

02.73.03

C. N. E. A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
NO 1	AÑO 1973

Reprint from

"NUCLEAR DATA  
IN SCIENCE AND TECHNOLOGY"  
VOL. I

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY  
VIENNA, 1973

# EL USO DE PARAMETROS NEUTRONICOS DE RESONANCIA Y SECCIONES EFICACES NEUTRONICAS DE CAPTURA RADIATIVA PARA LA EVALUACION DE LA INTEGRAL DE RESONANCIA DE ACTIVACION RESUELTA Y NO RESUELTA

G.H. RICABARRA, R. TURJANSKI, M.D. RICABARRA  
Comisión Nacional de Energía Atómica,  
Buenos Aires, Argentina

## Abstract-Resumen

THE USE OF NEUTRON RESONANCE PARAMETERS AND NEUTRON RADIATIVE CAPTURE CROSS-SECTIONS IN EVALUATING RESOLVED AND UNRESOLVED ACTIVATION RESONANCE INTEGRALS.

The paper reviews the work carried out in the author's laboratory since 1968 on the calculation, evaluation and measurement of activation resonance integrals. The calculation methods used are described, and an analysis is made of the error introduced in the evaluation of the resolved resonance integral as a result of the current uncertainty in neutron resonance parameters. The calculation of the unresolved resonance integral is described, and the neutron radiative capture cross-section data in the region between 1 keV and 10 MeV available for its calculation are considered. The author also describes the use of experimental resonance integral values in evaluating neutron parameters in cases where the neutron parameters obtained by differential time-of-flight measurements show discrepancies. Finally, an account is given of the difficulties that arise in reactor physics and/or activation analysis when inexact or inadequate integral data are used.

EL USO DE PARAMETROS NEUTRONICOS DE RESONANCIA Y SECCIONES EFICACES NEUTRONICAS DE CAPTURA RADIATIVA PARA LA EVALUACION DE LA INTEGRAL DE RESONANCIA DE ACTIVACION RESUELTA Y NO RESUELTA.

En la memoria se pasa revista al trabajo sobre el cálculo de evaluación y medición de integrales de resonancia de activación que los autores realizaron en el laboratorio de la CNEA desde el año 1968. Se describen los métodos de cálculo usados y se analiza el error que la actual incertidumbre de los parámetros neutrónicos de resonancia introducen en la evaluación de la integral de resonancia resuelta. Se examina el cálculo de la integral de resonancia no resuelta, y la disponibilidad de las secciones eficaces neutrónicas de captura radiativa en la zona entre 1 keV y 10 MeV para su cálculo. Se describe igualmente el uso de los valores experimentales de la integral de resonancia para la evaluación de los parámetros neutrónicos en casos donde los parámetros neutrónicos obtenidos por la medición diferencial de tiempo de vuelo son discrepantes. Finalmente se señalan los inconvenientes para la física de reactores y/o análisis por activación de datos integrales evaluados de manera inexacta o inadecuada.

## INTRODUCCION

La medición de la integral de resonancia es útil para verificar los parámetros de resonancia de neutrones obtenidos en experiencias de tiempo de vuelo y en ese sentido puede considerarse como una técnica experimental de evaluación. Sin embargo si los datos integrales no se obtienen en un espectro bien definido la comparación entre los datos experimentales y calculados puede resultar incierta.

La mayor parte de las integrales de resonancia de activación, de captura y de absorción se han medido en el espectro de un reactor térmico y se ha supuesto que el espectro es «cuasi» 1/E. La evidencia experimental

de esta hipótesis se basa en el acuerdo obtenido entre los datos experimentales y recomendados de la integral de resonancia de isótopos cuyas principales resonancias están en la zona de baja energía (< 100 eV.). Sin embargo el espectro de un reactor térmico por encima de los 10 keV puede desviarse de la forma  $1/E$ . En reactores compactos de agua liviana y uranio enriquecido se aproxima al espectro de fisión a la energía de 1 MeV y en reactores moderados con agua pesada o grafito podemos tener a alta energía un espectro más blando que el espectro  $1/E$ .

Una hipótesis generalmente aceptada es que la absorción de neutrones a altas energías es despreciable en un reactor térmico y por esto no es necesario tener en cuenta que el espectro en la región de energía de los MeV no es  $1/E$ .

Como se verá en la sección siguiente esta hipótesis puede no ser válida para un buen número de isótopos y en algunos casos puede conducir a serios problemas en la interpretación de las experiencias de medición de la integral de resonancia.

Estas consideraciones muestran que para hacer una comparación correcta de los datos experimentales y calculados de la integral de resonancia es importante evaluar y calcular no solamente la absorción de neutrones de la parte resuelta, sino también de la parte no resuelta.

## CALCULO DE LA INTEGRAL EPITERMICA Y DE LA INTEGRAL DE RESONANCIA

### Integral epitérmica e integral de resonancia resuelta

Si se conocen los parámetros de resonancia en el intervalo de energía de interés es posible, usando la ecuación de Breit-Wigner y el espectro neutrónico, calcular la integral de captura o absorción epitérmica resuelta, que puede ser definida como:

$$I_e(R) = \int_{E_G}^{E_L} \sigma_A(E) \phi_{epi}(E) dE/E \quad (1)$$

donde  $\phi_{epi}(E)$  está normalizado a la energía de la resonancia del «standard» Au (4, 5 eV),  $\phi_{epi}(E) = E \phi(E)/4, 5 \phi(4, 5)$ , si se supone que el espectro es  $1/E$ ,  $\phi_{epi}(E) = 1$  y tendremos la integral de resonancia en la zona resuelta:

$$I(R) = \int_{E_G}^{E_L} \sigma_A(E) dE/E \quad (2)$$

$E_G$  es la energía de empalme del flujo térmico y epitérmico; en la experiencia la energía de corte,  $E_L$ , dependerá del filtro elegido, pero una apropiada corrección permite una comparación consistente entre el cálculo y la experiencia.  $E_L$  es la energía de resonancia máxima conocida del isótopo de interés.  $\sigma_A$  es la sección eficaz de absorción, captura o activación.

En un reactor térmico en general se supone que el espectro es aproximadamente  $1/E$  a bajas energías, pero para altas energías se desvía de la forma  $1/E$  y se aproxima al espectro de fisión en la región de los MeV.

La integral resuelta de absorción epitérmica o de resonancia incluye la contribución de: a) resonancias de energía positivas y b) niveles negativos que contribuyen a las capturas  $1/v$ .

Es usual abstraer la contribución  $1/v$  de la integral epitérmica o de la integral de resonancia y tenemos:

$$I'_e(R) = \int_{E_G}^{E_L} (\sigma_A(E) - g \sigma_0 \sqrt{E_0/E}) \phi_{epi}(E) dE/E \quad (3)$$

y

$$I^l(R) = \int_{E_G}^{E_L} (\sigma_A(E) - g \sigma_0 \sqrt{E_0/E}) dE/E \quad (4)$$

que podemos llamar respectivamente integral epitérmica reducida e integral de resonancia reducida en la región de energías resueltas.

Las integrales reducidas en la región resuelta son mucho más sensibles a los parámetros de resonancia positivos y son las que en general se usan para comparar valores experimentales y calculados.

Para bajas energías en general tenemos información detallada de los parámetros de resonancia de neutrones. La parte resuelta de la integral de resonancia puede calcularse sin problemas si se conocen los valores de  $g_J$ ,  $\Gamma_\gamma \Gamma_n / \Gamma$  y  $E_R$  para cada resonancia ( $\Gamma_n$  = ancho neutrónico,  $\Gamma_\gamma$  = ancho radiativo,  $\Gamma$  = ancho total,  $E_R$  = energía de resonancia,  $g_J$  = factor de peso estadístico).

Como ha sido señalado por Harvey [ 1 ] para resonancias de baja energía ( $E_R \lesssim 100$  eV),  $\Gamma_n \ll \Gamma$ , los parámetros de resonancia obtenidos por medidas de transmisión permiten obtener resultados confiables de la integral de resonancia de absorción para cada resonancia estudiada. En consecuencia para isótopos de estas características se observa un buen acuerdo entre los valores calculados y experimentales de la integral de resonancia (ver tabla II en referencia [ 2 ]).

Sin embargo para resonancias de alta energía ( $E_R > \text{keV}$ ) o resonancias en que  $\Gamma_n \cong \Gamma$  son necesarias medidas de captura por tiempo de vuelo para obtener valores confiables de la integral de captura o absorción para cada resonancia. Además es en esta zona donde resonancias de momento angular superior a  $l=0$  pueden aparecer y estas capturas pueden ser subestimadas si no existe información sobre su contribución relativa.

En la tabla I se dan los valores experimentales y calculados para isótopos cuyas resonancias más importantes están en la región de energía de los keV.

Se observa una discrepancia sistemática que ha sido explicada parcialmente en un trabajo anterior [ 3 ], y a la cual nos referiremos más específicamente en otra parte del trabajo.

En la tabla II también se muestra como los anchos radiativos pueden discrepar fuertemente entre distintas medidas de tiempo de vuelo cuando  $\Gamma_n \gg \Gamma_\gamma$ , como en las resonancias principales del  $^{148}\text{Nd}$ .

TABLA I. COMPARACION DE DATOS INTEGRALES CALCULADOS Y EXPERIMENTALES DE ISOTOPOS CON ESPACIAMIENTO DE NIVELES DEL ORDEN DE LOS keV

Elemento	$I'{}^a$ (barn)	$I'_e{}^b$ (barn)	Observaciones
$^{51}\text{V}$	0,15	0,48 [23] <sup>c</sup>	Cálculo parámetros ref. [27].
Fe	0,26 [24] 0,32 [ 4]	1,1 [25] <sup>d</sup>	Medidas de oscilación, los autores suponen espectro 1/E.
Ni	0,16 [ 4]	1 [25] <sup>d</sup>	Medidas de oscilación, los autores suponen espectro 1/E.
$^{64}\text{Zn}$	0,59 [26]	0,96 [26]	
$^{74}\text{Ge}$	0,22 [ 3]	0,67 [ 3]	
$^{80}\text{Se}$	0,56 [ 7]	1,62 [ 7]	
$^{130}\text{Te}$	0,17 [ 6]	0,48 [ 7]	

<sup>a</sup> Cálculo Breit-Wigner.

<sup>b</sup> Integral epitérmica experimental.

<sup>c</sup> Corregido por desviación espectral a 4 keV (espectro de un acelerador). Por lo tanto el autor supone  $I'_e = I'$  [23].

<sup>d</sup> Medido en el centro de un reactor tipo piscina de uranio enriquecido al 20%,  $\phi_{epi}/\phi_{th} \cong 0,1$  [25]. Los autores suponen  $I'_e = I'$ .

TABLA II. PARAMETROS DE RESONANCIA NEUTRONICA DE LAS DOS RESONANCIAS MAS IMPORTANTES DEL  $^{148}\text{Nd}$

$E_R$ (eV)	$\Gamma_\gamma$ (meV)	$\Gamma_n$ (meV)	$\Gamma$ (meV)	Referencias
155	100± 15	1610±240	1710	[19]
	70± 8	2000	2070	[20]
	40 <sup>a</sup>	2460±200	2500±200	[21]
	250±283 <sup>a</sup>	1850±200	2100±200	[22]
285	96± 14	2600±200	2696	[19]
	58± 6	1980±100	2083	[20]
		3700±370		[21]
	50±224 <sup>a</sup>	3130±100	3180±200	[22]

<sup>a</sup> Obtenido sólo por transmisión, el ancho radiativo tiene un error muy grande debido a que es obtenido por diferencia de magnitudes del mismo orden.

## ESTIMACION DE LA PARTE NO RESUELTA DE LA INTEGRAL EPITERMICA Y DE LA INTEGRAL DE RESONANCIA

La integral epitérmica no resuelta puede definirse:

$$I'_{e'}(\text{NR}) = \int_{E_L}^{E_{\text{MAX}}} (\sigma_A(E) - g \sigma_0 \sqrt{E_0/E}) \phi_{\text{epi}}(E) dE/E \quad (5)$$

donde  $E_{\text{MAX}} = 10$  MeV para nuestros cálculos y si el espectro es  $1/E$  tenemos la integral de resonancia no resuelta:

$$I'(\text{NR}) = \int_{E_L}^{E_{\text{MAX}}} (\sigma_A(E) - g \sigma_0 \sqrt{E_0/E}) dE/E \quad (6)$$

Esta parte del cálculo tiene en cuenta la contribución a la integral epitérmica o de resonancia de las absorciones neutrónicas en la región no resuelta de alta energía.

En la mayor parte de los trabajos anteriores cuando los parámetros de resonancia a baja energía se conocían con exactitud, se ha supuesto despreciable la contribución de la parte no resuelta en comparación con las absorciones en la zona resuelta [ 4 ] o se ha calculado usando la aproximación  $\underline{s}$  [ 5, 6 ]. En algunos estudios de las capturas neutrónicas en la región no resuelta en un espectro de un reactor rápido se ha usado la aproximación  $\underline{s}$  y  $\underline{p}$  [ 8 ].

Sin embargo si la integral epitérmica no resuelta se estima desde unos pocos keV ( $E_{\text{MAX}} \gtrsim$  keV) la aproximación  $\underline{s}$  o  $\underline{s}$  más  $\underline{p}$  puede subestimar seriamente las capturas neutrónicas a alta energía en el espectro de un reactor.

En la tabla III se muestra la integral epitérmica no resuelta estimada para el  $^{74}\text{Ge}$ ,  $^{100}\text{Mo}$  y varios isótopos del zirconio y del neodimio, usando la sección eficaz de captura obtenida por ajuste semiempírico del modelo estadístico [ 10 ]. Se puede ver que la aproximación  $\underline{s}$  puede subestimar seriamente la integral epitérmica o de resonancia no resueltas.

Las aproximaciones  $\underline{s}$  o  $\underline{s}$  más  $\underline{p}$  no sólo subestiman las capturas a altas energías sino que al describir incorrectamente la forma de la distribución de absorciones en función de la energía pueden enmascarar el efecto del apartamiento de  $1/E$  del espectro a altas energías.

Para algunos isótopos esto afecta no sólo el cálculo de la integral epitérmica que permite una comparación significativa con los datos experimentales, sino también el cálculo del factor de corrección espectral necesario para obtener la integral de resonancia a partir de los datos experimentales.

En la tabla IV mostramos ejemplos de isótopos en que la contribución de la absorción neutrónica a energías del orden de los MeV es significativa para el espectro de nuestro reactor [ 7, 12 ]. En reactores de agua pesada y/o grafito como moderador esta fracción puede ser significativamente menor.

Por lo tanto a fin de estimar correctamente (dentro de un 50%) las capturas o absorciones neutrónicas en la parte no resuelta debemos usar secciones eficaces de captura o absorción experimentales o en su defecto secciones eficaces calculadas con un modelo estadístico semiempírico. Estas secciones eficaces deben ser integradas numéricamente en el espectro

TABLA III. CALCULO DE LA INTEGRAL DE RESONANCIA Y DE LA INTEGRAL EPITERMICA NO RESUELITAS DE VARIOS ISOTOPOS

Isótopo	$E_L$ (keV)	$S_\gamma$ ( $\times 10^{-3}$ )	$I'(\text{NR})$		$I'_e(\text{NR})$ <sup>a</sup>
			Aproximación <u>s</u> (barn)	Modelo estadístico semiempírico (barn)	
$^{74}\text{Ge}$	60	0,0471	0,0032	0,058	0,161
$^{90}\text{Zr}$	70	0,0160	0,0009	0,041	0,151
$^{91}\text{Zr}$	10	0,3672	0,1502	0,296	0,587
$^{92}\text{Zr}$	50	0,0396	0,0032	0,070	0,203
$^{94}\text{Zr}$	40	0,0326	0,0033	0,065	0,161
$^{96}\text{Zr}$	60	0,0291	0,0020	0,054	0,148
$^{100}\text{Mo}$	2	0,0865	0,1769	0,650	0,942
$^{146}\text{Nd}$	7	0,181	0,106	0,640	1,16
$^{148}\text{Nd}$	9	0,231	0,105	0,560	1,03
$^{150}\text{Nd}$	4	0,672	0,687	1,21	1,91

<sup>a</sup> Espectro de nuestro reactor (20% uranio enriquecido y agua liviana) [7, 12], calculado con 54 grupos.

TABLA IV. CONTRIBUCION DE LA ABSORCION NEUTRONICA A ALTA ENERGIA<sup>a</sup> A LA INTEGRAL EPITERMICA

Elemento	$\Delta^a$ (barn)	$I'_e$ (barn)	$(\Delta/I'_e) \times 100$
Ni	0,859 <sup>b</sup> (0,798+0,061)	1	86
<sup>64</sup> Zn	0,350	0,96	36
<sup>74</sup> Ge	0,108	0,681	16
<sup>94</sup> Zr	0,123	0,417	30
<sup>80</sup> Se	0,088	1,62	5
<sup>100</sup> Mo	0,222	4,20	5
<sup>146</sup> Nd	0,47	2,58	18
<sup>148</sup> Nd	0,48	11,7	4

<sup>a</sup>  $\Delta = \int_{200 \text{ keV}}^{10 \text{ MeV}} (\sigma_A(E) - g \sigma_0 \sqrt{E_0/E}) \phi_{\text{epi}}(E) dE/E$  (flujo rápido de nuestro reactor (20% uranio enriquecido y agua liviana) [7, 12], calculado con 54 grupos).

<sup>b</sup> Captura (n, p) = 0,798 b, más captura (n,  $\gamma$ ) = 0,061 b.

del reactor calculado a multigrupos. El espectro calculado puede verificarse en algunas regiones de energía importantes mediante detectores de umbral y de resonancia.

Aparece el problema de cuánta exactitud podemos asignar a las secciones eficaces calculadas con el modelo estadístico semiempírico.

Como ha observado Benzi [9] las secciones eficaces de captura calculadas con el modelo estadístico son poco sensibles a las funciones de fuerza neutrónica supuesta pero son fuertemente dependientes de la «función de fuerza radiativa».

Por otro lado es de destacar que para muchos isótopos la sección eficaz de captura o activación a altas energías se conoce solamente en algunos puntos (por ejemplo a 25 keV y a 1 MeV) y a veces se presentan discrepancias notables entre los resultados de distintos laboratorios y por lo tanto los cálculos semiempíricos ajustados con estos datos pueden tener la misma incertidumbre.

Por estas razones es necesario evaluar las secciones eficaces experimentales disponibles en la región de energía mayor de 10 keV e igualmente el ancho radiativo y el espaciamiento promedio a bajas energías obtenidos por mediciones de tiempo de vuelo.

Si las secciones eficaces y el valor de la función de fuerza radiativa concuerdan razonablemente bien con los valores obtenidos o supuestos por el cálculo con el modelo estadístico, se podrán utilizar en forma confiable para la estimación de la integral epitérmica y de resonancia no resuelta. Ejemplos de este tipo de estudio pueden encontrarse en nuestros trabajos anteriores [3, 11].

Finalmente, las consideraciones anteriores se resumen en la figura 1, donde se muestra esquemáticamente el trabajo de evaluación y cálculo necesario para que la comparación con los datos experimentales tenga sentido.

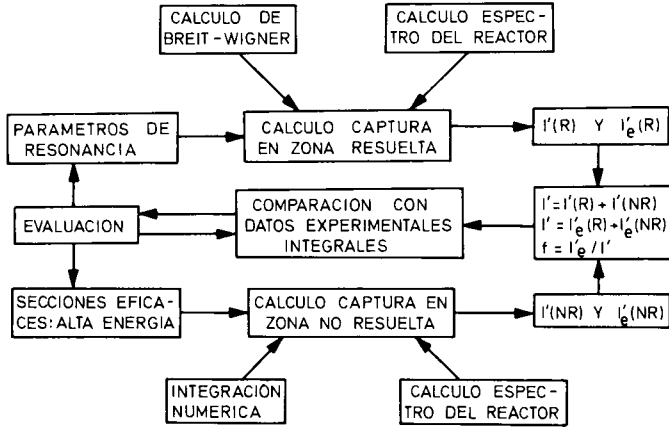


FIG.1. Diagrama de cálculo de la integral epitérmica.

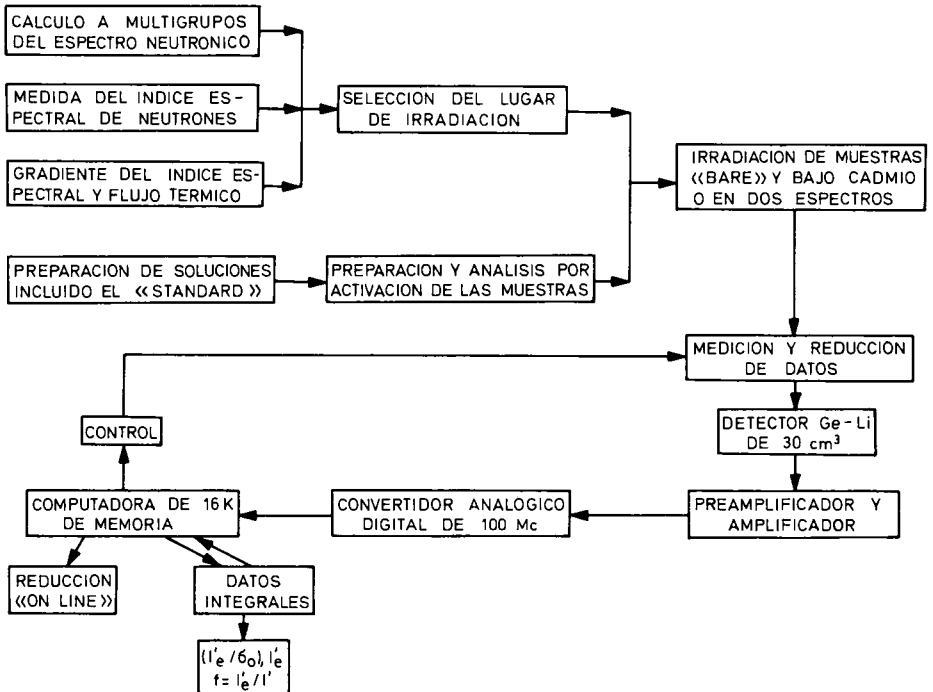


FIG.2. Esquema del sistema experimental usado para determinar la integral epitérmica.

Además, en la figura 2 se muestra el sistema experimental seguido por nosotros en la determinación de la integral de resonancia e integral epitérmica y el procedimiento de evaluación y cálculo aplicado para obtener la integral de resonancia experimental. Los detalles experimentales se han descrito en trabajos anteriores [ 7, 2].

Para comparar los resultados experimentales obtenidos en distintos reactores es por lo tanto importante disponer de una adecuada descripción del espectro neutrónico y del índice espectral de neutrones. Sin embargo, excepto para unos pocos isótopos, estos datos no son descriptos en la mayoría de los experimentos.

## USO DE LOS DATOS INTEGRALES EPITERMICOS EN LA EVALUACION DE LOS PARAMETROS DE RESONANCIA

En esta parte nos limitaremos a dar algunos ejemplos tomados en su mayoría de nuestros trabajos en este tema, que demuestran cómo los datos de experiencias integrales pueden ser útiles en la evaluación.

### 1) Isótopos del zirconio

El  $^{94}\text{Zr}$  y el  $^{96}\text{Zr}$  son de interés en física de reactores. Ambos isótopos tienen primera prioridad en Renda 1972; desde el punto de vista de la física nuclear son también interesantes por estar en la región de masa de máxima función fuerza  $p$  y mínima función fuerza  $s$ . La integral de resonancia medida por nosotros mostró que las capturas  $p$  son casi el 100% del total [ 12]. En particular la resonancia de 302 eV es una resonancia  $p$  100 veces más intensa de los esperados por la sistemática nuclear [ 13].

Este resultado no se había previsto ni teóricamente ni de las medidas diferenciales y arroja una sombra de duda en la asignación  $s$  o  $p$  de resonancias de isótopos par del zirconio, basadas solamente en la comparación de los anchos neutrónicos con los previstos por la sistemática nuclear [14].

### 2) Ejemplo de isótopos con espaciamentos de resonancia del orden de los keV

Las medidas de la integral de resonancia de activación muestran consistentemente que existe una seria discrepancia entre los valores experimentales y los calculados con la formulación de Breit-Wigner. La misma discrepancia se observa en la integral de resonancia epitérmica de absorción determinada con técnicas de oscilación en el espectro de un reactor (tabla II).

Debido a que para el  $^{74}\text{Ge}$  se dispone de parámetros de resonancia neutrónica obtenidos por técnicas de tiempo de vuelo de transmisión y captura en muestras enriquecidas [ 15] y también de medidas de activación de baja resolución entre 10 keV y 2 MeV [ 16, 17], hemos podido calcular datos integrales de captura en la región de energía mayor que 10 keV por diferentes procedimientos y compararlos [ 3].

Nosotros llegamos a dos resultados: 1) Una estimación correcta de la integral epitérmica no resuelta debe tener en cuenta que la distribución de secciones eficaces a alta energía no puede ser representada por la aproximación  $s$ , en particular, si el espaciamento promedio de las resonancias es del orden de los keV. 2) El cálculo de la integral epitérmica y de la

integral de resonancia en la zona entre 10 keV y 60 keV a partir de secciones eficaces de activación con baja resolución ( $\Delta E \cong 10$  keV) da resultados que concuerdan con la integral epitérmica de activación y discrepan con los obtenidos con los parámetros de resonancia neutrónica que aparentemente subestiman en esta zona las capturas neutrónicas.

### 3) Ejemplo de los isótopos del neodimio

Los parámetros de resonancia del  $^{146}\text{Nd}$ ,  $^{148}\text{Nd}$  y  $^{150}\text{Nd}$  son de interés en la física del quemado [18] y han sido investigados por cuatro experiencias de tiempo de vuelo [19-22].

A pesar de este esfuerzo hay todavía una considerable incertidumbre en los valores del ancho radiativo del  $^{148}\text{Nd}$  y del  $^{150}\text{Nd}$  presentándose diferencias del doble o más entre los resultados para las resonancias más importantes de estos isótopos.

Nosotros realizamos una medida de la integral epitérmica y de resonancia del  $^{146}\text{Nd}$ ,  $^{148}\text{Nd}$  y  $^{150}\text{Nd}$  con un espectrómetro gamma de alta resolución, lo que es especialmente importante para estos isótopos debido al complejo espectro gamma obtenido por activación con neutrones en una muestra de neodimio. Además se realizó un cálculo y evaluación detallados de acuerdo a los procedimientos descritos en la figura 1 [11].

Hemos llegado a la conclusión de que el valor de la integral de resonancia del  $^{148}\text{Nd}$  es aproximadamente la mitad del recomendado anteriormente y en consecuencia el ancho radiativo es también la mitad del valor previamente aceptado.

Por otro lado se obtuvo un buen acuerdo entre los valores experimentales y calculados del  $^{146}\text{Nd}$  y del  $^{150}\text{Nd}$ . Cabe señalar que la magnitud  $\Gamma_n \Gamma_\gamma / \Gamma^*$  de las principales resonancias del  $^{146}\text{Nd}$  y  $^{150}\text{Nd}$  presenta un buen acuerdo entre distintas determinaciones de tiempo de vuelo.

## ALGUNAS OBSERVACIONES SOBRE LA UTILIZACION DE LAS INTEGRALES EPITERMICAS Y DE RESONANCIA EN EL ANALISIS POR ACTIVACION

Existe actualmente una extensa información sobre parámetros de resonancia neutrónica para calcular la integral epitérmica de muchos isótopos (CINDA 72). Un procedimiento para hacerlo está descrito en la figura 1.

Una pregunta que cabe hacerse es si la gran cantidad de información disponible es utilizada en análisis por activación y si esta información está presentada de manera significativa y utilizable para fines prácticos.

Si esta información estuviera disponible permitiría realizar un análisis semicuantitativo usando muestras cubiertas con diferentes filtros neutrónicos.

Esto sumado a una adecuada descripción del espectro de neutrones en la facilidad de irradiación evitaría la innecesaria determinación de secciones eficaces efectivas para cada campo neutrónico particular.

La combinación de estos procedimientos con un análisis del espectro gamma con un espectrómetro de alta resolución trabajando «on line» con una computadora daría la posibilidad del análisis simultáneo de muchos isótopos en términos semicuantitativos.

La posibilidad de usar diferentes filtros como Rh or B con energía de corte elevada es también muy atractiva para el análisis por activación.

Particularmente el uso de filtros gruesos de boro enriquecido ( $500 \text{ mg/cm}^2$ ) daría la posibilidad de medir en la región de alta energía del espectro de un reactor, donde las diferentes activaciones serían aproximadamente proporcionales a la función fuerza radiativa, minimizando el efecto de actividades de contaminación con resonancias intensas de baja energía, que producen una fuerte actividad que dificulta la determinación de isótopos con resonancias de captura débiles.

Los parámetros de resonancias evaluados y secciones eficaces de captura a alta energía podrían usarse para calcular la integral epitérmica y estos datos podrían ser descriptos en tablas de fácil uso para análisis por activación.

Las tablas de que se dispone para análisis por activación son incompletas y no siempre basadas en una adecuada evaluación; además, en general constan los datos experimentales de la integral de resonancia y no usan la información que puede obtenerse de los parámetros de resonancia neutrónica. Aunque existen algunas tablas que siguen las líneas sugeridas [6], no se extienden a todos los isótopos de interés en el análisis por activación.

## CONCLUSIONES

Debemos señalar finalmente que un cálculo y evaluación de las absorciones y capturas neutrónicas en función de la energía debe ser hecha en la zona resuelta y no resuelta, si se desea comparar los datos calculados con los datos experimentales de la integral epitérmica obtenida en el espectro de un reactor.

Los parámetros de resonancia deben ser evaluados para calcular la parte resuelta de la integral de resonancia y la integral de resonancia en la región de alta energía del espectro del reactor debe ser estimada usando las secciones eficaces de captura experimentales o calculadas con el modelo estadístico semiempírico.

Una comparación de datos calculados con los experimentos puede resolver discrepancias en los parámetros neutrónicos obtenidos en las mediciones de tiempo de vuelo como lo muestran algunos resultados presentados en este trabajo.

Desde el punto de vista del análisis por activación la posibilidad de usar filtros de alta energía podría extender la aplicabilidad del análisis por activación.

Sin embargo para que el análisis por activación pueda hacerse en forma semicuantitativa, se necesitaría mejorar el conocimiento de las secciones eficaces de captura radiativa para la mayoría de los isótopos.

## REFERENCIAS

- [1] HARVEY, J. A., Reactor Physics in the Resonance and Thermal Region (GOODJOHN, A. J., POMRANING, G. G., Eds) II, MIT Press, England (1966) 103.
- [2] RICABARRA, G. H., TURJANSKI, R., RICABARRA, M. D., Nuclear Data for Reactors (Actas Conf. Helsinki, 1970) II, OIEA, Viena (1970) 589.
- [3] RICABARRA, M. D., TURJANSKI, R., RICABARRA, G. H., Can. J. Phys. 50 (1972) 1978.
- [4] SCHMIDT, J. J., Neutron Cross Sections for Fast Reactors Materials. Part 1: Evaluation, KFK-120, Karlsruhe (1966).

- [5] PERSIANI, P. J., Reactors Physics Constants, P. 163, ANL-5800, Argonne (1963).
- [6] WALKER, W. H., Fission Product Data for Thermal Reactors. Part I: Cross Sections, AECL-3037, Chalk River (1969).
- [7] RICABARRA, M. D., TURJANSKI, R., RICABARRA, G. H., Can J. Phys. 46 (1968) 2473.
- [8] CONNOLLY, T. J., KRUIJF, F., An Analysis of Twenty-Four Isotopes for Use in Multiple Foil Measurements of Neutron Spectra below 10 keV, KFK-718, Karlsruhe (1968).
- [9] BENZI, V., Nuclear Data for Reactors (Actas Conf. Helsinki, 1970) II, OIEA, Viena (1970) 379.
- [10] BENZI, V., REFFO, G., Newsletter Bulletin 10, CCDN-NW/10, Neutron Data Compilation Centre, France (1969).
- [11] RICABARRA, M. D., TURJANSKI, R., RICABARRA, G. H., Measurement and Evaluation of Activation Resonance Integral of  $^{146}\text{Nd}$ ,  $^{148}\text{Nd}$  and  $^{150}\text{Nd}$  (presentado al Can. J. Phys.).
- [12] RICABARRA, M. D., TURJANSKI, R., RICABARRA, G. H., Can. J. Phys. 48 (1970) 2362.
- [13] RICABARRA, M. D., TURJANSKI, R., RICABARRA, G. H., Nucl. Sci. Eng. 48 (1972) 370.
- [14] BARTOLOME, J. R., HOCKENBURY, R. W., MOYER, W. R., TATARCZUK, J. R., BLOCK, R. C., Nucl. Sci. Eng. 37 (1969) 137.
- [15] MALETZKI, Kh., PIKELNER, L. B., SALAMATIN, I. M., SHARAPOV, E. I., Energie atomique 24 (trad. franc. rev. rusa Atomnaya Energiya) (1968) 80.
- [16] DOVBENKO, A. G., KOLESOV, V. E., KOROLEVA, V. P., TOLSTIKOV, B. A., Energie atomique 27 (1969) 41.
- [17] TOLSTIKOV, B. A., KOROLEVA, V. P., KOLESOV, V. E., DOVBENKO, A. G., Energie atomique 23 (1967) 114.
- [18] Reactor Burn-up Physics (Actas Grupo expertos, Viena, 1971), OIEA, Viena (1973).
- [19] KARZHAVINA, E. N., NGUEN NGUEN FONG, POPOV, A. B., TASKAEV, A. I., USSR State Committee on Utilization of Atomic Energy, Nuclear Data Information Centre, INDC-260 E (1969).
- [20] MIGNECO, E., THEOBALD, J. M., PERLMAN, I. J., J. Nucl. Energy 23 (1969) 369.
- [21] ALVES, R. N., DE BARROS, S., CHEVILLON, P. L., JULIEN, J., MORGENSTERN, J., SAMOUR, C., Nucl. Phys. A134 (1969) 118.
- [22] TELLIER, H., Propriétés des niveaux induits par les neutrons de résonance dans les isotopes stables du néodyme, CEA-N-1459, Saclay (1971).
- [23] RYVES, T. B., J. Nucl. Energy 24 (1970) 35.
- [24] STORY, J. S., Nuclear Data for Reactors (Actas Conf. Helsinki, 1970) II, OIEA, Viena (1970) 721.
- [25] CARRÉ, J. C., VIDAL, R., Nuclear Data for Reactors (Actas Conf. Paris, 1966) I, OIEA, Viena (1967) 479.
- [26] RICABARRA, M. D., TURJANSKI, R., RICABARRA, G. H., Can. J. Phys. 47 (1969) 19.
- [27] MOXON, M. C., Nuclear Data for Reactors (Actas Conf. Helsinki, 1970) II, OIEA, Viena, (1970) 815.

Printed by the IAEA in Austria