

INTRODUCCIÓN AL CONOCIMIENTOS DE REACTORES NUCLEARES

DESARROLLO TEORICO

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE REACTORES NUCLEARES

Fisión nuclear

La fisión nuclear es el proceso de división o ruptura del núcleo atómico, en donde se producen 2.4 neutrones por cada átomo fisionado, para el caso del uranio-235. En la figura 1 se muestra un esquema del proceso de fisión nuclear. Es decir que cada vez que se rompe un núcleo atómico, debido a la interacción de este con un neutrón, se producen otros neutrones que a su vez interaccionan con otros núcleos produciendo mas fisiones. Este proceso se denomina reacción en cadena. Para lograr una reacción en cadena (denominada reacción autosostenida) es preciso tener una masa mínima del material a fisionar. De lo contrario los neutrones escapan de la muestra antes de que tengan la oportunidad de golpear otro núcleo y causar una fisión adicional. En el caso del uranio-235 la masa es de 1Kg aproximadamente. La masa suficiente para mantener la reacción en cadena se denomina masa crítica. Con esta cantidad de masa, la cantidad de neutrones que se generan es igual a la cantidad de neutrones que se pierden, ya sea porque escapan fuera del material o porque son absorbidos por el mismo. Es decir que cada fisión produce otras fisiones, manteniéndose constante el número de fisiones por unidad de tiempo.

Podemos definir al factor de multiplicación como el cociente entre el número de fisiones que ocurren en una generación y el número de fisiones que se producen en la generación precedente. Cuando el factor de multiplicación es igual a uno el sistema se denomina **crítico** y corresponde al caso descrito anteriormente. Cuando el factor de multiplicación es menor a uno, el número de fisiones decrece en el tiempo y el sistema se denomina **subcrítico**. Si el factor de multiplicación es mayor a uno, el número de fisiones crece en el tiempo y el sistema se denomina supercrítico.

El estudio de las reacciones nucleares requiere una medida cuantitativa de la probabilidad de que una reacción nuclear tenga lugar. Para ello debemos definir una magnitud obtenida experimentalmente y que, simultáneamente, pueda ser deducida teóricamente. Esta magnitud se denomina **sección eficaz** y puede asociarse a la superficie transversal o de impacto que el núcleo blanco presenta a la partícula incidente.

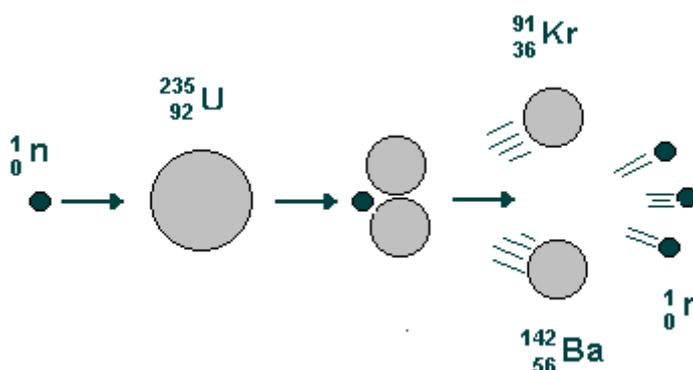


Figura 1 : Representación esquemática de la fisión del uranio-235 donde se muestra uno de sus muchos patrones de fisión. En este proceso se producen 3.5×10^{-11} Joule de energía por núcleo

Reactores nucleares

Usos principales de los reactores:

- Generación de energía eléctrica ó calor.
- Producción de energía para propulsión.
- Producción de radioisótopos y de neutrones.
- Investigación de la física de reactores y de los materiales
- Producción de materiales a partir de otros.

Los reactores se pueden clasificar según el rango de energías en el que ocurren las fisiones:

Térmicos: Los neutrones que producen fisión son de energías bajas, del orden de 0.025 eV.

Intermedios: Los neutrones que producen fisión son de energías superiores a 0.025 Ev.

Rápidos: Los neutrones de fisión son de energías altas, aproximadamente 100 keV. Estos reactores no contienen moderador.

El moderador dentro del núcleo de un reactor cumple la función de disminuir la energía de los neutrones, es decir sus velocidades, ya que las secciones eficaces varían en función de las energías de los neutrones. A menores energías, mayores secciones eficaces.

Combustible: Puede ser uranio metálico o bajo la forma de óxido. El uranio puede ser natural (0.7 U_{235}), levemente enriquecido (2-3 % U_{235}) o altamente enriquecido (> 90% U_{235}). Se pueden utilizar también óxidos mixtos de uranio y plutonio.

Moderadores: Los materiales más utilizados son: agua liviana, agua pesada y grafito.

Refrigerantes: El material utilizado para remover el calor generado debe tener alto calor específico y debe poder bombearse fácilmente. Se trata además que su absorción neutrónica sea pequeña.

Sistemas homogéneos y heterogéneos: Puede decirse que un reactor es homogéneo cuando combustible y moderador están íntimamente mezclados y heterogéneo cuando están físicamente separados.

El RA4 (Reactor Nuclear Argentino Nº 4)

El RA4 es un reactor térmico con núcleo sólido homogéneo, de potencia máxima 1W. Sus aplicaciones son:

- Investigación.
- Instrucción.
- Entrenamiento de operadores de reactores.
- Fuente de radiación.
- Sistema para experimentos nucleares y de reactores.

La composición del núcleo consiste en placas circulares superpuestas de 24 cm de diámetro hasta unos 26 cm de alto, compuestas de una mezcla homogénea prensada de U_3O_8 como combustible y polietileno como moderador. El núcleo está completamente rodeado por un reflector de grafito de 20cm de espesor. El blindaje consiste en una capa de plomo de 10 cm de espesor para la radiación gamma. Además de un tanque exterior que contiene agua con ácido bórico para frenar los neutrones. El control del reactor se realiza a través de dos placas de cadmio ubicadas en el reflector. El reactor posee también un canal horizontal central cilíndrico, dos canales horizontales laterales cilíndricos, un canal vertical central, un canal vertical lateral y una columna térmica, con cilindro de grafito. Estos canales brindan facilidad de irradiación, es decir los accesos para ingresar las muestras a irradiar en el interior del núcleo.

Las placas de control pueden moverse verticalmente. Cuando estas se acercan al núcleo absorben neutrones disminuyendo la reactividad en el interior del mismo, de esta forma se puede controlar las fisiones que ocurren dentro del reactor.

El RA4 posee dos canales para medir el flujo neutrónico, uno lineal y el otro logarítmico. La corriente que muestra un amperímetro en la consola de control, correspondiente al canal lineal, es proporcional al flujo neutrónico en el núcleo del reactor.

Este valor de corriente multiplicado por una constante de proporcionalidad da como resultado la potencia disipada en el núcleo. El valor de la constante es: 5.44×10^7 W/A.

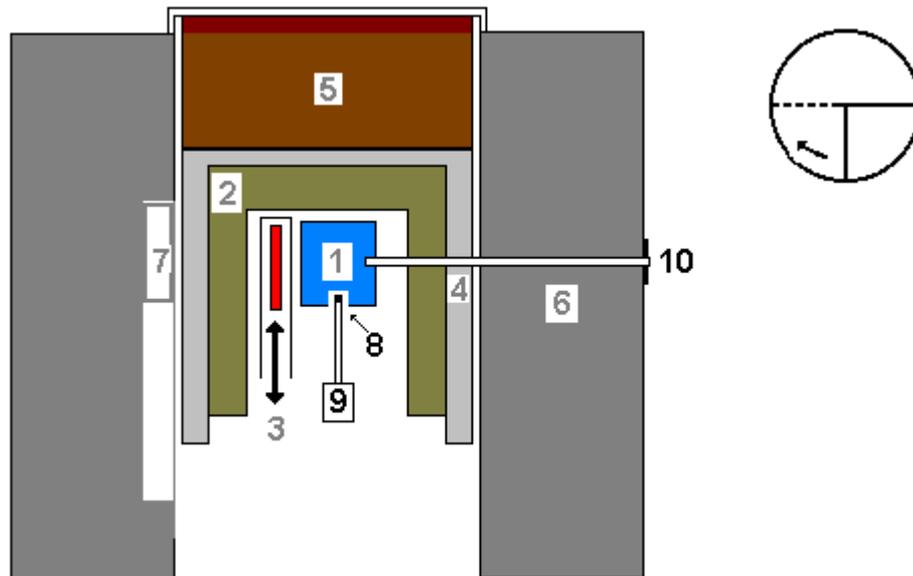


Figura 2: Esquema del Reactor Nuclear RA4.

- | | |
|--------------------------------|--|
| 1) Núcleo. | 7) Detector de neutrones. |
| 2) Reflector de grafito. | 8) Fuente de neutrones. |
| 3) Placa de control. | 9) Mecanismo de elevación de la fuente. |
| 4) Blindaje de plomo. | 10) Canal para facilidad de irradiación. |
| 5) Columna térmica. | |
| 6) Recipiente con agua borada. | |

El RA4 está ubicado en la ciudad de Rosario, provincia de Santa Fe y pertenece a la Facultad de Ciencias Exactas Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Los trabajos experimentales que se describen a continuación fueron realizados en el Reactor Nuclear RA4.

CALIBRACIÓN DE LAS PLACAS DE CONTROL

El RA4 consta de dos placas de control, que son las encargadas de absorber neutrones. Si se quiere aumentar la reactividad del reactor entonces estas se retiran, es decir se alejan del núcleo, en caso contrario, si se quiere disminuir la reactividad del mismo, se colocan las placas cerca del núcleo para disminuir la reactividad.

En el procedimiento de puesta en marcha del RA4, una vez retirada la primera placa de control, se procede a sacar la segunda placa hasta lograr que el reactor se auto-sustente, es decir que la cantidad de neutrones que se generan en el núcleo sean igual al número de neutrones que se pierden, o absorben, para un valor de potencia fijado, que puede ser de 0 a 1 Watt. Para una determinada longitud (en cm) de placa retirada (más precisamente la segunda placa, ya que para lograr la criticidad se necesita que la primera placa esté totalmente retirada), se logra la autosustentación del reactor, para un dado valor de temperatura en el núcleo. La variación de temperatura produce una variación en la reactividad, que se traduce en el aumento o disminución de la longitud de placa extraída.

En este trabajo experimental se calculó la reactividad en el núcleo cuando se extrajo 1 cm de placa de 22.1 cm a 23.1 cm. Es decir que se obtuvo una medida de la absorción neutrónica de las placas de control.

Una vez conseguida la autosustentación del núcleo para un dado valor de temperatura, se retiró 1 cm de placa y se dejó crecer el flujo neutrónico hasta duplicar su valor. Luego se calculó el periodo de duplicación, es decir el tiempo que tardó el flujo neutrónico en aumentar su valor al doble. Posteriormente al cálculo del periodo, se obtuvo la reactividad.

La consola de control del RA4 posee un registrador que indica la reactividad del núcleo en tiempo real, trazando en papel milimetrado una línea continua que indica como varia flujo neutrónico en el tiempo. Ver figura 3 del apéndice A.

- Datos experimentales y cálculos:

Medición del flujo neutrónico obtenido con canal lineal: 3×10^{-10}

El flujo neutrónico alcanza el doble de su valor para un dado valor inicial, cuando el papel del registrador recorre una longitud de 8 cm. Sabiendo que la velocidad del registrador es de 600 mm/hora, podemos calcular el periodo.

$$\begin{array}{l} 600 \text{ mm} \text{ ————— } 3600 \text{ seg.} \\ 80 \text{ mm} \text{ ————— } T \\ T = (80 \text{ mm}) \times (3600 \text{ seg.}) / (600 \text{ mm}) = 480 \text{ seg.} \end{array}$$

Por lo tanto el tiempo que tarda en duplicar el flujo neutrónico es:

$$T = 480 \text{ seg.}$$

Con el valor del flujo neutrónico obtenido con canal lineal de medición y el valor de periodo se obtiene la reactividad utilizando las curvas del gráfico 1 que se encuentra en el apéndice A. Como $100 < T < 693$ se utiliza la curva correspondiente a $a=2$.

La reactividad es:

$$R = 1.8 \times 10^{-2} \text{ dollar}^1$$

De forma análoga se podría obtener un valor de la reactividad si en vez de retirar 1 cm de placa y observar el crecimiento neutrónico, se procede de manera inversa, es decir, una vez alcanzado el equilibrio se introduce 1 cm de placa y se observa como decrece el flujo neutrónico.

¹ 1 Dollar: Reactividad referida al β efectivo del Reactor.

β : Fracción de neutrones retardados.

1 Dollar=700 partes por 1×10^5 .

VARIACION DE LA REACTIVIDAD DEBIDO A LA INTRODUCCIÓN Y EXTRACCIÓN DE LA FUENTE DE NEUTRONES

El RA4 consta de una fuente de neutrones² que inicia la reacción en cadena en el núcleo. Previamente a retirar las placas de control se acerca la fuente para iniciar la reacción. Experimentalmente se puede observar que hay un pequeño incremento en la reactividad del núcleo cuando se introduce la fuente una vez que este estabilizó, es decir, cuando el número de neutrones producido es igual al número de neutrones absorbidos por el mismo reactor. Análogamente hay un a disminución en la reactividad durante la extracción de la fuente.

Se determinó experimentalmente como varió la reactividad del núcleo con la extracción e introducción de la fuente de neutrones.

- **Experimento extracción de la fuente de neutrones**

Datos Experimentales:

	Corriente ($\times 10^{-9}$ A³)	Potencia (mW)	Observaciones
Inicio	0.21	20	Fuente junto al núcleo
Fin	0.18	-	Fuente fuera del núcleo

Tabla Nº 1: Variación de la reactividad con la extracción de la fuente

Si bien pudo detectarse una disminución en la reactividad del núcleo, esta no pudo cuantificarse en términos de potencia.

- **Experimento introducción de la fuente de neutrones**

Datos Experimentales:

	Corriente ($\times 10^{-10}$ A)	Potencia (mW)	Observaciones
Inicio	0.3	7	Fuente fuera del núcleo
Fin	0.65	18	Fuente junto al núcleo

Tabla Nº 2: Variación de la reactividad con la introducción de la fuente.

En la tabla 2 se puede observar que hay un incremento en la reactividad al introducir la fuente de neutrones.

² La fuente de neutrones es de tipo Ra-Be (Radio-Berilio), con una actividad de 10 mCi (miliCurie). El radio emite partículas alfa, produciéndose en el berilio una reacción alfa-neutrón, es decir que absorbe una partícula alfa transformándose en carbono 12 y emite un neutrón. Además el radio emite radiación gamma.

³ Amper

ACTIVACION DE UNA SAL DEL MOLIBDENO

Una muestra de sal de molibdeno con una composición que se detalla más adelante se introdujo en el reactor con el objetivo de observar si se produce la activación de la misma. Luego de ser irradiada durante una hora se realizó una espectrometría⁴ sobre la muestra para conocer la distribución de energía para la radiación gamma emitida por la misma. Uno, cinco y siete días posteriores a la irradiación, se realizaron otras tres mediciones mas para observar el decaimiento radiactivo de la muestra. Se ha calculado además el periodo de semidesintegración del ⁹⁹Mo y la actividad de la muestra. Esquema de decaimiento para el molibdeno:

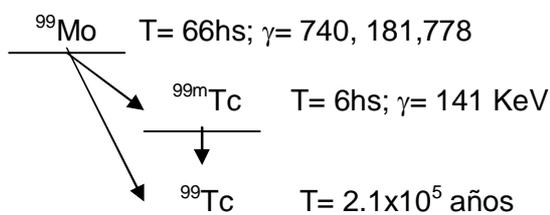


Figura Nº 3: Esquema de decaimiento para el ⁹⁹Mo⁵.

El ⁹⁸Mo absorbe un neutrón y se transforma en ⁹⁹Mo que es inestable y se desintegra mediante una transformación β a ^{99m}Tc y ⁹⁹Tc que también son inestables. El ^{99m}Tc se transforma en ⁹⁹Tc emitiendo fotones gamma con energía E= 141 KeV.

• Datos y valores experimentales

Formula Química de la sal: (NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O

Potencia del reactor: 700 mW

Espectrómetro multicanal marca: BERTHOLD SILENA

Tiempo de irradiación: 1 h.

Tiempo de permanencia de la muestra en el espectrómetro: 10 min.

La siguiente tabla muestra los valores obtenidos 10 min. posteriores a la irradiación:

Energía (KeV)	Nº de Cuentas
22	6100
68	6260
177	12370
296	24300
537	1908

Tabla Nº 3: Actividad de la muestra en los primeros instantes posteriores a la irradiación.

La siguiente tabla muestra los valores obtenidos en días posteriores a la irradiación:

Tiempo ⁶ (hs)	Energía (KeV)	Nº de Cuentas
24	133	2872
120	138	1300
168	132	814

Tabla Nº 4: Actividad de la muestra obtenidos en días posteriores a la irradiación.

Los valores de energía de la radiación gamma que se muestran en la tabla Nº 4 corresponden al decaimiento del ^{99m}Tc en ⁹⁹Tc.

⁴ En el apéndice B se da una breve descripción sobre espectrometría.

⁵ Los datos fueron obtenidos de la tabla de radionucleídos del Instituto de Radioquímica de Karlsruhe.

⁶ Tiempo transcurrido a partir de la irradiación de la muestra

- **Calculo del periodo de semidesintegración y Actividad de la muestra**

Teniendo en cuenta los datos obtenidos con el espectrómetro multicanal se realizaron los siguientes cálculos:

- Periodo de semidesintegración⁷ del ⁹⁹Mo en ⁹⁹Tc y ^{99m}Tc:

$$\ln (A_1/A_2) = \lambda \cdot \Delta t$$

Despejando λ ;

$$\lambda = 9.75 \times 10^{-3} \text{ hs}^{-1}$$

$$\mathbf{T = \ln 2 / \lambda = 71 \text{ hs.}}$$

El valor de T obtenido por tabla es: T=66hs

Donde: T = periodo de semidesintegración.

$A_1 = 1300$ y $A_2 = 814$ son las actividades de la muestra que se observan en la tabla N° 4.

$\Delta t = 48$ hs. Tiempo transcurrido desde la medición de A_1 hasta la medición de A_2 .

λ = constante de desintegración del radionucleído.

- Actividad de la muestra a las 168 hs. posteriores a la irradiación:

Con el espectrómetro multicanal se pudo obtener el número de cuentas para un dado intervalo de energías.

Para un intervalo de [52; 204] keV se registraron 36882 cuentas durante 600 seg.

$$A = N^{\circ} \text{ Cuentas} / \text{Tiempo}$$

Donde: A: actividad de la muestra en Bq.

Por lo tanto:

$$\mathbf{A = 36882 / 600 \text{ seg.} = 61.47 \text{ Bq}}$$

⁷ En el apéndice B se de una descripción teórica de las leyes del fenómeno radiactivo.

CONCLUSIONES

En el experimento de calibración de las placas de control se observa como varia la reactividad cuando estas se acercan o se alejan del núcleo. Al retirar las placas de control, el flujo neutrónico aumenta. Contrariamente al introducir las placas, el flujo neutrónico disminuye. Las placas de control, de cadmio, funcionan como absorbentes de neutrones y regulan la reacción en cadena.

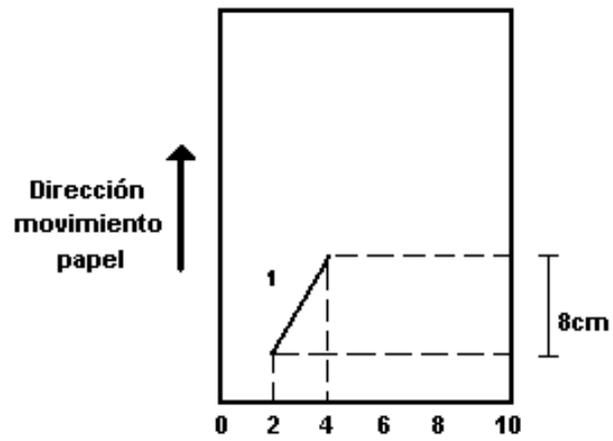
En el experimento que muestra como varia la reactividad del núcleo con la introducción y la extracción de la fuente de neutrones, se observa como disminuye el flujo neutrónico cuando se extrae la fuente, mientras que aumenta el flujo neutrónico cuando se introduce la fuente en el núcleo. De experiencias anteriores y que no han formado parte de los experimentos realizados en este trabajo, se ha comprobado que si el reactor se encuentra operando a un valor de potencia superior a 24mW, al introducir la fuente, el flujo neutrónico en el núcleo disminuye. Contrariamente, si se extrae la fuente para el mismo valor de potencia superior a 24mW, el flujo neutrónico aumenta. Es decir, la potencia de 24 mW es una potencia limite, a partir de la cual se invierte el efecto.

En la tabla 3 se observa que los valores de energía medidos no corresponden al valor de energía emitida por los fotones gamma (de energía $E = 141$ KeV) resultante de la transformación del ^{99m}Tc al ^{99}Tc . Esto se debe a que en los primeros minutos posteriores a la irradiación, la cantidad de ^{99m}Tc es insuficiente para obtener una medición de la radiación gamma emitida. Comparando los valores de la tabla 3 con los valores obtenidos de la tabla de radionucleídos, se podría concluir que la energía de la radiación gamma de 177 KeV podría corresponder a la desintegración del ^{99}Mo . La determinación del tipo de transformación a la que corresponden los demás valores de energía que se registran en dicha tabla, que no serán analizados en este informe, puede constituir un tema de interés para un futuro trabajo.

Es importante aclarar que el sistema madre (^{99}Mo) e hija (^{99m}Tc) llega a un estado de equilibrio secular cuando transcurre un tiempo que es aproximadamente 7 veces el periodo de semidesintegración de la hija. Esto significa que el nucleído hija toma el periodo de semidesintegración de la madre. Este fenómeno ocurre cuando el periodo T de la madre es alto y mucho mayor que el de la hija. Por lo tanto, si bien los datos de la actividad usados para el cálculo del periodo de semidesintegración son los correspondientes al decaimiento del ^{99m}Tc en ^{99}Tc , el periodo obtenido mediante el cálculo es el de la madre ^{99}Mo .

En este trabajo no se ha realizado un estudio de los errores en las mediciones. En particular, en las mediciones realizadas con el espectrómetro, se observa una discrepancia con los valores obtenidos de la tabla de radionucleídos. Estas diferencias pueden atribuirse a los errores propios de las mediciones.

APENDICE A



1: Línea continua trazada por la aguja del registrador
Figura 3: Esquema del registrador lineal del RA4.

APENDICE B

I)- Espectrometría

Para poder conocer la distribución de energía de los fotones gamma que emite una determinada fuente radiactiva es necesario hacer una espectrometría. Esto último consiste en determinar a través de un espectrómetro gamma la energía de los fotones que emite dicha muestra. En las gráficas espectrales se pueden ver uno o más picos, llamados también fotopicos debido a que estos son consecuencia de la absorción total de los fotones gamma por efecto fotoeléctrico, que corresponden a la energía de dichos fotones. También aparecen otros picos que son debido a la absorción de la radiación por otros mecanismos, como el efecto Compton o formación de pares, que en este caso no son tenidos en cuenta. En el apéndice se muestran dos espectros de energía para el ^{137}Cs (cesio) y ^{60}Co (cobalto), medidos respectivamente con un espectrómetro monocanal. También se muestra el espectro del ^{137}Cs medido con un espectrómetro multicanal.

Espectrómetro

Un espectrómetro, figura 4, consta de las siguientes partes:

- 1) Cristal de centelleo: los fotones gamma que inciden en el cristal interactúan con el mismo, produciendo este, un fotón de una determinada longitud de onda que dependerá del tipo de cristal que se esté usando.
- 2) Fotomultiplicador: los fotones que se producen en el centelleador interactúan con el fotocátodo del fotomultiplicador, arrancándole un electrón. El fotomultiplicador multiplica la cantidad de electrones que se producen en el fotocátodo.
- 3) Analizador de pulsos: en la salida del fotomultiplicador se tiene un pulso de tensión que es amplificado por esta etapa y además discrimina los pulsos no deseados a fin de obtener la distribución de energía gamma.
- 4) Sistema de registro: En esta etapa queda registrada los datos obtenidos en las etapas anteriores, como la altura de los pulsos y el número de cuentas detectados por el fotomultiplicador. El sistema de registro puede ser a través de un ploter o el tubo de un osciloscopio para el caso de un espectrómetro multicanal, o el registro puede ser en forma manual para el caso de un espectrómetro monocanal.

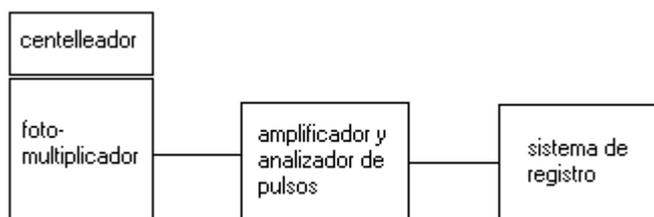


Figura 4: Diagrama en bloques de un espectrómetro

La altura de cada pulso está en relación con la energía absorbida en el centelleador. Es decir que cada fotón gamma que pierda toda su energía en el cristal, producirá a la salida del fotomultiplicador un pulso de tensión de una determinada altura que será proporcional a la energía del fotón gamma.

Cabe aclarar además que la absorción de un fotón gamma en el cristal del centelleador se puede realizar de tres formas físicamente diferentes: por efecto fotoeléctrico, por efecto Compton, o formación de pares. En la interacción por efecto fotoeléctrico el rayo gamma deja prácticamente toda su energía, que será transferida a un electrón del cristal. Mientras que en el efecto Compton parte de la energía es transferida a un electrón del cristal. En la formación de pares, el rayo gamma desaparece y se crea un par: positrón y electrón.

Para conocer la distribución de energía debemos contar todos los pulsos discriminados de acuerdo a su altura. A este estudio se lo llama espectro diferencial. Es decir, debemos contar todos los pulsos de una determinada altura, en un tiempo

predeterminado, como puede observarse en las tablas de valores que se encuentra más adelante. La primera columna corresponde al nivel de canal y la segunda corresponde al número cuentas (pulsos discriminados). Los espectrómetros cuentan con dos discriminadores, uno inferior (llamado nivel de canal) y otro superior (llamado ventana), y solamente se cuentan los pulsos comprendidos entre esas alturas prefijadas. Una perilla del equipo permite mover el nivel de canal y otra permite mover el ancho de la ventana.

Hay dos tipos de espectrómetros. Uno ellos, es el espectrómetro monocanal, que permite solamente contar, durante un tiempo predeterminado, los pulsos que se registran en la ventana de un determinado nivel de canal. El otro tipo es el espectrómetro multicanal que posee una gran cantidad de pares de discriminadores permitiendo contar, en el mismo momento, los pulsos de diferentes alturas.

II)- Ley del fenómeno radiactivo:

La actividad de una fuente radiactiva es directamente proporcional número de núcleos radiactivos, que en ese instante están presente en la muestra. Analíticamente:

$$A = \lambda \cdot N \quad (II)$$

Donde: λ = constante de desintegración del radionucleído.

N = números de núcleos radiactivos presentes en la muestra.

1) Variación de la actividad con el tiempo:

Como la actividad de una muestra radiactiva disminuye con el tiempo, debido a que A es directamente proporcional a N, podemos definir el periodo de semidesintegración (T).

El **periodo de semidesintegración** de un radionucleído es el tiempo en el que el número de núcleos radiactivos disminuye a la mitad, es decir el tiempo en el que la actividad de la muestra disminuye a la mitad. La actividad de una muestra declina en el tiempo en forma exponencial. Cada radionucleído posee su propio valor para el periodo de semidesintegración.

La **vida media** de un radionucleído (Γ) es el promedio de permanencia de los núcleos radiactivos. En forma analítica:

$$\Gamma = 1/\lambda \quad (III)$$

O también: $\Gamma = T/0.693 \quad (IV)$

Teniendo en cuenta las expresiones (I), (II), (III), (IV) y resolviendo las respectivas ecuaciones diferenciales, pueden obtenerse las siguientes expresiones:

El número de núcleos radiactivos en función del tiempo es:

$$N = N_0 \cdot e^{-0.693/T} \quad (V)$$

Donde: N = números de núcleos radiactivos transcurrido un tiempo t.

N_0 = números de núcleos radiactivos para un tiempo t_0 inicial.

T = periodo de semidesintegración del radionucleído.

La actividad para una muestra radiactiva es:

$$A = A_0 \cdot e^{-0.693/T} \quad (VI)$$

Donde: A = actividad de la muestra en un tiempo t.

A_0 = actividad de la muestra en un tiempo t_0 inicial.

En el siguiente gráfico se muestra el decaimiento de la actividad en función del tiempo.

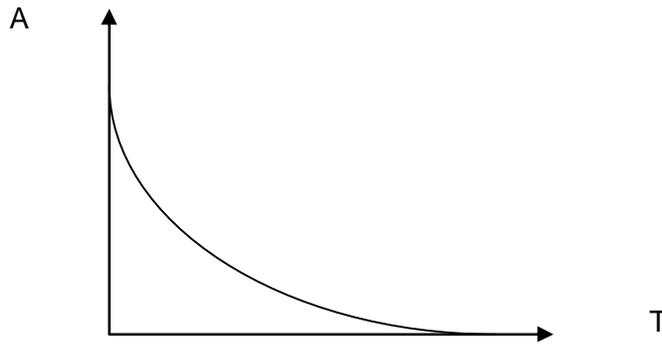


Gráfico N° 2: Actividad de la fuente radiactiva en función del tiempo

Como se puede observar en el gráfico el decaimiento de la actividad es exponencial. Aplicando logaritmo a ambos miembros de las ecuaciones (V) Y (VI), obtenemos una representación lineal del decaimiento radiactivo:

$$\ln N = \ln N_0 - \lambda t$$

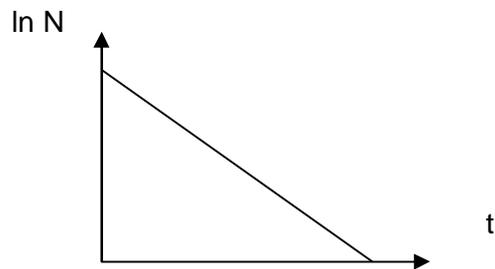


Gráfico N° 3: Logaritmo del números de núcleos radiactivos en función del tiempo

$$\ln A = \ln A_0 - \lambda t$$

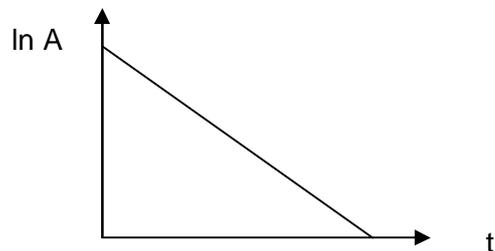


Gráfico N° 4: Logaritmo de la actividad de la muestra en función del tiempo

En estos gráficos las pendientes angulares de las rectas nos informan el valor de la constante de desintegración del radionucleído.

BIBLIOGRAFIA

- Curso I: Física de Reactores, Estática. Maestría en Reactores Nucleares Lic. Carla Notari.
- Química, La Ciencia Central. Brown, Le May, Bursten. Prentice Hall.
- Los Radionucleídos y sus Aplicaciones. Curso Introductorio. Oscar H. Pliego.
- Trabajo en Power Point sobre el Reactor Nuclear RA4. Aldo Marenzana.
- Trabajo de Adscripción, Reacciones Nucleares e Interacción de la Radiación con la Materia. Orso José Andrés. Directora: Stella Juárez. Codirector: Aldo Marenzana.