

# DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA NEUTRÓNICA EN LAS FACILIDADES DE IRRADIACIÓN DEL REACTOR NUCLEAR RP-10

Bruna R. <sup>(1)</sup> [rbruna@ipen.gob.pe](mailto:rbruna@ipen.gob.pe); Palacios D. <sup>(1)</sup> [dpalaciosv@hotmail.com](mailto:dpalaciosv@hotmail.com);  
Montoya E. <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Departamento de Cálculo, Análisis y Seguridad – IPEN / Lima, Perú  
<sup>(2)</sup> Dirección General de Promoción y Desarrollo Tecnológico – IPEN / Lima, Perú

## RESUMEN

Se determinó la temperatura neutrónica en cuatro distintas posiciones de irradiación del reactor nuclear RP-10 en su configuración 24 a la potencia de 300Kw, para ello se empleó el método directo propuesto por De Corte y colaboradores en 1993. Se presentan los resultados de la temperatura neutrónica en estas cuatro posiciones del núcleo del reactor y se discuten los resultados obtenidos.

## 1. INTRODUCCIÓN

La caracterización del espectro neutrónico de un reactor nuclear de investigación es esencial para el aprovechamiento óptimo de sus diversas facilidades de irradiación como herramienta de investigación y desarrollo.

Entre los parámetros importantes podemos mencionar, entre otros al  $\phi_{th}$ ,  $\phi_{tepi}$ ,  $\alpha$  (exponente que describe la no idealidad del flujo epitérmico) y  $T_n$  (temperatura neutrónica), este último parámetro a sido tradicionalmente difícil de medir, por la falta de métodos experimentales adecuados.

En 1993, De Corte y col.(1) propusieron un método directo basado en el uso de la constante  $K_0$  y del formalismo de Westcott modificado para tener en cuenta los efectos de la no idealidad del  $\phi_{tepi}$ .

## 2. PARTE TEORICA

Según De Corte y colaboradores[1], la temperatura neutrónica se puede determinar experimentalmente de manera directa mediante la ecuación:

$$\frac{\left[ \frac{T_{esp} M}{\theta_\gamma \sigma_o \varepsilon_p} \right]_{Lu}}{\left[ \frac{T_{esp} M}{\theta_\gamma \sigma_o \varepsilon_p} \right]_{1/v}} = \frac{g_{Lu}(T) + r(\alpha) \sqrt{T/T_o} s_{o,Lu}(\alpha)}{g_{1/v}(T) + r(\alpha) \sqrt{T/T_o} s_{o,1/v}(\alpha)} \quad (1)$$

Donde:

$T_{esp}$ : tasa específica de contaje.

$M$ : peso atómico.

$\theta_\gamma$ : abundancia isotópica.

$\sigma_o$ : sección eficaz térmica de captura.

$\varepsilon_p$ : eficiencia de contaje medida en el detector.

$g(T)_{Lu}$ : factor de corrección de Westcott para el Lutecio.

$g(T)_{1/v}$ : factor de corrección de Westcott para el monitor 1/v.

$S_o(\alpha)$ : medida de la sección transversal para neutrones térmicos o epitérmicos y se define:

$$s_o(\alpha) = s_o \cdot (E_r)^{-\alpha} \cdot (1eV)^\alpha \quad (2)$$

$E_r$ : energía de resonancia.

$r(\alpha) \sqrt{T/T_o}$ : índice espectral modificado de Westcott.

La utilidad de la ecuación 1 reside en determinar el factor de Westcott  $g(T_n)$  para un monitor no ideal como el Lu-176, para luego obtener la temperatura neutrónica  $T_n$  por interpolación de los valores publicados por Westcott[2]. El uso de la ecuación (1) requiere el conocimiento previo del índice espectral de Westcott, el cual se puede determinar de manera relativamente sencilla, mediante la ecuación (3):

$$r(\alpha) \sqrt{\frac{T}{T_o}} = \frac{\frac{k_{o,1} \varepsilon_{p,1}}{k_{o,2} \varepsilon_{p,2}} g(T)_1 \frac{T_{esp,1}}{T_{esp,2}} g(T)_2}{\frac{T_{esp,1}}{T_{esp,2}} s_{o,2}(\alpha) - \frac{k_{o,1} \varepsilon_{p,1}}{k_{o,2} \varepsilon_{p,2}} s_{o,1}(\alpha)} \quad (3)$$

$k_0$ : constante K sub-cero.

El uso del Zirconio como comparador bi-isotópico fue propuesto por De Corte y col. [3], las constantes nucleares de los isótopos encontrados Zr-95 y Zr-97 han sido objeto de cuidadosas determinaciones periódicas [4].

El Zirconio a sido propuesto como comparador bi-isotópico, especialmente adecuado para la determinación de flujos neutrónicos[1] debido a que presenta las siguientes ventajas:

1. Es un comparador bi-isotópico que cancela errores por efectos geométrico tales como depresión y apantallamiento.
2. La separación  $I_0/\sigma_0$  para los dos isótopos del Zr-95 es notablemente grande.
3. El Zr-94 genera dos picos, el Zr-95(724.2 Kev y 756.7 Kev) y el Zr-97 m(743 Kev) lo que nos permite una energía efectiva del Zr-95 que coincide con la del Zr-97(compara dos señales de la misma energía esto evita errores en una eventual calibración en eficiencia).

El uso de la ecuación (3) requiere el conocimiento del grado de no idealidad del espectro neutrónico epitérmico, el cual se expresa mediante el parámetro  $\alpha$ , este parámetro debe ser medido brevemente, y una manera apropiada de obtenerlo es empleando la ecuación siguiente(5):

$$(a-b)\left(\frac{Q_{01}-0.429}{E_{r1}^{\alpha}}\right)-a\left(\frac{Q_{02}-0.429}{E_{r2}^{\alpha}}\right)+b\left(\frac{Q_{03}-0.429}{E_{r3}^{\alpha}}\right)=0 \quad (4)$$

$$a = \left(1 - \frac{T_{s2}}{T_{s1}} \cdot \frac{K_{o1}}{K_{o2}} \cdot \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2}\right)^{-1} \quad (5)$$

$$b = \left(1 - \frac{T_{s3}}{T_{s1}} \cdot \frac{K_{o1}}{K_{o3}} \cdot \frac{\epsilon_1}{\epsilon_3}\right)^{-1} \quad (6)$$

Las constantes empleadas son[6]:

#### Zirconio , Zr

Z =	40				
Mass (g/mol) =	91.22				
	<b>Abundance (%)</b>	<b>X-sect. (b)</b>	<b>Q0</b>	<b>F-cd</b>	<b>Er (eV)</b>
94Zr	17.38	0.0533	5.05	1	6260
96Zr	2.8	0.0213	248	1	338
<b>Measured</b>	<b>T1/2</b>				
<b>95Nb</b>	<b>35.15 d</b>	<i>E (keV)</i>	<i>Intensity (abs)</i>	<i>K0</i>	
<b>95Zr</b>	<b>64 d</b>	<i>E (keV)</i>	<i>Intensity (abs)</i>	<i>K0</i>	
		724.2	4.444E-01	9.321E-05	
		756.7	5.486E-01	1.149E-04	
<b>97mNb</b>	<b>1 m</b>	<i>E (keV)</i>	<i>Intensity (abs)</i>	<i>K0</i>	
		743.4	9.795E-01	1.296E-05	

Donde:

$$Q_o = \frac{I_o}{\sigma_o} : \text{razón de secciones eficaces.}$$

Los subíndices 1, 2 y 3 corresponden al Zr-97, Zr-95 y Au-198.

### 3. PARTE EXPERIMENTAL

Se emplearon como monitores hojuelas de Zr de 20 mg, filtros circulares, del mismo diámetro, saturados de una solución de Au (1g Au en 1L de solución) y hojuelas 2 mg del mismo diámetro de Al-Lu al 2.7%.

Tabla 1.

Monitor	Masa (mg)	T <sub>1/2</sub>	Diámetro (cm)	Pureza
<sup>197</sup> Au	0.005	2.6935 días		1g/L
<sup>95</sup> Zr	20 – 25	64.02 días	0.5	99.98
Zr-97		16.91 horas		
<sup>176</sup> Lu	0.05 – 0.08	6.734 días	0.5	2.7%

Adicionalmente, se utilizó el siguiente equipo:

Una multicanal y detector GeHp marca Canberra, una balanza analítica marca Toledo- modelo AT261, sensibilidad 0.01mg y una micropipeta marca Pendorff, 0.5ml.

Los monitores se encapsularon en canes de aluminio de forma circular de 6.6x2.3cm.

### Lutecio , Lu

Z =	71
Mass (g/mol) =	174.97

	Abundance (%)	X-sect. (b)	Q0	Er (eV)
175Lu	97.41	16.7	34.8	16.1
176Lu	2.59	2100	0.614	0.158

Measured	T1/2				
<b>176mLu</b>	<b>3.68 h</b>	<i>E (keV)</i>	<i>Intensity (abs)</i>	<i>K0</i>	<i>Comment</i>
		88.4	8.760E-02	1.730E-02	K0
<b>177Lu</b>	<b>6.71 d</b>	<i>E (keV)</i>	<i>Intensity (abs)</i>	<i>K0</i>	<i>Comment</i>
		113.0	6.400E-02	3.630E-02	not 1/v
		208.4	1.100E-01	6.050E-02	not 1/v

### Oro , Au

Z =	79
Mass (g/mol) =	196.97

	Abundance (%)	X-sect. (b)	Q0	Er (eV)
197Au	100	98.7	15.7	5.65

Measured	T1/2				
<b>198Au</b>	<b>2.696 d</b>	<i>E (keV)</i>	<i>Intensity (abs)</i>	<i>K0</i>	<i>Comment</i>
		411.8	9.550E-01	1.000E+00	K0
		675.9	1.060E-02	1.110E-02	

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

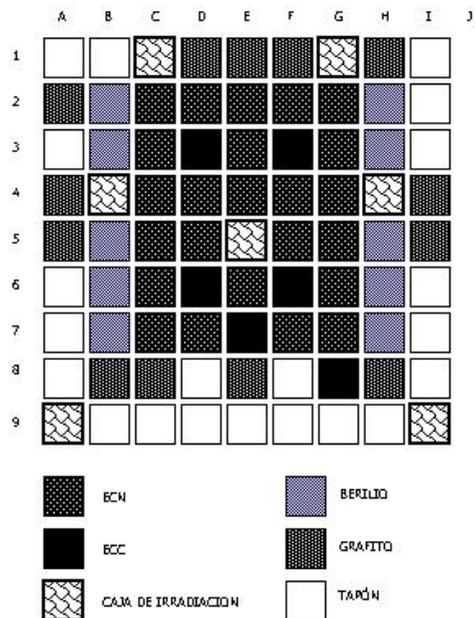
En la tabla 2 se presentan los resultados tras calcular la temperatura neutrónica en cuatro posiciones del reactor a 300Kw en el modo convección natural. Los tiempos de irradiación fueron de 1 hora.

Tabla 2.

CAJA	E5(4X)	B4(4X)	H4(4X)	G1(4X)
T <sub>n</sub> (C)	30.5	29.7	26.3	28.4
ERROR	0.1	0.2	0.1	0.1

Cabe resaltar que en el modo de operación por convección natural la temperatura promedio del refrigerante es de 30 C° por lo que es necesario continuar realizando mediciones en el mayor número de zonas del núcleo del reactor a fin de tener caracterizado el comportamiento de este parámetro en todo el núcleo.

NUCLEO 24



## 5. REFERENCIAS

- [1] DE CORTE, F.; SIMONITS, A.; BELLEMANS, F.; FREITAS, M. C.; JOVANOVIC, S.; SMODIS, B.; ERDTMANN, G.; PETRI, H.; DE WISPELAERE, A.; "Recent Advances in the  $k_0$  - Standardization of Neutron Activation Analysis: Extensions, Applications, Prospects"; J. Radioanal. Chem. (1993) 169 (1): 125 - 158.
- [2] NORMAN E. HOLDEN; "Temperature Dependence of The Westcott  $g$  Factor For Neutron Reactions in Activation Analysis"; Technical Report; Pure Appl. Chem., Vol. 71, No. 12, pp. 2309-2315, 1999.
- [3] SIMONITS, A.; DE CORTE, F.; HOSTE, J.; "Single - Comparator Methods in Reactor Neutron Activation Analysis"; J. Radioanal. Chem. (1975) 24: 31 - 46.
- [4] EL NIMR, T.; DE CORTE, F.; MOENS, L.; SIMONITS, A.; HOSTE, J.; "Epicadmium Neutron Activation Analysis (ENAA) Based on The  $k_0$ -Comparator Method"; J. Radioanal. Chem.; (1981) 67(2): 421-435.
- [5] NEUTRON ACTIVATION TABLES; Gerhard Erdman; Volumen 6; Germany 1976; 146pag; Editorial Vellag Chemie.
- [6] Menno Blaauw  
<http://iriexp.iri.tudelft.nl/~rc/fmr/k0w ww3/intro2.htm>, Last Update: 12/01/98