

# Caracterización neutrónica del conducto tangencial del reactor nuclear RP-10

Agustín Zuñiga\*

Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

## Resumen

Se presenta los resultados de las mediciones realizadas para la determinación de la distribución del flujo neutrónico térmico y epitérmico en el Conducto de Irradiación Tangencial (salida No 6), del reactor nuclear de investigación del Perú, RP-10, para la configuración N° 14, mediante la técnica de activación de monitores metálicos y la medición de la Razón de Cadmio, utilizando el formalismo de Westcott. Los flujos máximos térmico y epitérmico obtenidos, para la potencia de 10 kW, fueron  $4.5 \pm 0.2 \cdot 10^8 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  y  $5.8 \pm 0.3 \cdot 10^6 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  respectivamente, que se alcanzaron a la distancia de 397 cm del inicio del tubo.

## Abstract

We present the results of measurements made in order to determine the thermal and epithermal neutron flux in the irradiation tangential tube N° 6 of the peruvian nuclear reactor RP-10, on configuration N° 14, utilizing the activation technique of metal monitors and cadmium ratio, following the Westcott formalism. The maximum thermal and epithermal neutron flux obtained, corresponding at 10kW of power, were  $4.5 \pm 0.2 \cdot 10^8 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  and  $5.8 \pm 0.3 \cdot 10^6 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , respectively, which it is at 397 cm from the enter of the tangential tube.

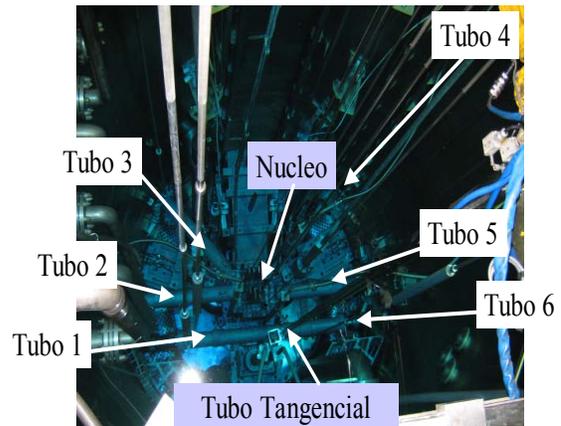
**Palabras Clave:** Neutron flux, Irradiation Tube, Peruvian Nuclear Reactor, Reactor Physics, Facilities Nuclear Reactor, Neutron Distribution.

## 1. Introducción

La utilización de los reactores de investigación exige el conocimiento de las características neutrónicas de las diversas facilidades de irradiación que presenta, entre las principales características se tienen a los flujos neutrónicos en el rango térmico, epitérmico y rápido. En el reactor de investigación del Perú, RP10, una de las facilidades externas al núcleo es el tubo de irradiación denominado tangencial, por cuanto pass tangente a una de las caras externas del núcleo. Saber cómo es la distribución de flujo neutrónico a lo largo de esta cavidad es una condición previa para su utilización, por lo que su medición es una actividad permanente para el proveedor de neutrones. Uno de las aplicaciones de este haz podría ser la producción de algún radioisótopo como el I-125, que requiere flujos epitérmicos del orden de  $10^{13} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . La técnica mas comúnmente empleada en la medición de flujos se basa en la determinación de la Razón de Cadmio y el formalismo de Westcott.

## 2. Descripción Experimental

El reactor nuclear peruano de investigación RP-10 dispone de 4 conductos de irradiación radiales y 1 conductos de irradiación tangencial con dos salidas.



**Figura 1:** Vista de los haces radiales (tubos: 2, 3, 4, 5) y el tubo tangencial en el reactor nuclear RP10, con dos salidas (tubos: 1, 6).

El eje de los conductos radial y tangencial coinciden con el plano medio del núcleo, este diseño asegura el uso del máximo flujo obtenible desde el núcleo. El conducto tangencial atraviesa el tanque, y pasa tangente a una cara del núcleo (por la fila 10), pudiendo ubicarse muestras casi en contacto con la grilla a diferencia de los radiales donde solo se accede hasta la pared del tanque, por

\*Correspondencia autor: azuniga@ipen.gob.pe

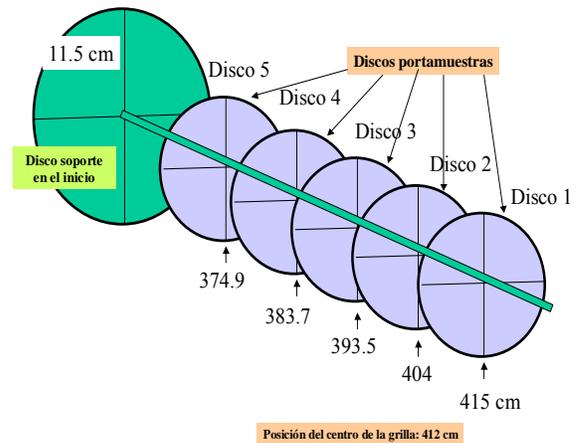
lo que los campos de radiación son intensos tanto de neutrones como de rayos gama.

El corte del nivel de flujo durante la irradiación solo puede realizarse mediante la bajada de potencia del reactor. A diferencia del radial donde existe un brazo interno que al ser retirado permite el blindaje de una columna de agua de casi 1 metro de espesor. Estas consideraciones se tuvieron en cuenta durante el experimento.

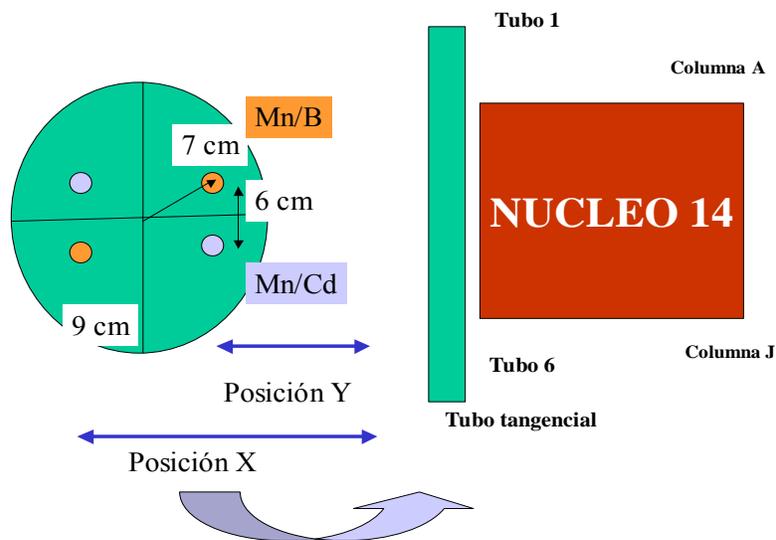
La medición del flujo de neutrones se realizó en el conducto de irradiación tangencial N° 6, ubicada junto al conducto radial N° 5. La irradiación se efectuó con el conducto sin agua. En las posiciones de 415, 404, 393.5, 383.7 y 374.9 cm respecto al inicio del conducto (Figura 2).

Con el reactor apagado y un campo de radiación gamma proveniente del núcleo de 130 mR/h, en la posición de inicio del conducto, sin ninguna puerta intermedia, se introdujeron los 5 discos de acrílico con los detectores, constituidos por hojuelas metálicas. Cada detector se cubrió de una bolsita sellada de plástico, para facilitar su manipulación y protegerla de algún contacto con impurezas. Cada detector fue adherida al

disco, en posiciones simétricas del eje, bajo el criterio de estar con una cara del disco lo mas cercano al núcleo (posición Y), y la simétrica, mas lejana (posición X) (Figura 3).



**Figura 2:** Portamuestras de discos de acrílico con un radio de 9 cm ingresan al tubo tangencial, el disco mayor de 11.5 cm de radio permite sostener estos discos tomando como eje de soporte un tubo de aluminio.



**Figura 3:** Disco de acrílico conteniendo detectores metálicos de manganeso desnudos (Mn/B) y bajo cadmio (Mn/Cd), a una distancia de 7 cm del centro del disco y separados 6 cm entre estos tipos de detectores. El tubo tangencial pasa a la altura mitad del núcleo.

El primer disco se situó a 415 cm desde el inicio del conducto, correspondiendo aproximadamente a 3 cm del centro de la grilla del núcleo, tirado hacia la columna A. Similarmente en forma consecutiva se

ubicaron cuatro discos adicionales, donde el segundo disco estuvo a 404 cm desde el inicio del conducto, separado 11 cm del primero, correspondiendo aproximadamente a 8 cm del centro de la grilla del núcleo,

tirado hacia la columna J. El tercer disco se ubicó a 393.5 cm desde el inicio del conducto, a 10.5 cm del segundo, correspondiendo aproximadamente a 21.5 cm del centro de la grilla del núcleo, tirado hacia la columna J. El cuarto disco se enclavó a 383.7 cm desde el inicio del conducto, a 9.8 cm del tercero, correspondiendo aproximadamente a 31.3 cm del centro de la grilla del núcleo, tirada hacia la columna J. Finalmente el quinto disco estuvo a 374.9 cm desde el inicio del conducto, a 8.8 cm del cuarto, correspondiendo aproximadamente a 40.1 cm del centro de la grilla del núcleo, tirada hacia la columna J (Figura 2).

Los discos se mantuvieron rígidos sobre un tubo de aluminio, ayudados de otro disco de mayor diámetro en el extremo de inicio del conducto. El conjunto semejaba la geometría interna del conducto. Los cinco discos ingresaron en el primer tramo de menor diámetro (18 cm) y el último en el tramo externo de un diámetro (23 cm), ambos

centrados alrededor del eje, como se muestra en la Figura 2.

En cada uno de los discos primero, tercero y quinto se colocaron cuatro detectores, todos a un diámetro de aproximadamente 7 cm, diametralmente opuestos (Mn/B con Mn/B; Mn/Cd con Mn/Cd), concéntricos al conducto (2 detectores de Mn: desnudos (Mn/B) y 2 detectores bajo cadmio (Mn / Cd), separados una distancia de 6 cm en cada cara (Y o X). (Figura 3).

En cada uno de los discos segundo y cuarto, se colocaron dos detectores, ambos a un diámetro de aproximadamente 7 cm, concéntricos al conducto, 1 detector desnudo, (Mn/B) y 1 detector bajo cadmio (Mn / Cd), separados una distancia de 6 cm, pegados hacia la cara mas cercana al núcleo (Y). (Figura 3). El sexto disco no llevó ningún detector, porque solo sirvió de apoyo. En la Tabla No 1 se observa un resumen de la ubicación de los detectores.

**Tabla 1:** Características del posicionamiento de discos y detectores para la medición de la distribución de flujo neutrónico térmico y epitérmico en el tubo tangencial N° 6 del RP10 (TTg), para la configuración 14, el centro del núcleo se encuentra a 412 cm del inicio.

Disco	Posición (cm)	Detectores	Radio	Desplazamiento	Separación (By /Cd)
D1	415	Mn/B,30; Mn/B,27; Mn/Cd,32; Mn/Cd, 2	7	-3	6
D2	404	Mn/B,42; Mn/Cd,1	7	+8	6
D3	393.5	Mn/B,57; Mn/B,54; Mn/Cd,61; Mn/Cd,36	7	+18.5	6
D4	383.7	Mn/B,59; Mn/Cd,53	7	+28.3	6
D5	374.9	Mn/B,53; Mn/B,63; Mn/Cd,62; Mn/Cd,76	7	+37.1	6

### 3. Resultados

#### *Actividades Relativas Normalizadas de Hojuelas Mn/B y Mn/Cd*

Haciendo referencia a la Figura 2, y las posiciones de los detectores de manganeso

desnudos (Mn/B) y bajo cadmio (Mn/Cd). Se realizaron las mediciones de las actividades correspondientes, que aparecen en las Tablas 2 y 3 respectivamente.

**Tabla 2:** Actividades normalizadas de hojuelas de manganeso desnudas (Mn/B).

tj	Código	S	Wa	Dte	Waext	M (mg)	tm (s)	W/Fm/M	Abn
16:43:30	D1-Mn/B,30	11269	9561	04:45:03	34,297	9.32	200	18.537	0.645
16:49:30	D1-Mn/B,27	8347	7174	04:51:03	26,435	9.05	200	14.715	0.512
16:55:00	D2-Mn/B,42	18091	14011	04:56:33	52,917	9.28	200	28.725	1.000
17:02:00	D3-Mn/B,54	14560	12044	05:03:33	46,833	9.34	200	25.259	0.879
17:08:00	D3-Mn/B,57	17648	13806	05:09:33	55,271	9.11	200	30.562	1.064
17:13:30	D4-Mn/B,59	12711	10663	05:15:03	43,754	9.26	200	23.802	0.829
17:19:00	D5-Mn/B,43	5881	4844	05:20:33	20,372	9.28	200	11.059	0.385
17:27:30	D5-Mn/B,63	5291	4314	05:29:03	18,848	9.48	200	10.015	0.349
(*) 17:42:00	D2-Mn/B,42	7620	6150	05:43:33	28,673	9.28	400	7.840	

**Tabla 3:** Actividades normalizadas de hojuelas de manganeso bajo cadmio (Mn/Cd).

tj	Código	S	Wa	Dte	Waext	M (mg)	tm (s)	W/Fm/M	ACdn
12:40:38	D1-Mn/Cd,32	5321	4105	00:42:11	4,959	9.50	1500	0.368	0.013
13:09:08	D1-Mn/Cd,2	2183	1503	01:10:41	2,063	9.23	1500	0.158	0.005
13:53:38	D2-Mn/Cd,1	6277	3685	01:55:11	6,174	9.09	1500	0.479	0.017
14:24:08	D3-Mn/Cd,36	2077	1297	02:25:41	2,492	9.35	1500	0.188	0.007
14:58:38	D3-Mn/Cd,61	5525	3551	03:00:11	7,962	9.24	1500	0.607	0.021
15:47:23	D4-Mn/Cd,53	2227	1453	03:48:56	4,053	9.34	1500	0.306	0.011
16:09:23	D5-Mn/Cd,62	1025	587	04:10:56	1,807	9.36	1500	0.136	0.005

En dichas tablas se encuentran los datos siguientes: En la columna 1, se presenta la hora del inicio de la medición. En la columna 2, se dan los códigos de identificación de cada hojuela (Mn/Cd: hojuela irradiada bajo cubierta de cadmio. Mn/B: hojuela irradiada sin cubierta o desnuda. D1: primer disco, los otros discos (D2, D3, D4 y D5). 30, 31, ... números de identificación de la hojuela). En la columna 3, se presenta el área total, S, bajo el fotopico característico (846.7 KeV, para el Mn-56), proveniente del analizador multicanal (MCA). En la columna 4, se presenta el área neta, W, (área total menos el fondo). La determinación del fondo es realizada automáticamente por el MCA. En la columna 5, se presenta el tiempo de espera,  $D_{te}$ , tiempo transcurrido entre la finalización del tiempo de irradiación y el tiempo de inicio de la medición. En la columna 6, se da  $W_{ext}$ , el área extrapolada al fin de la irradiación. Para su determinación se utilizan los valores de las columnas 4 y 5. En la columna 7, se da la masa del nucleido, M(mg), presente en el detector, que producirá la reacción nuclear deseada. En unidades de miligramos. En la columna 8, se da  $t_m$  (s), el tiempo de medición, que se define en el MCA, en el modo vivo (live). En la columna 9, se da  $W_{ext}/F_m/M$  (1/s/mg), el área extrapolada dividido por la masa de la hojuela y por el factor del tiempo de medición

$F_m$ , que toma en cuenta el hecho que la actividad decae durante el tiempo de medición, por lo que la determinación correcta de la actividad de la hojuela será dividir el conteo total por  $F_m$  en lugar del tiempo de medición,  $t_m$ . En la columna 10, de la Tabla 2, se da  $AB_n$ , la actividad desnuda normalizada al área neta extrapolada correspondiente a la hojuela testigo, en este caso está identificada como "D2-Mn/B,42".

En la Tabla 2, se observa una fila con (\*), esto corresponde a otra geometría de detector fuente, d(D-F). Este valor corresponde a la medición de la hojuela testigo, que será empleado en la determinación de la actividad absoluta.

En la columna 10, de la Tabla 3, se da  $AC_{dn}$ , la actividad bajo cadmio normalizada, al área neta extrapolada correspondiente a la hojuela testigo, en este caso es la identificada como "D2-Mn/B,42", cuyo valor se encuentra en la Tabla 2.

#### Actividades Térmicas Relativas Normalizadas, $A_{thn}$

La distribución de las actividades térmicas normalizadas, para las posiciones medidas, se presenta en la Tabla 4.

**Tabla 4:** Actividades térmicas y epitérmicas relativas normalizadas de manganeso.

Disco	Posicion (cm)	ABn	ACdn	RCd (Mn)	FCd	Athn	<Ath>	<Athn>	<Aepi>	<Aepin>
D1-Y	415	0.645	0.013	50.391	0.980	0.63	0.64	0.645	0.010	0.645
D1-X	415	0.512	0.005	93.416	0.989	0.51	0.51	0.516	0.004	0.288
D2-Y	404	1.000	0.017	60.009	0.983	0.98	0.98	1.000	0.016	1.000
D3-Y	393.5	1.064	0.021	50.331	0.980	1.04	1.05	1.064	0.017	1.064
D3-X	393.5	0.879	0.007	134.510	0.993	0.87	0.87	0.885	0.008	0.494
D4-Y	383.7	0.829	0.011	77.830	0.987	0.82	0.82	0.829	0.013	0.829
D5-Y	374.9	0.385	0.005	81.279	0.988	0.38	0.38	0.385	0.006	0.385
D5-X	374.9	0.349				0.35	0.35	0.351	0.003	0.196

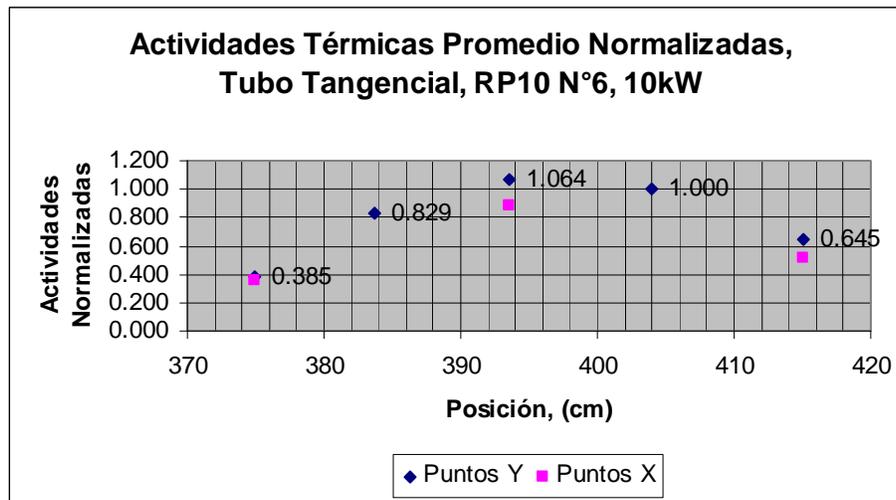
En la tabla mencionada se encuentran los datos siguientes: En la columna 1, se presenta la identificación de la posición de la hojuela en el disco, donde X representa la

cara más lejana al núcleo e Y la cara más cercana al núcleo (Figura 2). En la columna 2, se da la posición del disco en el conducto, representa también la posición de la

hojuela, con respecto al inicio del conducto de irradiación, que según planos el centro de la grilla se encuentra a 412 cm del inicio del conducto. En la columna 3, se da  $AB_n$ , la actividad desnuda normalizada, que fue extraído de la columna 10 de la Tabla 2. En la columna 4, se da  $AC_{dn}$ , la actividad bajo cadmio normalizada, resultado extraído de la columna 10 de la Tabla 3. En la columna 5, se da la razón de cadmio para el manganeso,  $RCd(Mn)$  ( $= AB_n/AC_{dn}$ ), en las posiciones medidas del TTg. Para definiciones del método ver (1,3).

En la columna 6, se da la fracción de cadmio,  $FCd$ . En la columna 7, se da la actividad térmica normalizada,  $A_{thn}$  ( $= FCd \cdot AB_n$ ), de las hojuelas desnudas para las diversas posiciones. En la columna 8, se da la

actividad térmica media de la posición más cercana al núcleo,  $\langle A_{thn-Y} \rangle$ , para su determinación se utilizó una razón de cadmio promedio de los 5 discos, para esta posición, resultando:  $\langle RCd-Y(Mn) \rangle = 64$  con un error estándar de 10.3%, con lo que la fracción de cadmio promedio correspondiente utilizada en la columna 9 fue de  $\langle FCd-Y \rangle = 0.984$ . Similarmente para el caso de  $\langle A_{thn-X} \rangle$ , la actividad térmica media de la posición más lejana al núcleo, para su determinación se utilizó una razón de cadmio promedio de los 2 discos, para esta posición, resultando:  $\langle RCd-X(Mn) \rangle = 114$  con un error estándar de 18%. Con esto la fracción de cadmio correspondiente, utilizada en la columna 9 fue de  $\langle FCd-X \rangle = 0.991$ . Los resultados aparecen en la Figura 3.



**Figura 3:** Actividades térmicas promediadas normalizadas a lo largo del tubo tangencial en las posiciones Y (mas cercanas a la grilla) y las posiciones X (mas alejadas de la grilla).

### Actividades Epitérmicas Relativas Normalizadas, $A_{epin}$

La distribución de las actividades epitérmicas normalizadas, para las posiciones medidas, se presenta en la Tabla 4. En la columna 10, se da  $\langle A_{epithn} \rangle$ , la actividad epitérmica media normalizada de las hojuelas para las diversas posiciones, para, este fin se emplea la relación siguiente:

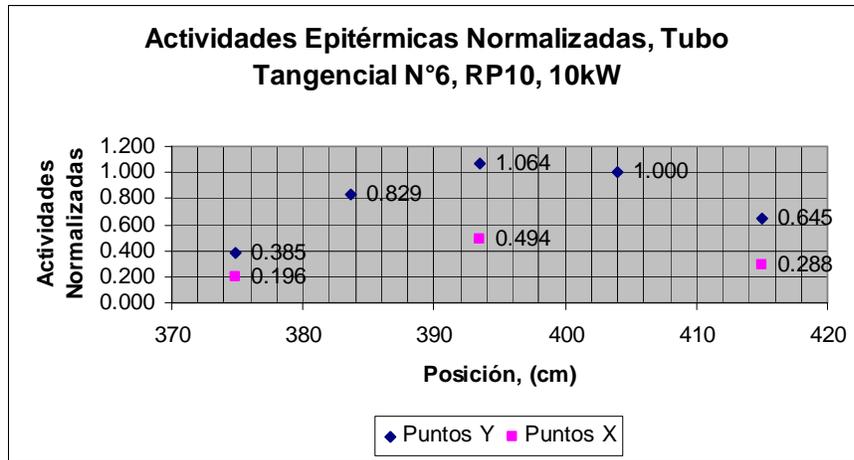
$$A_{epin} = A_{thn} / (RCd - 1)$$

Se utilizaron los resultados de la columna 9, y las razones de cadmio promedio:  $\langle RCd-Y$

(Mn)  $\rangle = 64$  y  $\langle RCd-X(Mn) \rangle = 114$ . En la Figura 4, se presenta la distribución de las actividades epitérmicas relativas normalizadas, en función de la posición dentro del conducto.

### Flujos Térmico y Epitérmico

Para determinar los flujos neutrónicos térmico y epitérmico en cada punto medido, se necesita únicamente determinar el flujo térmico y epitérmico de la hojuela testigo y los valores de las tablas de actividades térmicas y epitérmicas normalizadas. De modo que sólo haremos la medición absoluta para la hojuela testigo.



**Figura 4:** Actividades epitérmicas promediadas normalizadas a lo largo del tubo tangencial en las posiciones Y (mas cercanas a la grilla) y las posiciones X (mas alejadas de la grilla).

#### Actividad Absoluta por Unidad de Átomo

En la formulación de Westcott para determinar el flujo neutrónico térmico y epitérmico es necesario conocer la actividad absoluta de la hojuela desnuda por unidad de átomo, y la sección transversal efectiva [1]. Para la determinación de la actividad absoluta, se empleó una cadena de detección gamma de alta resolución, con detector Ge hiperpuro y patrones de actividades conocidas, con los que se obtuvo la eficiencia de la configuración geométrica del sistema de medición en función de la energía. El resultado obtenido para el pico de manganeso fue  $\epsilon$  (846.7 KeV) =  $9.39 \cdot 10^{-4}$ . Con este resultado y los datos que se encuentran en la Tabla 2, en la ultima fila con asterisco (\*), para la posición geométrica  $d(D-F) = 7$  cm, la actividad absoluta resultó  $A_B$  (D2-Y, Mn/B;42) =  $77461.86 \text{ s}^{-1}$ .

En la ecuación fundamental de la activación, y la metodología de Westcott, la actividad de la hojuela es llevada a la saturación. En cuyo caso se deberá corregir al valor de fin de irradiación por el factor de activación infinita,  $F_i$ . Según [1], viene dada por la expresión:  $F_i(t_i) = (1 - \exp(-\lambda \cdot t_i))$ , donde  $t_i$  es el tiempo de irradiación y  $\lambda$  la constante de decaimiento del nucleido producido, en nuestro caso Mn-56, para la irradiación de 1 hora, este factor resulta:  $F_i(\text{Mn}, 1 \text{ h}) = 0.235717$ . Así la actividad de saturación fue:

$$AB_{\infty} (D2 - Y \text{ Mn} / B ; 42) = 328622.3 \text{ s}^{-1}.$$

En la formulación de Westcott, se necesita la actividad por unidad de átomo. En la Tabla 2, en la columna 7, se encuentra la masa en

miligramos, de ahí se determina la cantidad de átomos, que están presentes en la hojuela hábiles para producir la reacción nuclear de interés. Desde la hoja certificada del material de la hojuela se sabe que la pureza es de 81.3 (%); desde la referencia [3] la abundancia isotópica es de 100.00 (%). Con lo que el número de átomos resultó:

$$N_B(\text{Mn-42}) = 8.269 \cdot 10^{19} \text{ átomos}$$

Así la actividad absoluta por unidad de átomos correspondiente fue:  $3.97 \times 10^{-15} \text{ s}^{-1}$ .

#### Sección Transversal Efectiva

La sección trasversal efectiva, como la define el formalismo de Westcott, exige conocer el índice espectral de Westcott, para la posición de irradiación. La expresión que define el índice espectral, esta dada por la relación /1/.

$$r(T / T_0) = \frac{G_{th}}{[(R_{Cd}F-1)(S_0G_r / g) + R_{cd}(1/K - FW / g)]}$$

Para el manganeso desde /7/, usamos las constantes siguientes:

$$F=1.0; S_0=0.665; g=1.0; 1/K=0.462; W=0.0$$

Igualmente, para las dimensiones de la hojuela testigo, espesor 0.00508 cm y sección transversal de absorción  $\sigma_a = 13.3 \cdot 10^{-24} \text{ cm}^2$  el factor de autobilindaje térmico resulto:  $G_{th} = 0.790$  y el epitérmico en  $G_r = 0.884$ .

Con estos resultados y la razón de cadmio,  $R_{Cd} = 60$ , el índice espectral para la posición

especifica de la hojuela testigo, disco 2: D2-Y (404 cm), Mn-40, resultó:  $r\sqrt{\frac{T}{T_0}} = 0.01266$

Según el formalismo de Westcott, la expresión de la sección transversal efectiva, según la referencia [1], está dada por:

$$\hat{\sigma} = g\sigma_{act,o}(G_{th} + r\sqrt{(T/T_0)}S_0G_r/g)$$

Para la reacción nuclear  $Mn^{25}(n, \gamma)Mn^{26}$ , la sección transversal de activación evaluada a la velocidad más probable es  $\sigma_{act,0} = 13.3 \times 10^{-24} \text{ cm}^2$ . Con estos valores la sección transversal efectiva resulta:

$$\hat{\sigma}(D2 - Y, Mn, 404 \text{ cm}) = 10.6 \times 10^{-24} \text{ cm}^2$$

#### Flujo Neutrónico de Westcott

Según el formalismo de Westcott, el flujo denominado de Westcott,  $\phi_w$  (= Actividad por átomo / sección transversal efectiva), resulta:

$$\phi_w(D2 - Y, 404 \text{ cm}) = 3.75 \times 10^8 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

#### Flujo Neutrónico Térmico

Utilizando el formalismo de Westcott [1,3], el flujo térmico resulta:

$$\phi_{th}(404 \text{ cm}, 10 \text{ kW}) = 4.2 \pm 0.1 \times 10^8 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1},$$

donde asumimos un error de 2%, producido básicamente por la actividad medida. Este valor está referido a la potencia de trabajo que correspondió a 10 kW.

#### Flujo Neutrónico Epitérmico

Desde el formalismo de Westcott el flujo epitérmico se relaciona con el flujo térmico, según:

$$\lambda = \frac{\phi_{epi}}{\phi_{th}} = \frac{r\sqrt{\frac{T}{T_0}}}{(1-br\sqrt{\frac{T}{T_0}})}$$

Con los valores de obtenidos resulta  $\lambda = 0.013$ , consecuentemente el flujo epitérmico es:

$$\phi_{epi}(404 \text{ cm}, 10 \text{ kW}) = 5.4 \pm 0.1 \times 10^6 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

#### Distribución de flujo en el tubo tangencial

Para determinar la distribución de los flujos neutrónicos térmicos y epitérmico en cada punto medido, se necesita únicamente el flujo térmico y epitérmico de la hojuela testigo, y los valores de la Tabla 4 de actividades térmicas y epitérmicas normalizadas. Para este fin se emplean las relaciones siguientes:

$$\phi_{th,j}(x) = \frac{A_{th,j}}{A_{th,T}} \phi_{th,T}$$

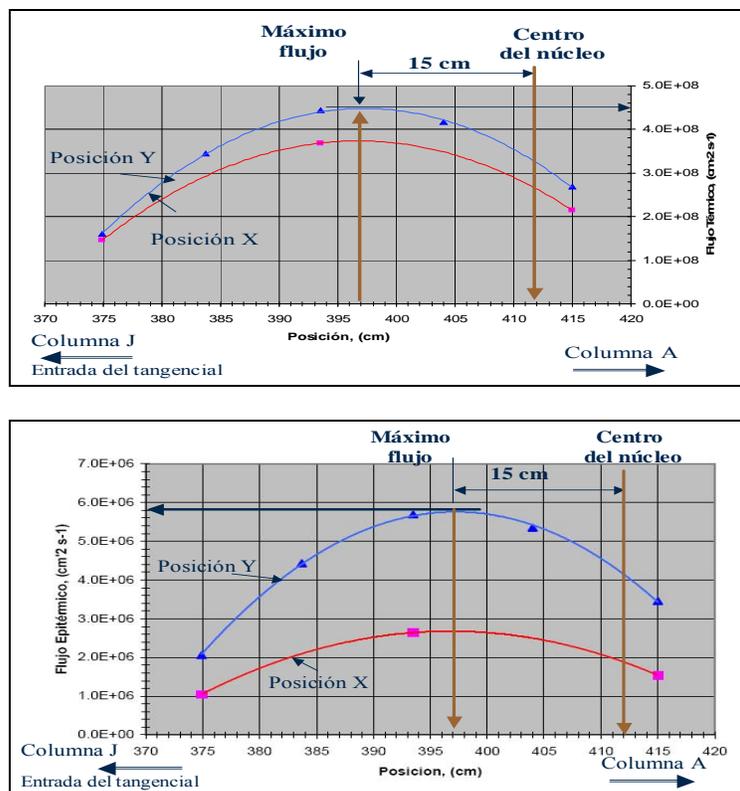
$$\phi_{epi,j}(x) = \frac{A_{epi,j}}{A_{epi,T}} \phi_{epi,T}$$

Conocido el valor de los flujos térmico y epitérmico para la testigo se construye la Tabla 6 donde se muestra la distribución de flujos para cada posición estudiada con un error inferior al 5%.

En base a los resultados obtenidos para determinar el máximo flujo realizamos un ajuste a un polinomio de grado 2, con lo que se obtuvieron los valores de 397.2 cm y 396.7 cm, con flujos de  $4.5 \times 10^8 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , y,  $3.7 \times 10^8 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  para el flujo térmico en las posiciones denominadas más cercana (Y) y más alejada (X) y para el flujo epitérmico en dichas posiciones correspondieron a  $5.8 \times 10^6 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , y  $2.6 \times 10^6 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  respectivamente.

**Tabla 6:** Resultados de los valores de flujo térmico y epitérmico para el tubo tangencial en las posiciones medidas, tanto para la posición más cercana al núcleo, X, como para la más alejada, Y.

Disco	Posición (cm)	Desplazamiento	<Athn>	<Aepin>	Oth (cm-2s-1)	Err.Oth (cm-2.s-1)	Oepi (cm-2s-1)	Err.Oepi (cm-2s-1)
D1-Y	415	-3	0.645	0.645	2.7E+08	1E+07	3.5E+06	2E+05
D1-X	415	-3	0.516	0.288	2.1E+08	1E+07	1.5E+06	8E+04
D2-Y	404	+8	1.000	1.000	4.2E+08	8E+06	5.4E+06	1E+05
D3-Y	393.5	+18.5	1.064	1.064	4.4E+08	2E+07	5.7E+06	3E+05
D3-X	393.5	+18.5	0.885	0.494	3.7E+08	2E+07	2.6E+06	1E+05
D4-Y	383.7	+28.3	0.829	0.829	3.5E+08	2E+07	4.4E+06	2E+05
D5-Y	374.9	+37.1	0.385	0.385	1.6E+08	8E+06	2.1E+06	1E+05
D5-X	374.9	+37.1	0.351	0.196	1.5E+08	7E+06	1.0E+06	5E+04



**Figura 4:** Distribuciones de flujo neutrónico térmico y epitérmico a lo largo del tubo tangencial del RP10 para la configuración 14, y una potencia de 10 kW, en las posiciones cercana (Y) y alejada (X) del núcleo respectivamente. La posición de máximo flujo se da a 15 cm respecto de la posición central del núcleo en dirección hacia la columna A.

#### 4. Conclusiones

1. La altura del centro del núcleo a lo largo del conducto tangencial se encuentra a 412 cm desde el inicio del conducto, por lo que el máximo flujo se encuentra a 19 cm del centro siguiendo hacia la columna A o a 397 cm desde la entrada del tubo tangencial.
2. Para el uso del I-125 se requieren flujos epitérmicos de  $1.0 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Si se requiere usar este conducto se debería desplazar los elementos combustibles hacia la pared contigua al tubo.
3. Se ha realizado una descripción detallada del tratamiento seguido a fin de poder repetir el mismo procedimiento en las mediciones a los otros conductos.
4. La incertidumbre en la determinación no mayor que 5% puede mejorarse para el caso de posicionar una muestra en el centro del tubo.
5. Las mediciones de estas distribuciones forman parte del programa de caracterización de las facilidades de irradiación del reactor nuclear, que está bajo la responsabilidad del proveedor de neutrones y el grupo de física de reactores. Datos que son relevantes para el

inicio del uso en el ámbito comercial o de investigación.

#### 5. Agradecimientos

Al personal del Departamento de Operación del RP-10.

#### 6. Referencias

- [1] Zúñiga A. Notas de Activación Neutrónica. Informe Interno, RACSO, 1988.
- [2] Zúñiga A. Medición del Flujo Neutrónico en el Conducto Radial 5. Informe Interno, RACSO, 1991.
- [3] IAEA. Fluence Measurements. TRS 107, 1975.
- [4] Beckurtz J. Neutron Physics. Spring Verlag:New York, 1964.
- [5] Robert F. Efficiency Determination. Meth. and Nucl. Inst. 1973.
- [6] Zijp F. Nuclear Experimental Data, 1979.
- [7] Mugabba C. Nuclear Data, 1981.
- [8] Selander W. Theoretical evaluation of self-shielding factors due to scattering resonances in foils. Chalk River:Ontario, 1960.