



**Facultad de Ciencias Exactas,  
Ingeniería y Agrimensura**  
Universidad Nacional de Rosario

# **ANÁLISIS POR ACTIVACIÓN**

**Trabajo de Adscripción a la Cátedra de Física III**

**Autor: Giorgi, Luciano Nahuel**

**Tutor: Ing. Aldo Marenzana**

Agosto 2010

# Introducción

El análisis por activación es un método de análisis químico elemental basado en la determinación de un elemento particular, contenido en una muestra, por la medición de la radiactividad que éste emite. El análisis consiste en irradiar una muestra no radiactiva con partículas de alta energía para transformarlo en un elemento radiactivo.

Hay varias formas de activar la muestra. La que se utilizó en este trabajo fue a través de los neutrones térmicos obtenidos del núcleo de un reactor nuclear.

Neutrones térmicos significa que éstos tienen una energía cinética equivalente a la determinada por la temperatura de las partículas del medio que los rodean, en este caso, serían las partículas del núcleo del reactor.

Esta característica de termalización es muy importante ya que la mayoría de los elementos pueden ser activados gracias a la misma. Esto es así porque, entre otras cosas, los elementos disponen de un parámetro llamado sección eficaz que determina la probabilidad de los mismos para absorber neutrones térmicos y que éstos puedan formar un núcleo compuesto.

Este último es un núcleo que se encuentra en un estado fuertemente inestable, esto quiere decir, un núcleo radiactivo. El mismo, comienza a transformarse en elementos con estructuras nucleares más estables emitiendo partículas y/o fotones y hasta llegar a un elemento estable final.

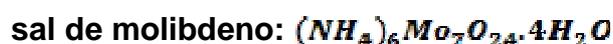
Estas partículas y fotones emitidas, pueden ser detectadas mediante diferentes tipos de instrumentos. En el método de análisis por activación, se utilizan los conocidos detectores de centelleo. Éstos detectan únicamente los fotones y, de forma proporcional a la actividad de la fuente.

## Objetivo de la experiencia

El objetivo de esta experiencia fue determinar de forma teórica el tiempo que tarda el radionucleído hijo en llegar a un equilibrio con la madre, y compararlo cualitativamente a través de las cuentas registradas por el detector de centelleo.

## Experiencia

En la experiencia se utilizó una muestra de sal de molibdeno, cuya fórmula química es la siguiente:



Ésta fue introducida en el núcleo del reactor y activada por un flujo neutrónico aproximado de  $10^7$  neutrones/cm<sup>2</sup>·s. Según la tabla de radionucleídos de Seelmann-Eggebert et al. (1974), los

elementos de la muestra distintos al molibdeno, tienen secciones eficaces muy pequeñas y se considera que éstos no pueden ser activados con el flujo neutrónico disponible, quedando únicamente activado el molibdeno.

El molibdeno tiene diferentes isótopos y en proporciones diferentes. En este práctico se estudió el isótopo Mo 98.

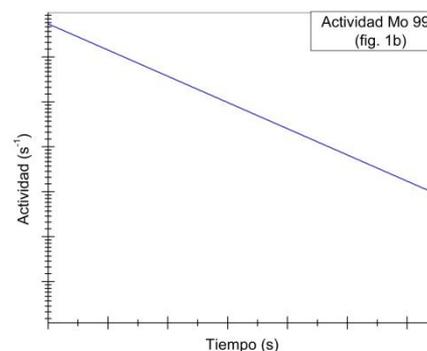
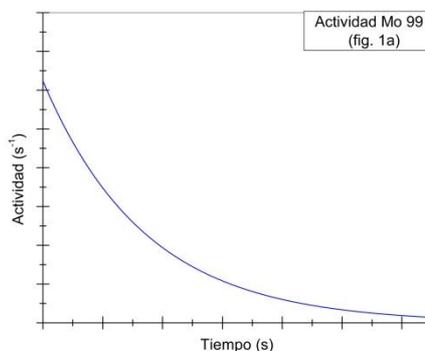
Una vez que el Mo 98 se convierte en un núcleo compuesto, pasa a Mo 99 radiactivo y éste se transforma en Tc 99 emitiendo partículas  $\beta$  y fotones  $\gamma$  de energías características de 1,2 KeV y 181 KeV respectivamente. Este último, es un radionucleído también y emite fotones  $\gamma$  con una energía igual a 141 KeV.

### Análisis cuantitativo:

La actividad del radionucleído madre, Mo 99, viene expresada de la siguiente forma:

$$A_1(t) = A_{1,0} e^{-\lambda_1 t} \quad (\text{exp.1})$$

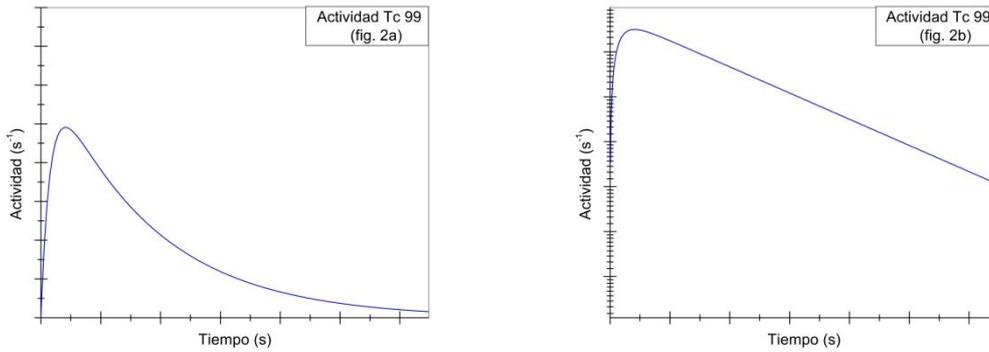
donde,  $\lambda_1$  es la constante de desintegración del radionucleído madre y  $A_{1,0}$  es la actividad inicial de la madre. Las gráficas de la expresión uno (exp.1), con escala lineal y logarítmica son las siguientes:



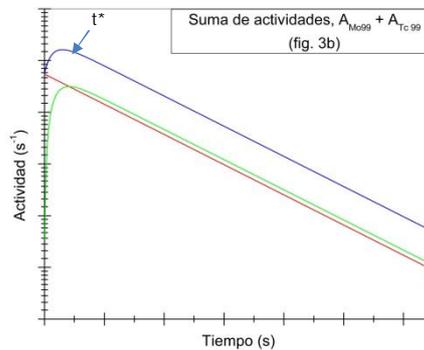
Por otro lado, la actividad del radionucleído hijo, Tc 99, viene dada a través de la siguiente expresión:

$$A_2(t) = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} A_{1,0} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) \quad (\text{exp.2})$$

donde,  $\lambda_1$  y  $\lambda_2$  son las constantes de desintegración de los radionucleídos madre e hija, respectivamente, y  $A_{1,0}$  es la actividad inicial de la madre, Mo 99. Las gráficas de la expresión dos (exp. 2), con escala lineal y logarítmica son las siguientes:



La suma de ambas expresiones da la siguiente gráfica en escala logarítmica:



donde la función de color rojo representa la actividad de la madre, la función de color verde representa la actividad de la hija, y la que está con color azul es la suma de las dos actividades. En esta última, se ve que a partir de un determinado tiempo aproximado  $t^*$ , tanto la madre como la hija están en equilibrio, esto quiere decir que decaen manteniendo la relación de sus actividades.

Para obtener este tiempo  $t^*$ , se procede a derivar la (exp. 2) con respecto al tiempo y se iguala esta última a cero. Esto se hace para obtener el tiempo en el cual el radionucleído hijo, empezará a decaer desde la máxima actividad del mismo. Haciendo los cálculos, llegamos a:

$$\frac{dA_2(t)}{dt} = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} A_{1,0} (\lambda_2 e^{-\lambda_2 t} - \lambda_1 e^{-\lambda_1 t}) = 0 \quad (\text{exp.3})$$

y

$$t^* = \frac{\ln(\lambda_1) - \ln(\lambda_2)}{\lambda_1 - \lambda_2} \quad (\text{exp.4})$$

En la expresión tres (exp.3), se puede ver que  $t^*$  es independiente de la actividad inicial del radionucleído madre ( $A_{1,0}$ ) y queda determinado únicamente por las constantes de desintegración de cada radionucleído.

Por otro lado, las constantes  $\lambda_1$  y  $\lambda_2$ , se pueden calcular a través de la fórmula siguiente:

$$\lambda = \frac{\ln(2)}{t_{1/2}} \quad (\text{exp.5})$$

donde  $t_{1/2}$  es el período de semidesintegración y se obtiene de las tablas de radionucleídos.

Entonces, según los valores obtenidos de la tabla, la (exp.4), es aproximadamente igual a:

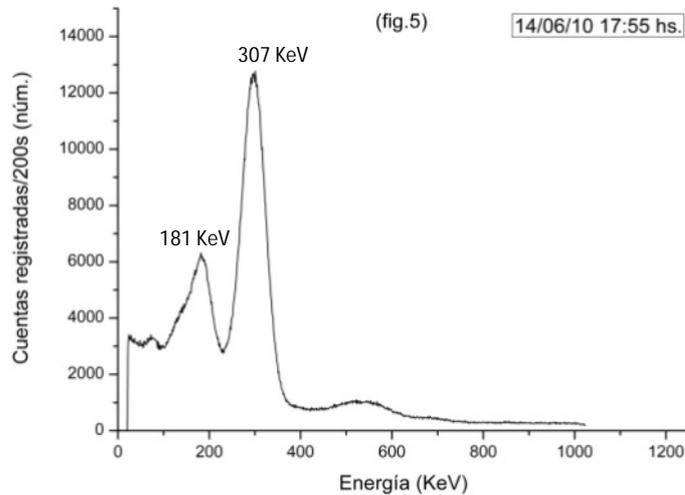
$$t^* \approx 82196 \text{ s}$$

que es aproximadamente 24 hs.

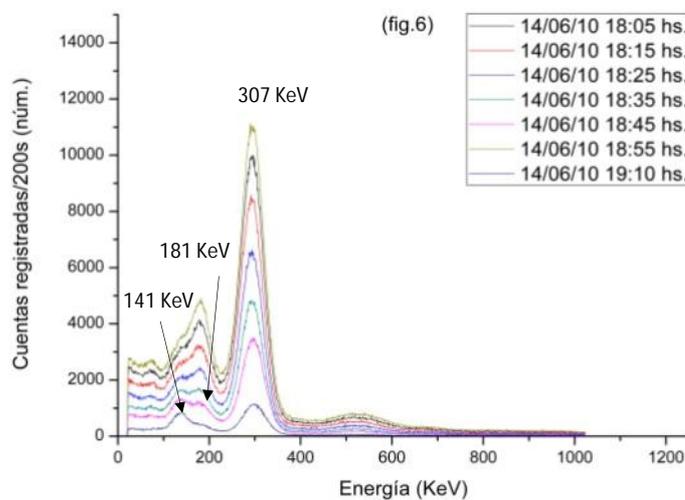
### Análisis cualitativo:

En la fig.5, se puede ver como primera imagen dos picos de energía plena importantes, estos son los pertenecientes a los valores de energía 181 KeV y 307 KeV. Estos picos de energía plena, según la tabla de radionucleídos, pertenecen a los elementos Mo 99 y Tc 101,

respectivamente. Como se expresó anteriormente, el elemento que interesa es el perteneciente al Mo 99.

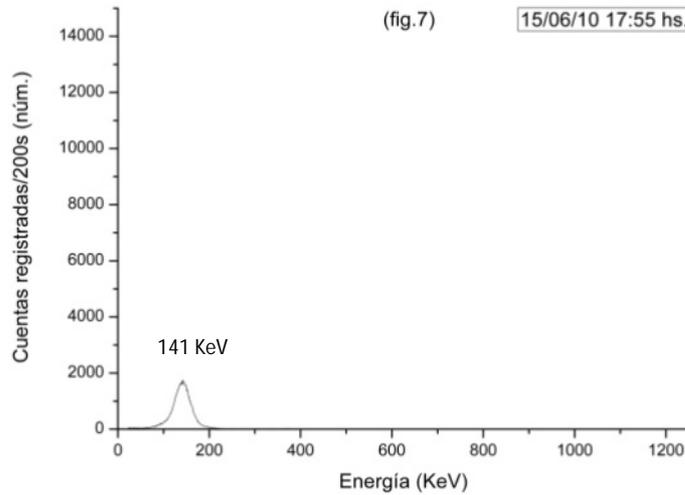


A medida que pasa el tiempo, el pico de energía plena perteneciente al elemento Mo 99 (181 KeV) va desapareciendo, mientras que en el canal de energía correspondiente al valor 141 KeV, va apareciendo otro pico de energía plena (fig.6). Según tabla de radionucléidos, este último corresponde al isótopo Tc 99 isómero. También hay que tener presente, que la cantidad de cuentas registradas de ambos picos va decreciendo. Esto es porque la madre, a medida que se transforma, va produciendo el hijo, y este último, también se va desintegrando.

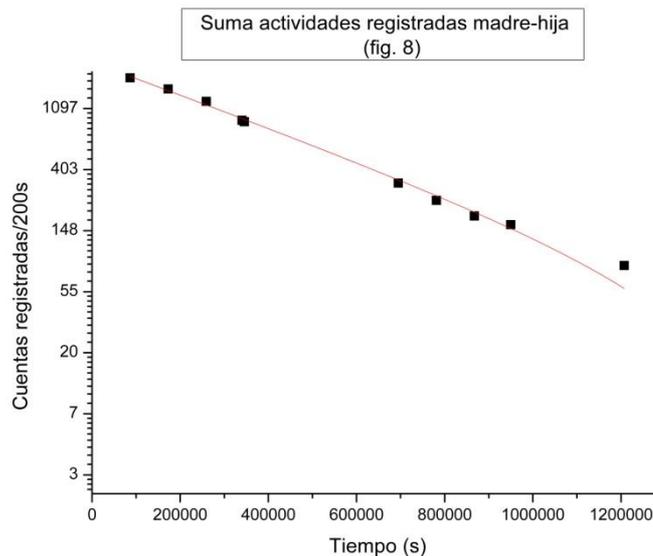


Si hacemos una toma de espectro al día siguiente, 24 hs. después, tiempo aproximado al calculado en el análisis cuantitativo previo, vemos que queda únicamente el pico de energía

plena perteneciente al Tc 99, pero con una cantidad de cuentas registradas mayor a la del día anterior (fig.7).

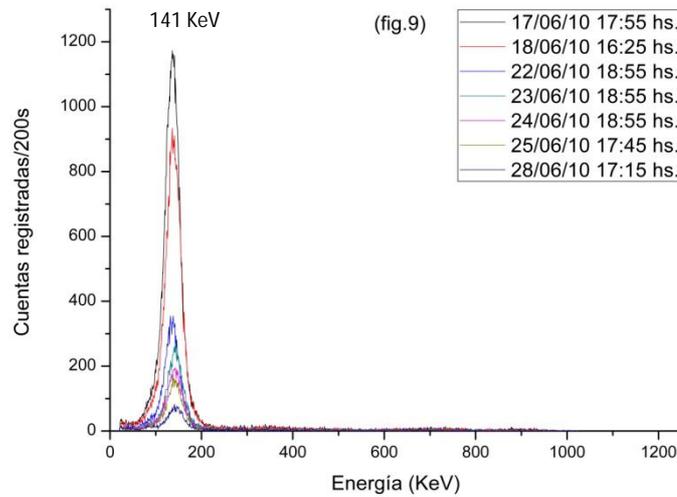


Este último fenómeno se produce porque, de acá en adelante, el radionucleído hijo alcanza el equilibrio con la madre y por ende las actividades de ambos se suman. Para verificar esto último, se suman las actividades registradas por el detector de centelleo pertenecientes a los picos de plena energía característicos de los radionucleídos madre (181 KeV) e hija (141 KeV) a partir de  $t^*$ , y luego lo graficamos en función del tiempo (fig. 8). La gráfica es la siguiente:



Si se compara el ajuste exponencial de esta última gráfica con la función representada por el color azul en fig. 3b, a partir de  $t^* \approx 82196 \text{ s}$ , se ve que tiene la misma forma de decaimiento lineal. Por lo tanto, se verifica lo expresado en el párrafo anterior.

En la figura siguiente (fig.9), se muestra el decaimiento durante las dos semanas próximas.



## Conclusión

En este trabajo se concluye que, a partir de los espectros obtenidos del detector de centelleo, se puede determinar cuándo el radionucleído hijo está en equilibrio con la madre. El procedimiento consiste en sumar las cuentas de los picos de energía plena característicos de los radionucleídos, registradas por el detector de centelleo en un determinado tiempo  $t_2$ , y, si éstas son mayores que las cuentas registradas en un tiempo  $t_1$  anterior, entonces se dice que los radionucleídos están en equilibrio.

Para generalizar este resultado, se debería de aplicar este análisis a otros elementos químicos.

## Agradecimientos

Agradezco a Fernando Ugo y José Orso por su colaboración en la realización de este trabajo.

## Bibliografía

- Gasstone, S. y Sesonke, A., 1968. NUCLEAR REACTOR ENGINEERING – Editorial Reverté.
- Rodriguez Pasques, R., 1978. INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA NUCLEAR – Editorial Universitaria de Buenos Aires.
- Sellmann-Eggbert, W., Pfenning, G., Hünzel, H., 1974. KARLSRUHER NUKIDKARTE 4º edición.