.983
⁵⁷ Co	271.8d	122.0614 136.4743	85.68 10.67
²² Na	2.6a	511.003 1274.542	180.5 99.93

3 min de medida de cuentas por muestra
(cuestión de la circunstancia COVID)

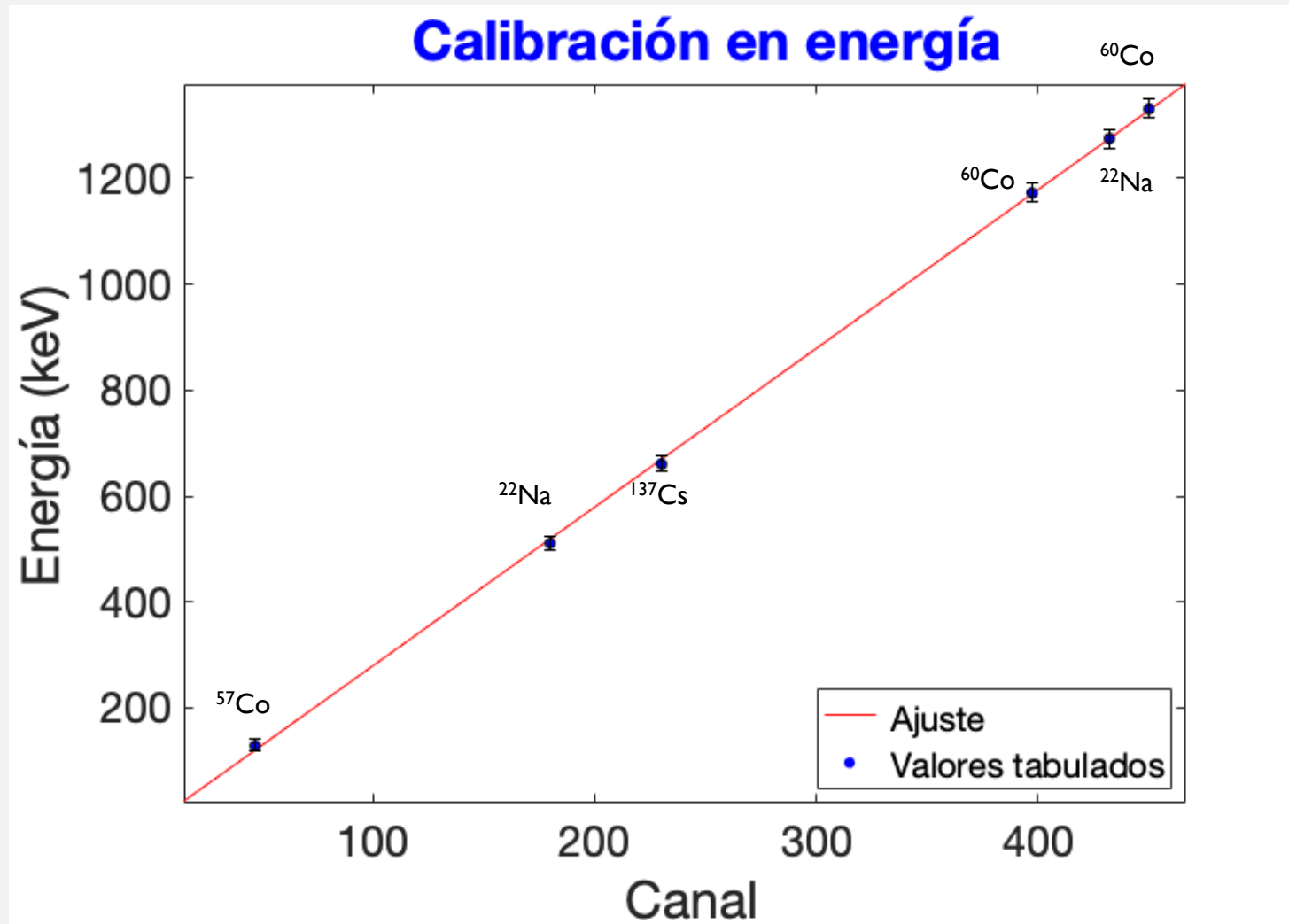
RESULTADOS

ESPECTROS

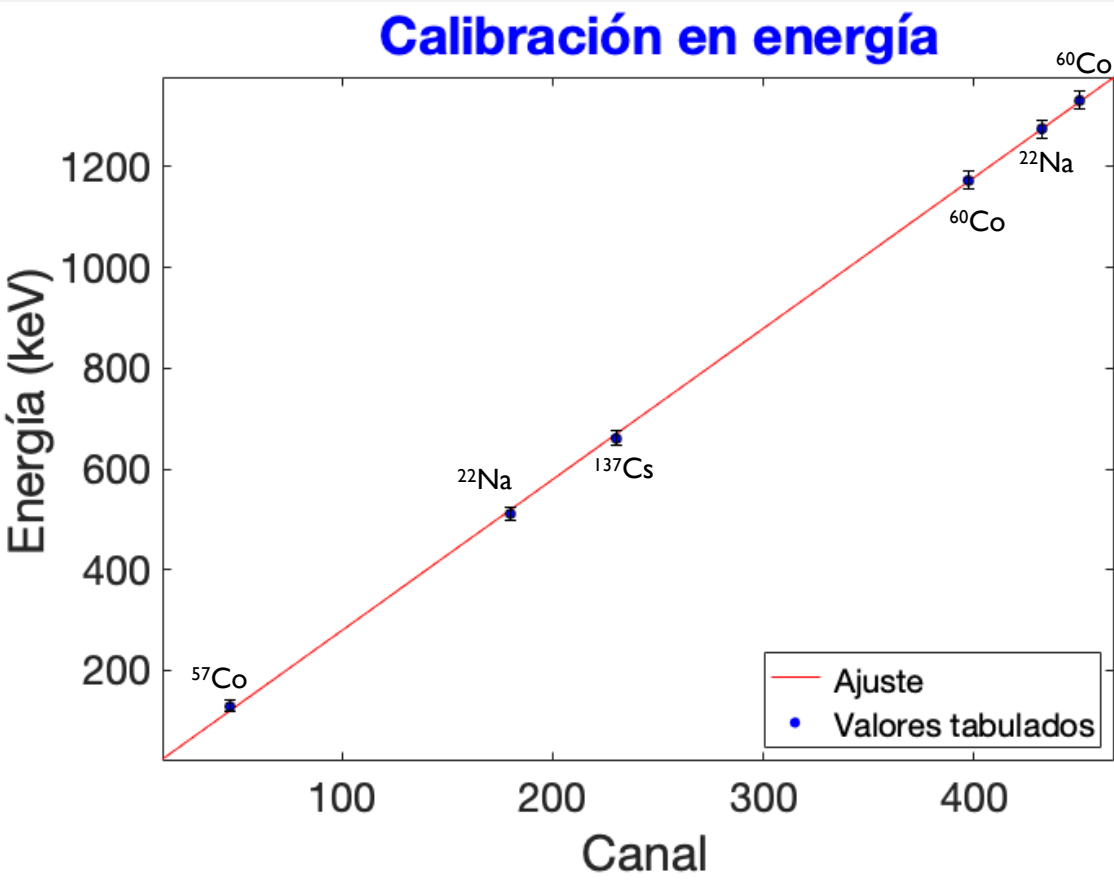


Fuente	E _γ (keV)
¹³⁷ Cs	661.660
⁶⁰ Co	1173.238 1332.502
⁵⁷ Co	122.0614
²² Na	511.003 1274.542

CALIBRACIÓN EN ENERGÍA



CALIBRACIÓN EN ENERGÍA

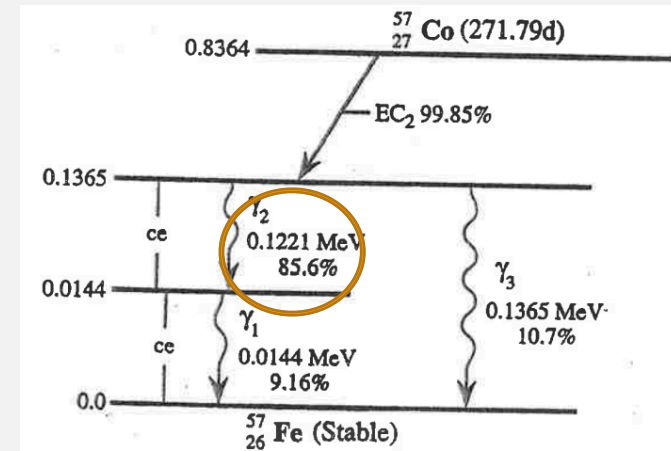
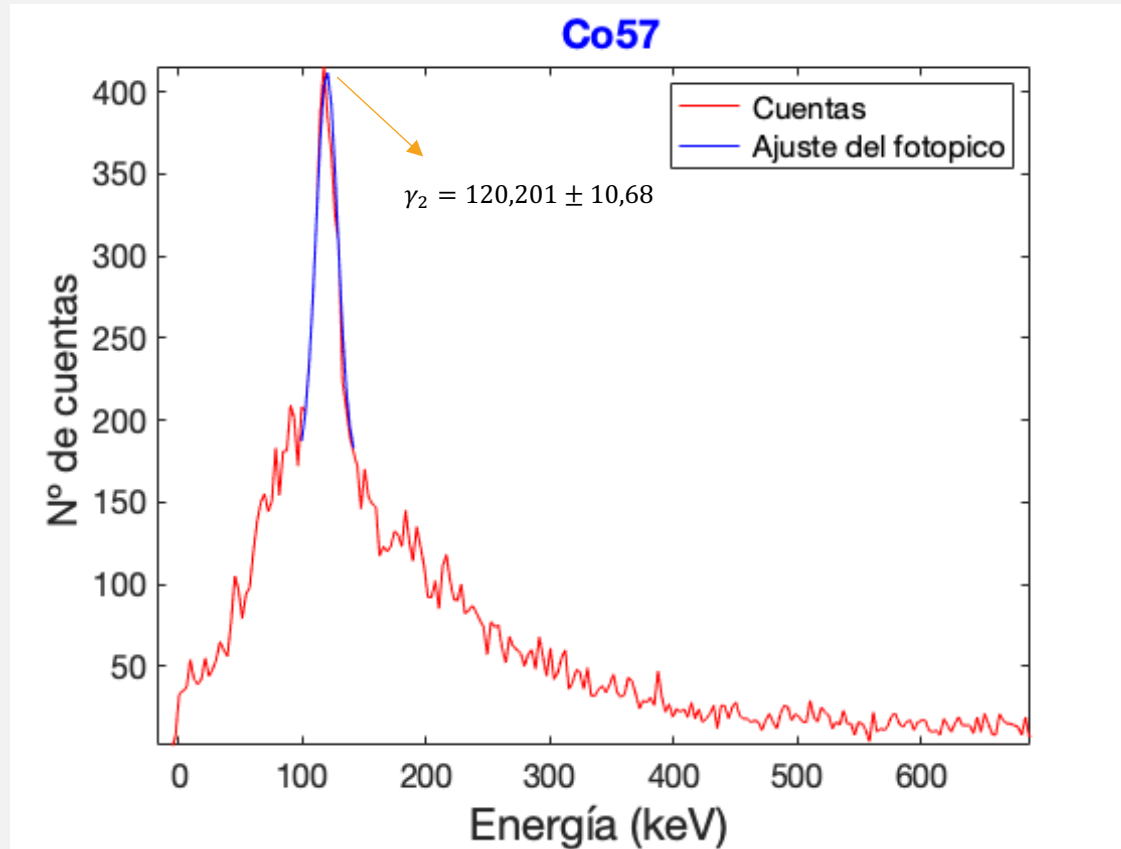


Muestra	Pico	Canal	$E_{tab} \text{ (keV)}$
Co^{57}	γ_2	47	129,268
Cs^{137}	γ_1	230	666,077
Co^{60}	γ_3	398	1173
	γ_4	449	1333
Na^{22}	pares	180	511
	γ_1	432	1275

Datos y parámetros de ajuste

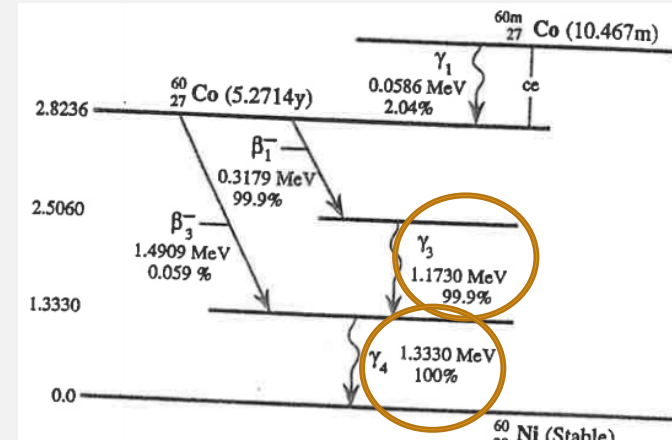
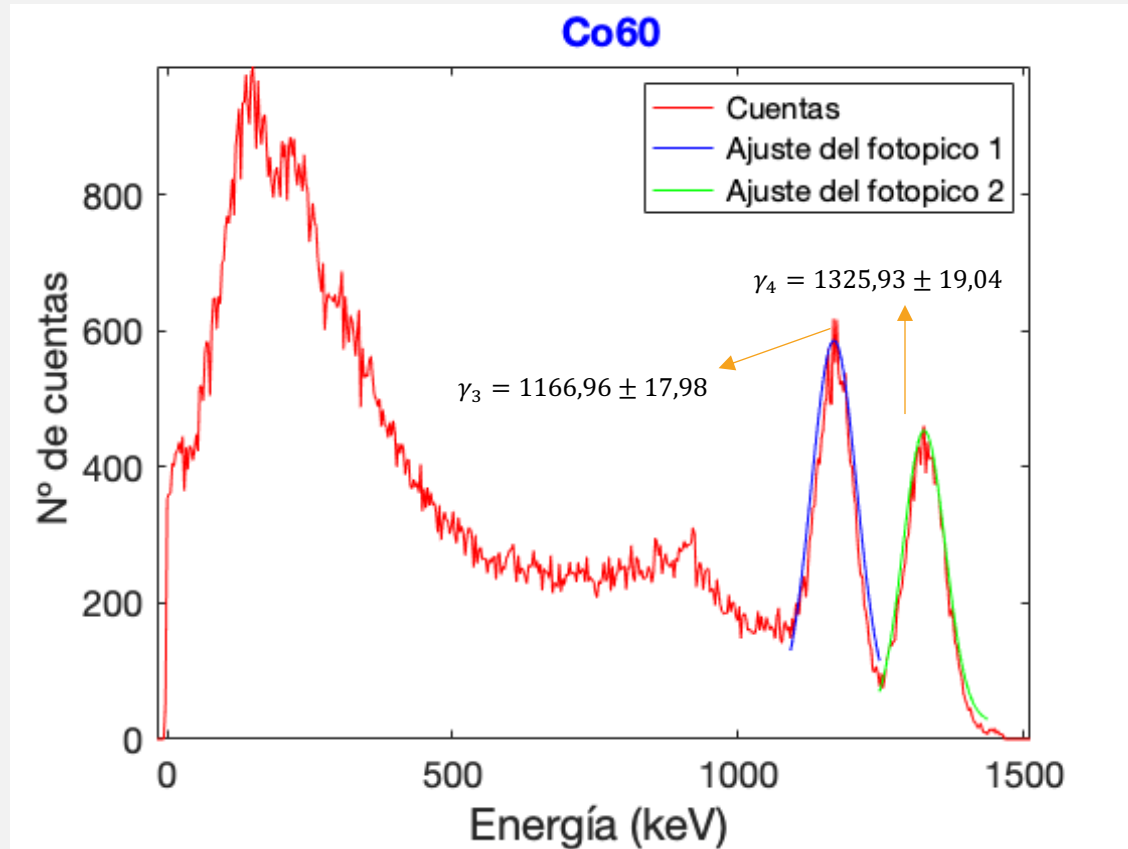
$y(keV) = m \cdot x + b$	
$m(keV/canal)$	(2.999 ± 0.021)
$b(keV)$	(-20.8 ± 6.7)
r^2	0.9998

INTERPRETACIÓN ESPECTRO DE Co^{57}



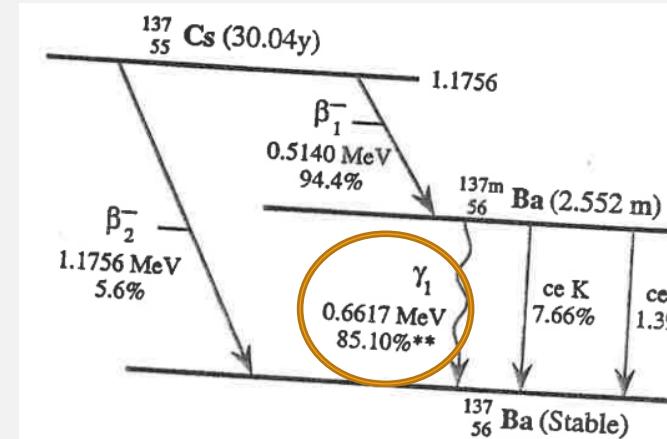
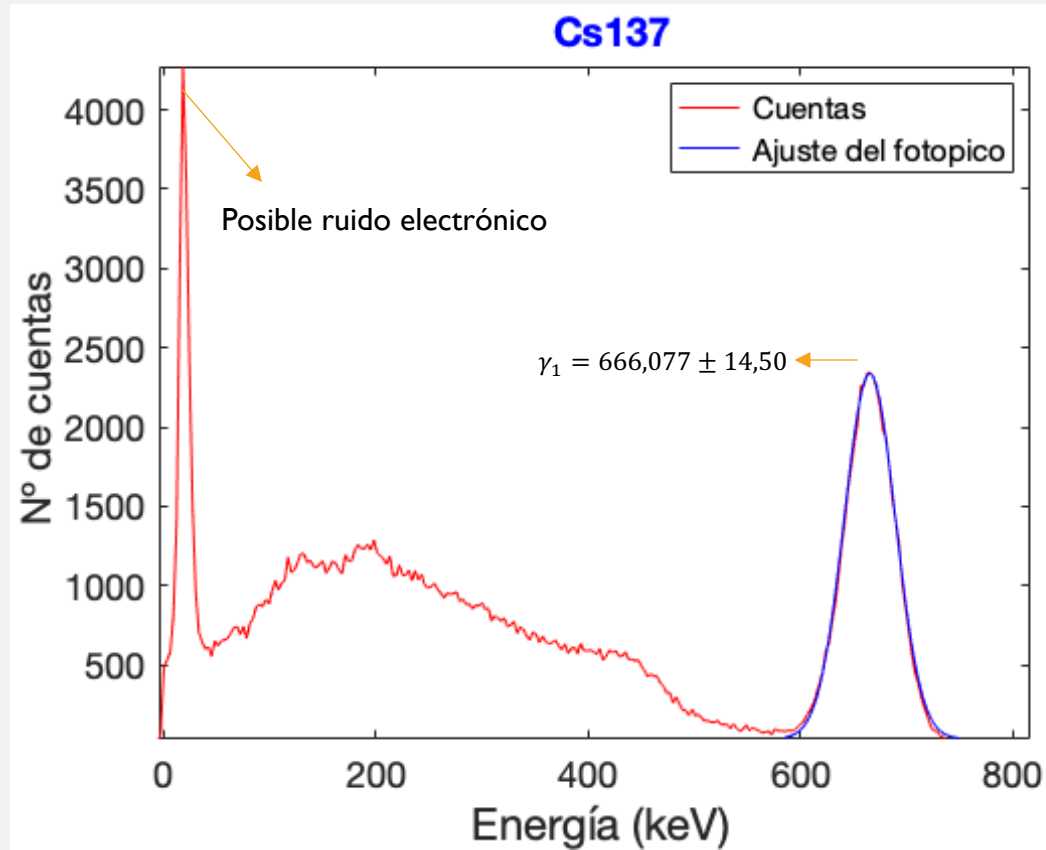
Pico	E_{exp} (keV)	E_{tab} (keV)	$\epsilon(\%)$
γ_2	120,201	122,1	1,56

INTERPRETACIÓN ESPECTRO DE Co^{60}



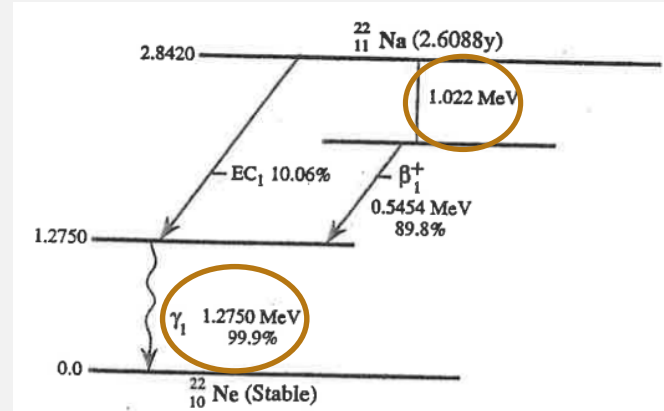
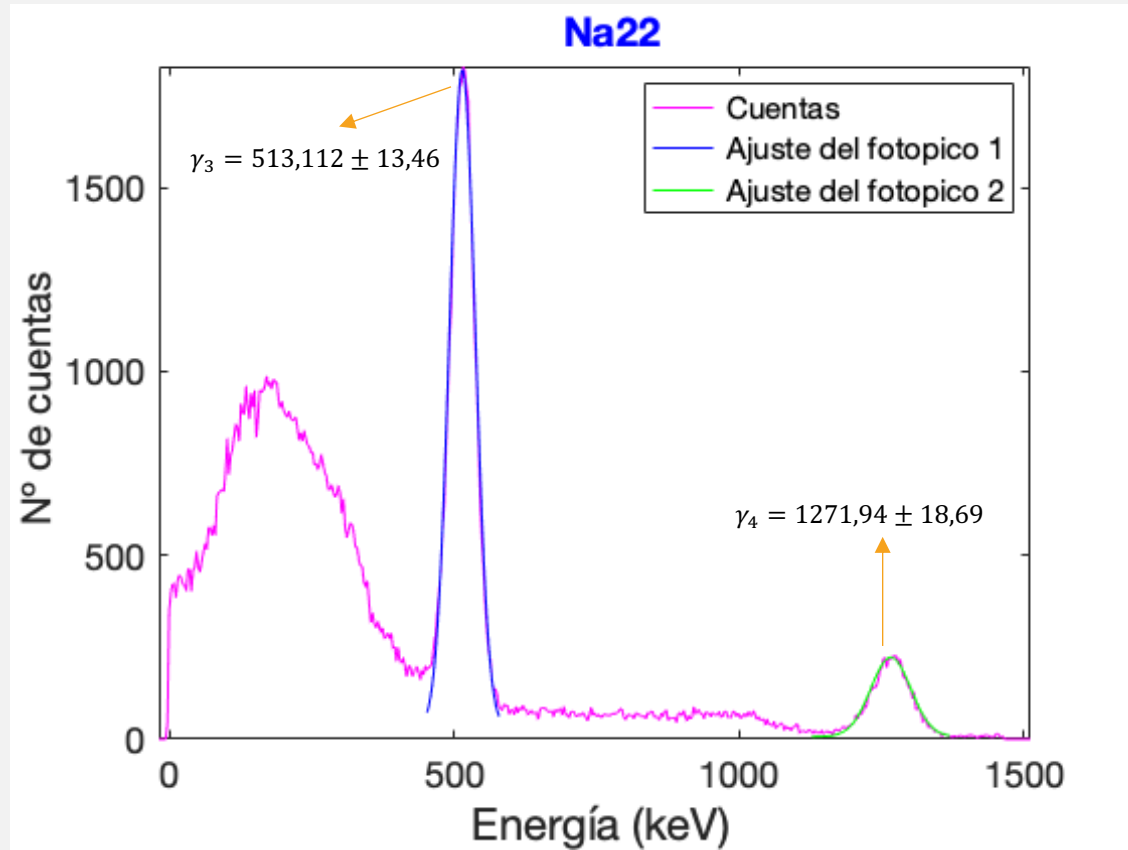
Pico	$E_{exp} \text{ (keV)}$	$E_{tab} \text{ (keV)}$	$\varepsilon(\%)$
γ_3	1166,96	1173	0,51
γ_4	1325,93	1333	0,53

INTERPRETACIÓN ESPECTRO DE Cs¹³⁴



Pico	E_{exp} (keV)	E_{tab} (keV)	$\epsilon(\%)$
γ_1	666,077	661,7	0,66

INTERPRETACIÓN ESPECTRO DE Na²²



Pico	E_{exp} (keV)	E_{tab} (keV)	$\epsilon(\%)$
Creación Y destrucción de pares	513,112	511	0,41
γ_1	1271,94	1275	0,24

CALIBRACIÓN EN RESOLUCIÓN

Proceso de formación de carga estocástico (proceso de Poisson)

N portadores de
carga de media

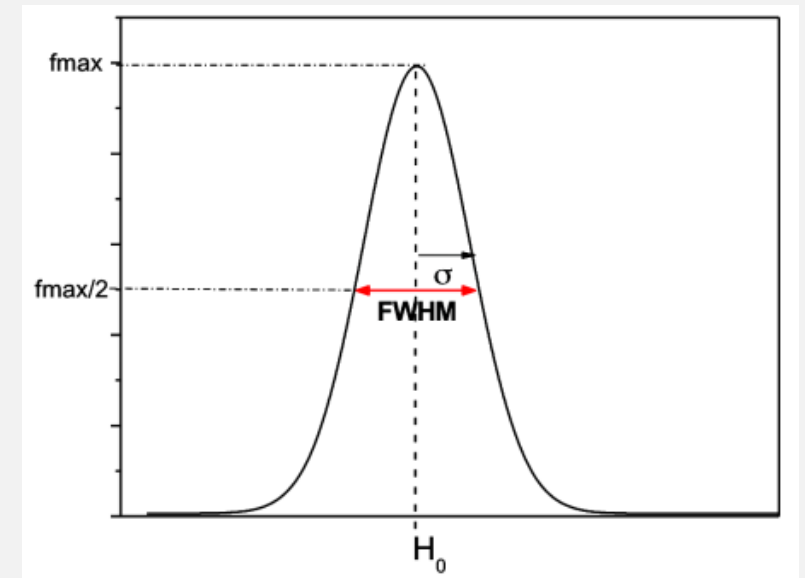
Desviación estándar
 \sqrt{N}

Función respuesta

$$G(H) = \frac{A}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(H-H_0)^2}{2\sigma^2}\right)$$

FWHM

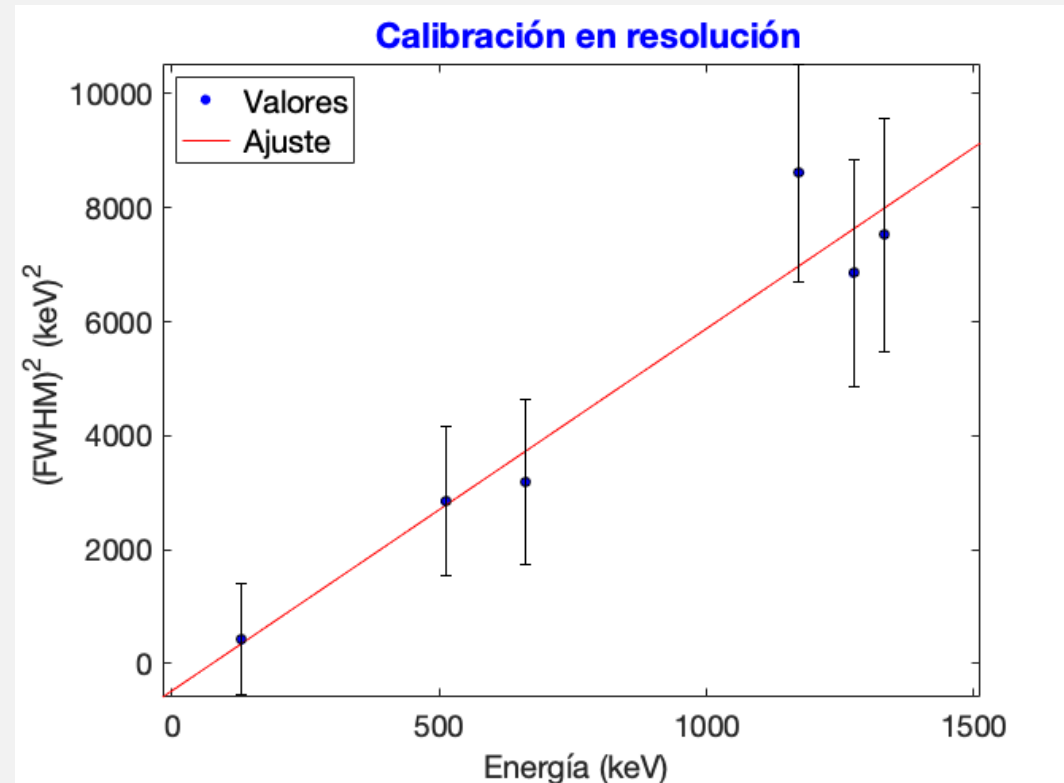
$$FWHM = 2\sqrt{2\ln 2} \sigma$$



CALIBRACIÓN EN RESOLUCIÓN

$$(FWHM)^2 = a \cdot E + b$$

$$R = \frac{FWHM}{H_0} = \frac{\sqrt{a + b \cdot E}}{E}$$



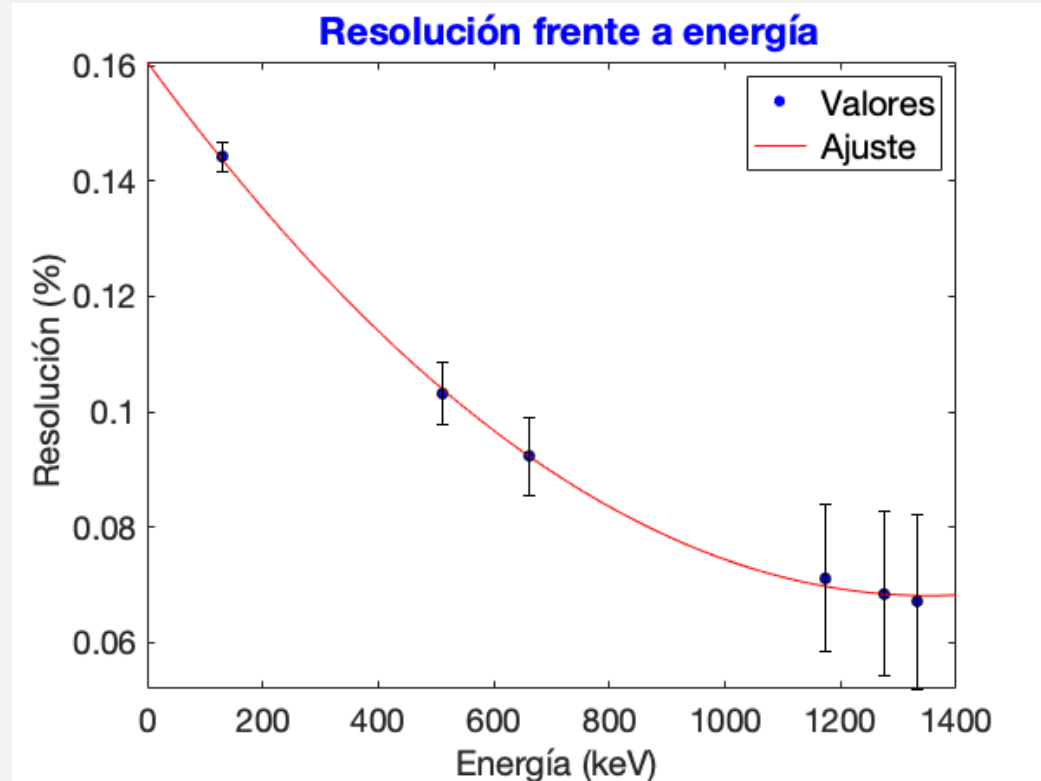
$$(FWHM)^2 = 6,356(0,893)[keV] \cdot E - 474(854)[keV^2]$$

$$r^2 = 0,929$$

CALIBRACIÓN EN RESOLUCIÓN

$$(FWHM)^2 = a \cdot E + b$$

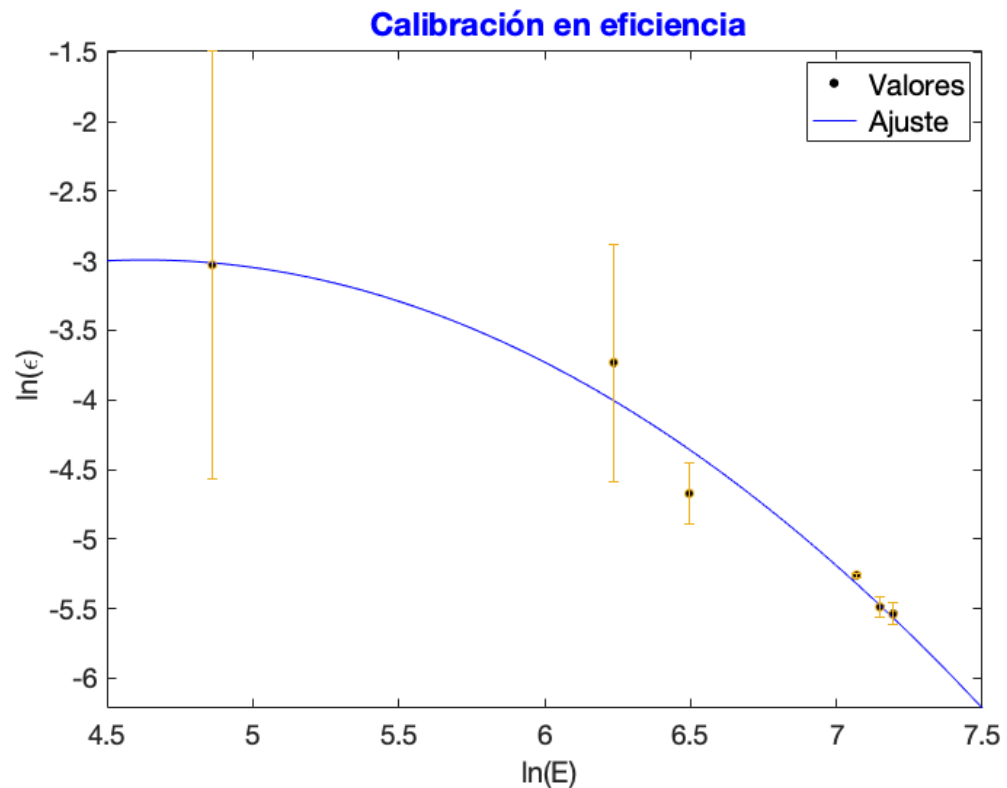
$$R = \frac{FWHM}{H_0} = \frac{\sqrt{a + b \cdot E}}{E}$$



$$(FWHM)^2 = 6,356(0,893)[keV] \cdot E - 474(854)[keV^2]$$

$$r^2 = 0,929$$

CALIBRACIÓN EN EFICIENCIA



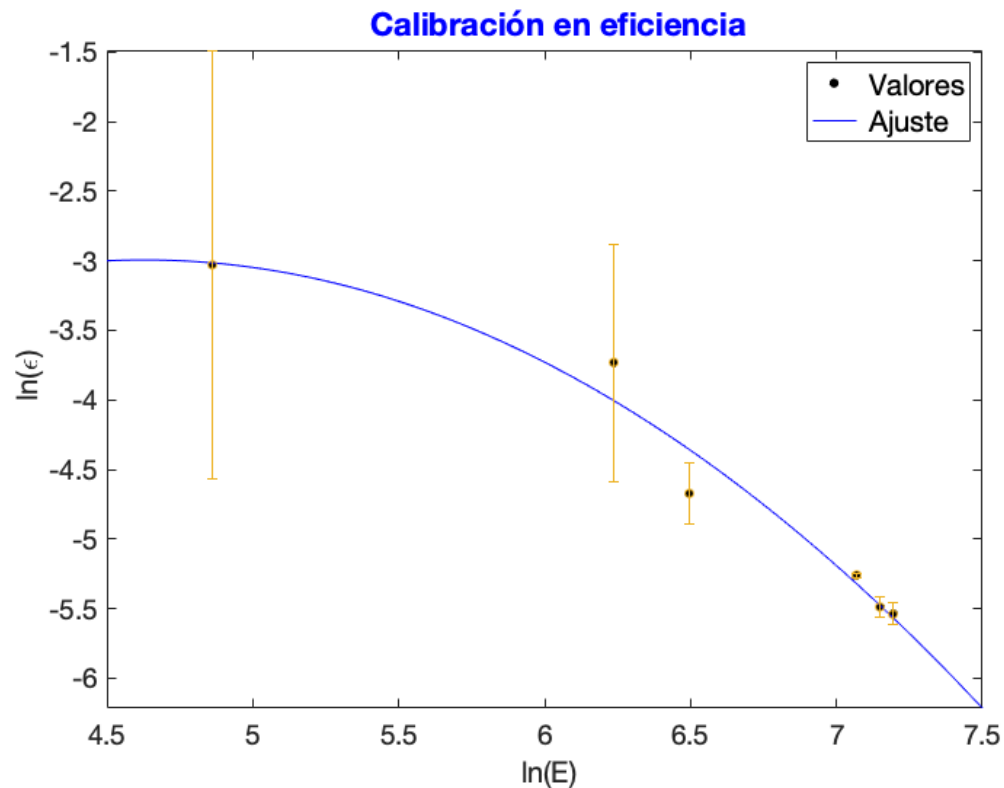
Muestra	$T_{1/2}$	$E_\gamma (keV)$	I (%)
^{57}Co	271,8 días	121,97	85,68
^{60}Co	5,3 años	1173,23 1332,48	99,89 99,98
^{137}Cs	30,2 años	661,66	84,7
^{22}Na	2,6 años	511,01 1274,53	180,5 99,93

$$\epsilon_{abs} \equiv \frac{\text{Pulsos registrados}}{\text{Desintegraciones}} = \frac{n - f}{I \cdot A}$$

$$\ln(\epsilon) = -0,391(0,183) \cdot (\ln(E_\gamma))^2 + 3,616(2) \cdot \ln(E_\gamma) - 11,355(6,6)$$

$$r^2=0,9155$$

CALIBRACIÓN EN EFICIENCIA



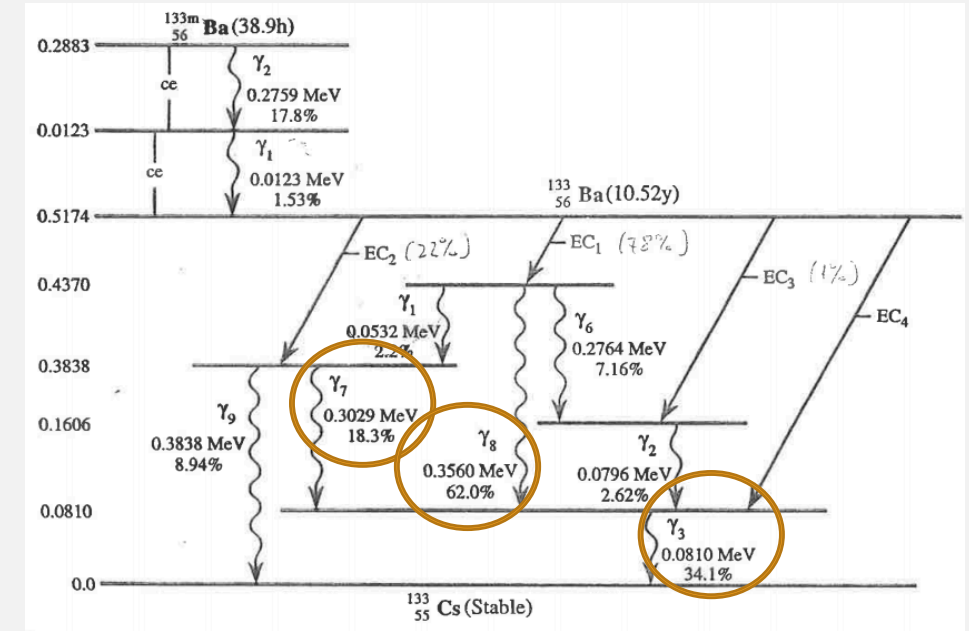
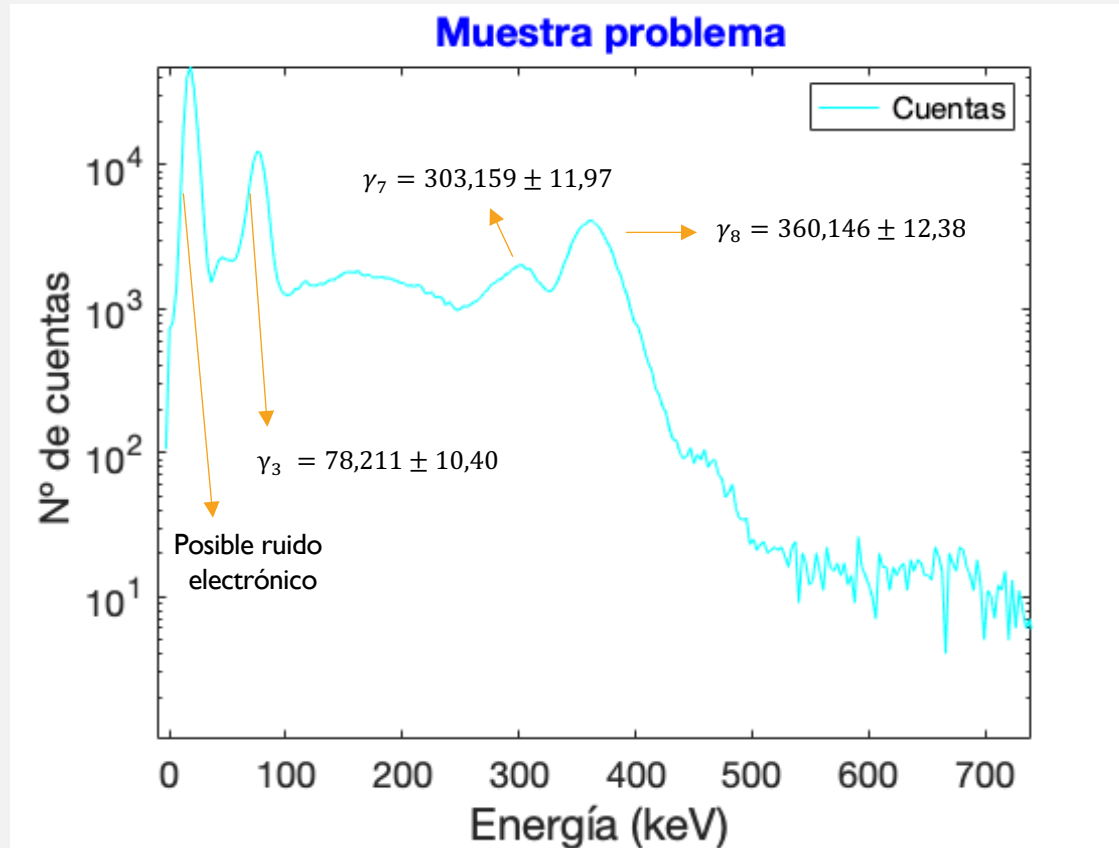
Muestra	$T_{1/2}$	$E_\gamma (keV)$	I (%)
^{57}Co	271,8 días	121,97	85,68
^{60}Co	5,3 años	1173,23 1332,48	99,89 99,98
^{137}Cs	30,2 años	661,66	84,7
^{22}Na	2,6 años	511,01 1274,53	180,5 99,93

$$\epsilon_{abs} \equiv \frac{\text{Pulsos registrados}}{\text{Desintegraciones}} = \frac{n - f}{I \cdot A}$$

$$\ln(\epsilon) = -0,391(0,183) \cdot (\ln(E_\gamma))^2 + 3,616(2) \cdot \ln(E_\gamma) - 11,355(6,6)$$

$$r^2=0,9155$$

INTERPRETACIÓN ESPECTRO DE LA MUESTRA PROBLEMA

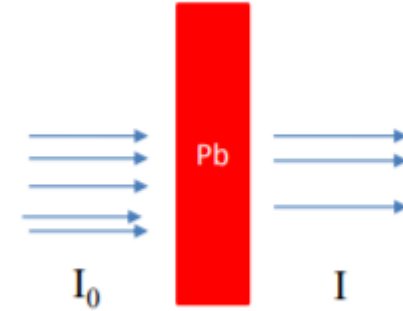
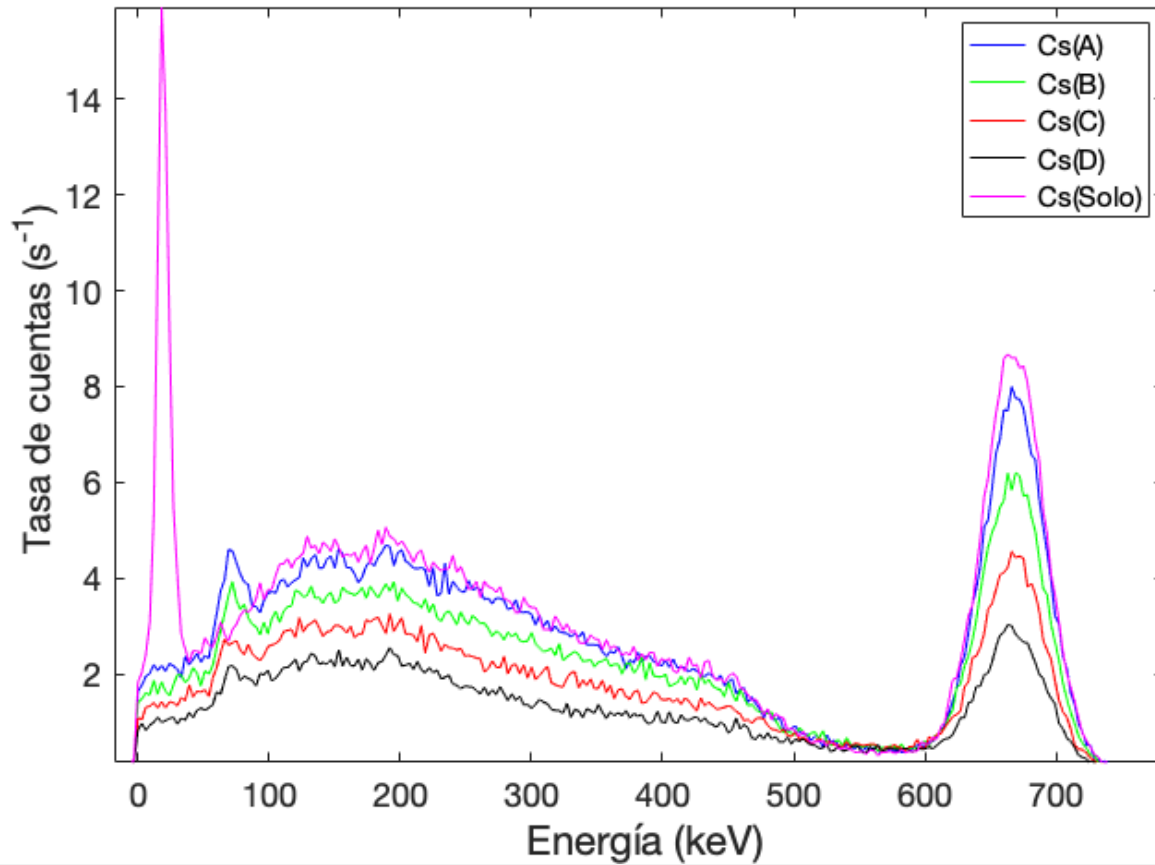


Pico	$E_{exp} \text{ (keV)}$	$E_{tab} \text{ (keV)}$	$\epsilon(\%)$
γ_3	78,211	81	3,44
γ_7	303,159	302,9	0,085
γ_8	360,146	356	1,16

$$A_{exp} = 5,34 \cdot 10^5 \text{ Bq} \quad A_{teo} = 2,731 \cdot 10^4 \text{ Bq}$$

COEFICIENTE DE ATENUACIÓN EN Pb

Muestra de Cs¹³⁷ con distintas láminas de Pb

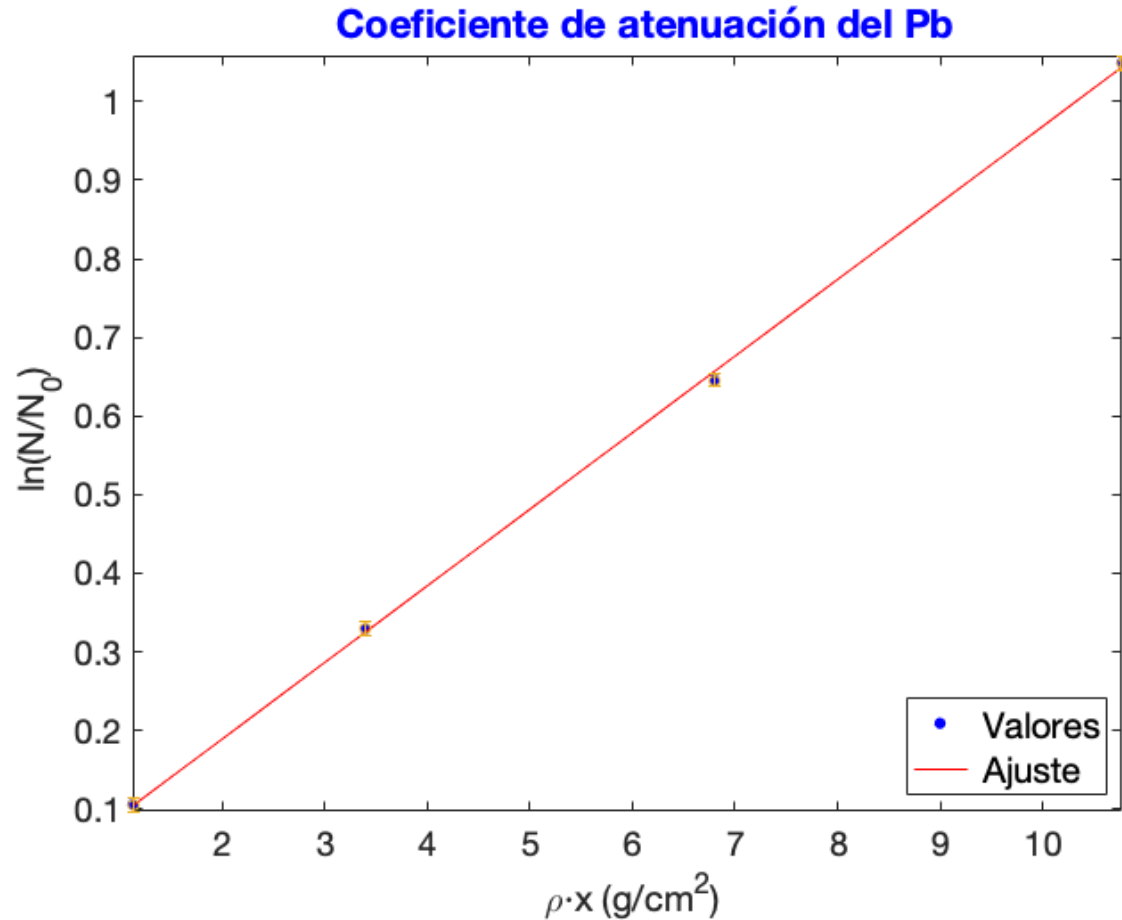


$$I = I_0 e^{-\mu_M \cdot \rho \cdot x}$$

Valores de ρx de las placas (g/cm²)

A	1,13
B	3,4
C	6,8
D	10,77

COEFICIENTE DE ATENUACIÓN EN Pb



$$\ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = -\mu_M(\rho \cdot x)$$

$$\mu_M = 0,0974 \pm 0,0042 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$\mu = 1,276 \pm 0,055 \text{ cm}^{-1}$$

$$\mu_M(\text{tab}) = 0,105 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$\epsilon(\%) = 7,2\%$$

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

- Se han explicado los mecanismos de detección de rayos γ en el detector de centelleo además de comentado su funcionamiento.
- Hemos podido llevar a cabo con satisfacción los 3 tipos de calibración requeridos.
- Se han interpretado todos los espectros y con la conversión en energía hemos podido determinar la muestra problema con su espectro.
- Por último hemos determinado el coeficiente de atenuación del Pb dentro de las cotas de error calculadas con buena exactitud.

FIN

Muchas gracias por su atención