

## INFORME REALIZADO POR LAS EXPERIENCIAS EN EL LABORATORIO

Laboratorio del Área de Cálculo, Análisis y Seguridad

### Evaluación y Comparativa de la Actividad Actual de una Muestra de Cobalto 60 Usando 2 Diferentes Métodos: Por el Detector de Germanio Hiperpuro y Conociendo su Actividad Inicial

Sebastián Alejandro Daza Aliaga  
Instituto Peruano de Energía Nuclear

#### **Resumen**

En el presente informe se evaluará de dos diferentes formas la actividad actual de una muestra de Cobalto 60 que se tiene en el laboratorio de CASE.

En esta oportunidad se utilizará dos métodos:

- Usando el detector de Germanio Hiperpuro y las cuentas que nos da.
- Tomando como dato su actividad inicial, calcular su actividad actual.

Realizado estos dos métodos, realizaremos una comparativa, evaluando igualmente las incertidumbres brindadas por ambos caminos.

**Palabras clave:** Actividad de una Muestra, Detector de Germanio Hiperpuro.

## 1. Objetivo

- Evaluar la actividad actual de la muestra de Cobalto 60 usando el detector de Germanio Hiperpuro.
- Evaluar la actividad actual de la muestra de Cobalto 60 conociendo la actividad inicial de esta y la fecha de su producción.
- Realizar una comparativa entre ambos resultados y buscar conclusiones interesantes.

## 2. Alcance

- Permite validar si los resultados experimentales concuerdan con los cálculos teóricos, lo que es fundamental en metrología nuclear.

## 3. Referencias

- Henri Becquerel Laboratorie
- Determinación de la Eficiencia y Resolución de un Detector de Radiación - Informe Sebastián Daza

## 4. Definiciones

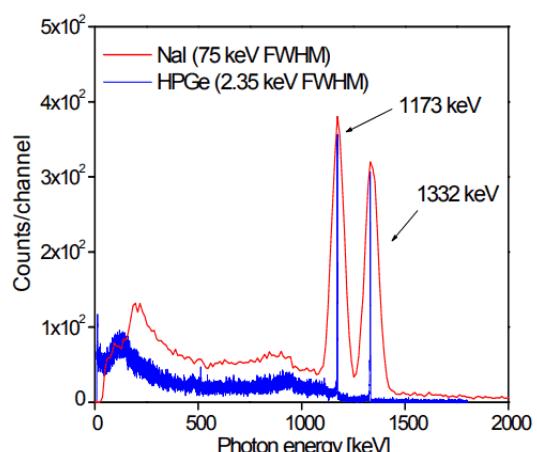
### 4.1 Cobalto-60

Es un isótopo radiactivo artificial del elemento cobalto.

Tiene 27 protones y 33 neutrones, lo que le da una masa

atómica de 60.

Presenta una emisión gamma característica: dos fotones gamma de 1.17 MeV y 1.33 MeV.



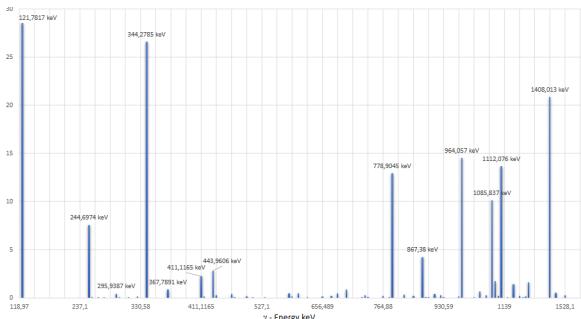
Para el presente informe se utilizó la siguiente muestra de Cobalto-60:



## 4.2 Europio-152

Es un isótopo radiactivo artificial que emite radiación gamma y se usa ampliamente como fuente de referencia en espectroscopía gamma, especialmente para la calibración por eficiencia de detectores como los de germanio hiperpuro (HP-Ge).

El Europio-152 tiene un espectro rico en líneas gamma de energía bien conocidas y distribuidas entre 121 keV y 1400 keV, lo que lo hace ideal para calibraciones.



## 4.3 Detector de Germanio Hiperpuro

Es un dispositivo utilizado para detectar y analizar con alta precisión la radiación gamma emitida por materiales radiactivos. Es uno de los detectores más sensibles y precisos disponibles para espectroscopía gamma.

Este detector nos brindará información importante la cual usaremos más adelante para lograr nuestro objetivo; estos datos son:

### 4.3.1. Cuentas

Cada cuenta (o conteo) es el resultado de que un fotón gamma de cierta energía haya sido absorbido e identificado por el detector.

El sistema electrónico traduce esa interacción en un pulso eléctrico, y cada pulso cuenta como un evento detectado.

Estos eventos se agrupan en un espectro, donde el eje horizontal representa la energía y el eje vertical el número de cuentas por canal de energía.

### 4.3.2. Tiempo Real ( $T_R$ )

Es el tiempo total transcurrido desde que inicia hasta que termina la medición.

Incluye todo el tiempo del reloj, incluso aquellos momentos en los que el sistema estuvo ocupado y no pudo registrar nuevos eventos.

EJEMPLO: Si se inicia una medición a las 10:00:00 y termina a las 10:05:00, el tiempo real es de 300 segundos.

### 4.3.3. Tiempo Vivo ( $T_V$ )

Es el tiempo efectivo en el que el detector estuvo disponible para registrar eventos.

No incluye los instantes en que el sistema estuvo procesando otros eventos (muerto o dead), lo que ocurre cuando llega un nuevo fotón mientras aún se está analizando uno anterior.

EJEMPLO: Si durante los 300 segundos de tiempo real el sistema estuvo "cupado" procesando señales durante 20 segundos, el tiempo vivo fue de 280 segundos.

### 4.3.4. Tiempo Muerto

Es el tiempo en el que el detector estuvo procesando otros eventos y, por ende, no pudo contabilizar las emisiones gammas que le llegaban.

Es recomendable que el tiempo muerto sea menor al 1%

### 4.3.5. Intensidad de Emisión Gamma ( $I$ )

Es la probabilidad de que una desintegración del radionúclido emita un fotón gamma de una energía específica. Se expresa como un número adimensional (entre 0 y 1) o en porcentaje.

NOTA: Este dato se puede conocer en páginas confiables como la de la IAEA o Henri Becquerel Laboratorie.

### 4.3.6. Eficiencia ( $E$ )

Es una medida de qué tan eficaz es el detector para registrar los fotones gamma emitidos por una fuente radiactiva, en una energía específica.

## 4.4 Actividad de una Muestra ( $A$ )

Es una medida de cuántas desintegraciones nucleares ocurren por segundo en dicha muestra.

Esta actividad, con el paso del tiempo, disminuye debido al decaimiento radiactivo; por lo que es entendible que hubo una actividad inicial.

Esta actividad inicial es la actividad que tenía la muestra en un tiempo de referencia, usualmente cuando fue producida, comprada, o medida por primera vez.

Estas dos se relacionan por la siguiente fórmula:

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (1)$$

Donde  $A$  es la actividad actual,  $A_0$  es la actividad inicial,  $t$  es el tiempo transcurrido y  $\lambda$  es la constante de semidesintegración.

A continuación procederemos a definir qué es esta constante de semidesintegración.



```
*****
***** G A M M A S P E C T R U M A N A L Y S I S *****
*****
```

Filename: MP2\_MCA2

Report Generated On : 30/04/2025 03:02:31 PM

Sample Title : Sample title.

Sample Description :

Sample Identification :

Sample Type :

Sample Geometry :

Peak Locate Threshold : 5.00

Peak Locate Range (in channels) : 1 - 16384

Peak Area Range (in channels) : 16 - 16384

Identification Energy Tolerance : 1.000 keV

Sample Size : 1.000E+000 Unit

Sample Taken On : Acquisition Started : 30/04/2025 02:00:45 PM

Live Time : 3405.8 seconds

Real Time : 3411.4 seconds

Dead Time : 0.16 %

Energy Calibration Used Done On : 26/12/2024  
 Efficiency Calibration Used Done On : ??????????  
 Efficiency ID :

Peak Analysis Report 30/04/2025 03:02:42 PM

Page 1

## \*\*\*\*\* P E A K A N A L Y S I S R E P O R T \*\*\*\*\*

Detector Name: MP2\_MCA2  
 Sample Title: Sample title.  
 Peak Analysis Performed On: 30/04/2025 02:59:19 PM  
 Peak Analysis From Channel: 16  
 Peak Analysis To Channel: 16384

Peak No.	ROI start	ROI end	Peak centroid	Energy (keV)	FWHM (keV)	Net Peak Area	Net Area Uncert.	Continuum Counts
M 1	21-	122	33.27	3.54	0.79	5.58E+004	260.58	1.52E+003
m 2	21-	122	40.00	4.36	1.04	1.65E+004	277.32	3.24E+003
m 3	21-	122	56.00	6.32	1.05	9.52E+002	142.70	4.69E+003
m 4	21-	122	65.86	7.52	1.40	2.65E+003	177.92	6.67E+003
m 5	21-	122	75.42	8.69	0.87	1.55E+003	127.37	4.40E+003
m 6	21-	122	85.86	9.34	1.00	2.00E+003	180.00	5.40E+003
m 7	21-	122	96.20	11.22	0.70	8.10E+002	99.91	3.73E+003
m 8	310-	340	327.01	39.39	1.15	6.96E+003	172.98	4.72E+003
M 9	356-	393	371.95	44.88	0.97	3.06E+003	117.76	2.58E+003
m 10	356-	393	382.17	46.12	1.06	9.95E+002	114.83	2.28E+003
M 11	582-	629	597.52	72.41	1.07	3.40E+003	125.32	3.27E+003

m 12	582-	629	615.27	74.37	1.00	6.22E+003	133.85	3.29E+003
m 13	582-	629	695.48	84.36	1.15	2.88E+003	131.30	3.90E+003
m 14	709-	729	717.34	87.03	0.91	8.03E+002	99.04	2.89E+003
m 15	982-	1020	999.64	121.48	1.04	3.75E+004	243.47	4.37E+003
m 16	1984-	2029	2008.14	244.57	1.13	7.81E+003	152.86	2.78E+003
m 17	2414-	2442	2427.64	295.77	1.26	4.31E+002	75.28	1.34E+003
m 18	2802-	2849	2825.25	344.29	1.28	2.12E+004	179.98	1.92E+003
m 19	3354-	3393	3374.04	367.87	1.30	6.16E+003	141.67	1.40E+003
m 20	3354-	3393	3374.04	411.27	1.30	2.65E+003	83.70	1.07E+003
m 21	3622-	3667	3643.34	444.14	1.38	2.19E+003	94.09	1.19E+003
m 22	4165-	4220	4194.69	511.43	1.42	6.42E+002	98.10	1.36E+003
m 23	5550-	5584	5567.19	678.93	1.35	2.93E+002	55.79	6.27E+002
m 24	6363-	6415	6390.68	779.44	1.95	5.13E+003	100.59	9.06E+002
m 25	7089-	7143	716.36	86.94	1.11	2.77E+003	75.24	7.00E+002
m 26	7879-	7933	7909.00	964.74	2.12	5.45E+003	100.18	7.10E+002
m 27	8873-	8930	8906.65	1086.50	2.23	3.17E+003	97.96	8.77E+002
m 28	8930-	8959	8941.84	1090.80	1.44	4.43E+002	44.17	3.56E+002
m 29	9087-	9158	9122.96	1112.90	2.07	4.63E+003	101.75	6.96E+002
M 30	9524-	9975	9946.00	1281.35	2.00	3.93E+002	39.77	2.22E+002
m 31	1029-	1062	1036.00	1214.12	2.00	2.22E+002	32.00	2.00E+002
M 32	10629-	10705	10655.01	1299.89	2.24	2.52E+002	40.84	1.97E+002
m 33	10629-	10705	10665.00	1301.10	2.03	2.55E+002	39.45	1.64E+002
m 34	10892-	10960	10933.25	1333.84	1.79	2.62E+002	25.87	5.94E+001
m 35	11515-	11578	11551.35	1409.28	2.61	5.78E+003	87.70	2.70E+002
m 36	11950-	12016	11985.49	1462.27	2.31	1.88E+003	59.44	2.17E+002

M = First peak in a multiplet region  
 m = Other peak in a multiplet region  
 F = Fitted singlet

Errors quoted at 1.000 sigma

Se utilizó la ecuación (3) modificada, para encontrar la eficiencia en cada uno de los casos; poniendo especial atención a los picos de energía del Europio-152 que estén muy próximos a los picos de energía que tendrá el Cobalto-60.

Teniendo que los datos de entrada para la eficiencia de cada una de las experiencias son:

## ■ Primera Medición:

## \*\*\*\*\* P E A K A N A L Y S I S R E P O R T \*\*\*\*\*

Detector Name: MP2\_MCA2  
 Sample Title: Sample title.  
 Peak Analysis Performed on: 30/04/2025 11:50:13 AM  
 Peak Analysis From Channel: 17  
 Peak Analysis To Channel: 16384

Peak No.	ROI start	ROI end	Peak centroid	Energy (keV)	FWHM (keV)	Net Peak Area	Net Area Uncert.	Continuum Counts
M 1	22-	57	32.74	3.48	0.76	8.30E+003	106.14	4.28E+002
m 2	22-	57	40.00	4.36	1.04	2.61E+003	115.54	1.02E+003
m 3	312-	342	326.81	39.37	1.17	1.21E+003	72.95	8.37E+002
M 4	356-	392	372.02	44.89	1.09	6.32E+002	50.72	4.22E+002
m 5	356-	392	383.00	46.23	1.18	2.73E+002	36.52	2.75E+002
M 6	583-	628	597.29	72.38	0.93	6.21E+002	48.89	5.19E+002
m 7	583-	628	615.20	74.56	1.02	1.11E+003	56.08	5.83E+002
m 8	683-	707	695.07	84.31	1.30	4.36E+002	52.24	6.56E+002
m 9	981-	1021	999.70	121.49	1.02	6.82E+003	104.29	7.81E+002
10	1991-	2023	2008.27	244.58	1.07	1.43E+003	54.13	3.50E+002
11	2807-	2846	2825.32	344.30	1.28	3.68E+003	73.06	3.32E+002

Conociendo las cuentas, el tiempo real y vivo, la actividad y la intensidad de cada uno de los picos; faltaría calcular la vida media, sacando dicho dato de Henri Becquerel Laboratorio, teniendo:

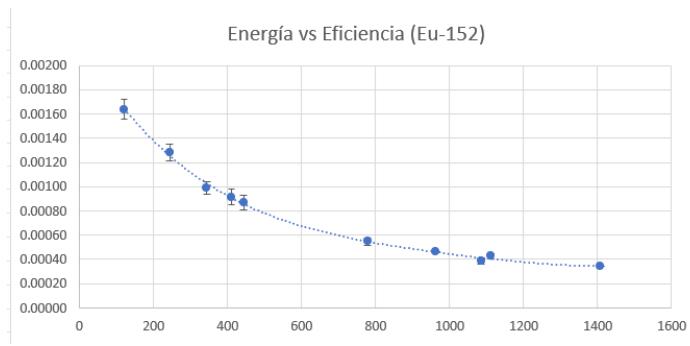
$$T_{1/2}(Eu - 152) = 13,522 \pm 0,016(a) \quad (6)$$

Y así pudiendo ya hallar la eficiencia para cada uno de sus picos de energía.

Medición 1	Eficiencias	Uc
121.78	3.75E+04	± 243.47
244.7	7.81E+03	± 152.86
344.28	2.12E+04	± 179.98
411.12	1.65E+03	± 83.70
443.97	2.19E+03	± 94.09
778.9	5.73E+03	± 106.97
867.38		± 0.0000
964.08	5.45E+03	± 100.18
1085.87	3.17E+03	± 97.96
1089.74		± 0.0000
1112.07	4.63E+03	± 101.75
1212.95		± 0.0000
1299.14		± 0.0000
1408.1	5.78E+03	± 87.70
Tiempo Real	3411.4 s	
Tiempo Vivo	3405.8 s	

Teniendo así la siguiente gráfica de eficiencia:

## ■ Segunda Medición:



```
*****
P E A K   A N A L Y S I S   R E P O R T
*****
*****
```

Detector Name: MP2\_MCA2  
 Sample Title: Sample title.  
 Peak Analysis Performed on: 30/04/2025 01:59:34 PM  
 Peak Analysis From Channel: 14  
 Peak Analysis To Channel: 16384

Peak No.	ROI start	ROI end	ROI centroid	Energy (keV)	FWHM (keV)	Net Area	Net Uncert.	Continuum Counts
M 1	21-	53	32.65	3.47	0.71	9.88E+004	315.24	1.19E+003
m 2	21-	53	40.39	4.41	0.68	2.12E+003	265.43	1.82E+003
M 3	582-	630	597.37	72.39	1.06	2.35E+003	120.51	3.29E+003
m 4	582-	630	615.31	74.58	1.04	4.31E+003	128.89	3.39E+003
5	682-	708	695.47	84.36	1.01	1.99E+003	120.51	3.39E+003
6	708-	728	717.76	87.08	0.93	5.66E+002	92.56	2.57E+003
7	9590-	9667	9626.08	1174.31	2.43	4.88E+004	264.23	2.24E+003
8	10896-10974	10933.22	1333.84	2.55	4.45E+004	234.37	1.11E+003	
9	11957-12014	11987.00	1462.45	2.46	1.90E+003	52.60	1.28E+002	
M 10	14452-14498	14466.20	1765.03	2.67	5.04E+001	14.00	3.06E+001	
m 11	14452-14498	14480.36	1766.75	2.43	1.02E+002	18.93	4.76E+001	

M = First peak in a multiplet region  
 m = Other peak in a multiplet region  
 F = Fitted singlet

Errors quoted at 1.000 sigma

Y realizando con una proyección la eficiencia en los puntos de energía del Cobalto-60.

NOTA 1: La incertidumbre de estas eficiencias se calcula con la misma idea de (4); es decir, con la siguiente ecuación:

$$(\delta E)^2 = \left(\frac{\partial E}{\partial C}\right)^2 \cdot (\delta C)^2 + \left(\frac{\partial E}{\partial \lambda}\right)^2 \cdot (\delta \lambda)^2 + \left(\frac{\partial E}{\partial I}\right)^2 \cdot (\delta I)^2 + \left(\frac{\partial E}{\partial A}\right)^2 \cdot (\delta A)^2 \quad (7)$$

NOTA 2: La actividad de la muestra de Europio-152 se puede saber si aplicamos la fórmula teórica (1).

Ya pudiendo hacer así una proyección para los picos de energía del Cobalto-60.

Para obtener los demás datos de entrada necesarios para el Cobalto-60, se realizó igualmente una medición para este material, con un tiempo real de 1 hora, igualmente; teniendo así:

```
*****
G A M M A   S P E C T R U M   A N A L Y S I S
*****
*****
```

Filename: MP2\_MCA2

Report Generated On : 30/04/2025 01:59:40 PM

Sample Title : Sample title.

Sample Description :

Sample Identification :

Sample Type :

Sample Geometry :

Peak Locate Threshold : 5.00

Peak Locate Range (in channels) : 1 - 16384

Peak Area Range (in channels) : 14 - 16384

Identification Energy Tolerance : 1.000 keV

Sample Size : 1.000E+000 Unit

Sample Taken On : 30/04/2025 12:11:04 PM

Acquisition Started : 30/04/2025 12:11:04 PM

Live Time : 3600.0 seconds

Real Time : 3608.0 seconds

Dead Time : 0.22 %

Energy Calibration Used Done On : 26/12/2024

Efficiency Calibration Used Done On : ??????????

Efficiency ID :

Peak Analysis Report 30/04/2025 01:59:47 PM Page 1

Con sus siguientes cuentas:

Siendo sus picos más destacables el 1174 y 1333 keV. Por último, nos faltaría hallar la vida media del Cobalto-60 y, para eso, volveremos a usar Henri Becquerel Laboratorie, teniendo así:

$$T_{1/2}(Co - 60) = 5,2711 \pm 0,0008(a) \quad (8)$$

## 10. Resultados

Evaluaremos los resultados experimentales y teóricos.

### 10.1 Experimental

Evaluando los resultados experimentales con todos los datos de entrada observados y las ecuaciones mencionadas, tenemos que la actividad actual del Cobalto-60 evaluada experimentalmente es:

Medición 2			
Cuentas 1173.2	48800.00	±	264.23
Cuentas 1332.5	44500.00	±	234.37
Tiempo Real	3608		
Tiempo Vivo	3600		
Tiempo Decaimiento		s	
Eff 1173.2	0.000385	±	0.00002
Eff 1332.5	0.000349	±	0.00002
Actividad	0.953576696	±	0.058375655 μCi
	0.958329357	±	0.064684722 μCi

### 10.2 Teórico

Evaluando los resultados teóricos con todos los datos de entrada observados y las ecuaciones mencionadas, tenemos que la actividad actual del Cobalto-60 evaluada teóricamente es:

Actv Inici	1	$\pm$	0.05	$\mu\text{Ci}$
Fech. Actv	2/10/2024			
Fech. Medi	30/04/2025			
Dias Transc.	210			
Seg. Transc.	18144000			
<b>T<sub>1/2</sub></b>	5.2711	$\pm$	0.0008	Años
	1923.9515	$\pm$	0.292	Días
	46174.836	$\pm$	7.008	Horas
	2770490.16	$\pm$	420.48	Minutos
	<b>166229410</b>	$\pm$	<b>25228.8</b>	<b>Segundos</b>
<b><math>\lambda</math></b>	<b>4.1689E-09</b>	$\pm$	<b>6.3286E-13</b>	<b>Hz</b>
Actv Act	0.92714881	$\pm$	0.04635744	

## 11. Análisis de Resultados

- Hallando el error porcentual:

$$\text{Error}_{Eff-1173,2} = 2,85 \% \quad (9)$$

$$\text{Error}_{Eff-1332,5} = 3,36 \% \quad (10)$$

Notando que el error porcentual entre ambos procesos es bajo.

## 12. Conclusiones y Recomendaciones

- Se observa que el error porcentual es bajo, por lo tanto, se puede proceder a realizar cualquiera de estos métodos para evaluar la actividad de una muestra.
- Si nos fijamos bien, el método experimental no se tomó en cuenta la actividad inicial del Cobalto-60, solo del Europio-152 (el cual se usó como calibrador de eficiencia); por lo tanto, este método puede ser útil para muestras desconocidas.

## 13. Anexo

- "HC-Actividad-Co60"