

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 Laboratoire
- Determinación de la Eficiencia y Resolución de un Detector de Radiación - Informe Sebastián Daza

4. Definiciones

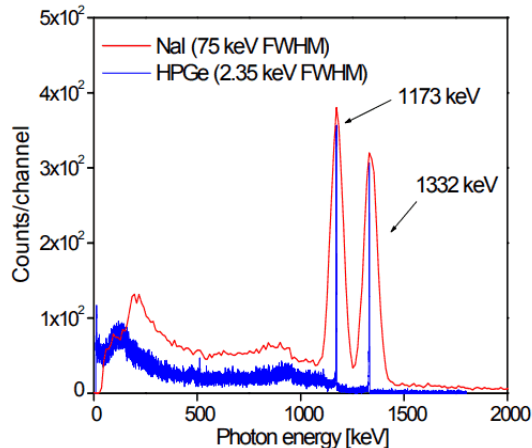
4.1 Cobalto-60

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.



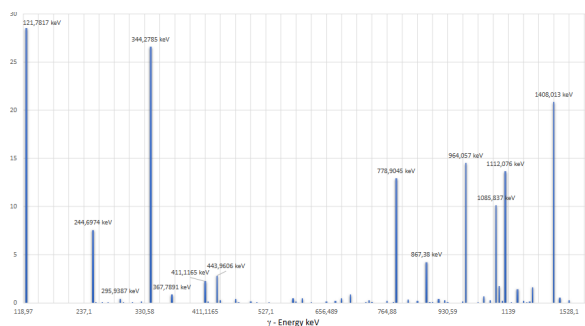
Para el presente informe se utilizó la siguiente muestra de Cobalto-60:



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 "ocupado" 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 gamma 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 Laboratoire.

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 λ es la constante de semidesintegración.

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

4.4.1. Constante de Semidesintegración (λ)

Es una propiedad fundamental de un radionúclido que indica la probabilidad por unidad de tiempo de que un núcleo radiactivo se desintegre.

Esta constante es propia de cada material y, hablando específicamente del Cobalto-60 es $4,17 \times 10^{-9} Hz$.

Esta igual se relaciona con la vida media $t_{1/2}$ del radionucleo (un dato más común que brinden) con la siguiente fórmula:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \quad (2)$$

En el caso del Cobalto-60, su vida media $t_{1/2}$ es de 5.27 años.

5. Fundamentos Teóricos Básicos

5.1 Método Experimental

Conociendo los datos que necesitamos del detector (nuestro método experimental), a continuación se aplicará la siguiente fórmula para conocer la actividad de la muestra de Cobalto-60:

$$A = \frac{Cuentas \cdot \lambda \cdot \frac{T_R}{T_V}}{(1 - e^{-\lambda \cdot T_R}) \cdot I \cdot E} \quad (3)$$

NOTA: La idea de por qué se utiliza esta fórmula se ve en el informe de "Eficiencia y Resolución de Detectores de Germanio Hiperpuro y Yoduro de Sodio".

5.2 Método Teórico

Para este método, es necesario conocer la actividad inicial de la muestra para aplicar la ecuación (1).

Además, por otra parte, también podemos hallar la incertidumbre por cálculo, siendo esta:

$$(\delta A)^2 = \left(\frac{\partial A}{\partial A_0} \right)^2 \cdot (\delta A_0)^2 + \left(\frac{\partial A}{\partial t_{1/2}} \right)^2 \cdot (\delta t_{1/2})^2 \quad (4)$$

Lo que da como resultado:

$$(\delta A)^2 = \left(e^{-\frac{\ln 2}{t_{1/2}} \cdot t} \right)^2 \cdot (\delta A_0)^2 + \left(A_0 \cdot \frac{\ln 2 \cdot t}{t_{1/2}^2} \cdot e^{-\frac{\ln 2}{t_{1/2}} \cdot t} \right)^2 \cdot (\delta t_{1/2})^2 \quad (5)$$

6. Precauciones

- Usar dosímetros personales para registrar la exposición individual.
- Permanecer el menor tiempo posible cerca de la fuente (principio del tiempo), mantener una distancia segura (principio de distancia) y, al terminar, cubrir la muestra con escudos de plomo (principio de blindaje).
- Confirmar que el detector HPGe esté debidamente refrigerado.

7. Equipos y Herramientas

- Detector de Germanio Hiperpuro.

8. Materiales

- Cobalto-60.
- Europio-152.

9. Datos de Entrada

Se realizó las medidas el 30 de Abril del 2025; fueron 2, una con un tiempo real de 10 minutos para el Europio-152 y la otra con un tiempo real de 1 hora también en Europio-152; ambos fueron realizado a 15 cm del detector.

Estas dos mediciones se realizaron para hallar el valor de la eficiencia a dicha altura; solo que el segundo se hizo más tiempo para reducir aun más las incertidumbres por eficiencia y, de esta forma, obtener resultados mejores para la eficiencia que deseamos.

A continuación se presentan estas mediciones:

- Primera Medicion:

Podemos observar la primera medición del Europio con los 10 minutos de tiempo real mencionado.

```
*****
*****  GAMMA SPECTRUM ANALYSIS  *****
*****

Filename: MP2_MCA2

Report Generated On       : 30/04/2025 11:50:57 AM

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) : 17 - 16384
Identification Energy Tolerance : 1.000 keV

Sample Size               : 1.000E+000 Unit

Sample Taken On          :
Acquisition Started      : 30/04/2025 11:38:32 AM

Live Time                 : 601.7 seconds
Real Time                 : 602.7 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 11:51:03 AM Page 1

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

- Segunda Medicion:

Podemos observar la segunda medición del Europio con 1 hora de tiempo real medido (en promedio).

 ***** GAMMA SPECTRUM ANALYSIS *****

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

 ***** PEAK ANALYSIS REPORT *****

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	127.30	4.40E+003
m 6	21-	122	85.68	9.94	1.10	1.76E+003	146.00	5.66E+003
m 7	21-	122	96.20	11.22	0.70	8.10E+002	99.91	3.73E+003
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	74.57	1.00	6.22E+003	133.85	3.29E+003
13	682-	708	695.48	84.36	1.15	2.82E+003	131.30	3.90E+003
14	709-	729	717.34	87.03	0.91	8.03E+002	99.04	2.89E+003
15	982-	1020	999.64	121.48	1.04	3.75E+004	243.47	4.37E+003
16	1984-	2029	2008.14	244.57	1.13	7.81E+003	152.86	2.78E+003
17	2414-	2442	2427.64	295.77	1.26	4.31E+002	75.28	1.34E+003
18	2802-	2849	2825.25	344.29	1.28	2.12E+004	179.98	1.92E+003
19	3001-	3033	3017.64	367.77	1.29	6.75E+002	72.01	1.05E+003
20	3354-	3393	3374.04	411.27	1.30	1.65E+003	83.70	1.07E+003
21	3622-	3667	3643.34	444.14	1.38	2.19E+003	94.09	1.19E+003
22	4165-	4220	4194.69	511.43	1.42	6.42E+002	98.10	1.36E+003
23	5550-	5584	5567.10	678.93	1.35	2.93E+002	55.79	6.27E+002
24	6363-	6415	6390.68	779.44	1.95	5.73E+003	106.97	9.08E+002
25	7090-	7140	7117.19	868.11	1.82	1.77E+003	79.24	7.42E+002
26	7879-	7933	7909.00	964.74	2.12	5.45E+003	100.18	7.10E+002
27	8873-	8930	8906.65	1086.50	2.23	3.17E+003	97.96	8.77E+002
28	8930-	8959	8941.84	1090.80	1.44	4.43E+002	44.17	3.56E+002
29	9087-	9158	9122.96	1112.90	2.07	4.63E+003	101.75	6.96E+002
M 30	9924-	9975	9946.00	1213.35	2.00	3.93E+002	39.77	2.22E+002
m 31	9924-	9975	9954.64	1214.41	2.20	1.53E+002	39.26	2.03E+002
M 32	10629-	10705	10655.01	1299.89	2.24	2.55E+002	40.84	1.97E+002
m 33	10629-	10705	10665.00	1301.10	2.03	2.55E+002	39.45	1.64E+002
34	10902-	10960	10933.25	1333.84	1.79	2.62E+002	25.87	5.94E+001
35	11515-	11578	11551.35	1409.28	2.61	5.78E+003	87.70	2.70E+002
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:

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

 ***** PEAK ANALYSIS REPORT *****

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
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
8	683-	707	695.07	84.31	1.30	4.36E+002	52.24	6.56E+002
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

M 12	3354-	3391	3367.71	410.50	1.73	2.20E+001	26.85	1.36E+002
m 13	3354-	3391	3374.00	411.27	1.57	3.40E+002	33.28	1.90E+002
14	3624-	3663	3643.39	444.14	0.77	3.43E+002	36.92	2.04E+002
15	6358-	6411	6390.65	779.44	1.89	1.12E+003	40.92	8.43E+001
16	7089-	7143	7116.36	868.01	1.63	3.54E+002	36.81	1.54E+002
17	7884-	7928	7909.79	964.84	1.82	8.87E+002	39.77	1.28E+002
18	8874-	8935	8907.13	1086.56	1.73	5.63E+002	44.00	1.81E+002
19	9098-	9153	9123.79	1113.01	2.20	8.80E+002	37.39	7.92E+001
M 20	11525-	11578	11539.00	1407.77	2.08	8.36E+001	23.84	4.77E+001
m 21	11525-	11578	11549.00	1408.99	2.08	7.74E+002	36.01	5.86E+001
m 22	11525-	11578	11563.21	1410.73	1.59	2.11E+002	29.32	1.76E+001

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

Errors quoted at 1.000 sigma

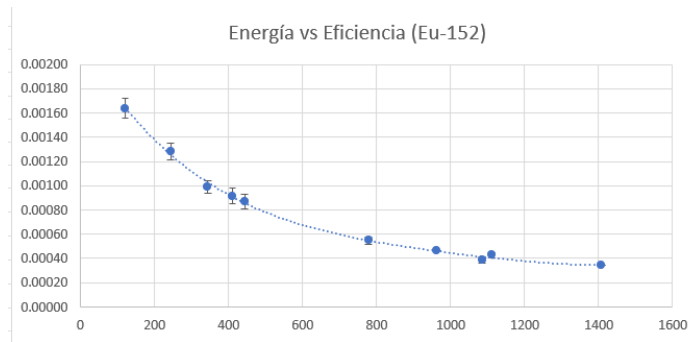
Conociendo las cuentas, el tiempo real y vivo, la actividad y la intensidad de cada uno de los picos; faltaría calcular la vida media, sacando dicho dato de Henri Becquerel Laboratoire, teniendo:

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	0.00164	0.00008	5.06%
244.7	7.81E+03	±	152.86	0.00128	0.00007	5.40%
344.28	2.12E+04	±	179.98	0.00099	0.00005	5.09%
411.12	1.65E+03	±	83.70	0.00091	0.00007	7.14%
443.97	2.19E+03	±	94.09	0.00087	0.00006	6.72%
778.9	5.73E+03	±	106.97	0.00055	0.00003	5.36%
867.38		±		0.00000	0.00000	
964.08	5.45E+03	±	100.18	0.00047	0.00002	5.34%
1085.87	3.17E+03	±	97.96	0.00039	0.00002	5.91%
1089.74				0.00000	0.00000	
1112.07	4.63E+03	±	101.75	0.00043	0.00002	5.48%
1212.95				0.00000	0.00000	
1299.14				0.00000	0.00000	
1408.1	5.78E+03	±	87.70	0.00034	0.00002	5.24%
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	Peak centroid	Energy (keV)	FWHM (keV)	Net Peak Area	Net Area 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:

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 Laboratoire, 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:

Medicion 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

```
*****
*****  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 :

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:

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	±	0.05	μCi
Fech. Actv	2/10/2024			
Fech. Medi	30/04/2025			
Dias Transc.	210			
Seg. Transc.	18144000			
T _{1/2}	5.2711	±	0.0008	Años
	1923.9515	±	0.292	Días
	46174.836	±	7.008	Horas
	2770490.16	±	420.48	Minutos
	166229410	±	25228.8	Segundos
λ	4.1689E-09	±	6.3286E-13	Hz
Actv Act	0.92714881	±	0.04635744	

11. Análisis de Resultados

- Hallando el error porcentual:

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

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

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"