

# Carta de coeficientes de activación térmica en un reactor nuclear

Agustin Zuñiga [azuniga@ipen.gob.pe](mailto:azuniga@ipen.gob.pe)  
Instituto Peruano de Energía Nuclear. Departamento de Cálculo Análisis y Seguridad  
Av. Canadá 1470, Lima-41, Perú

## Resumen

Se presenta las mediciones de los coeficientes de activación térmica para las posiciones de irradiación destinadas a la producción de radioisótopos normalizados al sistema neumático, obteniéndose H4:  $0.92 \pm 0.01$ ; E5:  $0.82 \pm 0.01$ ; B4:  $0.88 \pm 0.01$ , promediados en las posiciones 4Y, 5Y, 6Y. Estos coeficientes facilitan el seguimiento y comparación de las capacidades térmicas de irradiación en dichas posiciones, frente a cambios de núcleo, evolución del consumo de combustible o solicitudes de irradiación de usuarios de la instalación. La carta de coeficientes tiene como posición vigía (o referencia) al sistema neumático, designado por su facilidad de acceso y medición. Las mediciones se realizaron en el reactor nuclear RP-10 núcleo N° 29, a baja potencia, con indicadores metálicos de oro.

## Abstract

We present measurements of the thermal activation coefficients, of the irradiation positions utilized in the radioisotopes production, normalized to the pneumatic system, we had obtained: H4:  $0.92 \pm 0.01$ ; E5:  $0.82 \pm 0.01$ ; B4:  $0.88 \pm 0.01$ , averaged in the following positions: 4Y, 5Y, 6Y. These coefficients permit the monitoring and comparisons of the thermal capacities of irradiation in those positions, because of changes in the nuclear core configurations or evolution of the depleted of fuel. The chart o coefficient has as vigia position the pneumatic position. The measurements were done in the RP-10 peruvian nuclear reactor in the core configuration N° 29, in a low power, with gold indicators.

**Palabra clave:** actividad térmica, cambio de núcleo, espectro térmico, razón de cadmio, facilidades de irradiación, flujo neutrónico, usos de neutrones.

## 1 Introducción

Realizar el mapeo experimental del flujo neutrónico de un reactor es una labor complicada, si aplicamos la metodología clásica de activación de indicadores metálicos. Sin embargo, esta práctica se sigue empleando en la mayoría de los reactores de investigación, donde se utilizan permanentemente las facilidades internas y externas. En el caso interno, hay dificultades en conocer sus capacidades de irradiación por su accesibilidad. Sin embargo, es necesario el conocimiento permanente de dichas capacidades, tanto para fines de una gestión eficiente del combustible nuclear, como para satisfacer las condiciones de irradiación requeridas por los usuarios de investigación y explotación comercial. Pocos reactores disponen de sensores activos (respuesta en tiempo real) para la determinación de las características neutrónicas térmicas de las facilidades internas, por lo que plantear un método simple que facilite el seguimiento permanente de las características neutrónicas es fundamental. En el presente trabajo se

propone un método, que debe todavía afinarse, pero en esencia, pretende usar una posición vigía del núcleo, de fácil acceso, desde el cuál se puedan hacer mediciones aproximadas bastante buenas, para cualquier momento y facilidad de irradiación interna.

El método consiste, en primer lugar, en realizar mediciones comparativas en el rango térmico respecto a la posición vigía, con lo que se construyen los respectivos coeficientes por posición, luego se asume la validez de esta carta de coeficientes. Con ello se requerirá de una sola medición en el vigía para reconstruir la capacidad de activación térmica en otro lugar, sin realizar la medición en ella, con lo que se muestra la utilidad propuesta. Por su enfoque práctico este trabajo seguramente traerá muchas discusiones entre los usuarios de neutrones del reactor.

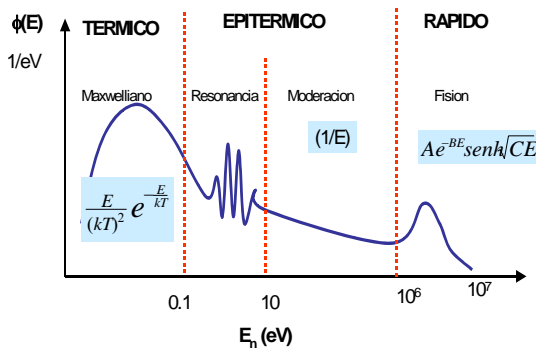
## 2 Fundamento teórico

### 2.1 El espectro neutrónico

Los neutrones en los reactores presentan energías de diversos valores que van desde 0 hasta unos 10 MeV, se clasifican

generalmente en 3 regiones: térmicos, intermedios (o epitérmicas) y rápidos, cuyas distribuciones comúnmente aceptadas son la maxwelliana,  $1/E$  y de Watt respectivamente. Esto es lo que constituye el espectro neutrónico. Una aproximación para la delimitación de las regiones son: térmica: 0 a 0.1 eV, epitérmica: 0.1 eV a 500 keV; rápida: 500 keV a 10 MeV. En otras referencias se suelen usar como límites de separación la energía de corte del cadmio en cuyo caso resultan las regiones: subcádmica: 0 eV a 0.5 eV; epicádmica: 0.5 eV a 500 keV; rápida: 500 keV a 10 MeV (Figura 1).

Dado que las reacciones de fisión en el U-235 se facilitan para energías bajas es necesario disminuir las energías de los neutrones que nacen en dichas reacciones, en promedio con 2 MeV, esto lo realiza elementos ligeros denominados moderadores, como el agua liviana en el caso del RP-10.



**Figura 1.** Espectro neutrónico en un reactor nuclear constituido por las regiones térmica, epitérmica (intermedia) y rápida. Las distribuciones son la maxwelliana,  $1/E$  y de fisión.

### 2.2 Distribución espacial del flujo neutrónico

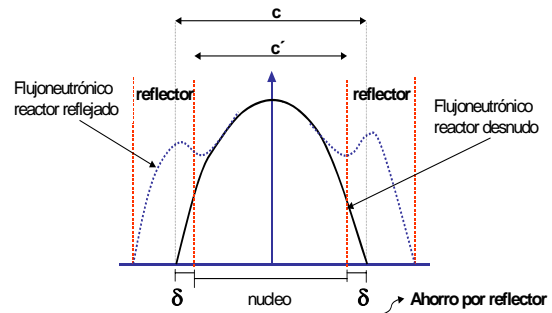
La principal función de un reactor de investigación y producción de radioisótopos es proveer neutrones según las necesidades del usuario. Por ello conocer su distribución energética y espacial es tarea primordial. La magnitud que describe esta distribución es el flujo neutrónico térmico, epitérmico o rápido. En la actualidad, se disponen diversos métodos de medición, según las situaciones que se presenten y la disponibilidad instrumentos de detección y medición, materiales y el interés del usuario. Para el presente trabajo nuestro interés está centrado en el flujo neutrónico térmico. Una buena aproximación cualitativa es el correspondiente a un reactor desnudo y

homogéneo, que en la geometría rectangular es de forma cosenoidal.

$$\phi_{th}(x, y, z) = \phi(0,0,0) \cos\left(\frac{\pi x}{a}\right) \cos\left(\frac{\pi y}{b}\right) \cos\left(\frac{\pi z}{c}\right)$$

donde  $a, b, c$  son el tamaño del reactor considerado.

En la práctica los reactores no son desnudos ni homogéneos; sin embargo, la distribución en la dirección  $z$ , es bastante cosenoidal al inicio del núcleo (todos frescos), que con el uso se distorsiona debido al consumo no uniforme del combustible, reflectores, influencias de dispositivos experimentales y posición de las barras de control. Una visualización comparada del flujo para núcleos desnudos y reflejados se presenta en la Figura 2.



**Figura 2.** La presencia del reflector permite la disminución del tamaño del combustible, denominado “ahorro por reflector”.

### 2.3 Velocidad de reacción

Para la medición del flujo neutrónico por indicadores metálicos, se inserta el indicador en la posición requerida. En estos indicadores se producirán reacciones nucleares inducidas por neutrones, produciéndose núcleos radioactivos a una tasa proporcional al flujo neutrónico incidente, número total de núcleos ( $N_T$ ) y a la sección transversal de activación ( $\sigma_{act.}$ ) (reacción  $n, \gamma$ ), con ello el problema de medir el flujo neutrónico se reduce a medir las actividades de los núcleos radiactivos producidos en sistemas de medición apropiados.

$$R = \phi_{th} \sigma_{act} N_T$$

Flujo térmico (n/cm<sup>2</sup>/s)
S. Transversal (cm<sup>2</sup>)
# de átomos en el indicador

La actividad del indicador dependerá de cuántos átomos radioactivos se han formado luego de la irradiación. Esta determinación se realiza en base a la ecuación fundamental de activación. Después de la irradiación los indicadores son extraídos desde los portamuestras y llevados a los sistemas de medición, esta actividad luego de un tiempo de irradiación,  $t_i$ , y de una espera,  $t_e$ , son medidos durante un tiempo  $t_m$ . Ver Zu91

Sin embargo, la verdadera tasa de reacciones neutrón – núcleos, depende no solamente del tipo del núcleo blanco, sino también de la energía que trae el neutrón, ( $\sigma_{act}(E)$  y  $\Phi(E)$ ), por lo que se debe considerar todo el espectro neutrónico, con lo que la expresión más certera resulta, la integral de la expresión anterior en todo el dominio de la energía (0 a 10 MeV)

#### 2.4 Flujo dentro del indicador

Siendo que los indicadores no son discos o alambres infinitamente delgados, los núcleos internos del indicador son blindados por los más externos, sintiendo de ese modo un flujo neutrónico distinto (menor) a los núcleos de la superficie. Para determinar el flujo neutrónico en la posición estudiada, este efecto de autoblandaje debe ser corregido. La expresión que permite calcular el factor de autoblandaje depende del espesor del indicador,  $d$ , y de la sección transversal macroscópica total,  $\Sigma_{tot}$ . Se denomina  $G_{th}$ . [1].

#### 2.5 La contribución epitérmica y térmica

Para la determinación del flujo térmico a partir de la activación del indicador metálico se debe descontar la contribución epitérmica y rápida. Por suerte en la naturaleza, hay muchos elementos que tienen, un valor de sección transversal despreciable para el rango rápido, con lo que, la activación en los indicadores usados se reducen a las dos primeras regiones del espectro neutrónico.

Nuevamente la naturaleza nos provee materiales que tienen la propiedad de ser altamente absorbentes de neutrones térmicos, y casi transparentes para neutrones epitérmicos, esta propiedad es usada para eliminar la contribución epitérmica, quedando la posibilidad de determinar solo la contribución térmica y desde ahí el flujo térmico.

#### 2.6 La razón de cadmio, $R_{Cd}$

Asumiendo que los indicadores son transparentes a los neutrones rápidos, la activación debida solo a los neutrones térmicos puede obtenerse separando la contribución epitérmica, mediante cajas de cadmio, que para un espesor mayor a 1 mm se puede asumir que se absorbieron todos los térmicos, la vamos a denominar actividad bajo cadmio ( $A_{Cd}$ ). Para comparar la presencia térmica frente a la epitérmica se ha definido la razón de cadmio,  $R_{Cd}$ , como el cociente entre la actividad total, llamada desnuda ( $A_B$ ) y la actividad bajo cadmio. Su valor es mayor en regiones de mayor presencia de neutrones térmicos, esto ocurre en zonas de alta termalización como la columna térmica del reactor.

#### 2.7 Coeficiente de activación térmica, $C_{th}$

$$R_{Cd} = \frac{A_B}{A_{Cd}}$$

La vamos a definir como la fracción de la actividad total que se corresponde a la activación térmica.

$$A_{th} = A_B \cdot C_{th}$$

A partir de la razón de cadmio surge una primera aproximación para la determinación de este coeficiente. Asumiendo que la actividad total se debe solo a la componente térmica y epitérmica, y también a que la actividad epitérmica se debe a la actividad que atraviesa la caja de cadmio, obtenemos una expresión simple que da base a la medición de este coeficiente.

$$A_B \approx A_{th} + A_{epi}$$

$$A_{epi} \approx A_{Cd}$$

$$A_{th} = A_B - A_{Cd}$$

$$C_{th} \approx \frac{R_{Cd} - 1}{R_{Cd}}$$

## 2.8 Posición vigía de la configuración nuclear, $C_{th,v}$

Los coeficientes de activación térmicos dependen de la posición donde se realice la medida, por ello luego de construir la carta de coeficientes de las diferentes posiciones de irradiación dentro del núcleo, se normaliza respecto a la posición vigía, que por facilidad se ha escogido la posición de irradiación del sistema neumático, así la expresión del coeficiente térmico de la posición  $j$ -ésima respecto al neumático es  $C_{th,Vj}$

$$C_{th,Vj} \approx \frac{C_{th,j}}{C_{th,SN}}$$

Una utilidad inmediata de estos coeficientes es el seguimiento de los flujos neutrónicos en las diversas facilidades periódicamente, según las necesidades se podrán obtener los perfiles completos de flujos, con sólo medir en un sólo punto: la posición vigía de fácil acceso.

Esta carta se puede usar para conocer el flujo térmico en todas las posiciones donde se conocen estos coeficientes, simplemente con la determinación del flujo neutrónico en la posición vigía y luego multiplicarla por su coeficiente respectivo. Este flujo puede ser utilizado según las aproximaciones que se conozcan, la más apreciada es el formalismo de Westcott.

## 2.9 El indicador Oro

El indicador más usado para estas mediciones es el oro, que reúne las características propuestas: un típico detector  $1/v$ , tiene una pronunciada resonancia subcadmica, es elevada su sección transversal de activación, su período de decaimiento permite realizar mediciones no tan inmediatas y su manipulación es sencilla.

Otro detector que pueden utilizarse eficientemente, para la elaboración de esta carta es el manganeso, dado que su sección transversal de activación no es muy alta, pero a cambio su período de desintegración es corto, por lo que puede usarse rápidamente, a diferencia del oro que hay que esperar uno 20 días para no tener residuos de actividad, mientras que el manganeso es de sólo 4 días. Sin embargo, su inconveniente radica en la

medición de actividades absolutas por cuanto presenta muchas resonancias. Otro detector para mediciones relativas puede ser el indio, pero por su período corto, tiene la desventaja y dificultad en su manipulación y fragilidad.

## 3 Desarrollo Experimental

El trabajo se desarrolló siguiendo los siguientes pasos:

- Se define la posición de interés y se escogen según la posición portamuestras tipo espada o tipo cartuchos. Los primeros, se usan en mediciones en los elementos combustibles tipo MTR; y el segundo, en las cajas de irradiación o sistema neumático.
- Se define el tipo de indicador a ser utilizado. Si se van a tener mediciones relativas a bajo potencia (menor a 1kW) o a mediana potencia (menor a 1 MW) o si se van a utilizar hojuelas o hilos, según el objetivo de la medición sea un punto o distribuciones continuas.
- Se definen el número de indicadores a ser irradiados tanto desnudos cuanto bajo cadmio. En este último caso, se identifican las cajitas a ser empleados en tamaño y número.
- Se identifica la posición de vigía. Usualmente se toma la posición del sistema neumático.
- Con el reactor apagado se insertan los portamuestras en las posiciones de interés.
- Se pone a crítico el reactor al nivel de potencia solicitado.
- Se registra el tiempo de puesta a crítico y se inicia el tiempo de irradiación y se envía el testigo.
- Se registra la configuración de las barras de control.
- Se finaliza la irradiación concluido el tiempo de irradiación con un scram parcial o total.
- Se extrae la muestra del neumático y se mide la actividad del indicador vigía, iniciándose con el bajo cadmio.
- Se miden las actividades bajo cadmio de las diversas posiciones.
- Se miden los indicadores desnudos, comenzando por el vigía.
- Se nombran, los registros de subida, nivel crítico y apagado del reactor en el disco duro del sistema de adquisición del reactor (SAD).

Con anticipación se ha establecido las buenas condiciones de operación del sistema de medición: calibración y estabilización. Se han

efectuado todos los registros que permitan la trazabilidad de los resultados.

En el reactor RP-10, como en la mayoría de reactores nucleares de investigación, las posiciones de irradiación están constituidos por: elementos combustibles; cajas de irradiación; cajas de agua; sistemas neumáticos; haz de neutrografía (\*); haces radiales (\*); tubo tangencial y columna térmica

(\*) en las posiciones de salida.

En este trabajo sólo vamos a determinar los coeficientes de activación en las posiciones de las cajas de irradiación empleadas en la producción de radioisótopos: H4, E5, B4, y como vigía el sistema neumático situado en la posición A1 de la configuración nuclear 29 (Figura 3).

Los portamuestras se eligen según la necesidad del usuario y el acceso a la posición de irradiación, las más usadas son:

- portamuestra metálico
- portamuestra plástico
- portamuestras de discos de acrílico (haces)

El primero es usado en las cajas de irradiación; el segundo, en el sistema neumático y el tercero en los haces de irradiación y columna térmica. En los dos primeros, se exige la hermeticidad para evitar ingreso de agua y modificar las condiciones de irradiación. Para nuestras mediciones se utilizaron los dos primeros.

Las cajas de cadmio que se usan dependen del indicador, tamaño, lugar de irradiación y objetivo de la medición. En este trabajo fueron cajitas de 1 mm de espesor y 8mm de diámetro. Los indicadores desnudos y cubiertos de cadmio se posicionaron en los portamuestras, separados, cuando menos 3 cm, para evitar posibles perturbaciones.

La potencia y los tiempos de irradiación son del conocimiento del responsable de operación con anticipación vía la solicitud de irradiación. La potencia de operación es leída desde un indicador analógico, basada en la curva de calibración de potencia versus corriente de la cadena de marcha. La evolución del nivel de corriente es registrado en un sistema de adquisición de datos (SAD), con acceso al usuario si es que lo solicita.

El sistema de medición estuvo compuesto por un detector de germanio hiperpuro (Ge), sin embargo también puede utilizarse yoduro de sodio (INa).

### 3.1 Configuración nuclear

La determinación de la carta de coeficientes de activación neutrónica, que se ha determinado corresponde a la configuración nuclear vigente, puesto que sus valores dependerán de la distribución relativa de elementos combustibles, reflectores, barras de control, detectores de arranque, cajas de irradiación y sistema neumático (Figura 3).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	SN	G		G	G	G	PI	G		
2	G	B	N	N	N	N	N	B	G	
3	G	B	N	C	N	C	N	B	G	CF
4	G	PI	N	N	N	N	N	P	G	
5	G	B	N	N	P	N	N	B	G	
6	G	B	N	C	N	C	N	N	G	
7	G	B	N	N	C	N	N	B	G	
8	G	G	G	G	G	P	F	G	G	
9	P		G	G	G	G	G	G	P	
10								CF		

**Figura 3.** Configuración nuclear 29. N: combustibles normales, C: combustibles de control, F: control fino, G: grafito, CF: cámara de fisión, P: irradiación, B: berilio y SN: sistema neumático.

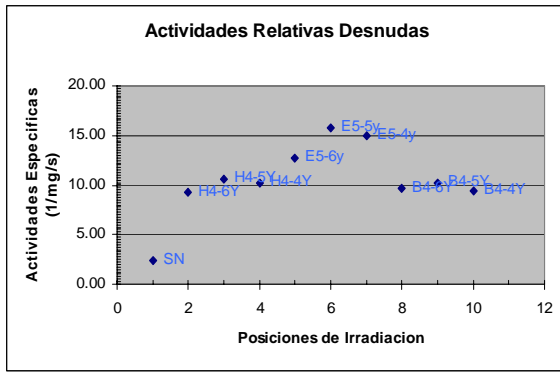
## 4 Resultados

La calibración del sistema de medición de actividades se realizó con las fuentes patrones de Ba-133, Cs-137 y Co-60. Las actividades fueron determinadas usando el software Genie 2000. Estas actividades se midieron a una distancia de 18 cm desde el detector. Los tiempos muertos fueron menores al 2% y los errores de las actividades no superaron el 3%.

En base a las mediciones se obtuvieron los resultados siguientes:

### 4.1 Actividades específicas relativas desnudas

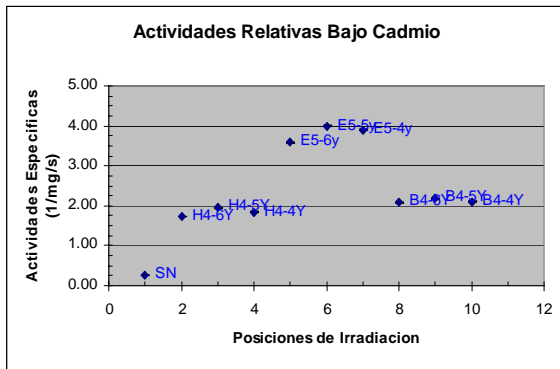
Corresponden a los indicadores sin cubierta de cadmio (Figura 4).



**Figura 4.** Las actividades específicas relativas para los indicadores desnudos en las cajas de irradiación (H4, E5, B4) y el sistema neumático (SN).

#### 4.2 Actividades específicas relativas bajo cadmio

Corresponden a los indicadores con cubierta de cadmio (Figura 5).



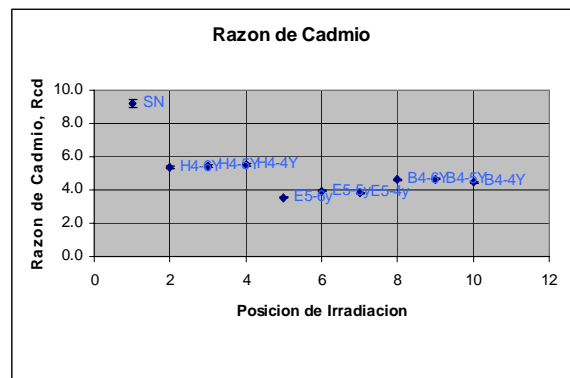
**Figura 5.** Las actividades específicas relativas para los indicadores bajo cadmio, en las cajas de irradiación (H4, E5, B4) y el sistema neumático.

#### 4.3 Razón de cadmio

Con los resultados de las actividades desnudas y bajos cadmio, se construyen las correspondientes razones de cadmio por posición (cajas de irradiación y sistema neumático), que se presentan en la Tabla 1 y Figura 6.

**Tabla 1.** Razón de cadmio respecto al oro en las posiciones de irradiación de las cajas de irradiación (H4, E5 y B4) y sistema neumático (SN). Para la configuración nuclear 29 del RP-10.

Posición	Razon Cd	Error
SN	9.2	0.3
H4-6Y	5.4	0.1
H4-5Y	5.4	0.1
H4-4Y	5.5	0.1
E5-6y	3.6	0.0
E5-5y	3.9	0.0
E5-4y	3.8	0.0
B4-6Y	4.6	0.1
B4-5Y	4.7	0.1
B4-4Y	4.5	0.1



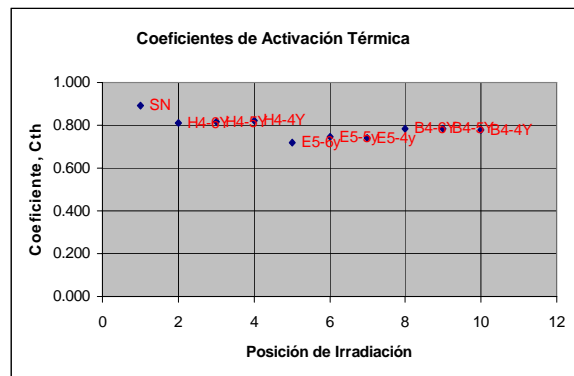
**Figura 6.** Razón de cadmio respecto al oro en las cajas de irradiación (H4, E5 y B4) con posiciones internas señaladas y sistema neumático (SN). Para la configuración nuclear 29 del RP-10.

#### 4.4 Coeficientes de activación térmica

A partir de las razones de cadmio se construyen los coeficientes de activación térmica por posición (cajas de irradiación y sistema neumático), que se presenta en la Tabla 2 y Figura 7.

**Tabla 2.** Coeficientes de activación térmica respecto al oro en las cajas de irradiación (H4, E5 y B4), posiciones internas señaladas y sistema neumático (SN). Para la configuración nuclear 29 del RP10.

Posición	Coef. Ac. Ter	Error %
SN	0.89	3
H4-6Y	0.81	1
H4-5Y	0.82	1
H4-4Y	0.82	1
E5-6y	0.72	1
E5-5y	0.75	1
E5-4y	0.74	1
B4-6Y	0.78	1
B4-5Y	0.79	1
B4-4Y	0.78	1



**Figura 7.** Coeficientes de activación térmica respecto al oro en las cajas de irradiación (H4, E5 y B4), posiciones internas señaladas y sistema neumático (SN). Para la configuración nuclear 29 del RP10.

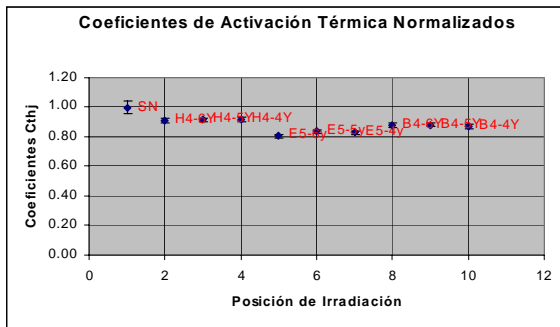
#### 4.5 Coeficientes de activación térmica normalizados a la posición vigía

La posición vigía se escogió a la posición del sistema neumático, respecto al cual se normalizan los coeficientes de activación. Estos resultados se presentan la Tabla 3 y Figura 8. Igualmente se presentan los valores promedio de los coeficientes para las posiciones estudiadas 4Y, 5Y, 6Y de las cajas, H4, E5, B4 en la Figura 9.

**Tabla 3.** Coeficientes de activación térmica respecto al oro en las cajas de irradiación (H4, E5 y B4), posiciones internas señaladas, normalizadas respecto a la posición vigía definida en el sistema neumático (SN). Para la configuración nuclear 29 del RP-10.

Posición	Coef. Ac. Ter	Error %
SN	1.00	0.04
H4-6Y	0.91	0.02
H4-5Y	0.92	0.01
H4-4Y	0.92	0.01
E5-6y	0.81	0.01
E5-5y	0.84	0.01
E5-4y	0.83	0.01
B4-6Y	0.88	0.01
B4-5Y	0.88	0.01
B4-4Y	0.87	0.01

Los pequeños errores se deben a que se ha realizado solo una medida por lo que este error es proveniente fundamentalmente de la tasa de contajes.

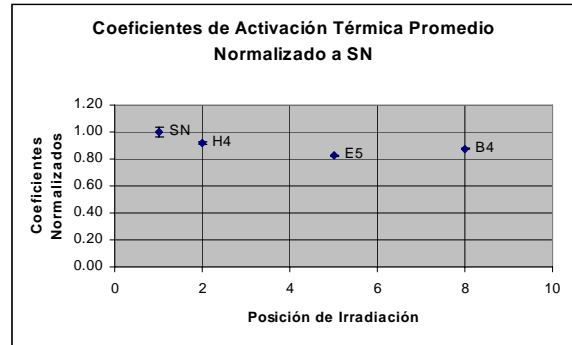


**Figura 8.** Coeficientes de activación térmica respecto al oro en las cajas de irradiación (H4, E5 y B4), posiciones internas señaladas, normalizadas respecto a la posición vigía definida en el sistema neumático (SN). Para la configuración nuclear 29 del RP-10.

En la tabla 4 y figura 10 se presenta el valor promedio de las posiciones estudiadas por cada caja. Su importancia estriba en que son las posiciones de más alta activación térmica en las cajas.

**Tabla 4.** Coeficientes de activación térmica promedio normalizados al sistema neumático, obtenidos con indicadores de oro, en las cajas de irradiación (H4, E5 y B4). Para la configuración nuclear 29 del RP-10.

Posición	CT.Med.Nor	Error
SN	1.00	0.04
H4	0.92	0.01
E5	0.82	0.01
B4	0.88	0.01



**Figura 9.** Coeficientes de activación térmica promedio normalizados al sistema neumático, obtenidos con indicadores de oro, en las cajas de irradiación (H4, E5 y B4). Para la configuración nuclear 29 del RP-10

## 5 Conclusiones

Se ha propuesto una técnica rápida y viable, útil para hacer seguimientos (monitoreo) de las capacidades de activación térmica en las diversas facilidades y posiciones de irradiación de un reactor nuclear de investigación. Por lo que es recomendable construir esta carta al inicio de toda nueva configuración del núcleo; particularmente, en las posiciones de irradiación más solicitadas como son las posiciones usadas para la producción de radioisótopos.

El modelo asumido en este trabajo, es simple, toda vez que considera que la actividad bajo cadmio es la actividad epitérmica, cosa que no es del todo cierta, por lo que se requiere de afinamientos correctivos (tramitación por el cadmio, forma del espectro epitérmico, energía de corte de cadmio); sin embargo, esta corrección no es mayor al 10%. por lo que para los fines de monitoreo no es necesario.

Para utilizar la carta de coeficientes como cartas de flujos, se recomienda realizar la medición de la posición vigía mediante el

formalismo de Westcott y luego multiplicar por su respectivo coeficiente normalizado y se obtendrán los flujos en las demás posiciones.

Puede ser cuestionable la suposición que los coeficientes sean válidos para cualquier nivel de potencia. Siendo el nivel de potencia directamente proporcional al flujo medio del núcleo, es cierto que en algunos puntos puede haber diferente distribución de neutrones y por tanto variar los coeficientes, sin embargo esta aproximación es muy usada, en mediciones mas afinadas.

Las cartas pueden ser corregidas y afinadas, cosa que es necesario, pero tendrá un límite, en cuanto a operatividad y rapidez, mas correcciones mas tiempo de medición y menos capacidad de monitoreo, por ello los objetivos que se persiguen son mas de seguimiento que precisión. Sin embargo, continuamos en esta línea realizando estudios y más mediciones para mejorar nuestras incertidumbres de repetibilidad y reproducibilidad).

## 6 Referencias

- [1] Zuñiga A. Notas de Activación Neutrónica. Informe Interno, RACSO, 1988.
- [2] Zuñiga A. Medición del Flujo Neutrónico Térmico y Epitérmico en el Conducto Radial N°5 del RP10 en el Núcleo 14M. Informe Interno, RACSO, IPEN, 1991.
- [3] Internacional Atomic Energy Agency. Fluence Measurements. Technical Reports Series 107. Vienna: Austria; 1975.
- [4] Beckurts A. Neutron Physics. New York: Springer Verlag; 1964.