

-
-
23. Moses, Alfred J. Nuclear Techniques in Analytical Chemistry. New York: Pergamon Pres, 1964.
 24. Spitz, H. B., et al. "A New Method for Analyzing High-Resolution Spectra From Whole-Body Counter in-vivo Measurements." Health Physics, Vol. 49, No. 6, (Dec. 1985): 1085-1096.
 25. Zimmer, William H. "What Affects a Gamma Spectrum." System Application Studies. EG & G ORTEC, (June 19, 1978): PSD No. 9.
 26. Zimmer, William H. "The Propagation of Errors in Gamma Spectroscopy Using Germanium Detectors: Total Uncertainty Calculation." System Application Studies. EG & G ORTEC, (August, 1982): PSD No. 19.
 27. Zikovosky, L., J. L. Galinier. "Calculation of Primary Nuclear Interferences Ocurring in Neutron Activation Analysis with Slowpoke Reactor." Journal of Radioanalytical Chemistry, Vol. 67, No. 1, (1981): 193-203.

APENDICES

A. Cálculo del Flujo Térmico, Epitérmico y Total

En muchos casos los análisis por activación se llevan a cabo efectuando irradiaciones simultáneas de estándares (llamados comparadores o detectores) de los elementos que se desean determinar y las muestras a ser analizadas (método relativo del análisis por activación). Esta técnica evita tener que determinar el flujo neutrónico, ya que se asume que el estándar y la muestra reciben el mismo flujo si se toman las precauciones adecuadas. En muchos casos, sin embargo, es altamente deseable conocer el flujo neutrónico, por ejemplo, el flujo de neutrones rápidos que pueden causar importantes interferencias tales como:

$^{59}\text{Co}(n,p)^{59}\text{Fe}$	en la determinación de fierro en cobalto
$^{32}\text{S}(n,p)^{32}\text{P}$	en la determinación de fósforo en azúfre
$^{64}\text{Zn}(n,p)^{64}\text{Cu}$	en la determinación de cobre en zinc
$^{27}\text{Al}(n,\alpha)^{24}\text{Na}$	en la determinación de sodio en aluminio
$^{56}\text{Fe}(n,p)^{56}\text{Mn}$	en la determinación de manganeso en fierro
$^{60}\text{Ni}(n,p)^{60}\text{Co}$	en la determinación de cobalto en niquel
$^{46}\text{Ti}(n,p)^{46}\text{Sc}$	en la determinación de escandio en titanio.

Cuando se tienen que determinar muchos elementos en una sola muestra, resulta impráctica la irradiación simultánea de todos los estándares necesarios, ya que esto representaría un tiempo de conteo muy largo, además, el espacio requerido para hacer la irradiación puede estar limitado.

La aplicación de un solo detector (estándar) ofrece una solución elegante al problema de la determinación del flujo, sin embargo, si se utilizan diferentes lugares en la irradiación, se pueden presentar errores considerables, especialmente para aquellos elementos que tienen resonancias grandes en la sección eficaz.

Una mejor solución resulta si se aplican dos detectores en lugar de uno solo, lo cual permitiría obtener valores más exactos del flujo térmico y del flujo en la zona de resonancia (epitérmico).

Como se sabe, el cadmio tiene una gran sección eficaz de absorción para neutrones con una energía por abajo de 0.5 eV, para el cual se da la reacción $^{113}\text{Cd}(n,\gamma)^{114}\text{Cd}$. Si una muestra es irradiada bajo una cubierta de cadmio de 0.7 a 1 mm, los neutrones térmicos son detenidos en ésta y la reacción (n, γ) tiene lugar en la muestra solo con neutrones "epitérmicos", también llamados "epicadmios" (con energía por arriba del valor térmico). Esta energía, E_{Cd} , llamada "energía efectiva de corte", depende del espesor de la cubierta de cadmio así como de la geometría. La razón de cadmio (CR), que mide la razón de las actividades obtenidas con y sin cubierta de cadmio, se define como

$$CR = \frac{\text{actividad sin Cd}}{\text{actividad con Cd}} = \frac{\phi_{th} \sigma_0 + \phi_e I}{\phi_e I} = 1 + \frac{\phi_{th} \sigma_0}{\phi_e I} \quad (A-1)$$

donde ϕ_{th} y ϕ_e representan el flujo (térmico) hasta la energía E_{Cd} y el flujo (epitérmico) arriba de E_{Cd} , respectivamente, y σ_0 e I son las secciones eficaces para la reacción (n, γ) con neutrones térmicos y epitérmicos, respectivamente.

Si σ_0 e I son conocidas, la razón de cadmio CR no dará directamente la razón de los flujos a menos que el comparador usado tenga una sección eficaz que varíe con $1/v$. Con este tipo de comparadores, sin embargo, resultan actividades pobres bajo el cadmio, de tal manera que son preferibles los comparadores con picos de resonancia tales como el oro, plata, cobalto y otros. Estos podrían ser usados como láminas delgadas o más aún como aleaciones diluídas para evitar el efecto de auto-blindaje.

La razón de cadmio de un núclido x puede de hecho ser expresada en términos del CR del oro, cobalto o plata como estándares:

$$CR_x = 1 + \frac{(CR_s - 1)(I_s \sigma_{0,x})}{\sigma_{0,s} I_x} \quad (A-2)$$

Los valores de σ_0 e I para estos comparadores son los siguientes:

Comparador	σ_0 (barns)	I (barns)
$^{197}\text{Au}(n,\gamma)^{198}\text{Au}$	98.8	1551
$^{59}\text{Co}(n,\gamma)^{60}\text{Co}$	34.4	75
$^{109}\text{Ag}(n,\gamma)^{110m}\text{Ag}$	3.2	47.5

Si el cadmio no es usado, las razones de flujo térmico a epitérmico, o aún los valores absolutos de esos flujos, pueden ser obtenidos a partir de una irradiación de dos detectores. Las razones de interacción R_1 y R_2 están dadas por

$$\begin{aligned} R_1 &= \phi_{th} \sigma_{0_1} + \phi_e I_1 \quad \text{para el detector } 1 \\ R_2 &= \phi_{th} \sigma_{0_2} + \phi_e I_2 \quad \text{para el detector } 2 \end{aligned} \quad (A-3)$$

y entonces

$$\phi_{th} = \frac{R_1 I_2 - R_2 I_1}{\sigma_{0_1} I_2 - \sigma_{0_2} I_1} \quad (A-4)$$

$$\phi_e = \frac{R_2 \sigma_{0_1} - R_1 \sigma_{0_2}}{\sigma_{0_1} I_2 - \sigma_{0_2} I_1} \quad (A-5)$$

El flujo térmico, por supuesto, puede ser también obtenido irradiando una muestra desnuda y otra cubierta de cadmio. De hecho, la razón total está dada por:

$$R = R_{th} + R_e = \phi_{th} \sigma_0 + \phi_e I \quad (A-6)$$

y la razón de la muestra cubierta de cadmio por:

$$R_e = \phi_e I \quad (A-7)$$

De la diferencia neta entre R y R_e se puede obtener el flujo térmico si σ_0 es conocida. Las razones de interacción R₁ y R₂ pueden ser obtenidas a partir de

$$R(E) = \frac{\lambda(C-B)}{\epsilon_{ab}(E) P_\gamma (1 - e^{-\lambda t'}) (1 - e^{-\lambda t}) e^{-\lambda t'} N_0 f} \quad (A-8)$$

donde

$\epsilon_{ab}(E)$ = eficiencia absoluta del detector en función de la energía E,

f = abundancia isotópica,

N_0 = número de átomos radioactivos/cm³ al final de la irradiación,

λ = constante de decaimiento,

t_i = tiempo de irradiación,

t_d = tiempo de decaimiento,

t_c = tiempo de conteo,

P_γ = probabilidad de emisión gamma,

C = área total del fotopico y

B = fondo en ese pico.

B. Tiempo Muerto

En todos los sistemas de detección debe haber una mínima cantidad de tiempo entre el arribo de dos partículas sucesivas a un detector para que puedan ser registradas como dos pulsos distintos. A este intervalo de tiempo se le conoce como **tiempo muerto** o **tiempo de resolución** del sistema.

Esto es, el tiempo muerto es el tiempo que transcurre desde que una partícula golpea el detector hasta que el pulso al que dió origen llega al escalador. En un analizador de altura de pulsos multicanal lo que realmente importa es el tiempo muerto del sistema (contador - preamplificador - amplificador - discriminador - escalador) y no solo el del contador.

Debido a la naturaleza aleatoria del decaimiento radioactivo, existe siempre la posibilidad de que se "pierda" el registro de una partícula porque su llegada al detector ocurra demasiado rápidamente en seguida de una partícula previa. En este caso no se producirá un pulso, ya que el sistema está "ocupado" en la formación de la señal generada por la partícula que llegó primero. Esas "pérdidas" por tiempo muerto pueden llegar a ser de suma importancia cuando se tienen altas razones de conteo. Obviamente, la razón de conteo observada debe ser corregida por tales pérdidas.

Al fenómeno que consiste en la penetración dentro del detector de una segunda o tercera radiación ionizante durante el tiempo muerto se le conoce con el nombre de **coincidencia**, y a la corrección aplicada por este efecto se le llama **corrección por coincidencias**.

Existen dos modelos del comportamiento del tiempo muerto que son comúnmente usados: el de respuesta **paralizable** y el de respuesta **no-paralizable**. En el primero de ellos se asume que mientras estén llegando partículas al detector a intervalos de tiempo menores que el tiempo muerto, el sistema se "paraliza" durante todo este tiempo y solo es capaz de distinguir y registrar el pulso de la primer partícula incidente. Esto sucede hasta que el tiempo de arribo entre dos partículas sea mayor que el tiempo muerto. En el segundo, se supone que el sistema se "paraliza" durante un intervalo de tiempo igual al tiempo muerto y transcurrido este recupera su capacidad para distinguir otra partícula. Estos dos modelos difieren solo cuando la razón de conteo verdadera es muy alta.

De alguna manera, los modelos mencionados representan dos extremos del comportamiento real de los sistemas de detección, que en la práctica se comportan de una forma intermedia.

En el modelo no-paralizable la fracción de tiempo que el sistema queda inactivo está dada por $m\tau$, donde m = razón de conteo registrada (observada) y τ = tiempo muerto del sistema, por lo tanto, la razón a la cual se pierden cuentas es $nm\tau$, donde n = razón de interacción verdadera. Por otro lado, la razón de pérdida también esta dada por $(n-m)$, y entonces

$$n-m = nm\tau \tag{B-1}$$

de donde resolviendo para n se tiene que

$$n = \frac{m}{1 - m\tau} \tag{B-2}$$

En el modelo paralizable los períodos inactivos (muertos) no son siempre de la misma longitud. Aquí podemos notar que la razón m es idéntica a la razón en que se presentan los intervalos de tiempo mayores que el tiempo muerto. La distribución de los intervalos de tiempo entre eventos aleatorios ocurriendo a una razón promedio n es una distribución Poisson con parámetro n , esto es

$$P_1(t)dt = ne^{-nt} dt \tag{B-3}$$

donde $P_1(t)dt$ es la probabilidad de observar un intervalo cuya longitud cae entre $t-dt$ y $t+dt$. La probabilidad de observar intervalos más largos que τ puede ser obtenida integrando esta distribución entre τ y ∞

$$P_2(\tau) = \int_{\tau}^{\infty} P_1(t)dt = e^{-n\tau} \tag{B-4}$$

La razón de ocurrencia de tales intervalos se puede obtener entonces multiplicando este resultado por la razón verdadera n

$$m = ne^{-n\tau} \tag{B-5}$$

En un sistema no-paralizable la razón de conteo observada tiende a un valor asintótico de $1/\tau$, el cual representa la situación en la que el contador apenas tiene tiempo para terminar un período muerto antes de empezar otro. En otras palabras, $1/\tau$ representa el valor máximo de m que el sistema puede registrar. En el

comportamiento paralizante, a medida que n aumenta, la razón de conteo observada m empieza a disminuir por el fenómeno de pérdidas por coincidencias.

Para bajas razones de conteo ($n \ll 1/\tau$) se pueden hacer las siguientes aproximaciones:

$$\text{No-paralizable} \quad m = \frac{n}{1 + n\tau} \approx n(1 - n\tau) \quad (\text{B-6})$$

$$\text{Paralizable} \quad m = ne^{-n\tau} \approx n(1 - n\tau) \quad (\text{B-7})$$

Por otro lado se puede notar que el producto $m\tau$ es un buen indicador de la fracción de cuentas perdidas a causa del tiempo muerto.

Existen dos métodos principalmente usados para la determinación del tiempo muerto de un sistema de medición.

1. Método de las dos fuentes

Este método consiste en medir las actividades (razones de conteo) de dos fuentes individualmente (m_1 y m_2), y luego medir la actividad de las dos fuentes juntas (m_{12}). Debido a que las pérdidas de conteo son no-lineales, la razón observada de las fuentes combinadas será menor que la suma de las razones debidas a las dos fuentes contadas individualmente, y el tiempo muerto puede ser calculado a partir de esta diferencia.

Para ilustrar el método, consideremos n_1 , n_2 y n_{12} como las razones de conteo verdaderas (muestra más fondo) de la fuente 1, la

fente 2 y las fuentes combinadas, respectivamente. Además, sean m_1 , m_2 y m_{12} las correspondientes razones de conteo observadas. También, sean n_b y m_b las razones de conteo del fondo, verdadera y observada, con ambas fuentes ausentes. Entonces,

$$n_{12} - n_b = (n_1 - n_b) + (n_2 - n_b)$$

$$n_{12} + n_b = n_1 + n_2 \tag{B-8}$$

Sustituyendo la ec. (B-2) en la ec. (B-8), para el caso del modelo no-paralizable, resulta

$$\frac{m_{12}}{1 - m_{12}\tau} + \frac{m_b}{1 - m_b\tau} = \frac{m_1}{1 - m_1\tau} + \frac{m_2}{1 - m_2\tau} \tag{B-9}$$

Resolviendo para τ se obtiene el siguiente resultado

$$\tau = \frac{X[1 - (1 - Z)^{1/2}]}{Y} \tag{B-10}$$

donde

$$\begin{aligned} X &= m_1 m_2 - m_b m_{12} \\ Y &= m_1 m_2 (m_{12} + m_b) - m_b m_{12} (m_1 + m_2) \\ Z &= \frac{Y(m_1 + m_2 - m_{12} - m_b)}{X^2} \end{aligned}$$

Para el caso de tener un fondo nulo ($m_b=0$), se obtiene una expresión aproximada de la ec. (B-10) comúnmente usada

$$\tau = \frac{\{m_1 m_2 - [m_1 m_2 (m_{12} - m_1) (m_{12} - m_2)]^{\frac{1}{2}}\}}{m_1 m_2 m_{12}} \quad (B-11)$$

En este método se recomienda utilizar fuentes con suficiente actividad para que se obtenga un tiempo muerto fraccional de al menos 20%.

2. Método de la fuente en decaimiento

En este método es recomendable disponer de una fuente isotópica de vida media corta, como el ^{116m}In (54.0 min.).

Con este método se puede calcular el tiempo muerto τ a partir de la razón de conteo observada del decaimiento exponencial conocido de la fuente. Esta técnica se basa en el hecho de que se conoce el comportamiento de la razón de conteo verdadera n :

$$n = n_0 e^{-\lambda t} + n_b \quad (B-12)$$

donde n_0 es la razón verdadera al comenzar la medición y λ la constante de decaimiento del isótopo utilizado.

Cuando la radiación de fondo es despreciable, se puede utilizar un procedimiento gráfico muy simple para analizar los datos resultantes de la medición. Haciendo $n_b = 0$ en la ec. (B-12) y

sustituyendo en la ec. (B-2), se obtiene la siguiente expresión para el modelo no-paralizable

$$me^{\lambda t} = -n_0 m \tau + n_0 \tag{B-13}$$

Si se define la abscisa como m y la ordenada como el producto $me^{\lambda t}$, entonces la ecuación (B-13) representa gráficamente una línea recta. El procedimiento experimental consiste en medir la razón observada m como una función del tiempo t , y entonces definir puntos que deben caer sobre esta línea recta empezando a la derecha y moviéndose a la izquierda conforme la fuente decae. Ajustando la mejor recta a los datos, la intersección con el eje vertical dará n_0 , la razón verdadera al principio de la medición, y la pendiente negativa dará el producto $n_0 \tau$. Hecho esto, puede determinarse entonces el tiempo muerto τ como la razón de la pendiente a la intersección.

Para el modelo paralizable, insertando la ec. (B-12) en la ec. (B-5) con $n_p = 0$ se obtiene el siguiente resultado:

$$\lambda t + \ln(m) = -n_0 \tau e^{-\lambda t} + \ln(n_0) \tag{B-14}$$

Tomando como antes la abscisa y la ordenada, se tiene nuevamente una línea recta. En este caso la intersección con el eje vertical dará el valor $\ln(n_0)$, mientras que la pendiente otra vez dará el negativo del producto $n_0 \tau$. El tiempo muerto se obtiene siguiendo el mismo razonamiento. La ventaja de este método es que puede servir para probar la validéz del modelo asumido observando qué tan bien se

ajusta a la recta correspondiente. Es importante llevar a cabo las mediciones por un período de tiempo al menos del orden de la vida media del isótopo utilizado.

Si la radiación de fondo es significativa, (del orden de la razón de conteo más pequeña), se obtendrían importantes errores con el procedimiento gráfico. Aunque mejorarían los resultados si se resta de todos los valores medidos de m la razón de fondo observada, esta corrección no es rigurosa. Para obtener un análisis exacto se debe usar la ec. (B-12) con $n_b \neq 0$. De esta manera será necesario usar técnicas numéricas computacionales para obtener los valores de n_0 y τ , los cuales se insertan posteriormente en la ecuación del modelo asumido para el comportamiento del tiempo muerto.

En seguida se determinará el tiempo óptimo para el conteo de la radiación de fondo y la radiación debida a una fuente. El tiempo óptimo resulta cuando se tiene un mínimo error estadístico para la razón de conteo neta, o sea, minimizar la desviación estándar de la muestra σ_s .

Asumiendo que se dispone de un tiempo fijo para efectuar la medición tenemos

$$t_{s+b} + t_b = \text{cte.}$$

donde t_{s+b} es el tiempo de conteo de la fuente y el fondo simultáneamente y t_b el tiempo de conteo del fondo solamente, entonces

$$dt_{s+b} + dt_b = 0$$

de donde

$$dt_{s+b} = -dt_b \tag{B-15}$$

Por otro lado, tenemos que

$$\sigma_s = \sqrt{\frac{N_{s+b}}{t_{s+b}} + \frac{N_b}{t_b}} \quad (\text{B-16})$$

donde N_{s+b} y N_b representan el conteo de la fuente y el fondo juntos y el conteo del fondo solo, respectivamente. Diferenciando la ecuación (B-16) e igualando a cero resulta

$$\left[\frac{N_{s+b}}{(t_{s+b})^2} \right] dt_{s+b} + \left[\frac{N_b}{(t_b)^2} \right] dt_b = 0 \quad (\text{B-17})$$

Sustituyendo la ec. (B-15) en (B-17) y despejando se obtiene la expresión

$$\frac{t_b}{t_{s+b}} = \sqrt{\frac{N_b}{N_{s+b}}} \quad (\text{B-18})$$

con la cual se puede hacer una selección óptima del tiempo de conteo.

C. Programa para Localizar Picos

En esta sección se lista el programa computacional que se utilizó para el análisis de espectros gamma en el cual se desarrolló un algoritmo para el método de las medianas móviles.

```
1000 CLS
1001 DISCR1=2.576
1002 DISCR2=1.75
1003 DISCR3=0
1004 DIM A(25),DIF(4096),CANPICO(1536),LCH(200),RCH(200),AREA(200)
1005 DIM CH(4096),CTAS(4096),TCTAS(4096),MEDCTAS(4096),PW(200)
1006 DIM BKGND(200),ERRO(200),TMEDCTAS(4096),CENTRO(200),ENER(200)
1101 INPUT "Cuántos canales tiene el MultiCAnal (MCA)",TAMMCA
1102 TAMCA=INT(TAMMCA)
1103 IF (TAMCA<>512)AND(TAMCA<>1024)AND(TAMCA<>2048)AND(TAMCA<>4096) GOTO
1104 ELSE GOTO 1106
1104 PRINT "MCA FUERA DE RANGO <Teclee 512 o 1024 o 2048 o 4096>"
1105 GOTO 1100
1106 INPUT "Dame el tamaño de ventana <Número IMPAR entre 7 y 25>",&ZZWW
1107 ZW=INT(ZZWW)
1108 IF (ZW<7)OR(ZW>25) GOTO 1109 ELSE GOTO 1112
1109 PRINT,"VENTANA FUERA DE RANGO"
1111 GOTO 1106
1112 IF (ZW<>7)AND(ZW<>9)AND(ZW<>11)AND(ZW<>13)AND(ZW<>15) GOTO 1113 ELSE GOTO
1200
1113 IF (ZW<>17)AND(ZW<>19)AND(ZW<>21)AND(ZW<>23)AND(ZW<>25) GOTO 1114 ELSE
GOTO 1200
1114 PRINT,"ESTE NUMERO NO ES UN ENTERO IMPAR"
1116 GOTO 1106
1201 PRINT "Dame el número de canal INICIAL < # entero entre 1 y "TAMCA-1">";
1202 INPUT " ",ZMCA1
1203 ZMCA1=INT(ZMCA1)
1204 IF (ZMCA1<1)OR(ZMCA1>TAMCA-1) GOTO 1212
1205 IF ZMCA1>TAMCA-((ZW-1)/2) GOTO 1216
1206 PRINT "Dame el número de canal FINAL <# entero entre "ZMCA1" y "TAMCA">";
1207 INPUT " ",ZMCA2
1208 ZMCA2=INT(ZMCA2)
1209 IF (ZMCA2>TAMCA)OR(ZMCA2<2) GOTO 1212
1210 IF ZMCA2<ZMCA1 GOTO 1214
1211 IF ZMCA2<((ZW+1)/2) GOTO 1216 ELSE GOTO 1300
1212 PRINT,"DATO FUERA DE RANGO"
1213 GOTO 1200
1214 PRINT,"EL CANAL FINAL DEBE SER MAYOR QUE EL INICIAL"
1215 GOTO 1200
1216 PRINT,"NO HAY PICOS"
1217 GOTO 8000
1302 INPUT "Los datos serán dados por teclado <K> o se leerá un archivo <F>",&D$
```

```

1303 IF (D$="K") GOTO 1304 ELSE GOTO 1306
1304 PRINT,"NO EXISTE AUN ESTA RUTINA <Teclee Return>"
1305 GOTO 8000
1306 IF (D$<>"F") GOTO 1307 ELSE GOTO 1309
1307 PRINT,"TECLEE <K> O <F>"
1308 GOTO 1300
1309 PRINT
1310 PRINT "El archivo debe tener un dato por renglón y solo números enteros"
1311 INPUT "Dame el nombre del archivo <TIPO TEXTO> ",FILE$
1312 PRINT
1313 PRINT "La forma de la recta de calibración es (A) + (B)*X + (C)*X**2"
1314 INPUT " Dame A = ",A
1315 INPUT " Dame B = ",B
1316 INPUT " Dame C = ",C
1317 IF B=0 GOTO 1318 ELSE GOTO 1319
1318 PRINT ,"B DEBE SER DIFERENTE DE CERO"
1319 GOTO 1313
1320 PRINT "La forma de la recta de resolución es (D) + (E)*SQR(X)"
1321 INPUT " Dame D = ",D
1322 INPUT " Dame E = ",E
1323 PRINT
1324 INPUT " Dame el tiempo de conteo < en segundos > ",TCONT
1325 W=(ZW+1)/2
1326 PKCH=0
1327 IF ZMCA1>=ZW GOTO 1328 ELSE GOTO 1337
1328 IF ZMCA2<=TAMCA-(ZW-1) GOTO 1329 ELSE GOTO 1319
1329 OPEN FILE$ FOR INPUT AS #2
1330 FOR I=1 TO ZMCA1-ZW
1331     INPUT #2,AAA
1332 NEXT I
1333 FOR I=ZMCA1-(ZW-1) TO ZMCA2+(ZW-1)
1334     INPUT #2,CTAS(I)
1335     CH(I)=I
1336     TCTAS(I)=SQR(CTAS(I))+SQR(CTAS(I)+1)
1337 NEXT I
1338 GOSUB 9000
1339 FOR J=ZMCA1-((ZW-1)/2) TO ZMCA2+((ZW-1)/2)
1340     GOSUB 9007
1341 NEXT J
1342 GOSUB 9022
1343 GOTO 4560
1344 OPEN FILE$ FOR INPUT AS #2
1345 FOR I=1 TO ZMCA1-ZW
1346     INPUT #2,AAA
1347 NEXT I
1348 FOR I=ZMCA1-(ZW-1) TO TAMCA
1349     INPUT #2,CTAS(I)
1350     CH(I)=I
1351     TCTAS(I)=SQR(CTAS(I))+SQR(CTAS(I)+1)
1352 NEXT I
1353 GOSUB 9000
1354 FOR J=ZMCA1-((ZW-1)/2) TO TAMCA-((ZW-1)/2)
1355     GOSUB 9007
1356 NEXT J

```

```
1632 FOR Q=TAMCA-((ZW-3)/2) TO TAMCA
1633   MEDCTAS(Q)=CTAS(Q)
1634 NEXT Q
1635 GOSUB 9022
1636 GOTO 4560
1637 IF ZMCA2<=TAMCA-(ZW-1) GOTO 1638 ELSE GOTO 1653
1638 OPEN FILE$ FOR INPUT AS #2
1639 FOR I=1 TO ZMCA2+(ZW-1)
1640   INPUT #2,CTAS(I)
1641   CH(I)=I
1642   TCTAS(I)=SQR(CTAS(I))+SQR(CTAS(I)+1)
1643 NEXT I
1644 GOSUB 9000
1645 FOR J=(ZW+1)/2 TO ZMCA2+((ZW-1)/2)
1646   GOSUB 9007
1647 NEXT J
1648 FOR Q=1 TO (ZW-1)/2
1649   MEDCTAS(Q)=CTAS(Q)
1650 NEXT Q
1651 GOSUB 9022
1652 GOTO 4560
1653 OPEN FILE$ FOR INPUT AS #2
1654 FOR I=1 TO TAMCA
1655   INPUT #2,CTAS(I)
1656   CH(I)=I
1657   TCTAS(I)=SQR(CTAS(I))+SQR(CTAS(I)+1)
1658 NEXT I
1659 GOSUB 9000
1660 FOR J=(ZW+1)/2 TO TAMCA-((ZW-1)/2)
1661   GOSUB 9007
1662 NEXT J
1663 FOR Q=1 TO (ZW-1)/2
1664   MEDCTAS(Q)=CTAS(Q)
1665 NEXT Q
1666 FOR QQ=TAMCA-((ZW-3)/2) TO TAMCA
1667   MEDCTAS(QQ)=CTAS(QQ)
1668 NEXT QQ
1669 GOSUB 9022
1700 PICONUM=0
4570 FOR I=1 TO PKCH
4580   RR=CANPICO(I)
4590   NOPICO=PICONUM
4600   FOR J=1 TO W-1
4610     IF DIF(RR-J)>DISCR2 GOTO 4710 ELSE GOTO 4620
4620     IF DIF(RR-J)>DISCR3 GOTO 4630 ELSE GOTO 4670
4630     PICONUM=PICONUM+1
4640     LCH(PICONUM)=RR-J
4650     J=W
4660     GOTO 4730
4670     PICONUM=PICONUM+1
4680     LCH(PICONUM)=RR-J+1
4690     J=W
4700     GOTO 4730
4710     IF DIF(RR-J)>DIF(RR-J+1) GOTO 4670 ELSE GOTO 4720
```

```

4720     IF J=W-1 GOTO 4630 ELSE GOTO 4730
4730     NEXT J
4740     FOR K=1 TO W-1
4750         IF DIF(RR+K)>DISCR1 GOTO 4760 ELSE GOTO 4810
4760         I=I+1
4770         IF K=W-1 GOTO 4780 ELSE GOTO 4970
4780         K=K-1
4790         GOTO 4970
4810         IF DIF(RR+K)>DISCR2 GOTO 4820 ELSE GOTO 4860
4820         IF DIF(RR+K)>DIF(RR+K+1) GOTO 4770 ELSE GOTO 4830
4830         RCH(PICONUM)=RR+K
4840         K=W
4850         GOTO 4970
4860         IF DIF(RR+K)>DISCR3 GOTO 4830 ELSE GOTO 4870
4870         IF K>1 GOTO 4880 ELSE GOTO 4910
4880         RCH(PICONUM)=RR+K-1
4890         K=W
4900         GOTO 4970
4910         IF LCH(PICONUM)<RR GOTO 4920 ELSE GOTO 4950
4920         RCH(PICONUM)=RR
4930         K=W
4940         GOTO 4970
4950         PICONUM=PICONUM-1
4960         K=W
4970     NEXT K
4980     IF PICONUM<=NOPICO GOTO 4990 ELSE GOTO 5500
4990     PRINT
5000     PRINT "Pico # "PICONUM;
5010     PRINT ",LCH("PICONUM")="LCH(PICONUM),"RCH("PICONUM")="RCH(PICONUM)
5500 NEXT I
5501 ZMCA=ZMCA2-ZMCA1+1
5502 FOR P=1 TO PICONUM
5503     PW(P)=RCH(P)-LCH(P)+1
5504     AREA(P)=0
5505     BKGND(P)=0
5506     FOR J=LCH(P) TO RCH(P)
5507         AREA(P)=AREA(P)+CTAS(J)-MEDCTAS(J)
5508         BKGND(P)=BKGND(P)+MEDCTAS(J)
5509     NEXT J
5510     IF LCH(P)<=RCH(P) GOTO 5513
5511     CENTRO(P)=LCH(P)
5512     GOTO 5518
5513     CENTRO(P)=LCH(P)
5514     FOR LL=LCH(P)+1 TO RCH(P)
5515         IF CTAS(CENTRO(P))>CTAS(LL) GOTO 5517
5516         CENTRO(P)=LL
5517     NEXT LL
5518     ENER(P)=A+(B*CENTRO(P))+(C*(CENTRO(P))^2)
5519     FACBKGND=((D+(E*SQR(CENTRO(P))))/B)+1
5522     ERRO(P)=(100/AREA(P))*SQR(AREA(P)+(BKGND(P)*FACBKGND))
5523 NEXT P
5524 OPEN "REPORTE"FOR OUTPUT AS #3
5525 PRINT #3,,"      REPORTE DEL ESPECTRO      "FILE$
5526 PRINT #3,,"      TAMAÑO DE VENTANA      "ZW

```

```

5527 PRINT #3,,"          CANALES ANALIZADOS  "ZMCA
5528 PRINT #3," "
5529 PRINT #3," Pk  Energy  Area  Bkgnd  FWHM  Channel  Left  Pw  Cts/Sec
%Err"
5530 FOR I=1 TO PICONUM
5531     PRINT #3, USING "####";I;
5532     PRINT #3, USING "#####.##";ENER(I);
5533     PRINT #3, USING "#####";AREA(I);
5534     PRINT #3, USING "#####";BKGND(I);
5535     PRINT #3, "          ";
5536     PRINT #3, USING "#####.##";CENTRO(I);
5537     PRINT #3, USING "#####";LCH(I);
5538     PRINT #3, USING "#####";PW(I);
5539     PRINT #3, "          ";
5540     PRINT #3, USING "##.##^####";(AREA(I))/TCONT;
5541     PRINT #3, USING "#####.##";ERRO(I)
5542 NEXT I
5543 CLOSE #3
8000 INPUT ZZ
8100 STOP
8200 END
9000 CLOSE #2
9001 FOR I=1 TO 2
9002     SOUND 500,3
9003     SOUND 400,3
9004 NEXT I
9005 PRINT ,"TERMINO LA LECTURA DEL ARCHIVO FUENTE"
9006 RETURN
9007 FOR M=0 TO ZW-1
9008     JZWM=J-((ZW-1)/2)+M
9009     A(M+1)=CTAS(JZWM)
9010 NEXT M
9011 FOR K=1 TO ZW-1
9012     T=K+1
9013     FOR L=T TO ZW
9014         IF A(K)>A(L) GOTO 9015 ELSE GOTO 9018
9015         TEMP=A(K)
9016         A(K)=A(L)
9017         A(L)=TEMP
9018     NEXT L
9019 NEXT K
9020 MEDCTAS(J)=A(W)
9021 RETURN
9026 PRINT ,"TERMINO CALCULO DE LAS MEDIANAS"
9027 FOR I=ZMCA1 TO ZMCA2
9028     TMEDCTAS(I)=SQR(MEDCTAS(I))+SQR(MEDCTAS(I)+1)
9029     DIF(I)=TCTAS(I)-TMEDCTAS(I)
9030     IF DIF(I)<DISCR1 GOTO 9033 ELSE GOTO 9031
9031     PKCH=PKCH+1
9032     CANPICO(PKCH)=CH(I)
9033 NEXT I
9038 PRINT ,"NUMERO TOTAL DE CANALES SIGNIFICATIVOS ";PKCH
9039 RETURN

```

D. Recta de Calibración

En el reporte #2 de la sección E del Capítulo V se muestra la información obtenida al realizar la calibración de Energía vs Número de Canal del sistema de detección que se utilizó en la medición de las muestras y estándares. Para realizar dicha calibración se utilizó como patrón una fuente calibrada de europio (Eu-152, 6-Dic-1991).

Los datos de la segunda y tercera columna del reporte #2

Centroide	Energía
246.85	121.78
690.39	344.28
1555.75	778.91
1924.48	964.13
2218.95	1112.12
2807.71	1408.01

se ajustaron a un polinomio de grado 2 por mínimos cuadrados y se obtuvo la curva de calibración que resulto ser

$$y = (-2.14037) + (0.501788)*X + (1.63275E-07)*X**2$$

y cuya gráfica se muestra en la Figura C.1.

Cabe mencionar que la gráfica parece ser una línea recta debido a que el coeficiente del término cuadrático del polinomio es casi nulo, de aquí el nombre de recta de calibración.

