

19-97

CU97004-



CU9700459

C I E N - R

DETERMINACION DE LOS PARAMETROS F Y ALPHA EN EL MULTIPLICADOR NEUTRONICO CS-ISCTN

DETERMINATION THE F AND ALPHA PARAMETERS IN THE NEUTRON MULTIPLIER CS-ISCTN

Hernandez, O.; Ixquiac, M.; Contreras, R.

Herrera, E.F.; Diaz, O.; Lopez, R.; Alvarez, P.; Manso, M.V.

Padron, G

D'Alessandro, K.

*

**

* Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala City. Guatemala

** Instituto Superior de Ciencias y Tecnologias Nucleares, La Habana. Cuba

*** Instituto Superior Politecnico, Pinar del Rio. Cuba

**** Centro de Isotopos, Habana. Cuba

La Habana, Cuba

1997

VOL 28 No 16

**DETERMINACION DE LOS PARAMETROS k Y α EN EL
MULTIPLICADOR NEUTRONICO CS-ISCTN.**

**O. HERNANDEZ¹, E. F. HERRERA, M. IXQUIAC¹, R. CONTRERAS¹, G. PADRON², O.
DÍAZ, R. LOPEZ, , K. D'ALESSANDRO³, I. ALVAREZ P.
M.V. MANSO**

Instituto Superior de Ciencias y Tecnología Nucleares
Ave. Salvador Allende eq. Luaces, Habana, Cuba

¹Universidad de San Carlos, Ciudad de Guatemala

²Instituto Superior Politécnico de P. del Rio

³Centro de Isótopos
Autopista nacional, km 31/2 . Pedro Pi, Habana Cuba

1997

Subject Categories E3600

Key-Words: Neutron Activation Analysis: Q1, Subcritical Assemblies M1,
Standardization, Neutron Flux, Gamma Spectroscopy, Sources, Design

DETERMINACION DE LOS PARAMETROS β Y α EN EL MULTIPLICADOR NEUTRONICO CS-ISCTN.

O. HERNANDEZ¹, E. F. HERRERA, M. IXQUIAC¹, R. CONTRERAS¹, G. PADRON², O. DÍAZ, R. LOPEZ, K. D'ALESSANDRO³, I. ALVAREZ P. M.V. MANSO

Instituto Superior de Ciencias y Tecnología Nucleares
Ave. Salvador Allende eq. Luaces, Habana, Cuba

¹Universidad de San Carlos, Ciudad de Guatemala

²Instituto Superior Politécnico de P. del Río

³Centro de Isótopos
Autopista nacional, km 31/2. Pedro Pi, Habana Cuba

RESUMEN

En el presente trabajo se determinan los valores de los parámetros β y α en la posición de irradiación del multiplicador neutrónico CS-ISCTN con el objetivo de comprobar si se pueden aplicar los métodos de análisis por activación neutrónica paramétricos. También se comparan las convenciones más usadas en la actualidad para el cálculo de la velocidad de reacción: Høgdahl, Stoughton-Halpering Modificada y Westcott Modificada, ésta última se presenta con algunas variaciones nuevas. La comparación se combina con los métodos de Relación Cádmica de Multimonitores, Multimonitores con Envoltura de Cadmio y un nuevo método para reducir el error en la determinación del parámetro α denominado Método de la Diferencia Mínima. Este último presenta mejores resultados, acordes con la dureza epitérmica del CS-ISCTN.

ABSTRACT

The values of the β and α parameters are determined in the irradiation position of the neutron multiplier CS-ISCT, with the aim to show the possibility to applied the parametric neutron activation analysis. The more used conventions to calculate the reaction rate: Høgdahl, Modified Stoughton-Halpering and Modified Westcott, the last is presents with some new variations. This comparison is combined with R-Cd multimonitors method, Cd-Cover Multimonitor Methods and a new method introduced in the present paper to reduce the errors in the α parameter determination named Minimal Difference Method. This last method show better results, according to the epithermal hardness of the CS-ISCT.

INTRODUCCION

Para aplicar el análisis por activación neutrónica paramétrico (AANP) es necesario tener caracterizado físicamente el dispositivo, con el cual se realizará la irradiación de las muestras. Esta caracterización consiste en la determinación de los parámetros que relacionan la densidad de flujos neutrónicos térmicos con los epitérmicos (β) y el parámetro de forma espectral de la densidad neutrónica epitérmica (α), ya que sin el conocimiento exacto de estas magnitudes es imposible eliminar la dependencia de los datos nucleares de las características de cada sistema de irradiación neutrónica.

En este trabajo se lleva a cabo la determinación de los parámetros descritos en el sistema de multiplicación neutrónica subcrítica del Instituto de Ciencias y Tecnología Nucleares planteándose las siguientes hipótesis

I - Todo sistema de irradiación neutrónica (fuentes radioisotópicas o conjuntos multiplicativos) tienen valores de α que oscilan para cada instalación en dependencia de la dureza del espectro epitérmico. Se ha demostrado experimental y teóricamente por varios autores [1 - 3] que los valores de α cumplen con el siguiente acotamiento:

$$|\alpha| < 0.2$$

El CS-ISCTN es un conjunto subcrítico con una densidad de neutrones debida fundamentalmente a la existencia de seis fuentes radioisotópicas ubicadas alrededor de la posición de irradiación, por lo que debe esperarse un endurecimiento del campo neutrónico en la misma, o sea un valor de α cercano a - 0.2.

II - Para la determinación de α se usan en la actualidad varios métodos. Un resumen de estos fue publicado por De Corte en 1981 [4] y rectificado en 1987 [5] por el mismo autor, donde presenta un análisis exhaustivo en la determinación de los errores de α . Si embargo, en estos métodos se exige que los fotopicos de los monitores sean colectados con una estadística por debajo del 1 % de error, para poder obtener un resultado "bastante" preciso de α . De todas maneras, para valores de α cercanos a cero la imprecisión puede pasar del 100 % e incluso indeterminarse para $\alpha = 0$. En estos métodos, el error de f está condicionado al error de α . Sin embargo, se propone en este trabajo que debido a que la relación cádmica es una magnitud que puede determinarse fácilmente con suficiente exactitud, el error de α debe condicionarse al error obtenido en f proponiéndose el método de la **Diferencia Mínima** entre los valores de f de N monitores.

III - La determinación de f y α también depende del tipo de convención que se use en la determinación de la velocidad de reacción por núcleo del blanco. En el presente trabajo se comparan los resultados de f y α obtenidos por medio de las convenciones de Høgdahl [6], Westcott Modificada en el presente trabajo a partir de [7-10] y Stoughton-Halpering Modificada [10-12]. Deben esperarse resultados más aceptables desde el punto de vista físico entre los valores de f y α al usarse las dos últimas convenciones mencionadas.

MATERIALES Y METODOS

Para la determinación de los parámetros f y α se usaron monitores de indio, oro, cobalto tantalio, y circonio, por considerarse que todos cumplen con la ley $1/v$ de la sección de captura térmica. Todos fueron colocados en un contenedor de polietileno con y sin envoltura de cadmio. Este contenedor fue introducido en el canal central de irradiación que está rodeado por 164 elementos combustibles (ELCOS) constituido por 1.2 Tm de uranio natural. Alrededor de la posición de irradiación fueron colocadas seis fuentes, cuatro de Pu-Be y dos de Am-B, con una intensidad total de $(6.3 \pm 0.6) \times 10^7$ n s^{-1} . Esa intensidad, más la multiplicación por fisión en el ^{238}U producen una densidad neutrónica en la posición de irradiación de $(3.2 \pm 0.5) \times 10^4$ n $cm^{-2} s^{-1}$. Una descripción detallada de la irradiación de los monitores en el CS-ISCTN, así como las características del sistema de detección de la radiación gamma de HPGe se presenta en [13 - 15].

Métodos de determinación de f y α para las tres convenciones comparadas:

Los métodos para la determinación de f se dividen en dos, en dependencia del uso o no de la relación cádmica. El primero se conoce precisamente como método de la

relación cádmica y el segundo como método del monitor desnudo bi-isotópico, en el cual los dos isótopos usados deben tener la máxima diferencia entre las relaciones de las integrales de resonancia I_0 sobre la sección térmica media σ_0 , para la velocidad de 2200 m s⁻¹ y de esa forma poder diferenciar correctamente el campo de los neutrones epitérmicos y térmicos. El método de determinación de f por medio de la relación cádmica depende de la convención que se tome para la determinar la velocidad de reacción.

Formas que toma el parámetro f para las diferentes convenciones en el método de la relación cádmica:

Para la convención de Høgdahl (H):

$$f = (R_{Cd} \cdot F_{Cd} - 1) \cdot Q(\alpha) \cdot \frac{C_{abe}}{C_{abT}} \quad (1)$$

donde:

R_{Cd} es la relación entre la tasa de conteo específica de un monitor desnudo sobre la que se obtiene otro del mismo elemento, pero envuelto en cadmio

F_{Cd} es el factor de transparencia epitérmica

$$Q_0(\alpha) = \frac{I_0(\alpha)}{\sigma_0} = (Q_0 - 0.429) \bar{E}_r^{-\alpha} (1eV)^\alpha - \frac{0.429(1eV)^\alpha}{(2\alpha + 1)E_{Cd}}; Q_0 = Q_0(\alpha=0)$$

\bar{E}_r energía efectiva de resonancia

C_{abT} y C_{abe} son respectivamente los factores de autoblandaje térmico y epitérmico

Para la convención de Stoughton-Halperin Modificada en [12] (SHM):

$$f = \left[(R_{Cd} \cdot F_{Cd} - 1) \cdot \frac{Q_0^*(\alpha)}{g(T_n)} - f_1(\alpha) - \frac{W'(\alpha, T_n)}{g(T_n)} \right] \frac{C_{abe}}{C_{abT}} \quad (2)$$

donde:

$$W'(\alpha, T_n) = \frac{1}{\sigma_0} \int_{\mu k T_n}^{E_{Cd}} \left[\alpha(E) - \frac{g(T_n) \cdot \sigma_0 \cdot v_0}{v_0} \right] \frac{dE}{E^{1+\alpha}}$$

es la corrección a $Q_0^*(\alpha)$ entre la energía de corte epitérmico $\mu k T_n$ y la de corte cádmico E_{Cd}

$$Q_0^*(\alpha) = \frac{I_0(\alpha)}{\sigma_0} = [Q_0 - 0.429 \cdot g(T_n)] \bar{E}_r^{-\alpha} (1eV)^\alpha - \frac{0.429 \cdot g(T_n) \cdot (1eV)^\alpha}{(2\alpha + 1)E_{Cd}^\alpha}$$

$g(T_n)$ es el factor de Westcott para la temperatura del gas neutrónico T_n

$$f_1(\alpha) = \int_{\mu k T_n}^{E_{Cd}} \frac{\sigma_0 \cdot v_0}{v_0} \frac{dE}{E^{1+\alpha}}$$

es el borde $1/v$ entre la energía corte epitérmico $\mu k T_n$ y la de corte cádmico E_{Cd}

Para la convención de Westcott Modificada en este trabajo (WM)*:

$$f = \left[\frac{\frac{\sqrt{\pi\mu}}{4} (1 + 2\alpha) \cdot (\mu k T_n)^\alpha \sqrt{\frac{T_n}{T_0}}}{r(\alpha) \sqrt{\frac{T_n}{T_0}}} \right] - 1 \quad (3)$$

donde:

* Trabajo conjunto entre el ISCTN y la Universidad de San Carlos de Guatemala

es el índice espectral modificado en el presente trabajo

$s_0^*(\alpha) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} [Q_0 - g(T_n) \cdot 0,429]$ es la integral de resonancia reducida y modificada en el presente trabajo, teniendo en cuenta el aporte de la región energética desde $\mu k T_n$ hasta la energía de corte cádmico E_{Cd} , o sea $s_0(\alpha) = s_0^*(\alpha) + \frac{2}{\sqrt{\pi}} W'(\alpha, T_n)$

Formas que toma f por el método del monitor desnudo bi-isotópico:

Para la convención H:

$$f = \frac{C_{abR,1} \cdot \frac{k_{0,c}(1)}{k_{0,c}(2)} \cdot \frac{\epsilon_{p,1}}{\epsilon_{p,2}} \cdot Q_{0,1}(\alpha) - C_{abR,2} \cdot \frac{A_{sp,1}}{A_{sp,2}} \cdot Q_{0,2}(\alpha)}{C_{abT,2} \cdot \frac{A_{sp,1}}{A_{sp,2}} - C_{abT,1} \cdot \frac{k_{0,c}(1)}{k_{0,c}(2)} \cdot \frac{\epsilon_{p,1}}{\epsilon_{p,2}}} \quad (4)$$

donde:

$A_{sp,1}$ y $A_{sp,2}$ son las velocidades de conteo específicas para los isótopos 1 y 2 respectivamente

$\epsilon_{p,1}$ y $\epsilon_{p,2}$ son las eficiencias del fotopico para los isótopos 1 y 2 respectivamente

$k_{0,c}(1)$ y $k_{0,c}(2)$ son los coeficientes k_0 de los isótopos 1 y 2 respectivamente

Para la convención SHM:

f es igual que en (4), pero sustituyendo $Q_0(\alpha)$ por $Q_0^*(\alpha)$

Para la convención de Westcott Modificada (en este trabajo):

f es igual que en (3), pero sustituyendo al índice espectral por:

$$r(\alpha) \sqrt{\frac{T_n}{T_0}} = \frac{C_{abT,1} \cdot \frac{k_{0,c}(1)}{k_{0,c}(2)} \cdot \frac{\epsilon_{p,1}}{\epsilon_{p,2}} \cdot g_1(T_n) - C_{abR,2} \cdot \frac{A_{sp,1}}{A_{sp,2}} \cdot g_2(T_n)}{C_{abT,2} \cdot \frac{A_{sp,1}}{A_{sp,2}} \cdot s_{0,2}(\alpha) - C_{abT,1} \cdot \frac{k_{0,c}(1)}{k_{0,c}(2)} \cdot \frac{\epsilon_{p,1}}{\epsilon_{p,2}} \cdot s_{0,1}(\alpha)} \quad (5)$$

Para la determinación del parámetro α , las expresiones usadas en este trabajo son las presentadas por De Corte en [4, 5 y 9] siguiendo la metodología planteada por Shumann y Albert [16], o sea que el parámetro α puede ser determinado como la pendiente de un gráfico $\log T_i$ vs. $\log E_r$, para N monitores, donde:

$$T_i = \Phi_c(E_r) \cdot E_r^{-\alpha} = Cte \cdot E_r^{-\alpha}$$

logaritmando: $\log T_i = -\alpha \log E_r + \log Cte.$ (6)

De Corte aplica el método de los mínimos cuadrados sin el peso estadístico de los errores que aporta la magnitud T_i , obteniendo una expresión recurrente para la determinación de α de la siguiente forma:

$$\alpha + \frac{\sum_i^N \left[\log E_{r,i} - \frac{\sum_i^N \log E_{r,i}}{N} \right] \left[\log T_i - \frac{\sum_i^N \log T_i}{N} \right]}{\sum_i^N \left[\log E_{r,i} - \frac{\sum_i^N \log E_{r,i}}{N} \right]^2} = 0 \quad (7)$$

y se limita a la determinación del error de α propagando la expresión (7) considerando la recurrencia de ésta expresión implícita:

$$F(\alpha, x_1, x_2, \dots, x_N) = 0$$

el error de α queda entonces como:

$$s_\alpha = \left(s_{\alpha, x_1}^2 + s_{\alpha, x_2}^2 + \dots + s_{\alpha, x_N}^2 \right)^{1/2}$$

donde cada s_{α, x_i} es determinado por la expresión de propagación del error con peso estadístico:

$$s_{\alpha, x_i} = \left\{ \sum_{i=1}^N [Z_\alpha(x_i) \cdot s(x_i)]^2 \right\}^{1/2}$$

siendo: $Z_\alpha(x_i) = \left| \frac{x_i}{\alpha} \cdot \frac{\partial F}{\partial x_i} / \frac{\partial F}{\partial \alpha} \right|$ (8) el peso del error.

En muchos reactores nucleares los valores de α son cercanos a cero. Esto implica que si se usa la expresión (8) el error de α puede ser normalmente de centenares de por ciento, e incluso indefinirse para $\alpha = 0$. En tales condiciones no tendría sentido la determinación de α .

La forma que toma T_i depende de cada convención comparada y si se emplea la relación cádmica (R-Cd) o simplemente la cubierta de cadmio (C-Cd) para cada monitor i .

Para la convención H:

$$T_i = \frac{\text{Con R-Cd} \quad (\overline{E_r})^{-\alpha} (1eV)^{-\alpha}}{(F_{Cd,i} \cdot R_{Cd,i} - 1) \cdot Q_{0,i}(\alpha) \cdot \frac{C_{ab,e}}{C_{ab,T}}} \quad (9) \quad \text{Con C-Cd} \quad \frac{(\overline{E_r})^{-\alpha} (A_{sp,i})_{Cd} (1eV)^{-\alpha} \cdot (1gs)}{k_{0,Au}(i) \cdot \epsilon_{p,i} \cdot F_{Cd,i} \cdot Q_{0,i}(\alpha) \cdot C_{abE,i}} \quad (10)$$

Para la convención SHM:

$$T_i = \frac{(\overline{E_r})^{-\alpha} (1eV)^\alpha}{\left[(F_{Cd,i} \cdot R_{Cd,i} - 1) \cdot Q_{0,i}(\alpha) - f_i(\alpha) - W'(\alpha, T_n) \right] \cdot \frac{C_{ab,e}}{C_{ab,T}}} \quad \text{Con R-Cd} \quad (11)$$

$$T_i = \frac{(\overline{E_r})^{-\alpha} (A_{sp,i})_{Cd} (1eV)^\alpha \cdot (1gs)}{k_{0,Au}(i) \cdot \epsilon_{p,i} \cdot F_{Cd,i} \cdot Q_{0,i}(\alpha) \cdot C_{abE,i}} \quad \text{Con C-Cd} \quad (12)$$

Para la convención WM:

Con R-Cd:

$$T_i = \frac{C_{abT,i} \cdot g_i(T_n) \cdot \overline{E_r}^{-\alpha} \cdot (1eV)^\alpha}{R_{Cd,i} \cdot F_{Cd,i} \left[C_{abr,i} \cdot \dot{s}_{0,i}(\alpha) + \frac{2}{\sqrt{\pi}} \frac{g_i(T_n) \cdot 0,429}{(2\alpha + 1) E_{Cd}} \right] - C_{abr,i} \left(\dot{s}_{0,i}(\alpha) + \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot W_i(\alpha, T_n) \right)} \quad (13)$$

Con C-Cd:

$$T_i = \frac{(A_{sp,i})_{Cd} \cdot \overline{E_r}^{-\alpha} \cdot (1eV)^\alpha \cdot (1gs)}{k_{0,Au}(i) \cdot \epsilon_{p,i} \cdot F_{Cd,i} \left[C_{abr,i} \cdot \dot{s}_{0,i}(\alpha) + \frac{2}{\sqrt{\pi}} \frac{g_i(T_n) \cdot 0,429}{(2\alpha + 1) E_{Cd}} \right]} \quad (14)$$

Todas las expresiones (1-14) están implementadas en el programa ALFAG escrito en FORTRAN. Un ejemplo de salida de este programa se muestra en la Tabla 1

Como se expresa al principio de este trabajo, la importancia del conocimiento de α está dada debido al hecho de que esta magnitud representa la corrección para que los datos nucleares no dependan de las características de un reactor determinado y viceversa. Como ejemplo se puede observar que los valores de f obtenidos por diferentes tipos de monitores sin la previa corrección del parámetro α dan resultados diferentes y aumentan o disminuyen de acuerdo al signo de α , en el sentido de aumento de la energía efectiva de resonancia (ver Tabla 1).

Es por eso que en este trabajo se propone condicionar el valor de α al hecho físico de que los parámetros de un reactor no deben depender de qué monitor fue empleado para la determinación de los mismos. En otras palabras, buscar que valor deba tener el parámetro α para que la diferencia entre los valores de f sea mínima para los N monitores. Este método es denominado como **Método de la Diferencia Mínima (DM)** y consiste en lo siguiente:

Método de la Diferencia Mínima:

1- El parámetro α se varía desde - 0.3 hasta + 0.3 con un paso mínimo, relacionado con el cero de la máquina. En el caso de una PC-DX4 el cero se toma como 1×10^{-38} , pero no es necesario tomar un paso tan pequeño, ya que a partir de 10^{-7} los valores de α comienza a realizar oscilaciones innecesarias en el cálculo.

2- Para cada paso del valor de α se determina la desviación estándar de los N valores de f , hasta que su valor sea mínimo. O sea:

$$s_f = \Delta f_{\min} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (f_i - \bar{f})^2}{N(N-1)}} \quad (15)$$

3- Una vez que se ha determinado α con un error igual al paso de iteración se sustituye en las expresiones para la determinación de los T_i por el método de la relación cádmica, dadas por (9,11 y 13) y se aplica el método de los mínimos cuadrados ponderados a la recta $\log T_i = a^* \cdot \log(\bar{E}_r) + b^*$ dado por las expresiones:

$$\text{Pendiente: } \alpha = a^* = \frac{\sum_i w_i \cdot \sum_i x_i y_i - \sum_i w_i \cdot x_i \cdot \sum_i w_i \cdot y_i}{\sum_i w_i \cdot \sum_i w_i \cdot x_i^2 - \left(\sum_i w_i \cdot x_i \right)^2} \quad (16)$$

En este caso: $x_i = \overline{E}_{r,i}$ y $y_i = T_i$ y el factor de peso será:

$$w_i = \frac{1}{s_{T,i}^2} = \frac{1}{[\log \Delta T_i(\alpha)]^2} \quad (17)$$

y los T_i se propagan de acuerdo a:

$$s_{1,x_i} = \left\{ \sum_{i=1}^N [Z_T(x_i) \cdot s(x_i)]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (18)$$

$$Z_T(x_i) = \left| \frac{x_i}{T} \cdot \frac{\partial T}{\partial x_i} \right| \quad (19)$$

El error general de α será:

$$\Delta\alpha = S_{\alpha} = \sqrt{\frac{1}{N}} \cdot \sqrt{\frac{\sum_i w_i \cdot \sum_i x_i y_i - \left(\sum_i w_i \cdot y_i\right)^2}{\sum_i w_i \cdot \sum_i w_i \cdot x_i^2 - \left(\sum_i w_i \cdot x_i\right)^2} - a^2} \quad (20)$$

de ese modo no se produce el inconveniente ocasionado en la expresión (8)

Las expresiones (15-20) están programadas en el programa **ALFADM**, escrito en FORTRAN. Un ejemplo de la hoja de salida de este programa se muestra en la Tabla 2.

RESULTADOS

En las Tablas 1 y 2 se muestran los resultados de los programas **ALFAG** y **ALFAPM** para los cinco monitores de indio, oro, cobalto, tantalio y circonio, con el objetivo de comparar los métodos planteados en [9] y en el presente trabajo.

Tanto al método para la determinación del error de α de la relación cádmica con multimonitores de De Corte, como al de **Diferencia Mínima** se les fijó el mismo paso de iteración de α para poder establecer la comparación equitativamente. Fueron probados varios pasos y el resultado siempre fue el mismo. El paso usado para los cálculos fue de $\Delta\alpha = 1 \times 10^{-5}$.

En la Tabla 1 se presentan los resultados de los cinco monitores, sus energías efectivas de resonancia, los $\log T_i$, los f sin corrección α y finalmente los $f(\alpha)$, determinados por medio de la convención de Westcott (expresión 13) y el método de la relación cádmica planteado por De Corte en [9], según la iteración (7). Por este método se obtiene un valor de α de -0.18 ± 0.16 con un error de 88.9 %. El valor promedio de f es de 12.71 con 9.86 % de desviación estadística.

En la Tabla 2 se muestran los resultados de los mismos cinco monitores, pero aplicando el método de la **Diferencia Mínima** con la misma convención de Westcott (expresión 13). En este caso se determina un valor del parámetro α de -0.17 ± 0.02 con un error de 9.5 %. El valor promedio de f es de 12.67 con 9.86 % de desviación estadística.

Comparando ambas tablas se puede observar que los resultados entre los métodos R-Cd y DM son semejantes, pero poseen la diferencia de que el valor de α reportado en el segundo caso es ligeramente inferior y su banda de error no sobrepasa el límite del intervalo $-0.2 < \alpha < 0.2$.

En la figura 1 se muestran los resultados gráficos del parámetro α para las tres convenciones analizadas, determinado por el método de la **Diferencia Mínima**. Los resultados son semejantes para las convenciones de Høgdahl y Stoughton-Halpering, mientras que para la convención de Westcott se observa una ligera disminución de su valor, por lo tanto una disminución de la pendiente. Se hace menos evidente, pero es observable el hecho de que en el caso de la convención de Stoughton-Halpering los valores centrales de T_i se acercan un poco más a la línea de ajuste para los monitores de indio, oro, cobalto y circonio.

Por último en las Tablas 3 y 4 se representan respectivamente en las filas los valores de f promediado para los N monitores con la desviación estándar en por ciento (expresión 15), el método del monitor desnudo bi-isotópico [expresiones 3 (W M.) y 4 (II y SHM)] con su error propagado en %, la concordancia en por ciento entre

Tabla 1 Resultados numéricos del programa ALFAG usando la convención de Westcott y el método de la relación cádmica

```

RESULTS ALFA CALCULATION
POSITION=>CONJUNTO SUBCRITICO
METHOD=>Cd-Ratio Multi-monitor
CONVENCIÓN=>Modified Westcott
*****

```

Elem.	Eres.	Ti-Values	f-Values	f-Values corr.
In116m	1.560	.075598(+/-).002423	10.43(+/-) .18	12.35(+/-) .22
Au198	5.650	.082878(+/-).006114	10.45(+/-) .15	14.26(+/-) .21
Ta182	10.400	.104030(+/-).008693	8.38(+/-) .50	12.53(+/-) .75
Co 60	136.000	.184884(+/-).040766	5.03(+/-) 1.07	10.94(+/-) 2.33
Zr 95	6260.000	.298084(+/-).143594	2.86(+/-) 1.37	13.48(+/-) 6.47

```

*****
CORRECTED F AVERAGE = 12.71(+/-) 9.86 %
*****

alfa = -.1751(+/-) .1557
RELATIVE ERROR OF alfa = 88.91%

Fbare =14.38409(+/-) 1.49629
Fbar corr. =14.06721(+/-) 1.46333

```

Tabla 2 Resultados numéricos del programa ALFADM usando la convención de Westcott y el método de la Diferencia Mínima

```

RESULTS ALFA CALCULATION
POSITION=>CONJUNTO SUBCRITICO
METHOD=>Minimal Difference
CONVENCIÓN=>Modified Westcott
*****

```

Elem.	Eres.	Ti-Values	f-Values	f-Values corr.
In116m	1.560	.007567(+/-).000242	10.43(+/-) .77	12.35(+/-) 1.13
Au198	5.650	.008290(+/-).000612	10.45(+/-) .84	14.24(+/-) 1.67
Ta182	10.400	.010404(+/-).000869	8.38(+/-) .76	12.50(+/-) 1.49
Co 60	136.000	.018480(+/-).004075	5.03(+/-) 1.13	10.89(+/-) 2.57
Zr 95	6260.000	.029793(+/-).014352	2.86(+/-) 1.38	13.35(+/-) 6.49

```

*****
CORRECTED F AVERAGE = 12.67(+/-) 9.86 %
*****

alfa = -.1739(+/-) .0162
RELATIVE ERROR OF alfa = 9.51%

Fbare =14.38409(+/-) 1.49629
Fbar corr. =14.08230(+/-) 1.46490

```

estos dos valores y los valores de α con sus errores propagados para los métodos R-Cd y C-Cd propuestos por De Corte en [4] (expresión 8) y para el método propuesto en el presente trabajo obtenido por la expresión (20). En las columnas aparecen la combinación de las convenciones y los métodos empleados. La diferencia principal en ambas tablas radica en que la 3 se determinaron dichos valores usando solamente 4 monitores, exceptuando al circonio, que presenta un gran error estadístico en la determinación del área y en la 4 donde se incluyen los 5 monitores. La disminución de la concordancia al usar los 5 monitores se debe al hecho de que se usaron el ^{60}Co y el ^{182}Ta en el método desnudo bi-isotópico para la determinación de f y sus energías de resonancia efectiva están enmarcadas entre 1.5 eV para el ^{116m}In y 136 eV para el ^{60}Co ,

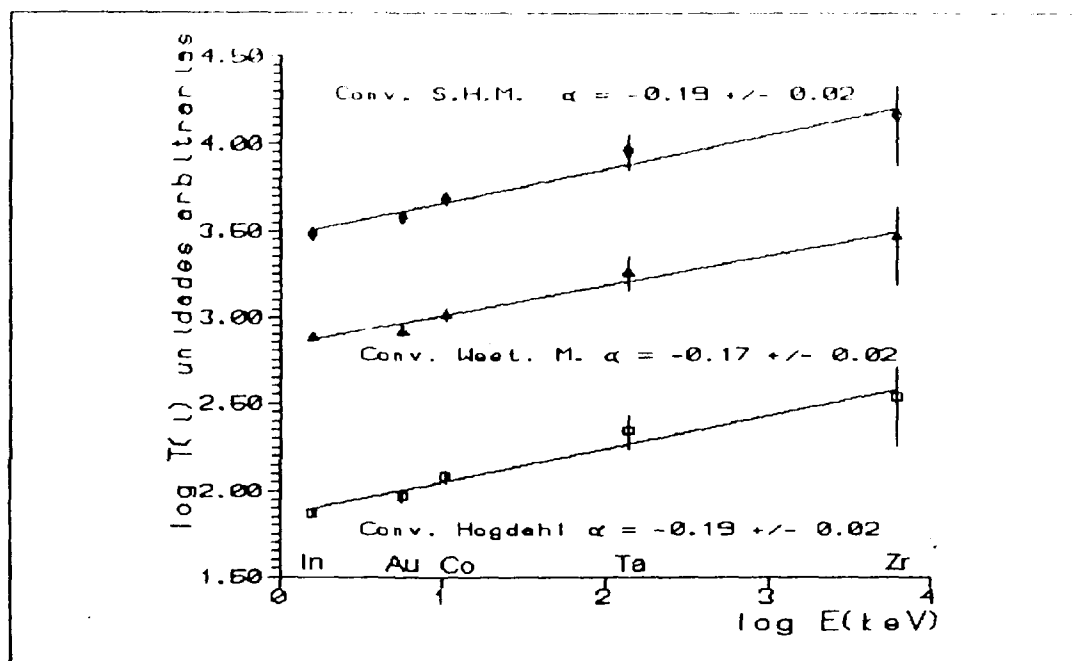


Fig 1 Representación gráfica de los valores de α en la posición de irradiación del CS-ISCTN para las tres convenciones usando el método de la Diferencia Mínima

mientras que para el ^{95}Zr la energía de resonancia efectiva es de 6260 eV, sumado el hecho de que el área de su fotopico se determinó con un por ciento de error de 31 % en la línea efectiva de 742.2 keV. Esta desventaja se convierte en una ventaja si comparamos los valores de α , ya que para los cuatro monitores los valores dan resultados extremadamente altos e incluso por encima del límite $|\alpha| < 0.2$ para todas las convenciones y para los tres métodos.

Si comparamos los valores de α entre los métodos, el de la Diferencia Mínima da siempre valores menores de esta magnitud que se convierten en resultados totalmente lógicos cuando aumentamos el rango de E_r hasta 6260 eV con el circonio, sin embargo los errores de α son inadmisibles al usar R-Cd y C-Cd con errores que oscilan entre 65 y 90 %. La comparación entre las convenciones evidencia mejores resultados de concordancia para la convención de Westcott modificada, para las comparaciones establecidas.

Combinando convención y método para todas las condiciones establecidas: mayor precisión entre las f de los monitores, mayor concordancia entre la determinación de f por el promedio de los resultados de cada monitor, y la obtenida por el monitor desnudo bi-isotópico y un valor acotado por debajo de la condición $|\alpha| < 0.2$, es la convención de Westcott Modificada con el método de la Diferencia Mínima el que da mejores resultados.

CONCLUSIONES

- 1- Se obtienen valores de α muy cercano al límite de endurecimiento epitérmico en el CS-ISCTN con una f alrededor de 13.
- 2- Los errores en la determinación de α son más aceptables usando el método de la Diferencia Mínima que los que se obtiene por el método de De Corte [4].
- 3- Se obtienen mejores resultados con la convención de Westcott modificada en el presente trabajo al usar el método de la Diferencia Mínima. Los resultados entre las convenciones de Hogdahl y Stoughton-Halperin son muy parecidos entre si.

RECOMENDACIONES

Debe obtenerse una expresión parecida a la (7) del presente trabajo, pero aplicando el métodos de los mínimos cuadrados ponderados, para obtener el error de α como el error de la pendiente $\log T_1$ vs. $\log E_r$

REFERENCIAS

1. Verheijke, M. L.; Jansen, R. M. W.J. Radioanal. and Nucl. Chem. 125 (1), 113-125 (1988).
2. De Corte, F.; Jovanovic, S.; Simonit, A.; Moens, L.; Hoste, J. Kernenergie 44, 385 (1984).
3. Jovanovic, S.; Vukotic, P.; Smodi, B.; Jasimovic, R.; Mihaljevic, N.; Stegnar, P.; J. Radioanal. Nucl. Chem., Articles., 129 (2), 343 (1989).
4. De Corte, F.; Sordo El-Hammami, Moens L.; Simonit, A.; De Wispelaere, A., Hoste, J. J. Radioanal. Nucl. Chem., 62(1) 209-255 (1981).
5. De Corte, F.; "The k_0 Standardization Method", Phylsosophical Thesis, Gent University, Belgium, 1987.
6. Høgdahl, O. T., MMPP-216-1 (1962)
7. Contrera. R, Hernández O. y Ixquiac M. "Tesis de Defensa de la Maestría" (en prensa) 1997
8. Westcott, C. H. Nucl. Energ. 2, 58-79 (1955)
9. De Corte F., Simonit A., Bellemans, M; y otros. 169 (1) 125-158 (1993).
10. De Corte, F. Jour. Radioanal. And Nucl. Chem. Articles. Vol. 179 No. 1, 93-103 (1994)
11. Ahmad, A.; Mac. Mahon, D. y otros. Proc. 4th Int. Conf. on Nuclear Meth. in Environmental and Energy Research, Missouri, CONF-800433 (1980)
12. Herrera E. "Evaluación de los Métodos Param.." Tesis. Dr. p164 (1996)
13. Contreras R. y otros "Implementación del AANP... (1ª parte)", CIEN-R No , (1997)
14. Contreras R. y otros "Implementación del AANP... (2ª parte)", CIEN-R No , (1997)
15. Manual de explotación del Conjunto Subcrítico (reporte interno, en ruso) (1965)
16. Shumann, P. y Albert, D., Kernenergie, 2, 88 (1965).

Tabla 3 Comparación de los métodos de la Relación Cádmica, Cubierta de Cadmio y Diferencia Mínima combinados con las convenciones de Høgdahl, Westcott Modificada y Stoughton-Halpering, usando como monitores: In, Au, Ta y Co

	R-Cd (H)	R-Cd (WM)	R-Cd(SHM)	C.-Cd (H)	C.-Cd (WM)	C.-Cd (SHM)	P. M. (H)	P. M.(WM)	P. M (SHM)
f (prom.)	15.57 (4.68)	13.38 (7.78)	15.31 (5.0)	14.56 (6.87)	13.62 (7.80)	14.30 (7.18)	15.60 (4.68)	13.50 (7.70)	15.35 (5.00)
f (bi-isotópico)	16.97 (10.4)	13.31 (10.4)	16.97 (10.4)	16.95 (10.4)	12.97 (10.3)	16.96 (10.4)	16.97 (10.4)	13.16 (10.4)	16.97 (10.4)
Concord.(%)	91.75	99.47	90.22	86.00	95.00	84.32	91.93	97.42	90.45
Valor de α	-0.25 (32.1)	-0.22 (37.4)	-0.25 (32.3)	-0.22 (36.4)	-0.24 (34.8)	-0.23(36.7)	-0.25 (7.3)	-0.23 (12.8)	-0.25 (7.0)

Tabla 4 Comparación de los métodos de la Relación Cádmica, Cubierta de Cadmio y Diferencia Mínima combinados con las convenciones de Høgdahl, Westcott Modificada y Stoughton-Halpering, usando como monitores: In, Au, Ta , Co y Zr

	R-Cd (H)	R-Cd (WM)	R-Cd(SHM)	C.-Cd (H)	C.-Cd (WM)	C.-Cd (SHM)	P. M. (H)	P. M.(WM)	P. M (SHM)
f (prom.)	13.79 (11.40)	12.71 (9.86)	13.60 (11.34)	14.87(14.04)	15.75 (28.57)	14.57 (13.49)	13.66 (11.36)	12.67(9.86)	13.48 (11.31)
f (bi-isotópico)	16.77 (10.3)	14.07 (10.4)	16.75 (10.4)	16.88 (10.4)	12.66 (10.3)	16.88 (10.4)	16.70 (10.4)	14.08 (10.4)	16.73 (10.4)
Concord.(%)	82.23	90.33	81.19	88.09	75.59	86.31	81.8	90.00	80.57
Valor de α	-0.19 (82.3)	-0.18 (88.9)	-0.19 (83.0)	-0.21 (74.0)	-0.25 (65.0)	-0.21 (76.0)	-0.19 (7.4)	-0.17 (9.6)	-0.19 (7.3)