

# CALCULO DE LOS FACTORES DE CORRECCION PARA MEDICIONES DE FLUJOS NEUTRONICOS ISOTROPICOS CON DETECTORES ACTIVABLES TIPO HOJUELAS

Juan Avila López

*Instituto Peruano de Energía Nuclear,  
Apt. 1687, Lima 100, Perú*

*Received: July 10, 1987*

## Abstract

*Thermal and resonance neutron self-shielding factors, neutron flux distortion and edge effects as well as a correction factor, for neutron flux profile, around a foil detector have been calculated. A general expression for resonance self-shielding factor is presented in order to take into account the most important resonances for a given isotope.*

*A computer program SPRESYTER.BAS was written and results for In-115 and Au-197 foils are given.*

## Resumen

*Se han calculado los factores de autoblandaje térmico, autoblandaje de resonancia, depresión y distorsión del flujo neutrónico, efecto borde y el factor de corrección para la distribución del flujo neutrónico alrededor de una hojuela.*

*Para el factor de autoblandaje de resonancia se ha deducido una expresión general para considerar las resonancias más importantes del isótopo activable.*

*Para los cálculos se ha desarrollado el programa de cálculo SPRESYTER.BAS. Como ejemplo, se han realizado cálculos para hojuelas de In-115 y Au-197.*

## 1 Introducción

Uno de los métodos más utilizados para medir flujos neutrónicos, está basado en la medición de la actividad inducida por neutrones en hojuelas relativamente delgadas; método cuya precisión depende de la precisión de los factores de corrección utilizados. En razón de lo cual se ha desarrollado un programa de cálculo para la obtención de dichos factores, en donde se utilizan las definiciones de los autores de las referencias [1,2,3] y se consideran todas las resonancias resueltas que tienen influencia en los factores de autoblandaje.

## 2 Bases teóricas para los factores de corrección

### 2.1 Factor de autoblindaje térmico.

El factor de autoblindaje térmico, es definido como la razón del flujo neutrónico medio en el absorbedor  $\bar{\phi}$ , al flujo neutrónico en la superficie del absorbedor  $\phi_s$ , como se muestra en la fig. 1 [1].

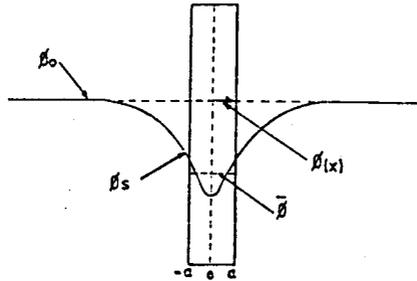


Fig. 1. Efecto que se produce en el flujo neutrónico por la presencia de un detector absorbente tipo hojuela.  $\phi_0$ , es el flujo neutrónico en la posición del absorbedor sin la presencia de éste.  $\phi_s$ , es el flujo neutrónico en la superficie del absorbedor.  $\bar{\phi}$ , es el flujo neutrónico medio en el absorbedor.

$$G_{th} = \frac{\bar{\phi}}{\phi_s} \quad (1)$$

De la definición de activación y representando el flujo neutrónico en series de los polinomios de Legendre se obtiene la expresión para el factor de autoblindaje térmico [2].

$$G_{th} = \frac{\phi_0(\mu_a \delta)}{2\mu_a \delta} \quad (2)$$

donde:

$$\mu_a = \frac{N_0}{M} \sigma_a, \text{ coeficiente de absorción de masa (cm}^2/\text{g)}.$$

$\sigma_a$ , sección eficaz microscópica de absorción térmica (cm<sup>2</sup>).

$N_0$ , número de Avogadro.

$M$ , peso atómico (u.m.a.).

$\delta$ , espesor del absorbente (cm<sup>2</sup>).

$\phi_0(\mu_a \delta)$ , probabilidad de absorción del absorbente en un campo neutrónico isotrópico.

$$\varphi_0(\mu_a \delta) = 1 - 2E_3(\mu_a \delta) \quad (3)$$

$$E_3(\mu_a \delta) = \int_0^{\infty} e^{-\mu_a \delta y} y^{-3} dy \quad (4)$$

El factor Gth, dado por la ecuación 2, es la razón de flujo neutrónico medio en el absorbente  $\bar{\phi}$ , al flujo neutrónico sin perturbar  $\phi_0$ . Para la definición  $\bar{\phi}/\phi_0$ , se hace la corrección mediante la ecuación 5.

$$\phi_s = \frac{\phi_0}{2} [1 + E_3(\mu_a \delta)] \quad (5)$$

obteniéndose:

$$G_{th} = \frac{1}{[1 + E_2(\mu_a \delta)]} \frac{\varphi_0(\mu_a \delta)}{\mu_a \delta} \quad (6)$$

## 2.2 Factor de autoblandaje de resonancia

El factor de autoblandaje de resonancia se define como la razón de absorción por unidad de espesor en una hojuela de espesor  $d$ , a la absorción por unidad de espesor de una hojuela de espesor  $t$ , que tiende a cero.

Para un disco de radio infinito en un flujo neutrónico que varía de acuerdo a la ley  $1/E$ , el factor de autoblandaje de resonancia se expresa como [3]:

$$G_{th} = \frac{1/d \iint g(y) [1 - e^{-\Sigma_a(E)y}] dy dE/E}{\lim_{t \rightarrow 0} \iint \frac{g(y)}{t} [1 - e^{-\Sigma_a(E)y}] dy dE/E} \quad (7)$$

donde:

$\Sigma_a(E)$ , es la sección eficaz macroscópica de absorción resonante ( $\text{cm}^{-1}$ ).

$g(y) = 2d^2/y^3$ , distribución de longitudes de recorrido 'y' por unidad de superficie.

Asumiendo que:

- i) El error es despreciable por no considerar la variación del flujo neutrónico dentro del ancho de la resonancia ( $\Gamma$ ).
- ii) El flujo neutrónico es isotrópico.
- iii) La sección eficaz de absorción resonante es descrita por la fórmula de Breit-Wigner [5].

e integrando la ecuación 7, sobre todas las resonancias se obtiene [6].

$$G_r = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\Gamma_i}{E_{ri}} \int_0^{\Sigma_{oi}d} f(Z) dZ}{\sum_{i=1}^n \frac{\Gamma_i}{E_{ri}} d \Sigma_{oi}} \quad (8)$$

donde:

$\Sigma_{oi}$ , es la sección eficaz macroscópica a la energía de resonancia.  
 $E_{ri}$ , energía de resonancia (e.v).

$$f(Z) = (1/2 - E_3(Z)) \frac{d \Sigma_{oi}}{Z^2 \sqrt{\Sigma_{oi}/Z - 1}} \quad (9)$$

### 2.3 Depresiones de flujo neutrónico

2.3.1 Depresión de flujo neutrónico.— La depresión del flujo neutrónico se define como la razón del flujo neutrónico en la superficie del absorbente  $\phi_s$ , al flujo neutrónico sin perturbar  $\phi_o$ .

$$H = \frac{\phi_s}{\phi_o} \quad (10)$$

Ritchie y Eldridge, han obtenido una expresión para la depresión del flujo neutrónico [4].

$$H = \frac{1}{\{1 + [1/2 - E_3(\mu_a \delta)] g(\gamma, X)\}} \quad (11)$$

donde:

$g(\gamma, X)$ , depende del medio y la geometría del absorbente.

$$g(\gamma, X) = \frac{3}{2} (L/\lambda_{tot}) S(2R/L) - K(2R/\lambda_s, \gamma) \quad (12)$$

$$S(X) = 1 - 2 \int_0^1 (1-t^2)^{1/2} e^{-Xt} dt \quad (13)$$

$$X = 2R/L, \quad \gamma = \lambda_{tot}/\lambda_s \quad (14)$$

R , radio de la hojuela (cm).

L , longitud de difusión (cm).

$\lambda_s, \lambda_{tot}$ , recorrido libre medio de difusión y total respectivamente.

2.3.2 Distorsión del flujo neutrónico.— La distorsión del flujo se define como la razón del flujo neutrónico medio en el absorbente  $\bar{\phi}$ , al flujo neutrónico sin distorsión  $\phi_0$ .

$$H_c = \frac{\bar{\phi}}{\phi_0} \quad (15)$$

Tomando en cuenta la ecuación 6 y 11 y la definición de activación  $C = \mu_{ac} \delta \bar{\phi}$  se obtiene:

$$H_c = \frac{G_{th}}{1 + [1/2 - E_3(\mu_a \delta)] g(\gamma, 2R/L)} \quad (16)$$

2.3.3 Factor de corrección para la distribución del flujo neutrónico alrededor de una hojuela.— La distribución del flujo neutrónico alrededor de una hojuela es alterada por la presencia de ésta en el campo neutrónico. El factor para hacer la presente corrección se define como,

$$H(Z) = \frac{\phi(Z)}{\phi_0} \quad (17)$$

Vigon y Wirtz, utilizando la teoría de difusión han deducido una expresión para este factor de corrección [4].

$$H(Z) = \left\{ 1 - \frac{\left(\frac{L}{\lambda+R}\right) f(X) [e^{-Z/L} - e^{-(R^2 + Z^2)/L}]}{1 + \left(\frac{L}{\lambda+R}\right) f(X) [1 - e^{-R/L}]} \right\} \quad (18)$$

para,  $Z > \lambda_s$

$$H(Z) = \frac{1 + E_2(X) + \beta [1 - E_2(X/\beta)]}{2 + \left(\frac{L}{\lambda+R}\right) \phi_0(X)}, \text{ para } Z < \lambda_s \quad (19)$$

donde:

$$\beta = \frac{Z^2}{R^2 + Z^2} \quad (20)$$

$$f(X) = \frac{1/2 - E_3(X)}{1/3 + E_4(X)} \quad (21)$$

$$X = \mu_a \delta$$

Z, distancia a partir de la hojuela a un punto Z.

### 3 Programa de cálculo

El programa de cálculo SPRESYTER.BAS, es de fácil utilización puesto que está estructurado para ser procesado en forma conversacional con el usuario [6].

El conjunto de subrutinas que constituyen el programa, están enlazadas por el programa principal, el cual contiene los mensajes de las opciones de cálculo que permiten al usuario decidir el tipo de factores que desea calcular e introducir los datos de entrada correspondientes a la opción que desea.

Para el cálculo del factor de autoblandaje de resonancia, Gr, se ha construido una subrutina que utiliza el método de solución de Simpson en forma iterativa, reduciendo a la mitad la magnitud de los intervalos para el cálculo de las áreas sucesivas de convergencia; terminando el proceso de cálculo cuando la diferencia de las áreas sucesivas calculadas es menor que  $10^{-6}$ .

Las secciones eficaces microscópicas de resonancia utilizadas para el cálculo del mencionado factor son calculadas en base a los parámetros resonantes de la fórmula de Breit-Wigner, lo que mejora el resultado.

Para el cálculo del factor Gr, es recomendable procesar el programa en una computadora de alta velocidad para ahorrar tiempo de cálculo, dado que el criterio de la convergencia es lento por la alta precisión que se utiliza. En cambio para el cálculo de los demás factores este requisito no es necesario porque la convergencia es rápida y el programa puede ser procesado en una microcomputadora tal como la DEC-350.

La ilustración de la estructura del programa de cálculo se muestra en el diagrama de flujo, que se muestra en la fig. 2.

Como ejemplo de una entrada de datos; se muestra los datos que se requieren para el cálculo del factor de autoblandaje de resonancia los cuales son:

- Nombre del isótopo.
- Número de masa (g.).
- Sección eficaz microscópica térmica (b.).
- Ancho gamma gamma ( $\Gamma\gamma$ ).
- Ancho gamma neutrón ( $\Gamma n$ ).
- Factor estadístico.

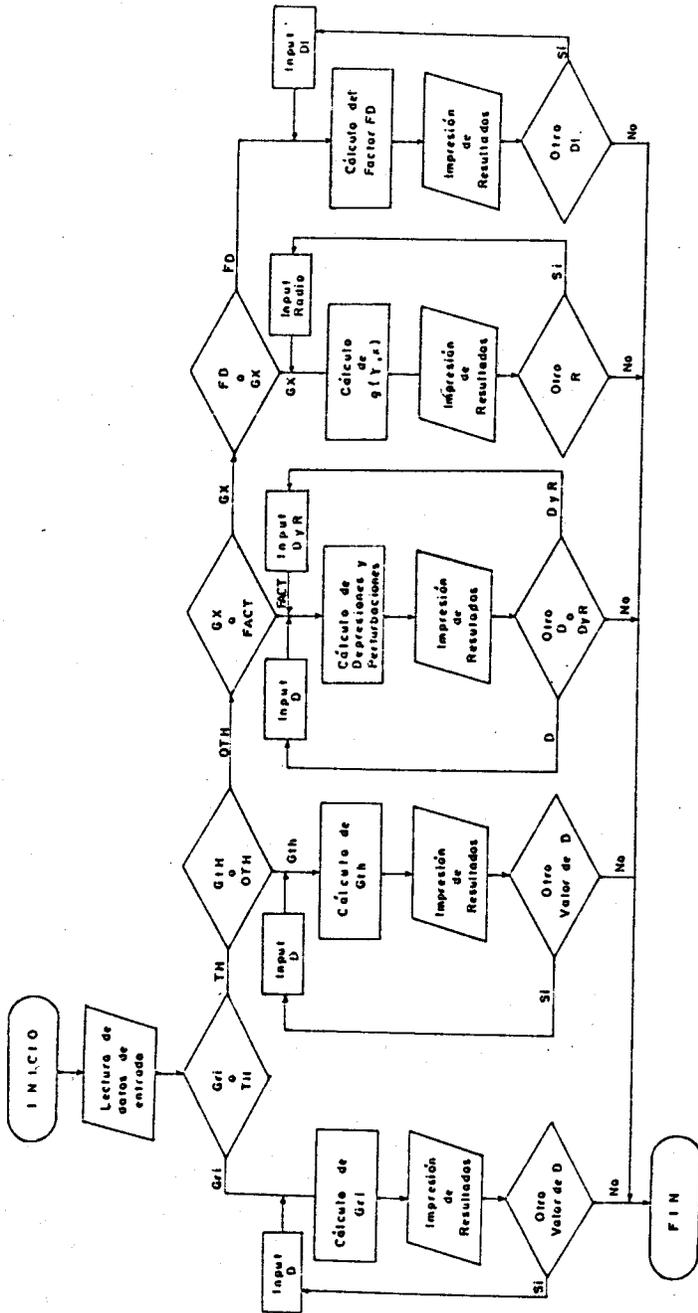


Fig. 2. Diagrama de flujo del programa de cálculo SPRESYTER.BAS para los factores de corrección de mediciones de flujos neutrónicos.

- Energía de resonancia (e.v.).
- Abundancia isotópica.
- Densidad ( $\text{g./cm}^3$ ).
- Densidad superficial ( $\text{mg./cm}^2$ ).

Los símbolos que se utilizan en el diagrama de flujo, Fig. 2 tienen el significado siguiente:

- Gri : Opción de cálculo para el factor de autoblandaje de resonancia.
- TH : Opción de cálculo para el factor de autoblandaje térmico y perturbaciones.
- Gth : Opción de cálculo para el factor de autoblandaje térmico.
- OTH : Opción de cálculo para las perturbaciones y factor de distribución del flujo alrededor de una hojuela.
- FACT : Opción de cálculo de las depresiones y distorsiones del flujo neutrónico.
- GX : Opción de cálculo para el factor  $g(\gamma, x)$  para la distribución del flujo neutrónico alrededor de una hojuela.
- FD : Opción de cálculo para el factor que corrige la distribución del flujo alrededor de una hojuela en función de la distancia.
- D : Densidad superficial ( $\text{mg./cm}^2$ ).
- DI : Distancia de la hojuela a un punto z, de la hojuela (cm).
- R : Radio de la hojuela (cm).

## 4 Resultados

En la figura 3 se muestran los factores de autoblandaje térmico y de resonancia para hojuelas de indio ( $\text{In115}$ ) y oro ( $\text{Au-197}$ ), para el factor de autoblandaje térmico se ha considerado el flujo neutrónico medio dentro de la hojuela y el flujo neutrónico en la superficie de ésta.

El factor de resonancia ha sido calculado considerando las resonancias resueltas más importantes, las cuales se han determinado calculando Gr, para cada una de las resonancias; obteniéndose que para el indio las resonancias que deben tenerse en cuenta son las correspondientes a las energías de 1.456, 3.86 y 8.12 e.v. y para el oro son, 4.906, 60.25, 70.8, 107, 151.3 e.v.

El factor de depresión de flujo H, se ha calculado considerando el flujo neutrónico en la superficie de la hojuela y el flujo neutrónico sin perturbar, este factor corrige el flujo neutrónico que se mide, al flujo sin perturbar dado que la magnitud del flujo que activa el isótopo que constituye la hojuela es el flujo que incide sobre la superficie de dicha hojuela, los resultados se muestran en la figura 4.

El factor de distorsión del flujo Hc, se ha calculado considerando el flujo neutrónico medio dentro de la hojuela y el flujo sin perturbar, es el factor que generalmente se utiliza como autoblandaje térmico, es cuantitativamente igual al producto de los valores de Gth y H, el resultado de este factor en función de la densidad superficial se muestra en la figura 5.

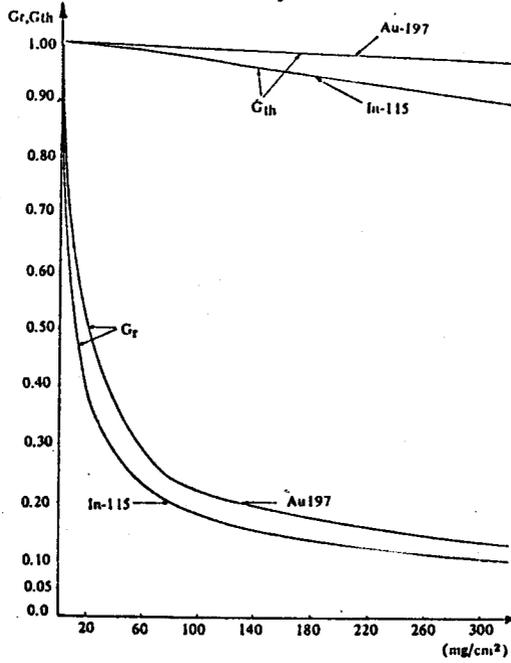


Fig. 3. Factores de autoblindaje Térmico ( $G_{th}$ ) y de Resonancia ( $G_r$ ) para los isótopos activables tipo hojuelas de In-115 y Au-197, calculados en función de la densidad superficial ( $mg/cm^2$ ).

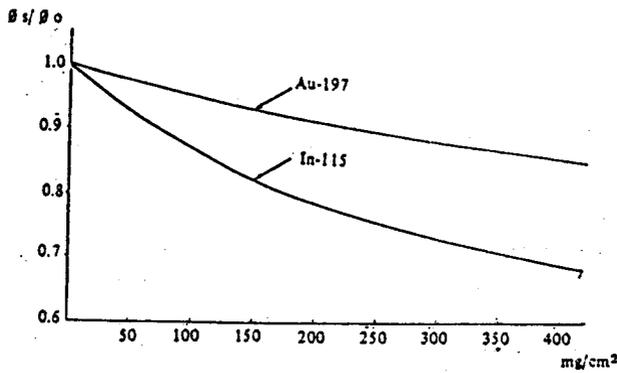


Fig. 4. Factores de depresión de flujo neutrónico ( $B_s/B_0$ ) en función de la densidad superficial ( $mg/cm^2$ ) para hojuelas de In-115 y Au-197.

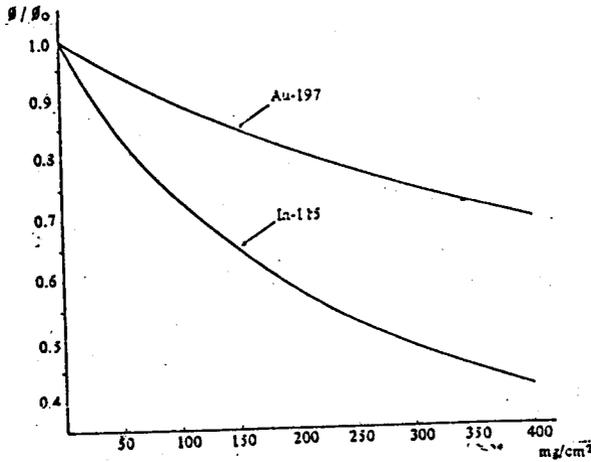


Fig. 5. Factores de distorsión del flujo neutrónico ( $\theta/\theta_0$ ) en función de la densidad superficial ( $\text{mg/cm}^2$ ) para hojuelas de In-115 y Au-197.

El factor para la corrección de la distribución del flujo neutrónico alrededor de una hojuela de indio y oro se muestra en la figura 6; este factor es muy importante cuando se irradia hojuelas distribuidas espacialmente en el reactor, puesto que permite espaciar adecuadamente éstas y evitar efectos de perturbación entre ellas.

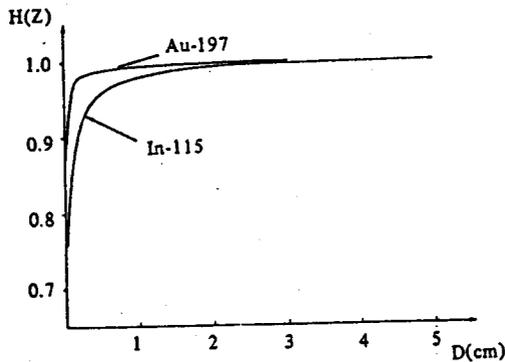


Fig. 6. Factor de depresión para el flujo neutrónico en las proximidades de hojuelas de In-115 y Au-197 de 10 mg. y 30 mg. respectivamente y de 0.5 cm de radio.

## 5 Conclusiones

Los resultados obtenidos en el presente trabajo guardan buena concordancia con los resultados teóricos experimentales obtenidos por: John S. Martínez [1]; D.K. Trubey, T.V. Blosser, G.M. Estabook [2].

El programa de cálculo permite obtener los factores de corrección para cualquier isótopo activable tipo hojuela, con la sola modificación de los datos de entrada [6].

Se ha estructurado un programa de cálculo que permite obtener los factores fundamentales para la medición de flujos neutrónicos mediante la técnica de activación con isótopos activables tipo hojuelas, para reactores térmicos de muy baja potencia como el reactor de potencia cero (RPO) del IPEN.

Para reactores de potencia más elevada, las secciones eficaces deben ser corregidas por el efecto de la temperatura, lo cual involucra hacer correcciones por efecto doppler.

## 5 Referencias

- [1] John S. Martínez "Neutron Self-Shielding in One-Dimensional Absorbers". Ph. D. Thesis, University of California, Lawrence Radiation Laboratory, September, 1961.
- [2] K. R. Beckurts and Wirtz "Neutron Physics" Oak Ridge National Laboratory 1964, capítulo 11.
- [3] D. K. Trubey T. V. Blosser and G. M. Estabrook, "Corrections Factors for Foil Activation Measurements of Neutron Flux in Water and Graphite". AEC, Research and Development Report, ORNL-2842, 204-215, Oak Ridge Tenn. 1959.
- [4] Argonne National Laboratory, Lemont Illinois, "Reactor Physics Constants", ANL-5800, 1958, Sec. 8.1 pág. 485,
- [5] Technical Reports Series No. 107, "Neutron Fluence Measurements" IAEA, Vienna, 1970 Sec. III.2 pág. 54.
- [6] J. Avila López "Factores de Corrección Para Mediciones de Activación con Hojuelas en Flujos Neutrónicos Isotrópicos" Report Interno RPO-No. 51-85, IPEN, Lima, 1985.

Cálculo de los factores de corrección para mediciones de flujos  
neutrónicos isotrópicos con detectores activables tipo hojuelas por  
Juan Avila se distribuye bajo una Licencia Creative Commons  
Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.