

Activación Neutrónica y Vida Media

María Corina Urdaniz - Mariano Real

Laboratorio 5 – FCEyN- UBA- Noviembre, 2004-Prof. Salvador Gil

Nuestra propuesta consiste en activar neutronicamente muestras de ^{23}Na y ^{75}As , para luego mediante el uso de un detector de NaI (Ti), obtener un espectrograma de energía con el cual determinaremos las actividades de las muestras y como consecuencia su vida media, objetivo principal de nuestro trabajo. Asimismo se observó que las muestras tenían una autoabsorción de un tercio del flujo incidente. Para realizar la activación se utilizó una fuente de neutrones de Am-Be la que produce un flujo de neutrones $\sim 1.15 \times 10^7 \text{ n/m}^2 \text{ s}$.

I. INTRODUCCIÓN

El análisis por activación (en adelante AAN) es una técnica bien establecida desde hace algunas décadas, puede realizarse con fines cuali y cuantitativos, el propósito es generalmente la identificación o bien, la determinación de la masa de uno o más elementos contenidos en una muestra, además de parámetros físicos tales como: actividad, vida media y decaimiento de cada uno de ellos.

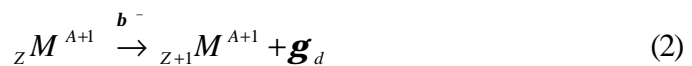
Lo destacable de esta técnica son sus numerosas ventajas a mencionar:

- El AAN es no destructivo, la muestra no necesita ser disuelta, disminuyéndose notablemente la probabilidad de contaminarla
- Es una técnica nuclear, por lo que es independiente del estado físico o químico de la muestra
- Necesita poca cantidad de muestra, con algunos mg se puede determinar un gran número de elementos

Esta técnica se trata básicamente en someter un elemento al bombardeo de neutrones, como resultado se produce una reacción de absorción de neutrones, el núcleo formado es un radio-isótopo del elemento bombardeado, que por ulterior decaimiento beta emite rayos gamma del elemento Z siguiente. Se tiene, pues, la siguiente reacción tipo ($n \rightarrow \mathbf{g}$) :



seguida de la transmutación:



La reacción (1) se denomina en la jerga <<captura del neutrón>>. Donde \mathbf{g}_p y \mathbf{g}_d hacen referencia a los rayos gamas prompt y delayed respectivamente.^{i,ii}

Esta técnica permitió dar un gran paso en el campo de la geología y paleontología, cuando a principios de la década de los 80, un grupo de investigadores la utilizaron para hallar anomalías en una capa de la corteza terrestre que argumentaron y fortalecieron la teoría de exterminio de los dinosaurios por la caída de un meteoritoⁱⁱⁱ.

En la actualidad el área que más se beneficia de esta técnica es la ecología, ya que se la utiliza como método determinante de la contaminación ambiental^{iv}.

El experimento propuesto se basa en determinar la actividad $A(t)$ (es decir el número de decaimientos por unidad de tiempo) presente en el isótopo del elemento dado, a un tiempo t_{ir} luego de comenzada la irradiación, cuya expresión viene dada por:

$$A = N_0 \cdot \mathbf{f} \cdot \mathbf{s} \cdot \left[1 - \exp\left(-0.693 \cdot \frac{t_{ir}}{T}\right) \right] \quad (4)$$

donde N_0 = número total de núcleos del elemento presente en la muestra

\mathbf{f} = flujo de neutrones térmicos, neutrones/m² s, asumiendo que es constante

\mathbf{s} = sección eficaz de la activación, barns (10^{-28} m²)

T = vida media (tiempo en el cual la actividad se reduce a la mitad de la original) del radioisótopo de interés

como en general, después de irradiar con neutrones las muestras transcurre un tiempo t_{trans} antes de iniciar la medición, la ecuación (3) se transforma en :

$$A_t = \mathbf{f} \cdot \mathbf{s} \cdot \left\{ N_0 \cdot \exp\left(-0.693 \frac{t_{trans}}{T}\right) \right\} \left[1 - \exp\left(-0.693 \cdot \frac{t}{T}\right) \right]. \quad (5)$$

El número de rayos gamma detectados por unidad de tiempo de una dada energía vendrá dada por

$$N_g = \epsilon_g \cdot \Gamma_g \cdot \frac{A_t}{I} \quad (6)$$

donde ϵ_γ = es la eficiencia del detector

Γ_g = intensidad absoluta (número de rayos gamma producidos por decaimientos del núcleo padre)

$\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$ = constante de desintegración.

II. ARREGLO EXPERIMENTAL

Durante esta práctica se irradiaron durante 144 hs con un flujo de neutrones térmicos producidos por una fuente de Am-Be (con un espectro continuo de energía y flujo de aproximadamente 1.6×10^7), tres muestras diferentes: la primera de ⁷⁵As (masa = 16.5317 +/- 0.0001 g), otra por ²³Na (masa = 13.3600 +/- 0.0001 g) y la tercera por una mezcla de ambos elementos (masa = 18.5480 +/- 0.0001 g). La fuente utilizada (se trata de un sistema de capacidad productora limitada) está constituida por una mezcla íntima de polvo de Berilio con una sal de Americio (ver figura 1).

La reacción ocurre entre el ${}^9\text{Be}$ y las partículas α emitidas por el Am :

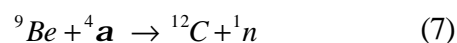


Figura 1 Fuente utilizada, en el fondo del recipiente se encuentra la fuente de Am -Be recubierta por la parafina (sustancia blanca observable), puede verse también la ubicación de los tubos verdes que sirven para colocar las muestras a irradiar.

Los neutrones rápidos rebotan rededor en la parafina, dichos choques los frenan pronto^v hasta que llegan a velocidades térmicas^{vi}. Una vez finalizada la etapa de activación, se transportaron las muestras al laboratorio donde se procedió a la adquisición de datos, el dispositivo experimental para esta etapa consistió en un detector de rayos γ de Na(Tl)^{vii}, una

fente de alta tensión, un amplificador que conforma y amplifica el pulso en la salida del detector y un analizador multicanal asociado a la PC^{viii} (ver *figura 2*).

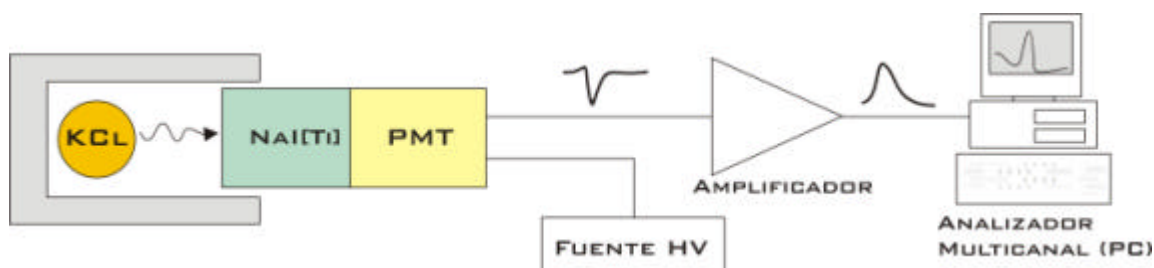


Figura 2 : Arreglo experimental utilizado en la medición. Los rayos γ inciden sobre el centellador. Un primer pulso es emitido por el fotomultiplicador, el cual se encuentra conectado a una fuente de alta tensión. Una segunda instancia de amplificación es dada y finalmente se analiza el pulso en la PC.^[7]

Una vez finalizada la etapa de activación, se transportaron las muestras al laboratorio donde se procedió a la adquisición de datos, el dispositivo experimental para esta etapa consistió en un detector de rayos γ NaI(Tl); y un analizador multicanal asociado a la PC (ver *figura 2*).

III. DESARROLLO

Se realizaron mediciones alternadamente de cada muestra durante tiempos de exposición cada vez mayores (ya que a medida que transcurría el tiempo la actividad de la muestra decrecía exponencialmente). De esta forma se obtuvieron espectros de energía para cada medición (ver *figura 5* en Resultados) con el fin de determinar la actividad media de la muestra a diferentes tiempos y energías, representada por el área subtendida por cada pico de energía del espectro. Se realizó también un muestreo del fondo de 5.7 días.

Se dividió el número de cuentas por canal por el tiempo de exposición obteniéndose así la actividad por canal (energía). Se restó luego la actividad de fondo a cada espectro con el fin de eliminar picos en el espectro producidos por agentes externos a la muestra y así evitar el montado de los mismos sobre los de interés.

De esta manera se ajustaron los picos de cada espectro utilizando una función gaussiana de la forma: $Y = A \sqrt{\frac{2}{w^2 P}} e^{-\frac{(x-x_0)^2}{w^2}}$ siendo A el área bajo la curva (actividad media), y x_0 el centroide de la curva (la energía del pico). Ver *figura 3*.

Una vez realizado esto se pasó a graficar la actividad media de cada muestra en función del tiempo.^{ix}

En la *figura 4* exponen dichos gráficos, para mayor visualización se graficó $\ln A$ vs. Tiempo.

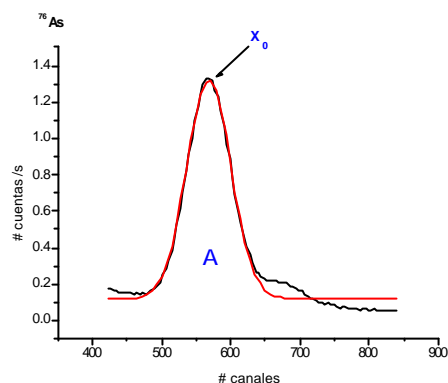


Figura 3: se detalla la forma que se utilizó para calcular la actividad

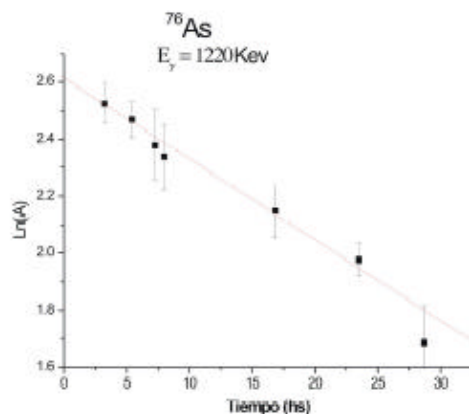
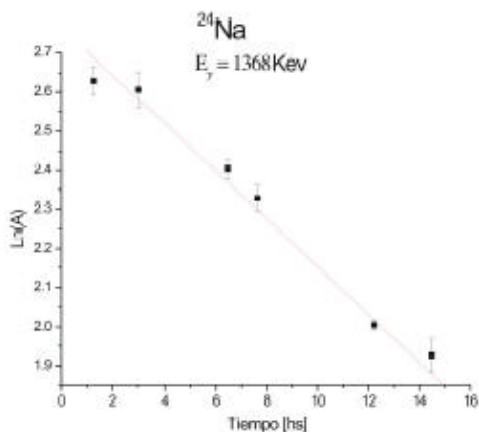


Figura 4: $\ln(A)$ vs. tiempo para el ^{24}Na y ^{76}As respectivamente

Si observamos con mayor detenimiento, podemos ver que la pendiente del gráfico $\ln(A)$ vs. tiempo detallado en la *figura 4*, nos da la constante de desintegración (λ), por consiguiente la vida media de cada elemento expuesto a la activación neutrónica.^x

IV. RESULTADOS

En la *figura 5* se muestra, a modo de ejemplo, espectros obtenidos de una de las mediciones para cada muestra, en los mismos se detallan los valores de energía de los picos con mayor porcentaje de radiación emitida:

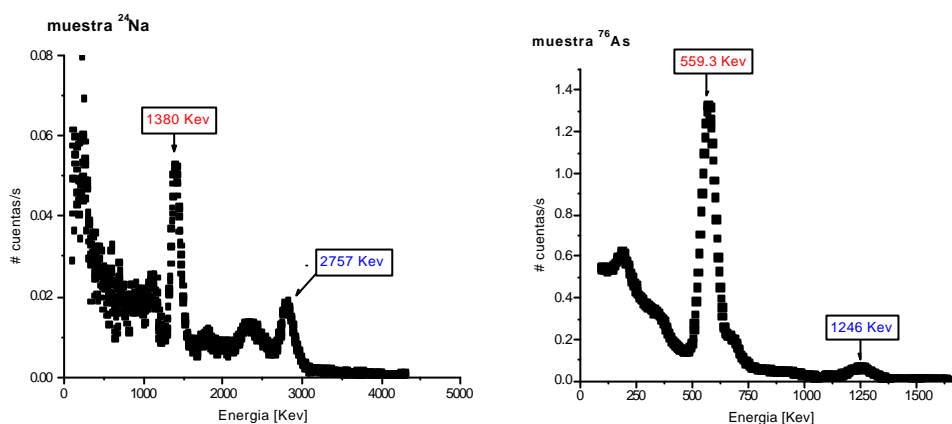


Figura 5: Ejemplos de espectros de energía obtenidos para el ²⁴Na y ⁷⁶As respectivamente

En la tabla 1 se muestran los valores obtenidos y los tabulados^{x1}:

Tabla1: valores de energía de los picos con mayor porcentaje de radiación emitida obtenidos y los tabulados:

Isótopo (^A X)	Valor obtenido [Kev]	Error energía [Kev]	Valor tabulado [Kev] ^[10]
²⁴ Na	1380	7	1369
	2757	7	2754
⁷⁶ As	559.3	7	559
	1246	7	1220

Se ve claramente un leve corrimiento de los valores de energía, esto puede deberse al montaje de picos no deseados producto de diferentes factores como se detallan en el *Apéndice 1*, sin embargo se debe aclarar que el pico correspondiente a 1220 Kev, para el ⁷⁶As, es un doblete, lo que también contribuye al corrimiento en nuestro espectro, debido a la poca resolución del detector para poder resolver este tipo de casos.

En la *figura 6* se exponen los gráficos realizados para conocer la vida media de los isótopos obtenidos, en los cuales se detalla el resultado logrado:

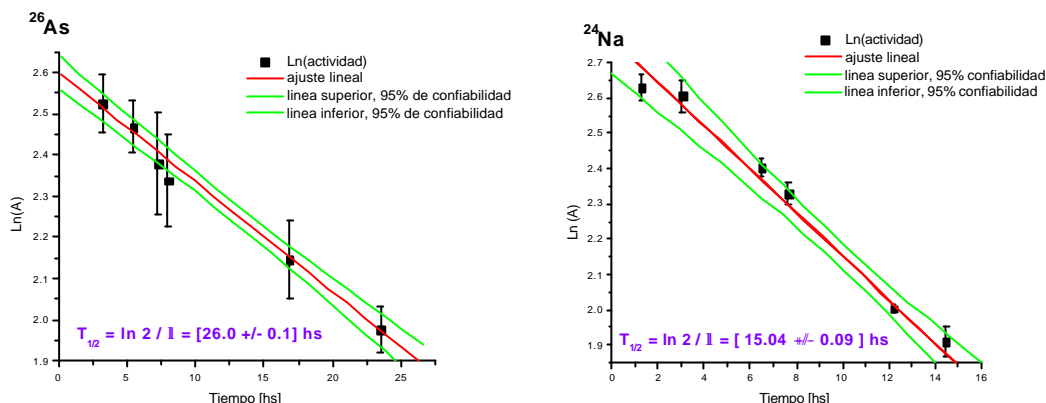


Figura 6: $\text{Ln}(A)$ vs. tiempo, se detallan el ajuste lineal en línea roja, y los límites de 95% de confiabilidad en verde.

Los valores de vida media expuestos en los gráficos se obtuvieron promediando los valores de vida media hallados para cada valor de energía del espectro correspondiente a cada muestra.

En la tabla 2, se muestran los resultados de la experiencia, en contraposición con los tabulados:

Tabla 2: valores obtenidos de la vida media y los mismos tabulados

Isótopo (^AX)	Valor $T_{1/2}$ obtenido [hs]	Error [hs]	Valor $T_{1/2}$ tabulado [hs] ^[10]
^{24}Na	15.04	0.09	15.04
^{76}As	26.0	0.1	26.3

Se observa que los resultados obtenidos son satisfactorios, absolutamente todos se encuentran dentro del error, el cual en ninguno de los dos casos supera el 1 %.

Se procedió luego a calcular la activación (A) apenas fueron extraídas las muestras de la fuente, utilizando la ecuación (4), para lo que se debió tener en cuenta la autoabsorción de las muestras. Estas se obtuvo del análisis de los espectros de energía medidos en dos casos: en el primero se interpusieron las muestras de Na y As entre una fuente de Bi y el detector y en el segundo se adquirió simplemente la emisión del Bi sin interposición de ningún tipo. Como resultado se observó un decrecimiento de aproximadamente 1/3 en las cuentas por segundo registradas por el detector, esto fue adjudicado principalmente a la absorción de las muestras, si tenemos en cuenta que los picos principales detectables del Bi tienen energías tabuladas^{xi} de 569.15 KeV y 1063.63 KeV (comparar con los valores de los picos de energía menores del Na y As, ver tabla 1) podemos suponer que esta medición otorgó la autoabsorción de la muestra^{xiii}.

Los valores hallados fueron:

- $A_{^{24}\text{Na}} = 415.8 \pm 0.03$ 1/s
- $A_{^{76}\text{As}} = 645.61 \pm 0.01$ 1/s .

V. CONCLUSIONES

Se observó que la buena fama con la que cuenta el método de activación neutrónica, no es para nada desacertada, este nos permitió conocer parámetros físicos a decir: la vida media y actividad de isótopos como el ^{24}Na y el ^{76}As de forma satisfactoria, pese a la poca eficiencia y resolución del detector utilizado, lo cual demuestra que la activación neutrónica es un método al cual se le suma otra gran ventaja: no se necesitan costosos detectores para obtener resultados correctos.

VI. APÉNDICE I (CENTELLADOR)

Los fotones emitidos por la muestra radioactiva inciden en el material centellador, mediante el mecanismo de excitación entre bandas de energía para una estructura cristalina con impurezas y procesos externos de excitación, se produce una emisión de radiación visible, la cual pasa a través del cristal siendo transparente al mismo. El fotocátodo es el encargado de recolectar la mayor cantidad posible de luz, y desprender electrones. Estos penetran en el fototubo, el mismo se haya conformado por dinodos de un material adecuado para que cada electrón que choca contra su superficie pueda desprender de ella mas de un electrón secundario con una energía de unos pocos ev. Entre dinodos es factible establecer diferencias de potencial del orden de 100volt. La energía para vencer el gap es del orden de 2-3 v , por lo tanto, idealmente, un electrón acelerado entre dinodos podría arrancar unos 30 electrones secundarios. En la práctica este número se reduce notablemente por dispersión de direcciones, energías y profundidades. Una vez lograda la amplificación de la corriente, la electrónica asociada, deberá ser la adecuada para poder separar las señales y así obtener los espectros requeridos.^{xiii}

Contribuciones a la existencia de picos no deseados en el espectro.

Una observación a realizar es que a la hora de analizar los espectros de energía, hay que tener en cuenta las contribuciones a la posible existencia de picos no deseados, estas son^{xiv}:

- Escapes de electrones secundarios
- Escape de Bremsstrahlung
- Escape de rayos x característicos
- Aniquilación de positrones
- Contribuciones Compton en materiales cercanos al detector
- Contribuciones de rayos x característicos cercanos al detector
- Contribuciones de backscattering cercano al detector

Los mismos se pueden visualizar en la *figura 1*.

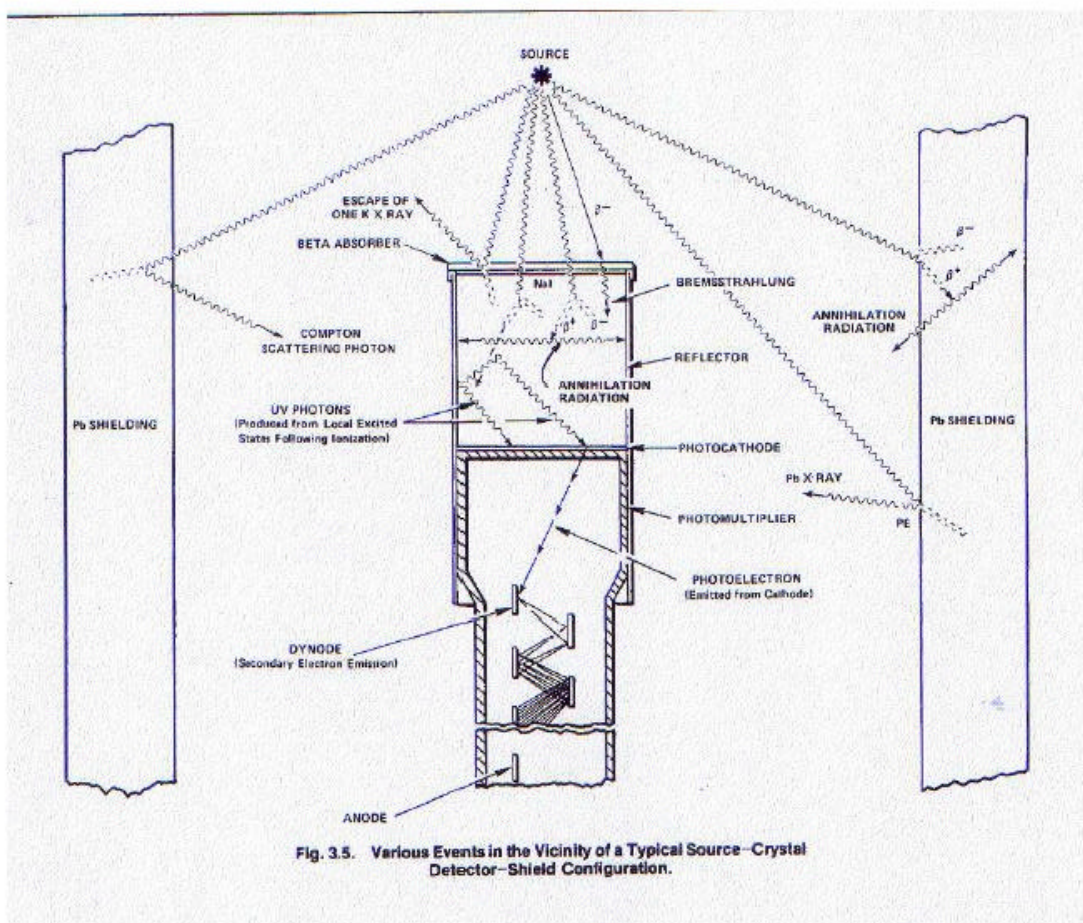


Figura 7: Esquema de un centellador

VII. APENDICE II

donde:

$$A(t) = \mathbf{I} \cdot N(t) \quad (\text{A1})$$

$$N(t) = N_0 \cdot \exp(-\mathbf{I} t) \quad (\text{A2})$$

$$\mathbf{I} = \frac{\ln(2)}{T_{1/2}} \quad (\text{A3})$$

es decir:

$$A(t) = \mathbf{I} N_0 \cdot \exp(-\mathbf{I} t) \quad (\text{A4})$$

Si tomamos Ln a ambos lados de la ecuación (A4) nos queda:

$$\ln(A) = \ln(\mathbf{I} N_0) - \mathbf{I} t \quad (\text{A5})$$

Se ve que si se realiza un grafico $\ln(A)$ en funcion del tiempo, y hallamos la pendiente de la recta, es decir I , por medio de la ecuación (A3), fácilmente obtendremos la $T_{1/2}$.

VIII. APENDICE III

Propiedades físicas de los elementos utilizados^{xv}:

Blanco	Abundancia %	Producto	Vida Media	Tipo de Decaimiento	Energía gama [Kev]	Sección eficaz [barns]
²³ Na	100	²⁴ Na	15,04 h	Beta	1369 2754	0,4
⁷⁵ As	100	⁷⁶ As	26,3 h	Beta	559 1200	4,3

Agradecimientos

Dr. Salvador Gil (Dep. Física, Universidad de Buenos Aires, FCEN), Dr. Jorge Stripekis (Dep. Química Inorgánica, Universidad de Buenos Aires, FCEN), Ing. Carlos Gimenes (Dep. Seguridad Radioactiva, CNEA, TANDAR), Franco Fiorini (Dep. Física, Universidad de Buenos Aires, FCEN), Alejandro Greco (Personal auxiliar. Dep. Física, Universidad de Buenos Aires, FCEN).

Bibliografía

- ⁱ “The Atomic Nucleus”, R. D. Evans, Mc Graw Hill NY1953.
- ⁱⁱ Stephen C. Mcguire, David D. Clark and Donald F. Holcomb, “Modern physics concepts taught via a neutron activation analysis laboratory”, Am. J. Phys. 64, 1384-1388 (1996).
- ⁱⁱⁱ Luis Alvarez et al. , “ Extraterrestrial Cause for the Cretaceous – Tertiary Extinction”, Science 208, June 1980.
- ^{iv} Ver www.desostenible.com.ar “Hidroarsenismo crónico regional edémico (HACRE) en Argentina” Prof. Santiago C. Besuschio.
- ^v La masa de la parafina y de los neutrones es comparable, si pensamos en un choque entre dos partículas de idéntica masa cada choque le sustraerá la mitad de su energía.
- ^{vi} Los neutrones térmicos se definen como neutrones en equilibrio con el medio que los rodea, es decir neutrones de energía de 0.0253 eV a CNPT.
- ^{vii} Los detalles sobre el funcionamiento del mismo pueden consultarse en el *Apéndice I*.
- ^{viii} Para más detalles ver “Sobre la vida media del ⁴⁰K”, S. Gil, M.C. Urdaniz, M. Real, Laboratorio V, UBA-FCEN.
- ^{ix} El tiempo considerado se asignó de la siguiente manera: se sumó el tiempo de inicio y finalización de las mediciones y se lo dividió por dos.
- ^x Las ecuaciones utilizadas para concluir lo anterior se encuentran detalladas en el *Apéndice II*
- ^{xi} “Table of isotopes”, Lederer, Hollander, Pearlman, Ed. Wiley, 6th. ed. (1967)
- ^{xii} La absorción depende fuertemente de la energía por esto se utilizó un elemento con energías similares a las de la muestra.
- ^{xiii} “Radiation detection and measurement”, Knoll, Ed. Wiley.
- ^{xiv} “Apunte para un curso de instrumentación nuclear”, A. Filevich, CNEA, TANDAR, 1987.
- ^{xv} Ver *ref. xi*