

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
GERENCIA DE ENERGIA

VERIFICACION CARACTERISTICAS DE
IRRADIACION EN EL RA1.
(setiembre 1977)

DIVISION FISICA DE
REACTORES

CNEA-Re-144

DEPARTAMENTO DE REACTORES



VERIFICACION CARACTERISTICAS DE
IRRADIACION EN EL RA1.
(setiembre 1977)

DIVISION FISICA DE
REACTORES

CNEA-Re-144



Resumen

Se verificó la linealidad de las cámaras del RA1, la reproducibilidad del flujo térmico a potencia nominal de trabajo.

Como debido a reparaciones realizadas en el reactor se han producido algunas alteraciones en la geometría del reactor, se ha medido también el gradiente espacial y el espectro en los lugares de irradiación. Las variaciones observadas son del orden del 10% y pueden explicarse por la modificación del nivel de los lugares de irradiación respecto al plano medio del combustible.

Nota : la descripción del espectro neutrónico en tres grupos de energía corresponde a lo descrito en (16).

El flujo térmico o Maxwelliano y el epitérmico o de moderación se relacionan directamente con las definiciones de flujo y secciones eficaces efectivas de Westcott et al. (17). El flujo rápido o de "fisión" está de acuerdo con la definición de secciones eficaces efectivas de umbral (12), (14).

Calibración del flujo térmico y rápido en la "loop" y el reflector central del RA1, en función de la potencia. (Setiembre 1977)

a. Lugares de irradiación. En el reflector central se tomó como punto de referencia la posición a 4 cm por debajo del borde superior de las cápsulas de irradiación del neumático. En la "loop" se midió a 5 cm del fondo de la cápsula de irradiación. fig 1.

b. Control de potencia. Las mediciones se hicieron relativas a la corriente de la cámara 1 y se registró con el microamperímetro de consola y un registrador Riken Denchi (SP-HGP). Se registraron las indicaciones de las cámaras 2 y 3 con los instrumentos de consola, midiendo a intervalos de 1 minuto.

c. Calibración de cámaras. La calibración se hizo con detectores de manganeso-níquel de aproximadamente el mismo peso irradiados durante 5 minutos a distintas potencias.

Se midió la actividad relativa de las hojas de manganeso en un espectrómetro γ . La estabilidad del equipo se controló con una fuente patrón de Mn 54. (1), (2), (3)

Las irradiaciones se realizaron en el mismo día, pero debido a las distintas actividades se midió en dos grupos. La actividad γ del Mn 56 en cada detector se midió alternando dos hojas consecutivas, de modo de comparar actividades del mismo orden. Se repitieron dos puntos de aproximadamente la misma corriente de cámara para asegurar el empareje entre los dos grupos de medidas. Cada grupo se midió durante aproximadamente 4 períodos (10 a 12 horas).

La relación de las hojas de empareje se midió con dos equipos, un espectrómetro γ y un contador proporcional 4 π B. Los resultados se resumen en la Tabla I y la fig. 2. Las fuentes de error se deta-

~~la determinación de la actividad abso~~ llan en la Tabla II. No se ha estimado el error cometido al determinar el valor medio de corriente, que debido a problemas en el sistema de control mostró cierta inestabilidad durante las irradiaciones. En las relaciones los errores se duplican.

d. Determinación absoluta. Para determinar el flujo se midió la actividad absoluta de los puntos 4 y 5 (TABLA I) con dos equipos de medición y técnicas independientes. Se midió la actividad γ de un fotopico del Mn^{56} en un detector de germanio-litio, con procesamiento "on line" de los resultados. También se midió la actividad β con un contador proporcional $4\pi\beta$.

En la Tabla III se resumen las constantes usadas en el cálculo de flujo térmico con manzaniere y en la Tabla IV se detallan los errores sistemáticos de cada método de medición.

El resultado obtenido con la medición γ para la posición 5, que corresponde a $0.390 \times 10^{-7} A$ en la cámara 1, es:

$$\phi^* = 1.369 \times 10^{11} \text{ neutrones/cm}^2 \text{sg},$$

sin corregir por la contribución epitérmica. Para el mismo punto se obtiene de la medición β :

$$\phi^* = 1.376 \times 10^{11} \text{ neutrones/cm}^2 \text{sg}$$

La relación del punto 4 (cámara 1 = $0.402 \times 10^{-7} A$) al punto 5 es 1.075 en la medición γ y 1.052 en la medición β , podemos considerar:

$$\phi_4^* / \phi_5^* = 1.03 \pm 0.02$$

$$C1 = 0.402 \times 10^{-7} A ; \phi_4^* = 1.41 \times 10^{11}$$

$$C1 = 0.390 \times 10^{-7} A ; \phi_5^* = 1.37 \times 10^{11}$$

Los puntos 6 a 9 se midieron con la relación de actividad corregida por peso y extrapolada al fin de la irradiación, respecto al punto 5. Las posiciones 1 a 3 se midieron relativas al punto 4.

El flujo así obtenido para cada nivel de potencia se redujo a la "potencia normal de trabajo" ($C1 = 0.32 \times 10^{-6}$) relacionando los valores de corriente. El acuerdo es razonable, pero los puntos 7 y 8 se desvían de la media más de lo esperado, como puede verse en la Tabla I. Los errores asignados en las tablas representa siempre la dispersión de las medidas. Los errores sistemáticos se detallan aparte.

En la fig. 2 se puede apreciar que el comportamiento es las cámaras puede considerarse lineal en el rango de 10^{-8} a 10^{-6} ampere. El valor promedio obtenido para $C1 = 0.32 \times 10^{-6} A$ es:

$$\phi^* = (1.14 \pm .09) \times 10^{12} \text{ neutrones/cm}^2 \text{sg},$$

y corrigiendo por la contribución epitérmica, $f_{epi}^c = 1.16$, para Mn^{55} en el reflector obtenemos el flujo térmico:

$$\phi_{th} = (9.83 \pm .73) \times 10^{11} \text{ neutrones/cm}^2 \text{sg}.$$

Los errores incluyen 3% dispersión estadística y 5% sistemáticos

e- Medición de flujo térmico con cobalto. Para verificar los datos obtenidos con manganeso se realizaron dos experiencias con cobalto usando detectores de distinto tamaño y diferentes tiempos de irradiación. El tamaño de las hojas y el tiempo de ~~esta~~ irradiación se eligieron de modo de tener la misma actividad que la fuente calibrada usada como patrón.

La medición de actividad se realizó con el espectrómetro γ , como se describió en las experiencias con manganeso, usando una fuente standard calibrada de Co^{60} .

Las constantes usadas en el cálculo de flujo térmico se resumen en la Tabla V. En las Tablas VI y VII se describen las principales fuentes de errores estadísticos y sistemáticos.

Se realizó una experiencia irradiando una hoja de 0.7 cm de diámetro durante 10 minutos con una corriente en cámara 1 de $.29 \times 10^{-6} \text{ A}$. Sin corregir por contribución epitérmica obtenemos:

$$C_1 = .29 \times 10^{-6} \text{ A}; \quad \phi^* = 1.11 \times 10^{12} \text{ neutrones/cm}^2 \text{ sg},$$

y reduciendo a potencia normal de trabajo:

$$C_1 = .32 \times 10^{-6} \text{ A}; \quad \phi^* = 1.23 \times 10^{12} \text{ neutrones/cm}^2 \text{ sg}.$$

$$f_{\text{epi}}^c = 1.19 \quad \phi_{\text{th}} = 1.03 \times 10^{12} \text{ neutrones/cm}^2 \text{ sg}.$$

La segunda experiencia se hizo con hojas de 0.3 cm de diámetro y tiempo de irradiación de 50 minutos. Como la muestra se colocó antes del arranque hay que corregir por subida de potencia. Como el período del subida del reactor es muy rápido ($T_{1/2} \cong 6.5 \text{ sg}$) esta corrección es despreciable ($< 0.3\%$). La corriente ~~en~~ media durante la irradiación es $C_1 = 0.32 \times 10^{-6}$ y los resultados son:

$$C_1 = .32 \times 10^{-6} \text{ A} \quad \phi^* = 1.21 \times 10^{12} \text{ neutrones/cm}^2 \text{ sg}$$

$$f_{\text{epi}}^c = 1.19 \quad \phi_{\text{th}} = 1.02 \times 10^{12} \text{ neutrones/cm}^2 \text{ sg}$$

El acuerdo entre las dos medidas de cobalto es muy buena, en cambio se observa una diferencia del 5% con la medida del manganeso. Los resultados de las medidas de flujo se resumen en la TABLA VIII.

f. Gradiente de flujo. Se midió el gradiente vertical de flujo en la cápsula de irradiación del reflector central. Se hicieron dos determinaciones con cobalto y manganeso. Suponiendo linealidad se obtuvo una variación porcentual de flujo por cm de:

$$\text{gradiente RC} = (0.28 \pm 0.05) \% / \text{cm}$$

En la "loop" se hicieron dos medidas de gradiente usando hojas de cobalto y suponiendo una variación lineal se tiene un valor medio de:

$$\text{gradiente "loop"} = (1.20 \pm 0.15) \% / \text{cm}$$

g. Medición flujo rápido. Se midió con la reacción de umbral $\text{Al}^{24}(\text{n}, \alpha) \text{Na}^{24}$. Se irradiaron simultáneamente durante 50 minutos, detectores de aluminio y cobalto en el reflector central y en la "loop".

El peso de los detectores y el tiempo de irradiación se ajustó para tener actividades del mismo orden en el Na^{24} y el Co^{60} . Las hojas de aluminio se irradiaron bajo cadmio y se manipularon con especial cuidado para evitar posible contaminación (m. x) del Na^{23} (20 ppm. de Na^{23} bajo cadmio $< 0.03\%$).

La actividad de los detectores se midió en el espectrómetro γ , midiendo el Na^{24} (15 horas) contra el segundo fotopico del Co^{60} . De este modo se eliminan los errores provenientes del standard. El standard se usó para controlar la estabilidad del equipo durante la medición. Las medidas se continuaron durante 2 períodos del Na^{24} , después del decaimiento del Al^{28} y Mg^{27} . La relación de flujo rápido a térmico se obtiene de las actividades por átomos a saturación del Na^{24} y el Co^{60} y las secciones eficaces, corrigiendo por contribución epitérmica en el cobalto y por diferencia de eficiencia entre los rayos γ del Na^{24} y del Co^{60} .

Las constantes usadas en el cálculo se resumen en la Tabla IX y los errores se describen en las Tablas X y XI, obteniéndose una relación de flujo rápido a térmico en el reflector central:

$$\boxed{[\Phi_f / \Phi_{th}]_c = 0.624 \pm 0.057}$$

b. Mediciones en la "loop". Se hicieron medidas relativas al reflector central. La relación de flujo ~~rápido~~ térmico se hizo con detectores de manganeso y cobalto.

Con manganeso se midió una relación $\phi_L^* / \phi_C^* = 0.658 \pm 0.013$, con $f_{epi}^C = 1.16$ y $f_{epi}^L = 1.18$:

$$\frac{\phi_{th}^L}{\phi_{th}^C} = 0.647 \pm 0.013$$

La medida realizada con cobalto da una relación $\phi_L^* / \phi_C^* = 0.690 \pm 0.01$ y corrigiendo la contribución epitérmica con $f_{epi}^C = 1.19$ y $f_{epi}^L = 1.21$, tenemos:

$$\frac{\phi_{th}^L}{\phi_{th}^C} = 0.679 \pm 0.013$$

La relación de flujo rápido se midió con la reacción (n, α) del Al^{27} , obteniéndose:

$$\frac{\phi_f^L}{\phi_f^C} = 1.360 \pm 0.005$$

y siendo $\left[\frac{\phi_f}{\phi_{th}} \right]^C = 0.624 \pm 0.057$, obtenemos la relación de flujo rápido en la "loop" a flujo térmico en el reflector central:

$$\boxed{\frac{\phi_f^L}{\phi_{th}^C} = 0.85 \pm 0.08}$$

y a potencia normal de trabajo, $C_1 = 0.32 \times 10^{-6}$ ampere, el flujo rápido en la "loop" medido con aluminio (14):

$$\phi_f^L = (8.5 \pm 0.1) \times 10^{11} \text{ n/cm}^2 \text{ sg.}$$

También puede ser de interés la relación de flujo rápido a térmico en la "loop":

$$\left[\frac{\phi_f}{\phi_{th}} \right]_L = 1.3 \pm 0.1$$

Los resultados finales se resumen en la Tabla XII.

Resultados y conclusiones.: El comportamiento de las cámaras es lineal en el rango de 10^{-6} a 10^{-8} amperes de corriente en la cámara. La reproducibilidad del nivel de flujo térmico, $\approx 5\%$, es aceptable.

Pero hay que destacar ~~que~~ dependerá de la exactitud de los registros de corriente en la consola y del control de su reproducibilidad (cero del instrumento, ganancia, etc). Asimismo dependerá de la constancia en la geometría de las cámaras y de sus características (plateau, tensión de trabajo, fondo, fugas, etc.).

En las relaciones de flujo térmico de la "loop" al reflector central y de flujo rápido a térmico en ambas posiciones, se encontraron variaciones ~~de~~ mayores que las atribuidas a errores en la medición. Estas variaciones, del orden del 10% , se pueden atribuir al desplazamiento de las posiciones relativas de los lugares de irradiación respecto al plano ~~central~~ medio del combustible.

La relación del flujo rápido de la "loop" al reflector central está de acuerdo con los valores medidos anteriormente dentro del 5% .



REFERENCIAS

- 1 - RICABARRA, D., TURJANSKI, R., RICABARRA, G., CAN. J. PHYSICS, 48, 8, (1970).
- 2 - RICABARRA, D., TURJANSKI, R., RICABARRA, G., CAN. J. PHYSICS, 46, 22 (1968).
- 3 - RICABARRA, D., WAISMAN, D., CNEA - Re-120 (1976).
- 4 - BNL-325 (3ª edición), Vol. I (1973).
- 5 - BARTHOLOMEW et al., CAN. J. CHEM., 31, 204 (1953).
- 6 - LEDERER et al., "Table of Isotopes" (John Wiley and Sons, N.Y., 6ª Ed.
- 7 - SELANDER, W. N., AECL 1077 (1960).
- 8 - MEISTER, H., Z. NATURFORSCH. A, 13, 722 (1958).
- 9 - "Bureau National Métrologie", CNA, Francia (1974).
- 10 - "Evaluation...", INDC-14/L, Viena (1974).
- 11 - Calibraciones Diodo Ge-Li, años 1971, 1974, 1976, 1976. (m.p.).
- 12 - BRESESTI A.M., et al., NUCL. SCIENCE ENG., 40, 331-348 (1970).
- 13 - Especificaciones fabricante KOCH-LIGHT LAB.
- 14 - BECKURTS K.H. y WIRTZ, K., "Neutron Physics", (Springer-Verlag, N.Y.)
- 15 - Medidas 1971 y 1973 (m.p.)
- 16 - RICABARRA, D., TURJANSKI, R., RICABARRA, G., "Medición Integral de Resonancia de Activación y discusión del método experimental." CNEA-Re (1967).
- 17 - Westcott, C. H., Walker, W. H., and Alexander, T. K., Proc. "2nd U.N. Int. Conf. P. V. A. E.", 16, 70 (1958)

TABLA I

Calibración flujo en el RA1 (13-9-77)

Nº	CAMARA 1	CAMARA 2	CAMARA 3	Φ^*	Φ^*
	ampere	ampere	ampere	$n/cm^2\ s$	$(C_1 = 32 \cdot 10^{-6})$ $n/cm^2\ s$
1	$420 \cdot 10^{-6}$	$294 \cdot 10^{-6}$	$778 \cdot 10^{-6}$	$(1.51 \pm .03) 10^{12}$	$1.445 \cdot 10^{12}$
2	$205 \cdot 10^{-6}$	$130 \cdot 10^{-6}$	$367 \cdot 10^{-6}$	$(7.03 \pm .15) 10^{11}$	$1.097 \cdot 10^{12}$
3	$778 \cdot 10^{-6}$	$557 \cdot 10^{-7}$	$147 \cdot 10^{-6}$	$(2.78 \pm .05) 10^{11}$	$1.142 \cdot 10^{12}$
4	$402 \cdot 10^{-7}$	$281 \cdot 10^{-7}$	$08 \cdot 10^{-6}$	$(1.41 \pm .03) 10^{11}$	$1.125 \cdot 10^{12}$
5	$390 \cdot 10^{-7}$	$271 \cdot 10^{-7}$	$074 \cdot 10^{-6}$	$(1.37 \pm .01) 10^{11}$	$1.127 \cdot 10^{12}$
6	$196 \cdot 10^{-7}$	$123 \cdot 10^{-7}$	$335 \cdot 10^{-7}$	$(6.71 \pm .06) 10^{10}$	$1.099 \cdot 10^{12}$
7	$781 \cdot 10^{-8}$	$555 \cdot 10^{-8}$	$152 \cdot 10^{-7}$	$(2.91 \pm .03) 10^{10}$	$1.181 \cdot 10^{12}$
8	$382 \cdot 10^{-8}$	$269 \cdot 10^{-8}$	$077 \cdot 10^{-7}$	$(1.44 \pm .02) 10^{10}$	$1.212 \cdot 10^{12}$
9	$190 \cdot 10^{-8}$	$124 \cdot 10^{-8}$	$33 \cdot 10^{-8}$	$(6.84 \pm .07) 10^9$	$1.152 \cdot 10^{12}$

NOTAS: a) 4 y 5 puntos de empalme

b) los errores asignados indican sólo la dispersión de las medidas y la desviación en el método de empalme, no incluyen errores sistemáticos.

c) los valores de la última columna se han reducido de acuerdo a las indicaciones de la CAMARA 1, la dispersión es mayor, pues refleja los errores en la lectura de corriente.

d) $\Phi_c^* =$ flujo sin corregir por contribución epitérmica
 $f_{epi} = 1.16$ para MMSS en el reflector central.

TABLA II

Errores estadísticos en las mediciones con Mn55

FUENTE DE ERROR	MEDICION δ	MEDICION $4\pi\beta$
Peso detectores	0.1%	0.1%
Estadística	0.5%	0.5%
Geometría	1.0%	—
Extrapolación Mn56	$t_{1/2}$ 0.3% (5. $t_{1/2}$)	0.5% (10. $t_{1/2}$)
	t 0.45%/min	0.45%/min
Reducción a saturación (t_i)	0.3%	0.3%
	2.7%	1.9%

TABLA III

Constantes para el cálculo de flujo térmico con Mn55

DESIGNACIÓN	PARAMETROS	REFERENCIA
Sección eficaz térmica Mn55	$\sigma_0 = 13.3 \pm 0.2$ barn	
Periodo Mn56	$t_{1/2} = 2.576 \pm 0.002$ horas	
Energía fotopico Mn56	$E = 846.8$ keV	
Abundancia fotopico Mn56	$\% = 98.96$	
Composición aleación Mn-Ni	$\% \text{ Ni} = 12$	
Corrección epitérmica Reflector central "Loop"	$f_{\text{epi}}^c = 1.16$ $f_{\text{epi}}^L = 1.18$	
Autoabsorción térmica	$G_{th} = 0.99 \pm 0.01$	
Autoabsorción resonancia	$G_R = 0.76$	
Selfshielding B	$f_s = 0.721 \pm 0.014$	
Standard Mn54- N° 8998 (5-9-74)	$I = 1.67 \pm 1\% \mu\text{Curie}$	
Periodo Mn54	$t_{1/2} = 312.5 \pm 0.5$	
Energía fotopico Mn54	$E = 834.827$	
Abundancia fotopico Mn54	$\% = 99.978$	
Relación eficiencia γ	$\frac{\gamma(\text{Mn56})}{\gamma(\text{Mn54})} = 0.987 \pm 0.003$	

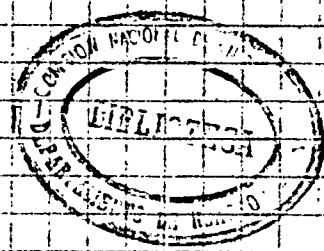


TABLA IV

Errores sistemáticos en la medición de flujo con Mn55

FUENTE DE ERROR	MEDICION γ	MEDICION $4\pi\beta$
Sección eficaz	1.5%	1.5%
Composición aleación	0.5%	0.5%
Selfshielding β	—	2%
Eficiencia $4\pi\beta$	—	0.5%
Standard Mn54	1%	—
Extrapolación standard	0.4% (3.5 periodos)	—
Autoabsorción térmica	1%	—
	4.7%	4.5%

TABLA V

Constantes para el cálculo de flujo térmico con Co59

DESIGNACION	PARAMETROS	REFERENCIA
Sección eficaz Co59	$\sigma_c = 37.2 \pm .2 \text{ barn}$	
Período Co60	$t_{1/2} = 5.275 \pm .005 \text{ años}$	
Energía 1 ^{er} fotopico Co60	$E = 1173.208 \text{ keV}$	
Energía 2 ^o fotopico Co60	$E = 1332.503 \text{ keV}$	
Abundancia 1 ^{er} fotopico	$\% = 99.974 \pm .001$	
Abundancia 2 ^o fotopico	$\% = 99.986 \pm .001$	
Pureza del material	$\% \text{ Co} = 99.9$	
Corrección epitérmica:		
Reflector central	$f_{epi}^c = 1.19$	
"Loop"	$f_{epi}^L = 1.21$	
Selfshielding térmico	$G_{th} = 0.94 \pm 0.02$	
Selfshielding resonancia	$G_R = 0.44$	
Standard Co60 N° 9391 (11-10-74)	$I = 1.38 \pm 1\% \mu\text{Curie}$	

TABLA VII

Errores estadísticos en las medidas con ^{60}Co

FUENTE DE ERRORES	MEDICIÓN γ
Peso detectores	$< 0.1\%$
Estadística conteo	0.3%
Geometría muestra y standard	$< 1\%$
Extrapolación muestra	—
Reducción a saturación (t _c)	0.1%
	2%

TABLA VII

Errores sistemáticos en la medición del
flujo térmico con COSY

FUENTE DE ERROR	MEDICION γ
Sección eficaz	0.5%
Composición	0.1%
Selfshielding térmico	2%
Standard C60	1%
Extrapolación Standard	0.1%
	3.7%

TABLA VIII

Mediciones de flujo térmico en el reflector central

FECHA IRRADIACION	DETECTOR	Φ^* n/cm ² sg.	c_{epi}	Φ_{th} n/cm ² sg.
13-9-77 ^a	Mn55	$(1.14 \pm .09) \times 10^{12}$	1.16	$(9.83 \pm .78) \times 10^{11}$
14-9-77 ^a	Co59	$(1.23 \pm .08) \times 10^{12}$	1.19	$(1.03 \pm .07) \times 10^{12}$
19-9-77 ^b	Co59	$(1.21 \pm .07) \times 10^{12}$	1.19	$(1.02 \pm .06) \times 10^{12}$

Notes: a- normalizado a corriente $C_1 = .32 \times 10^{-6} \text{ A}$

b- medido a corriente $C_1 = .32 \times 10^{-6} \text{ A}$

TABLA IX

Constantes del cálculo de flujo rápido con aluminio

DESIGNACION	PARAMETROS	REFERENCIA
Sección eficaz efectiva AL27 (n, α) Na24	$\bar{\sigma} = (695 \pm 0.02) \cdot 10^{-3}$ barn	
Período Na24	$t_{1/2} = 15.00 \pm 0.05$ horas	
Energía fotopico Na24	$E = 1368.53$ keV	
Abundancia fotopico Na24	$\% = 99.5 \pm .5$	
Pureza del material	$\%AL = 99.998\%$	
Diferencia eficiencia γ	$\gamma(Na24) = .967 \pm .003$ $\gamma(Co60)$	

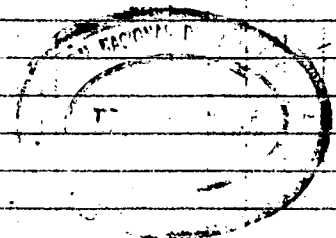


TABLA X

Errores estadísticos en la relación de flujo rápido a térmico

FUENTE ERROR	FLUJO RAPIDO	FLUJO TERMICO	RELACION
	AL27(m, α) Na24	Co59(m, γ) Co60	RAPIDO A TERMICO
Peso detectores	<0.05%	<0.05%	
Estadística	<0.8%	<0.8%	
Extrapolación	0.2%		
Reducción a saturación(t_i)	0.1%	0.1%	
Geometría relativa			<1%
	1.15%	0.95%	1%
	Total = 3.1%		

TABLA XI

Errores sistemáticos en la relación flujo rápido a térmico

FUENTE ERROR	FLUJO RÁPIDO AL27(mα)Na24	FLUJO TÉRMICO Co59(m.γ)Co60	RELACION RÁPIDO A TÉRMICO
Sección eficaz	2.9%	0.5%	
Composición		0.5%	
Selfshielding térmico		2%	
Relación eficiencia			0.3%
	2.9%	3%	0.3%
Total = 6.2%			



TABLA XII

Resumen de las medidas de flujo rápido y térmico en el RA1, para $C_1 = .32 \times 10^{-6}$ A. (Setiembre 1977)

DESIGNACION	POSICION	MEDIDA
flujo térmico	reflector central	$\phi_{th}^C = (1.00 \pm 0.05) \times 10^{12} \frac{n}{cm^2 \cdot sg}$
flujo rápido flujo térmico	"Loop"	$\left[\frac{\phi_f^L}{\phi_{th}^C} \right]^L = 1.3 \pm 0.1$
flujo rápido flujo térmico	reflector central	$\left[\frac{\phi_f^L}{\phi_{th}^C} \right]^C = 0.62 \pm 0.06$
flujo térmico	"Loop" reflector central	$\frac{\phi_{th}^L}{\phi_{th}^C} = 0.66 \pm 0.02$
flujo rápido flujo térmico	"Loop" reflector central	$\frac{\phi_f^L}{\phi_{th}^C} = 0.85 \pm 0.08$
flujo rápido	"Loop"	$\phi_f^L = (8.5 \pm 0.1) \times 10^{11} \frac{n}{cm^2 \cdot sg}$
gradiente	reflector central	$\frac{\partial \phi}{\partial h} = (0.28 \pm 0.05) \% / cm$
gradiente	"Loop"	$\frac{\partial \phi}{\partial h} = (1.20 \pm 0.15) \% / cm$

Fig 1. Diagrama con posiciones de irradiación en el NAA

