

APLICACIÓN DE LA TÉCNICA RUIDO NEUTRÓNICO PARA LA MEDICIÓN DE REACTIVIDAD EN SUBCRÍTICO DEL REACTOR RA-4

Orso J.^{1,2}, Marenzana A.¹

¹Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura (UNR)

²Comisión Nacional de Energía Atómica

orsojose@hotmail.com, aldomarenzana@gmail.com

Resumen

El núcleo del reactor RA-4 está dividido en dos partes que se unen para poner en marcha el reactor. El reactor con el núcleo separado está en la condición de mayor subcriticidad, esta condición es la de mayor seguridad y por lo tanto la del reactor apagado. En el presente trabajo se realizan las mediciones de la constante de decaimiento de los neutrones pronto " α_p ", utilizando los métodos α -Rossi y α -Feynman, para luego calcular la reactividad del reactor para las distintas posiciones del núcleo. Se realiza una comparación de ambas técnicas y luego se obtiene la reactividad para varias posiciones del núcleo utilizando la técnica α -Rossi, obteniéndose una función que da la reactividad en función de la longitud de separación del núcleo. Además se verifican las dos técnicas utilizando como fuente un sistema no multiplicativo.

Los valores de reactividad para distintas posiciones del núcleo obtenidos mediante la técnica α -Rossi son: $\$[0 \text{ cm}] = (-11+/-1)$ dólar, $\$[3 \text{ cm}] = (-7+/-1)$ dólar, $\$[3.5 \text{ cm}] = (-5.5+/-0.8)$ dólar, $\$[4.2 \text{ cm}] = (-3.8+/-0.3)$ dólar y $\$[4.5] = (-3.0+/-0.1)$ dólar.

1. INTRODUCCIÓN TEÓRICA

1.1- Método α -Rossi

La aplicación de la **Ecuación (1)** da lugar al método α -Rossi.

$$\xi = \varepsilon^2 F^2 + \left[\frac{\varepsilon^2 F D L_1}{2\beta^2 (1-\$)\Lambda^*} \right] e^{\alpha_p(t_2-t_1)} \quad (1)$$

donde: ε es la eficiencia absoluta del detector, F : es la tasa de fisión, D el factor de Diven, $\$$ la reactividad dada en dólares, β la fracción de los neutrones retardados, α_p la constante de decaimiento de los neutrones instantáneos, Λ^* el tiempo entre reproducciones reducido, L_1 la geometría del reactor finito y t_1 , t_2 tiempo.

Para medición se requiere la utilización de un multiescalímetro con un ancho de canal " Δt " suficientemente pequeño, de manera que se produzca la detección de "0" o "1" cuentas en el primer canal " c_1 " correspondiente a " t_1 " y en el segundo canal " c_2 " correspondiente a " t_2 ". La medición consiste en registrar la frecuencia de aparición de 1 cuenta en " c_1 " y 1 cuenta en " c_2 ", en función de (t_2-t_1) . El primer término de la **Ecuación (1)** corresponde a la parte no correlacionada de la probabilidad, mientras que el segundo término corresponde a la parte correlacionada de la probabilidad. De la normalización y posterior ajuste de los datos experimentales con la **Ecuación (1)**, se obtiene una función $P(t)$ que es la probabilidad de detección de un neutrón en un intervalo de tiempo Δt_2 al rededor del tiempo t_2 habiéndose detectado previamente un neutrón a un tiempo t_1 en el intervalo Δt_1 . A partir de la función $P(t)$ se obtiene el valor de α_p y la reactividad.

El método α -Rossi también se puede aplicar utilizando dos detectores de neutrones, D_1 y D_2 , en modo coincidencia. El detector D_1 se ubica en uno de los canales de irradiación lateral y el D_2 en el canal de irradiación centra horizontal. Los pulsos del detector D_1 se toman como tiempo inicial y los pulsos del otro detector D_2 se suman en varios canales según el tiempo transcurrido desde la señal inicial hasta que son detectados. La **Figura 1** muestra una gráfica correspondiente a un sistema correlacionado. Si no hay correlación entre las dos señales, los pulsos de D_2 son independientes de los D_1 . **Figura 2.** [1] [2] [3] [4]

1.2- Método α -Feynman

La aplicación de la **Ecuación (2)** da lugar al método de α -Feynman.

$$V(t) = \frac{\overline{Z^2} - \overline{Z}^2}{\overline{Z}} = 1 + \left[\frac{\varepsilon v_p (v_p - 1) L_1}{\beta^2 (1 - \beta)^2 v^2} \right] \left\{ 1 + \frac{1 - e^{-\alpha_p t}}{-\alpha_p t} \right\} \quad (2)$$

donde: $Z = \varepsilon Ft$ es el número de cuentas obtenidas en el intervalo de tiempo "t", \bar{v} es el valor medio del número de neutrones producidos en una fisión, v_p es el número de neutrones instantáneos producidos por fisión

El método consiste en medir repetidas veces el número de cuentas " N_c " en un tiempo "t" y obtener el valor medio $\langle N_c \rangle$, la varianza $\sigma^2(t)$ y la varianza reducida

" $V(t) = \frac{\sigma^2}{\langle N_c(t) \rangle}$ ". Siendo $V(t)$:

$$V(t) = 1 + Y_1 \left[1 + \frac{1 - e^{-\alpha t}}{-\alpha t} \right] \quad (3)$$

donde

$$Y_1 \cong \frac{\varepsilon D L_1}{\beta^2 (1 - \beta)^2} \quad (4)$$

Los datos experimentales se ajustan con la función:

$$Y(t) = V(t) - 1 = Y_1 \left[1 + \frac{1 - e^{-\alpha t}}{-\alpha t} \right] \quad (5)$$

obteniéndose los valores de $\alpha = \alpha_p$. [1] [2] [3]

De la **Ecuación (4)** se puede obtener la eficiencia absoluta del detector y por lo tanto la potencia del reactor.

2. DESCRIPCIÓN DEL RA-4

Es un reactor de núcleo homogéneo de potencia máxima 1000 mW, la forma física del núcleo es cilíndrica con un diámetro de 24 cm y 26 cm de altura, dividido en dos partes, la parte superior fija y la parte inferior móvil. La condición de máxima separación del núcleo corresponde a la condición de apagado del reactor (posición de

núcleo 0 cm). Para la puesta en marcha del reactor se une el núcleo, siendo la posición de núcleo unido 4.7 cm.

El núcleo está compuesto de discos apilados de distinta altura, de U_3O_8 enriquecido hasta el 20% homogéneamente mezclado con polietileno, este material aparte de cumplir la función de soporte del material fisionable, funciona como moderador de los neutrones.

El control del reactor se lleva a cabo con dos placas de control de 25 x 24 cm de cadmio, con un recorrido de 25 cm, ubicadas a los lados del núcleo.

Todo esto está rodeado por grafito que cumple las funciones de reflector de neutrones, sigue una capa plomo para atenuar radiaciones Gamma y finalmente un tanque de agua con ácido bórico en solución saturada como protección biológica con capacidad de absorber neutrones. **Figura 3.**

Una fuente de neutrones de $RaBe$ con una actividad de 10 mCi provee las condiciones necesarias para el arranque.

El RA-4 tiene un tubo de BF_3 trabajando en la zona de contador proporcional para el canal de arranque, una cámara de ionización para el canal de marcha logarítmico y una segunda cámara de ionización para el canal lineal de marcha. [5]

3. SISTEMA DE MEDICIÓN

3.1- Circuito y equipamiento utilizado para la medición de la constante α utilizando el método de α -Rossi.

Las mediciones se realizaron utilizando un solo detector de neutrones ubicado en el centro del canal central de irradiación.

A partir de la detección de un neutrón inicial, se produce el inicio del barrido del multiescalímetro (en el modo MSC), a partir del cual este cuenta pulsos provenientes del detector y los acumula en distintos canales, dependiendo del tiempo de llegada de cada uno. El ancho de cada canal (dwell time) se fija en 100 μs . El multiescalímetro posee 1024 canales.

Para poder medir utilizando esta técnica se debió modificar el multiescalímetro y confeccionar un circuito electrónico adicional. **Figura 4. Figura 5.**

Un pulso proveniente del detector es amplificado y enviado al circuito adicional compuesto por un CI 555 y un CI 74HC00, entre otros componentes.

El circuito adicional inicia el barrido del multiescalímetro cuando ingresa por el pin 2 un pulso proveniente del detector (pulso de sincronismo). Cuando el multiescalímetro finaliza el barrido en el canal 1024, el circuito adicional queda a la espera de un nuevo pulso para iniciar un nuevo barrido en el multiescalímetro. La función más importante de CI 555 es que no inicializa un nuevo ciclo, con la entrada de un pulso de detector, si no ha finalizado el barrido anterior. El ciclo se repite hasta obtener una buena estadística. Luego la información contenida en los canales del multiescalímetro se envía a la computadora para realizar el ajuste con los datos experimentales.

3.2- Circuito y equipamiento utilizado para la medición de la constante α utilizando el método α -Feynman

Las mediciones se realizaron utilizando un solo detector de neutrones ubicado en el centro del canal central de irradiación.

Para aplicar el método de α -Feynman se tiene que medir n veces el conteo de neutrones provenientes de un detector durante un tiempo t . Esto se logra utilizando el multiescalímetro en el modo MCS (un solo barrido por vez) y ajustando el ancho de

canal (dwell time) a un tiempo t **Figura 6**. Luego de que finalice el barrido, el circuito de la **Figura 7** inicia el envío de la información, es decir el número de cuentas contenida en los canales, a la PC. Luego el circuito se encarga de borrar la información contenida en los canales para comenzar un nuevo barrido. Es decir que el sistema realiza un proceso cíclico en el cual comienza poniendo todos los canales en cero, luego realiza un barrido y después envía el número de cuentas contenidos en los 1024 canales a la PC, para luego iniciar el ciclo nuevamente. El proceso se repite dependiendo de la cantidad de veces que se quiera medir el conteo de neutrones para un dado intervalo de tiempo. Las mediciones se realizan para los intervalos de tiempo Δt (dwell time) de 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700 800, 900 μs y 1, 2, 3, 4, 5 ms.

4. RESULTADOS

4.1- Cálculo de reactividad para dos posiciones del núcleo (0 cm y 3,5 cm) utilizando los métodos α -Feynman y α -Rossi.

Los valores de reactividad obtenidos se pueden observar en la **Tabla 1**. En el gráfico de la **Figura 8** se pueden observar los ajustes de las mediciones obtenidas utilizando la técnica α -Rossi. La **Figura 9** muestra las mediciones obtenidas utilizando la técnica α -Feynman.

4.2- Obtención de la reactividad en función de la posición del núcleo utilizando el método de α -Rossi

En la **Tabla 2** se puede observar los valores de reactividad obtenidos utilizando la técnica α -Rossi, para las posiciones de núcleo 0 cm, 3 cm, 3.5 cm, 4.2 cm y 4.5 cm. En la **Figura 10** se pueden ver los ajustes obtenidos a partir de las mediciones. Los valores de reactividad de la **Tabla 2** se ajustan con una función logarítmica obteniéndose la siguiente expresión:

$$\rho(x) = -6,06 \ln(x - 1,60)$$

que da la reactividad en función de la longitud de separación del núcleo. **Figura 11**

4.3- Aplicación de los métodos α -Rossi y α -Feynman a un sistema no correlacionado

Se aplicaron los métodos de medición α -Feynman y α -Rossi, utilizando una fuente radiactiva, de emisión gamma, y se reemplazó el detector por un centellador en los sistemas dados por la **Figura 4** y la **Figura 6**, de lo cual se obtienen la **Figura 12** y la **Figura 13**.

5. CONCLUSIONES

Los valores de reactividad para las distintas posiciones del núcleo obtenidos son: $\rho[0 \text{ cm}] = (-11 \pm 1)$ dólar, $\rho[3 \text{ cm}] = (-7 \pm 1)$ dólar, $\rho[3.5 \text{ cm}] = (-5.5 \pm 0.8)$ dólar, $\rho[4.2 \text{ cm}] = (-3.8 \pm 0.3)$ dólar y $\rho[4.5 \text{ cm}] = (-3.0 \pm 0.1)$ dólar.

De la **Tabla 1** se puede observar que los valores de reactividad obtenidos a partir de los métodos α -Feynman y α -Rossi no difieren significativamente para la posición de núcleo de 3.5 cm. La diferencia de valores se hace significativa para la posición de núcleo 0 cm. Esto es debido a que a mayor separación del núcleo (0 cm) se obtiene menor conteo de neutrones y por lo tanto una mayor dispersión en las mediciones.

Como los dos métodos son estadísticos, el éxito de la medición depende fundamentalmente del tiempo de medición para el método α -Rossi y de la cantidad de

mediciones para el método α -Feynman. Se pueden mejorar los valores de reactividad calculados aumentando el tiempo de medición para el método α -Rossi, obteniéndose una menor dispersión de los valores obtenidos en las mediciones. Para el método α -Feynman se obtiene una menor dispersión si se aumenta el número mediciones.

Se observa de la **Figura 10** que el tiempo de vida de las distintas cadenas de fisión es menor a 0,01 s, y además se puede ver que a mayor subcriticalidad, es decir a menor reactividad, menor será el tiempo de vida de dichas cadenas. Dicho de otro modo, la probabilidad de detectar un neutrón, proveniente de la misma cadena de fisión de otro neutrón, que ha sido detectado previamente, para un tiempo mayor a 0,01 s, es prácticamente cero.

De la **Figura 12** y de la **Figura 13** se puede observar como los métodos de medición utilizados muestran claramente la desviación de la distribución de Poisson en un sistema multiplicativo.

Todas las mediciones se realizaron a la misma temperatura de 22 °C, debido a que la reactividad es fuertemente dependiente de la temperatura. Se ha estimado en forma experimental y que podrían formar parte de futuros trabajos, que una diferencia de temperatura de 1 °C equivale aproximadamente a una variación de reactividad de 0.0323 dólares, en la condición de crítico del reactor.

6. AGRADECIMIENTOS

Lic. Ángel Gómez y Lic. Pablo Bellino. Grupo Física Experimental de Reactores. Centro Atómico Constituyentes. Comisión Nacional de Energía Atómica.

7. REFERENCIAS

[1]: **Gomez A.**, "Métodos de Medición en Física de Reactores Nucleares. Cinética y Ruido Neutrónico", CNEA-ITE-06REC-203. Rev. 2. (2008).

[2] **Bellino P. Gómez A.** *Aplicación de la técnica ruido neutrónico en subcrítico utilizando un nuevo sistema de adquisición de datos.* 2009.

[3] **Bellino P. Gómez A.** Estimación de parámetros cinéticos mediante mediciones en subcrítico en el reactor RA-3.

[4] **Milicic B.** *Experiencias utilizando el reactor de docencia SUR 100.* 1984.

[5] **Ugo, F Orso, J.** *Desarrollo de software de simulación del conjunto crítico RA4 UNR.* 2011.

[6] **Glasstone, S.** *Ingeniería de reactores nucleares.* Reverté. 1968.

8. FIGURAS

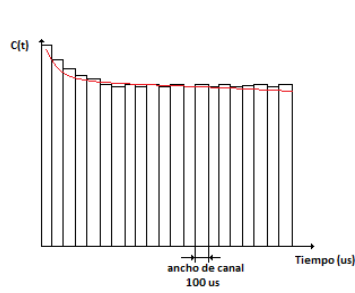


Figura 1: Distribución de los pulsos en función del tiempo en un sistema correlacionado. [4]

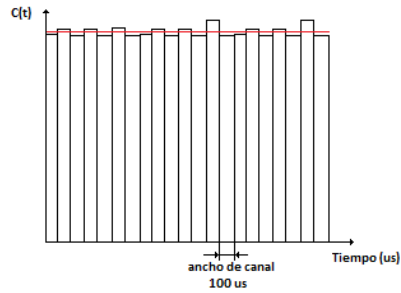


Figura 2: Distribución de los pulsos en función del tiempo en un sistema no correlacionado. [4]

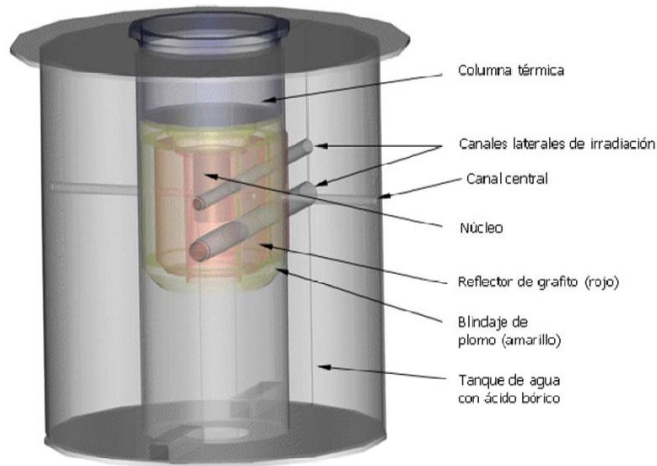


Figura 3: Esquema del Reactor RA-4. [5]

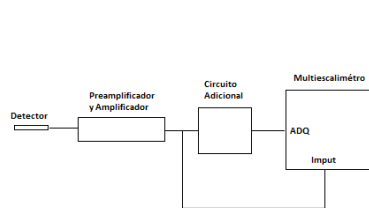


Figura 4: Diagrama en bloques del sistema de medición del método α -Rossi

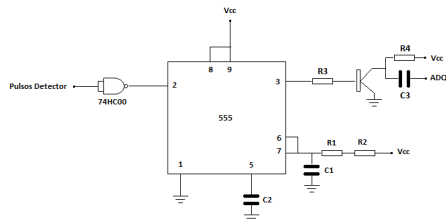


Figura 5: Circuito adicional utilizado para medir α -Rossi

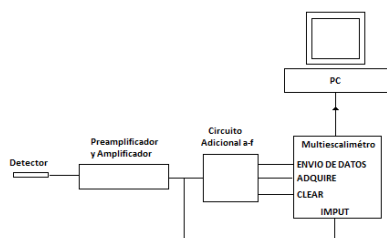


Figura 6: Diagrama en bloques del sistema de medición del método α -Feynman

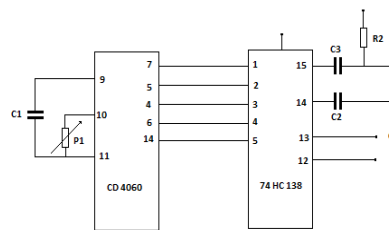


Figura 7: Circuito adicional utilizado para medir α -Feynman

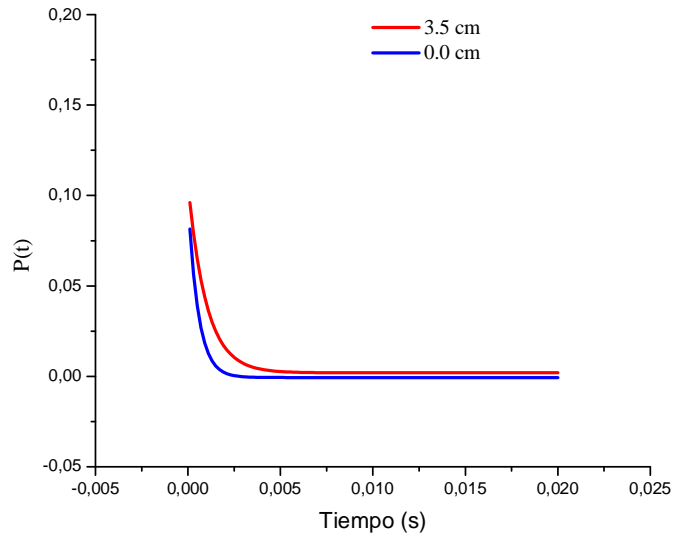


Figura 8: Ajustes de mediciones utilizando el método de medición α -Rossi para dos posiciones de núcleo.

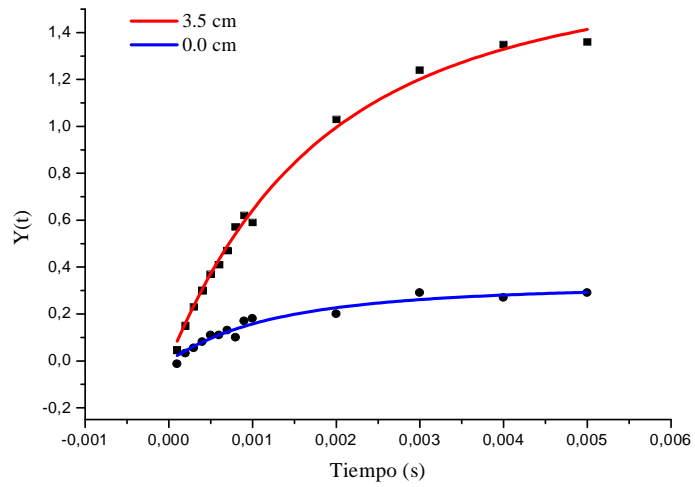


Figura 9: Ajustes de mediciones utilizando el método de medición α -Feynman para dos posiciones de núcleo.

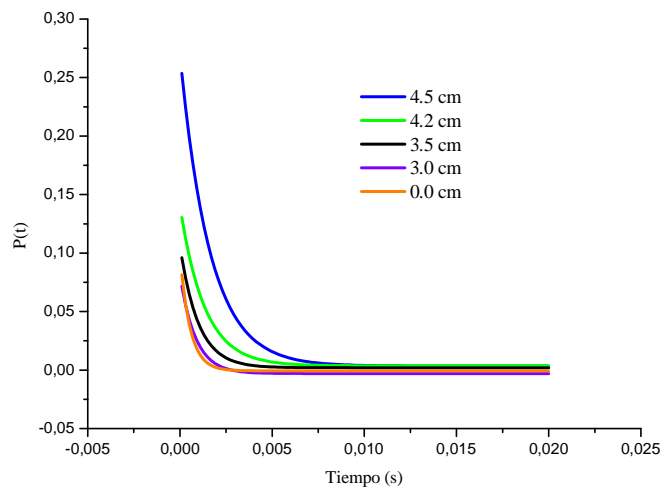


Figura 10: Ajustes de mediciones para varias posiciones de núcleo utilizando el método de medición α -Rossi.

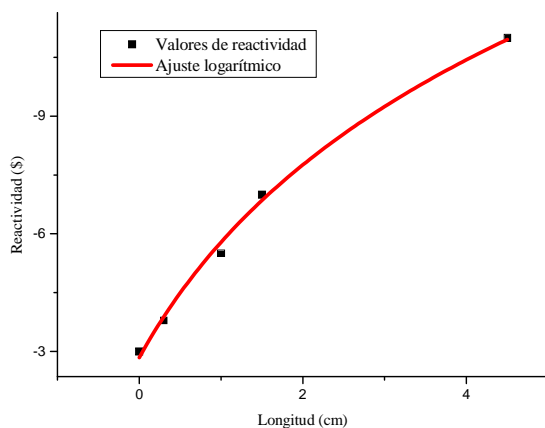


Figura 11: Reactividad en función de la longitud de separación del núcleo

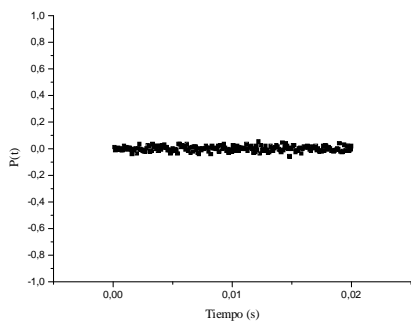


Figura 12: Medición utilizando α -Rossi para un medio no multiplicativo

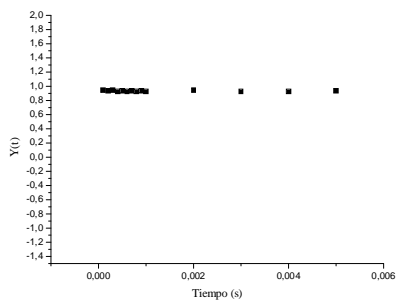


Figura 13: Medición utilizando α -Feynman para un medio no multiplicativo

9. TABLAS

Posición Núcleo (cm)	Reactividad (dólares)	
	α -Rossi	α -Feynman ¹
0	-11 +/- 1	8 +/- 1
3,5	-5,5 +/- 0,8	5,4 +/- 0,3

Tabla 1: Valores de reactividad obtenidos con los dos métodos para dos posiciones de núcleos.

Posición Núcleo (cm)	Reactividad (dólares)
0	-11 ±1
3	-7 ± 1
3,5	-5,5 ±0,8
4,2	-3,8 ± 0,3
4,5	-3,0 ± 0,1

Tabla 2: Valores de reactividades obtenidas con el método α -Rossi para cinco posiciones de núcleos

APPLICATION OF THE NEUTRON NOISE TECHNIQUE FOR MEASUREMENT OF REACTIVITY FOR SUBCRITICAL REACTOR RA-4

Abstract

Reactor core RA-4 is divided into two parts that come together to start reactor. The reactor with core separate has the largest subcritical condition, this condition is more secure and therefore the reactor shutdown. In this paper measurements are made of the decay constant of the neutron prompt " α_p ", using the α -Rossi and α -Feynman methods to calculate the reactivity of the reactor core for different positions. Both techniques are compared and reactivity is obtained for several position of the reactor core using the α -Rossi technical which is obtained a function that gives the reactivity depending on the separation of the core length. Both techniques are verified using a no multiplicative system.

Reactivity values for different position of the core obtained by α -Rossi technique are: $\rho[0 \text{ cm}] = (-11 \pm 1)$ dollar, $\rho[3 \text{ cm}] = (-7 \pm 1)$ dollar, $\rho[3.5 \text{ cm}] = (-5.5 \pm 0.8)$ dollar, $\rho[4.2 \text{ cm}] = (-3.8 \pm 0.3)$ dollar y $\rho[4.5] = (-3.0 \pm 0.1)$ dollar.

¹ Para el método de α -Feynman se realizaron 20 por 1024 mediciones para cada valor de tiempo