

Práctica 4: Radiación Natural

L.F. HORTA-CAMACHO¹, C. D. DELGADILLO-LOZANO², AND C.E. SARMIENTO-TORRES³

¹lfhortac@unal.edu.co

²cddelgadillo@unal.edu.co

³csarmientot@unal.edu.co

Julio 19, 2021

RESUMEN:

La radiación se encuentra de forma natural en el medio ambiente y esta existe sin la intervención humana, un ejemplo son los materiales radiactivos existentes en la Tierra desde su formación, los llamados primigenios, además de los materiales radiactivos generados por interacción de rayos cósmicos con materiales de la Tierra que originalmente no eran radiactivos, los llamados cosmogénicos. Por lo cual, las mediciones de radiación presente en muestras de suelo son de gran importancia ya que pueden contener isótopos radiactivos y en algunas aplicaciones resulta bastante útil determinar la concentración de dichos elementos radiactivos. En este trabajo se aborda el estudio de los picos de ^{40}K y ^{238}U , en el cual se determina la concentración porcentual de los isótopos de dos muestras de tierra provenientes del municipio de Zapatoca y la Universidad Nacional, todo lo anterior utilizando el detector de NaI.

Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Física. Instrumentación Nuclear.

1. INTRODUCCIÓN

El estudio de la radiación y la radiactividad natural en suelo es de gran importancia, esto se debe principalmente a la dosis efectiva extra que puede afectar e incidir a la población de una determinada locación geográfica, ya que depende del tipo de suelo y las cadenas radiactivas que pueden estar presentes.

Las cadenas naturales del ^{238}U y ^{232}Th proveen un conjunto de radionúcleidos, de amplio rango de tiempos de semidesintegración, cuya evolución en los distintos isótopos naturales permite deducir sus cambios e influencias en el medio ambiente. Además, siendo la mayoría de los radioisótopos emisores alfa, su contribución es importante a la dosis de radiación que recibe la población.

El ^{40}K es un isótopo radioactivo de potasio que tiene un periodo de semidesintegración muy largo y constituye 0,012 por ciento de la cantidad total de potasio que se encuentra en la naturaleza, el cual sufre todos los dos tipos de desintegración beta. La desintegración radioactiva de ^{40}K en el manto de la Tierra ocupa el tercer lugar, después de ^{238}Th y ^{238}U , como fuente de calor radiogénico. Por otra parte, el uranio es un importante radionúcleido presente en suelo, el ^{238}U y ^{234}U contribuyen con el 98% de la actividad proveniente del uranio. El torio

existe principalmente como ^{232}Th , es encontrado mas abundantemente en rocas ácidas que en alcalinas. El potasio se encuentra abundantemente en la corteza terrestre en un promedio de 0.1% para calizas y hasta del 4% en algunos granitos particularmente los bajos en calcio. Siempre acompañado del ^{40}K en el suelo y presenta un promedio de concentración de actividad de 0.44 Bq/g .

2. EXPERIMENTO

Antes de tomar los datos se debe examinar que todas las partes electrónicas del detector estén debidamente colocadas y tengan un correcto funcionamiento, luego de eso se debe encender el programa y correr el software del análisis de datos, para que este listo para posteriores tomas de muestra.

El método específico para la toma de los datos involucra la disposición geométricas del detector que en esta caso es uno de Ge, el cual es calibrado con muestras patrón, las cuales están en recipientes que son similares a los instrumentos en donde la muestra es colocada, dentro de un blindaje de plomo se procede a tomar datos por 24 horas, en estos datos se capta el fondo, el material y la radiación emitida por el suelo, estos se guardan para su posterior análisis. La muestra del suelo para analizar es secada y puesta en una botella plástica de geometría idéntica a la que contiene la muestra de referencia. Se propone determinar la intensidad gamma de cada muestra y contrastando con la cantidad conocida de una muestra certificada de referencia proveniente de un laboratorio del Organismo Internacional de Energía Atómica.

3. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Para cada una de las muestras se obtuvieron los siguientes espectros de energía (Fig. 1-4). Donde, previamente se hizo una calibración en energía del instrumento de medición, la cual se describe con la siguiente expresión:

$$E_{\gamma} = -26.3(1) [\text{keV}] + 0.36480(2) \left[\frac{\text{keV}}{\text{canal}} \right] * \text{Canal} \quad (1)$$

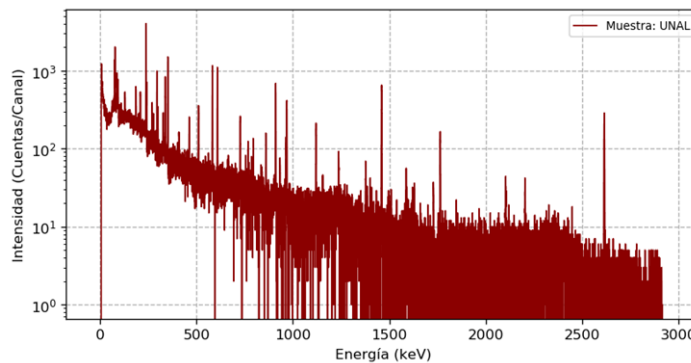


Fig. 1. Datos experimentales obtenidos de la muestra de la UNAL

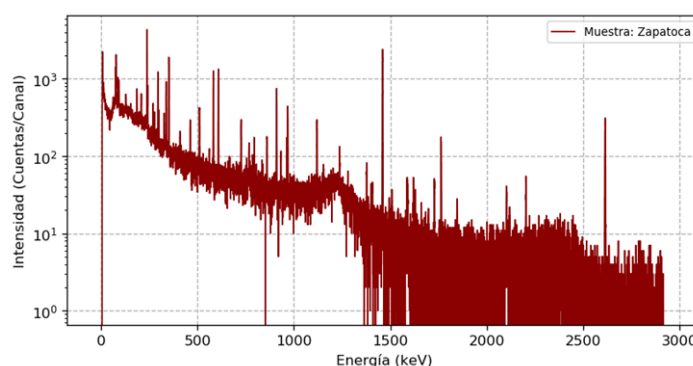


Fig. 2. Datos experimentales obtenidos de la muestra de Zapatoca

Se tienen también los espectros “puros” (sustraído el fondo) de las sustancias de referencia. El espectro producido por la referencia RGK-1 (Sulfato de Potasio) y el material de referencia RGU-1 (Óxido de Uranio) para observar la cadena de decaimiento del ^{238}U .

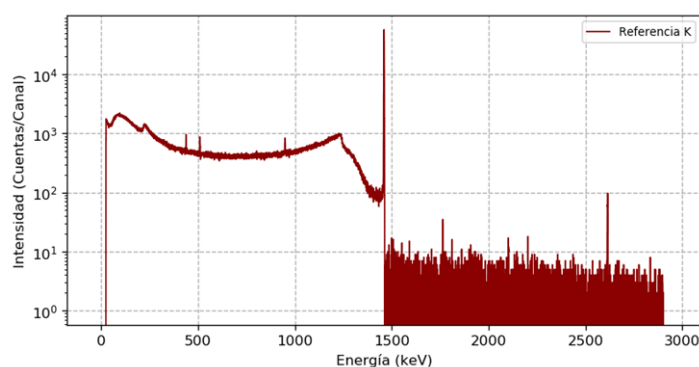


Fig. 3. Espectro puro obtenido como referencia para el potasio (^{40}K)

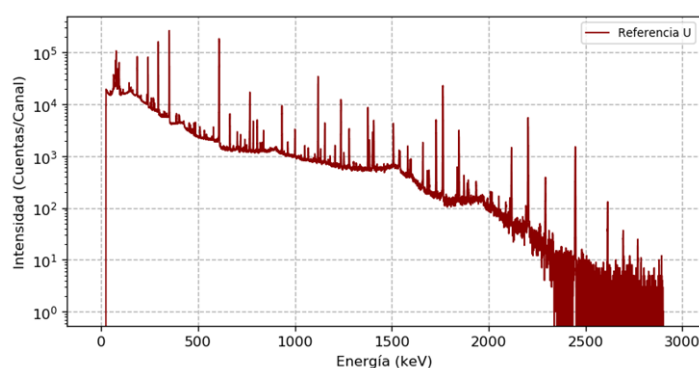


Fig. 4. Espectro puro obtenido como referencia para el uranio (^{238}U)

De los espectros mostrados en las figuras 3 y 4 se estudiarán los picos de energía 1461 keV y 352 keV respectivamente.

4. ANÁLISIS

A. Demostración Radiación Proveniente de la actividad

Tal como se sugiere en la guía del laboratorio, para esta demostración se partirá de la ecuación de la actividad 2.

$$A[{}^{40}\mathbf{K}] = \Gamma N[{}^{40}\mathbf{K}] \quad (2)$$

Por otra parte, utilizando la relación de la masa de la muestra y sus concentraciones, con ello se puede determinar la concentración de potasio en la muestra:

$$\begin{aligned} m &= \text{masa de la muestra} \\ m &= m(\mathbf{K}) + m(\text{otros componentes}) \\ m(\mathbf{K}) &= m({}^{39}\mathbf{K}) + m({}^{40}\mathbf{K}) + m({}^{41}\mathbf{K}) \\ \varphi({}^{40}\mathbf{K}) &= \frac{m({}^{40}\mathbf{K})}{m(\mathbf{K})} \\ C(\mathbf{K}) &= \frac{m(\mathbf{K})}{m} = \text{Concentración de potasio} \end{aligned}$$

Adicional a lo anterior en la ecuación 3 se determina el numero de núcleos de la muestra.

$$N[{}^{40}\mathbf{K}] = \frac{\mathcal{N}_A \vartheta \xi}{w_a} \quad (3)$$

Donde se tiene que; ϑ es la abundancia isotópica, ξ es la masa de la muestra que se desea analizar, w es la masa atómica y por ultimo \mathcal{N}_A es el numero de Avogadro. Ya que ξ es la masa del elemento de interés.

$$\begin{aligned} \xi &= \frac{m(\mathbf{K})}{m} m = C(\mathbf{K}) m \\ \vartheta &= \frac{m({}^{40}\mathbf{K})}{m} = \varphi({}^{40}\mathbf{K}) \end{aligned} \quad (4)$$

Reemplazando en la ecuación 2, se obtiene que:

$$A[{}^{40}\mathbf{K}] = \Gamma \frac{\mathcal{N}_A \vartheta \xi}{w_a} = \Gamma \frac{\mathcal{N}_A \varphi[{}^{40}\mathbf{K}] C[\mathbf{K}] m}{w_{\mathbf{K}}} \quad (5)$$

Se tiene en cuenta que $\Gamma = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{0.693}{T_{1/2}}$, así finalmente la expresión de la actividad es:

$$A[{}^{40}\mathbf{K}] = \frac{0.693}{T_{1/2}} \frac{\mathcal{N}_A}{w_{\mathbf{K}}} \varphi[{}^{40}\mathbf{K}] C[\mathbf{K}] m \quad (6)$$

B. Calculo de la concentración de uranio y potasio en las muestras.

Para hallar la concentración del elemento en estudio en las muestras se usa la siguiente ecuación:

$$C_m(K) = \frac{I_m}{I_r} C_r(K) \quad (7)$$

En donde C_m corresponde a la concentración del isótopo en la muestra; desconocida, a determinar; I_m intensidad de la muestra, I_r intensidad de la referencia, y por ultimo C_r es el contenido porcentual de 500 g de cada una de las muestras de referencia. Para hallar las cantidades mencionadas es necesario hacer un ajuste de gaussianas a los picos de las muestras y de referencia en los picos de energía 1461 keV y 352 keV.

Los ajustes para las muestras Unal y Zapatoca alrededor del pico de 1461 keV para el ^{40}K se muestran en las figuras 5 y 6.

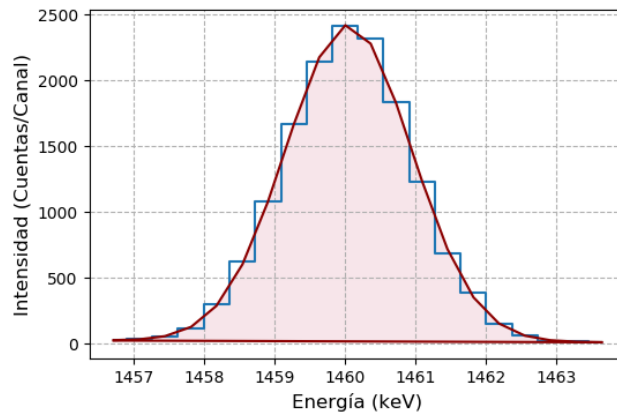


Fig. 5. Ajuste de una gaussiana al pico de ^{40}K de la muestra tomada en Zapatoca

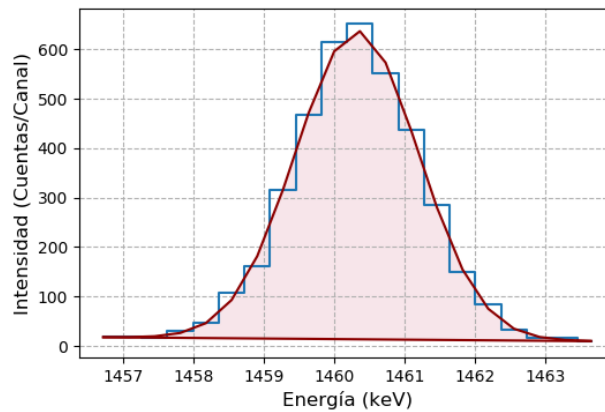


Fig. 6. Ajuste de una gaussiana al pico de ^{40}K de la muestra tomada en Unal

El ajuste al pico de 1461 keV del potasio de referencia se muestra en la figura 7. Los parámetros de importancia de estos ajustes se muestran en la tabla 1.

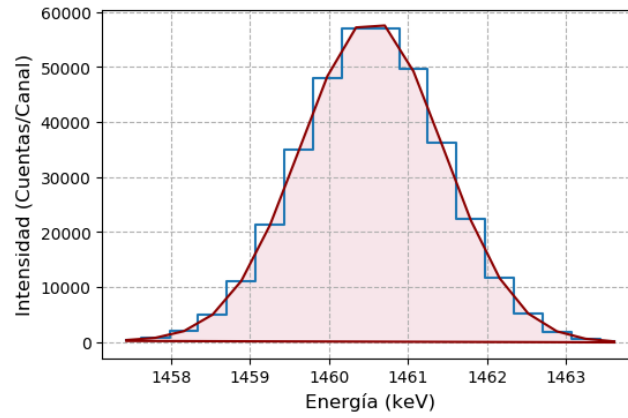


Fig. 7. Ajuste de una gaussiana al pico de ^{40}K de la muestra de referencia

Table 1. Intensidades de los picos de interés para el ^{40}K provenientes de las muestras y del material de referencia a la energía $E_\gamma = 1461$ keV.

Pico 1461 keV			
Muestra	σ (keV)	M (Cuentas/Canal)	I (Cuentas)
Zapatoca	0.894(3)	2405(23)	14795(152)
UNAL	0.873(1)	622(10)	3733(68)
Referencia	0.901(1)	58518(201)	362383(1288)

Con ayuda de la relación 7, los datos de la tabla 2 y conociendo que $C_r(K) = 0.448(3)$, se obtiene la concentración de potasio en las muestras, adicionalmente dicha concentración es convertida a partes por millón (ppm) teniendo en cuenta que 1% de concentración equivale a 10000 ppm:

Table 2. Concentración de potasio en las muestras.

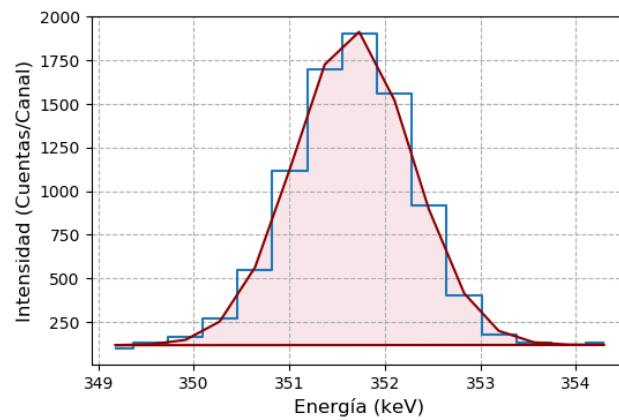
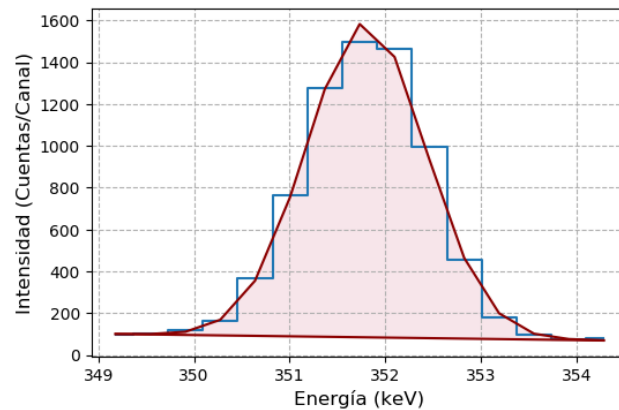
Pico 1461 keV			
Muestra	C_m (K)	C_m (K)(%)	C_m (K) (ppm)
Zapatoca	0.0183(2)	1.83(2)	18300(200)
UNAL	0.0046(9)	0.46(9)	4610(90)

Adicionalmente se estimo la actividad del potasio en dichas muestras, utilizando la relación de la ecuación 6, donde, $T_{1/2} = 3.95 \times 10^{16}\text{s}$ y $w(\text{K}) = 39.1$ g.

Table 3. Actividad de potasio en las muestras

Pico 1461 keV	
Muestra	A(K) (Bq)
Zapatoca	289.3407(2)
UNAL	72.88856(9)

Al igual que el potasio los ajustes para las muestras Unal y Zapatoca al rededor del pico de 352 keV para los subproductos del decaimiento de la cadena de ^{238}U se muestran en las figuras 9 y 8.

**Fig. 8.** Ajuste de una gaussiana al pico de ^{238}U de la muestra tomada en Zapatoca**Fig. 9.** Ajuste de una gaussiana al pico de ^{238}U de la muestra tomada en la Unal

El ajuste al pico de 352 keV de los subproductos del decaimiento de la cadena de ^{238}U de referencia se muestra en la figura 10. Los parámetros de importancia de estos ajustes se muestran en la tabla 4.

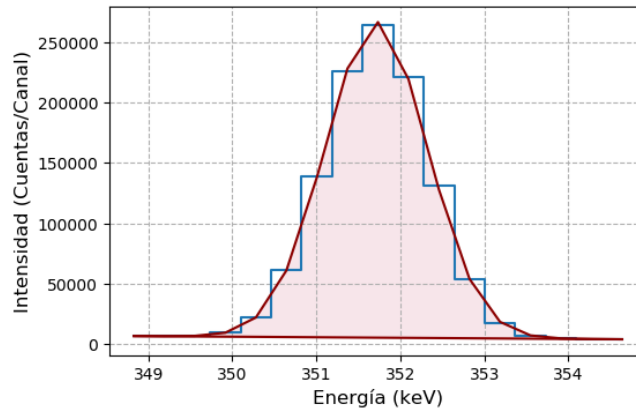


Fig. 10. Ajuste de una gaussiana al pico de ^{238}U de la muestra de referencia

Table 4. Intensidades de los picos de interés para el ^{238}U provenientes de las muestras y del material de referencia a la energía $E_\gamma = 352$ keV.

Pico 352 keV			
Muestra	σ (keV)	M (Cuentas/Canal)	I (Cuentas)
Zapatoca	0.612(1)	1805(33)	7602(149)
UNAL	0.622(1)	1506(31)	6441(140)
Referencia (RGU-1)	0.606(1)	261043(1678)	1088268(7227)

En un proceso análogo al potasio, se estima las concentraciones de ^{238}U en las muestras (Tabla 5), teniendo en cuenta que $C_r(^{238}\text{U}) = 400(2) \text{ ppm} = 4.00 \times 10^{-4}(2)$.

Table 5. Concentración de ^{238}U en las muestras

Pico 352 keV			
Muestra	C_m (U)	C_m (U)(%)	C_m (U) (ppm)
Zapatoca	$2.79 \times 10^{-6}(6)$	$2.79 \times 10^{-4}(6)$	2.79(6)
UNAL	$2.36 \times 10^{-6}(5)$	$2.36 \times 10^{-4}(5)$	2.36(5)

NOTA: Se tiene que 1% de concentración equivale a 10000 ppm.

Finalmente se estimo la actividad del ^{238}U en dichas muestras utilizando la relación de la ecuación 6, donde, $w(\text{K}) = 238.03$ g, $T_{1/2} = 2.21950368 \times 10^{16}$ s .

Table 6. Actividad de ^{238}U en las muestras

Pico 352 keV	
Muestra	A(U) (Bq)
Zapatoca	110.22068190(6)
UNAL	93.2332650(5)

5. CONCLUSIÓN

- EL método propuesto permite determinar la concentración de ^{238}U y ^{40}K en dos muestras de suelo del municipio de Zapatoca y la UNAL respectivamente.
- El análisis de los espectros de los patrones tomados con el detector de NaI revela la capacidad de este para registrar múltiples picos de energías similares.
- Teniendo en cuenta las concentraciones estimadas en ppm de ^{40}K se comprueba su mayor abundancia con respecto ^{238}U en las muestras de Zapatoca y la UNAL. Adicionalmente, en Zapatoca cada uno de los radionucleidos presento mayor concentración respecto de la UNAL, esto se traduce en actividades y dosis mayores en dicho municipio.
- El análisis realizado permiten conocer la cantidad de materiales radiactivos presentes en los suelos, así como, poder contrastar la composición de estos y de esta manera determinar si algún lugar ha sido contaminado con materiales radiactivos.

REFERENCES

- [1] Fernando Cristancho. "Prácticas Experimentales". In: first. Vol. 1. Instrumentación Nuclear. Universidad Nacional de Colombia, June 2021. Chap. 2 Practicas.