

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

DEPARTAMENTO DE REACTORES

ALIN

Código para cálculo constante decaimiento
y población extrapolada en experiencias
con neutrones pulsados

F. Difilippo - N. Pieroni

CNEA-Re 40

Mayo 1970



Reconocimiento

Por el apoyo y colaboración de :

E. Aldaz

C. Balbi

A. Gomez

C. Grant

C. Mattei

E. Pezzoni

M.T.C. de Schilman

H. Schilman

COMPUTER CODE ABSTRACT

- A.- NAME OR DESIGNATION OF PROGRAMME : ALIN
- B.- COMPUTER FOR WHICH THE PROGRAMME IS DESIGNED AND OTHERS UPON WHICH IT IS OPERABLE : BULL-GE-625, IBM/360.
- C.- NATURE OF PHYSICAL PROBLEM SOLVED : Calculates decay constant and extrapolated population of the fundamental prompt mode in pulsed neutron experiences.
- D.- METHOD OF SOLUTION : Least squares fit
- E.- TYPICAL PROCESSOR TIME : 3 Sec.
- F.- UNUSUAL FEATURES OF THE PROGRAMME : Calculates several pairs of decay constant and extrapolated population varying the starting channel for analysis and selects the particular pair that provides best agreement with experimental values. It also draws experimental data and fitted values.
- G.- STATUS : In use.
- H.- MACHINE REQUIREMENTS : 8K Core.
- I.- PROGRAMMING LANGUAGE USED : Fortran IV.
- J.- OPERATING SYSTEM OR MONITOR UNDER WHICH PROGRAMME IS EXECUTED : Standard (Gecos 2).
- K.- MATERIAL AVAILABLE : (from Departamento de Reactores, CNEA) Fortran Deck, Binary Deck, Test Problem, Test Problem results, Instruction Manual (CNEA-Re 40).

INDICE

	PAG.
<u>Introducción</u>	2
<u>I</u> : Ajuste que efectúa el código.....	4
<u>II</u> : Instrucciones de uso	
<u>II.1</u> : Datos de entrada.....	7
<u>II.2</u> : Salida del código.....	9
<u>III</u> : Experiencia tipo y tiempo de computación....	11
<u>Apéndice A</u> : Fórmulas empleadas	
<u>A.1</u> : Cálculo parámetros de ajuste....	16
<u>A.2</u> : Error en parámetros de ajuste...	20
<u>Apéndice B</u> : Corrección por tiempo muerto del sistema de contaje.....	23
<u>Apéndice C</u> : Listado del código.....	25
<u>Bibliografía</u>	30



SINTESIS

El código que se presenta calcula la constante de decaimiento y la población extrapolada al tiempo inicial correspondientes al modo fundamental de los neutrones instantaneos en mediciones con neutrones pulsados. Puede aplicarse a otras experiencias con decaimiento similar.

El código, escrito en lenguaje Fortran-IV, calcula varios pares de constante de decaimiento y población extrapolada variando el canal inicial de análisis. Selecciona luego el par particular que presenta el mejor acuerdo con los valores experimentales. Los datos experimentales y los obtenidos por ajuste son luego graficados.

INTRODUCCION

La respuesta temporal de un sistema dado -sea o no multiplicativo- a la introducción de un pulso de neutrones, se puede expresar formalmente -(1)- como una superposición de modos armónicos:

$$N(t) = \sum_{n=0}^{\infty} A_n e^{-\alpha_n t} \quad (1)$$

donde: $\alpha_n > \alpha_{n-1} > \alpha_{n-2} > \dots > \alpha_1 > \alpha_0$

En la expresión (1) el término con menor constante de decaimiento, el α_0 correspondiente al "modo fundamental", va a predominar. En algunos casos es necesario efectuar mediciones sobre este modo, cuyo decaimiento debe ser claramente distinguido del de los otros, que pueden contribuir perturbando seriamente los resultados obtenidos.

$$\text{Llamando: } \alpha = \alpha_0 \quad (2)$$

si a partir de un tiempo inicial t_I se ajustan los datos experimentales con una expresión $A_I e^{-\alpha t}$ se obtendrá un juego de valores A_I y α . Variando el tiempo inicial t_I se tendrán nuevos A_I y α . La variación típica de α en función de t_I -(2)-se muestra en Fig.1.

La curva (1) corresponderá a una zona con predominio de armónicos positivos y la (2) con predominio de armónicos negativos. Se observa que a partir de un cierto $t_I = T_{IF}$, ambas curvas tienden a un valor asintótico, que es el α fundamental buscado.

Lo que se hace habitualmente es construir el gráfico de Fig. 1 y determinar así al α correcto. El código que se presenta obvia esta operación y escoge directamente el valor de α fundamental.

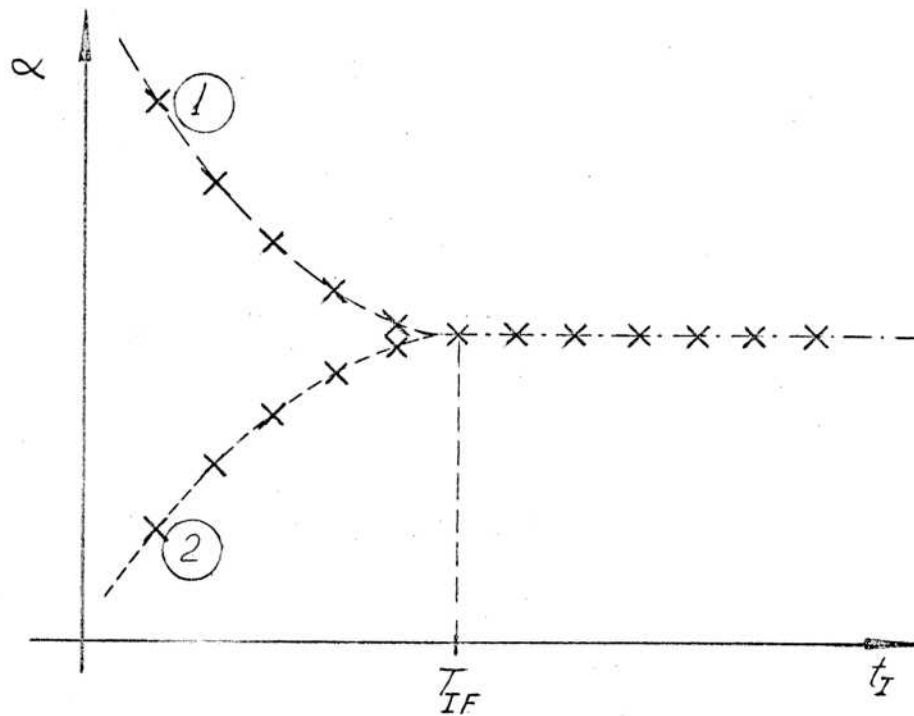


Fig.1

Variación de la constante de decaimiento α
en función del tiempo inicial de ajuste



I.- AJUSTE QUE EFECTUA EL CODIGO

El pulso de equilibrio -(1)- típico en una experiencia con neutrones pulsados se muestra en Fig. 2. También se indica la secuencia temporal correspondiente a un Analizador Multicanal tipo TMC provisto de la Unidad Lógica modelo 212.

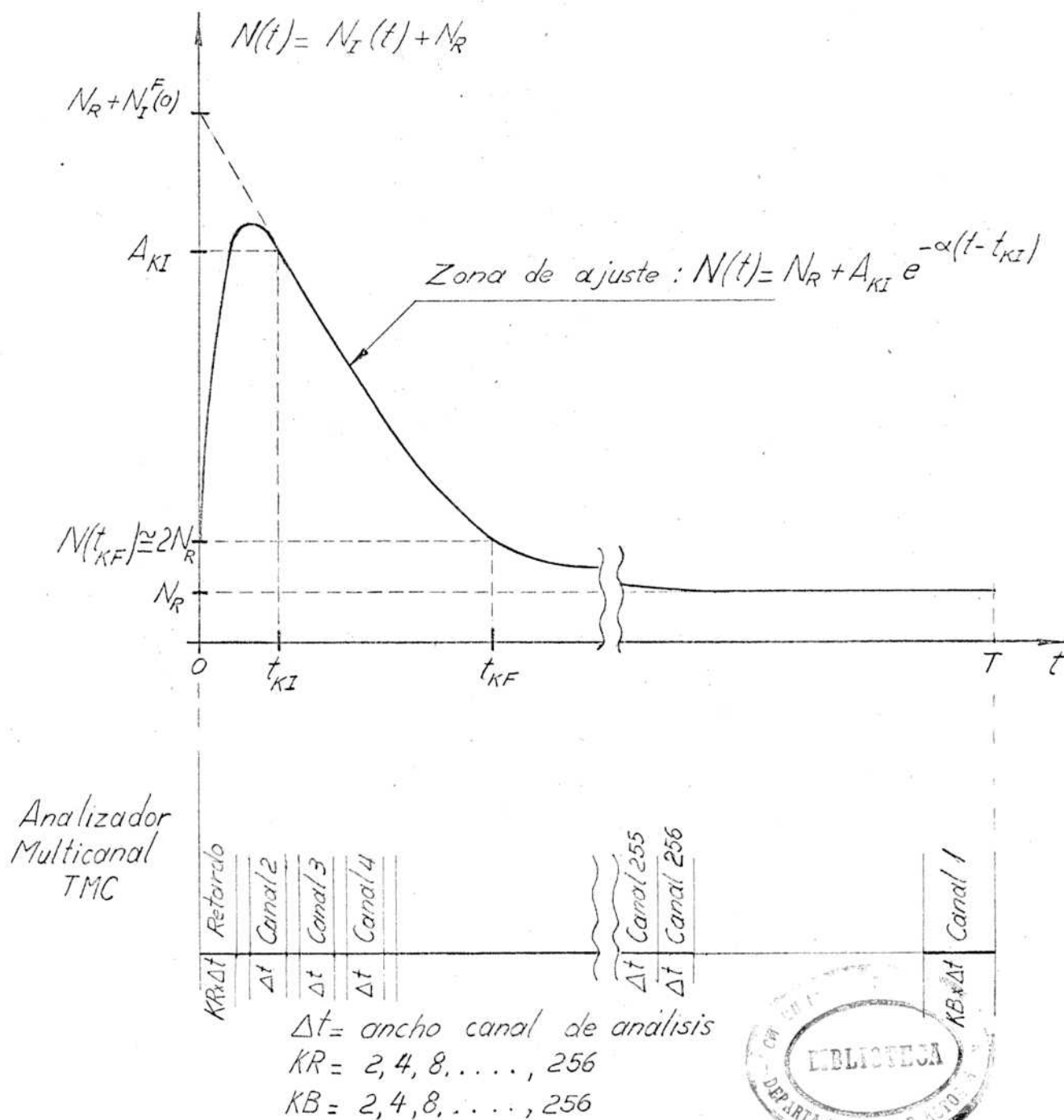


Fig.2

Corrigiendo por el tiempo muerto del sistema de conteaje y sustrayendo el fondo constante N_R , se tiene la función $N_I(t)$, que presenta una zona de decaimiento exponencial donde se quiere ajustar una expresión de la forma:

$$F(A_{KI}, \alpha, t) = A_{KI} e^{-\alpha(t-t_{KI})} \quad (I.1)$$

Conocidos A_{KI} y α , se calcula:

$$N_I^F(0) = A_{KI} e^{\alpha t_{KI}} \quad (I.2)$$

En experiencias con neutrones pulsados en medios multiplicativos α es la constante de decaimiento y $N_I^F(0)$ la densidad extrapolada al tiempo $t = 0$ del modo fundamental de los neutrones instantáneos. Dado un canal i , tendrá asociado un tiempo t_i y un conteaje N_i^{Exp} dado por:

$$N_i^{Exp} = N_I(t_i) = N(t_i) - N_R \quad (I.3)$$

al cual corresponderá:

$$F_i = F(A_{KI}, \alpha, t_i) = A_{KI} e^{-\alpha(t_i - t_{KI})} \quad (I.4)$$

El código que se presenta efectúa el ajuste de los datos experimentales en la zona comprendida entre los canales KI y KF empleando el método de cuadrados mínimos:

$$\sum_{i=KI}^{KF} P_i (N_i^{Exp} - F_i)^2 = \text{mínimo} \quad (I.5)$$

donde P_i es una función de peso.



El procedimiento seguido por el programa para escoger el α fundamental es el siguiente: a partir del canal KI prefijado efectúa el ajuste utilizando los valores N_i^{Exp} comprendidos entre los canales KI y KF. Una vez obtenidos α y $N_I^F(0)$, calcula:

$$N_i^{Ajuste} = N_I^F(0) e^{-\alpha t_i} \quad (I.6)$$

y los compara con el conteaje experimental correspondiente determinando el número de veces que se cumple:

$$\left| N_i^{Ajuste} - N_i^{Exp} \right| \leq \sqrt{N_i^{Exp}} \quad \left. \begin{array}{l} \text{para } i = KI, KI+1, \dots, KF \end{array} \right\} \quad (I.7)$$

A continuación efectúa un nuevo ajuste tomando los valores comprendidos entre un nuevo canal inicial $KI^{(1)} = KI + KP$ y KF, donde:

$$KP = (KF - KI - 10)/10 \quad (I.8)$$

obteniendo nuevos valores de α , $N_I^F(0)$ y número de coincidencias del tipo (I.7). El proceso continua en forma sucesiva variando el canal inicial del intervalo de ajuste en pasos KP, hasta llegar a un valor

$$KI^{(10)} = KI + 10KP \quad (I.9)$$

realizando el último ajuste con los valores comprendidos entre $KI^{(10)}$ y KF. El código elige entonces el juego de valores α y $N_I^F(0)$ que ha provisto el mayor número de coincidencias del tipo (I.7). Analizando este procedimiento, se observa que para

canales KI correspondientes a un tiempo anterior al T_{IF} de Fig. 1 en que α toma el valor asintótico, los modos armónicos perturban el cálculo y en consecuencia las coincidencias tipo (I.7) serán escasas. El buscar el mayor número de coincidencias implica situarse en la zona asintótica mostrada en Fig. 1. Los valores experimentales y los obtenidos por ajuste con el juego $(\alpha, N_I^F(o))$ elegido son luego graficados.

A fin de adoptar una función de peso P_i conveniente se probaron los siguientes

$$P_i = \begin{cases} \sqrt{N_i^{Exp}} \\ N_i^{Exp} \\ 1 \\ 1/\sqrt{N_i^{Exp}} \end{cases} \quad (I.10)$$

Aplicándolas para un número grande de casos se comprobó que en general el mayor número de coincidencias tipo (I.7) se producía para $P_i = N_i^{Exp}$; además los errores en los valores de α y $N_I^F(o)$ calculados con esta función de peso resultaban inferiores a los correspondientes obtenidos con los otros P_i . Para el código se adoptó en consecuencia:

$$P_i = N_i^{Exp} \quad (I.11)$$

II.- INSTRUCCIONES DE USO

II.1: Datos de entrada

Entre paréntesis se indica el formato correspondiente en lenguaje Fortran.

Tarjeta 1: Los símbolos que se indican en esta tarjeta son los utilizados para el gráfico de salida. Cuando se calculan varios casos esta tarjeta se coloca una sola vez al comienzo de los datos.

Columna 1 (A1): en blanco

Columna 2 (A1): símbolo •

Columna 3 (A1): símbolo +

Columna 4 (A1): símbolo •

Columna 5 (A1): símbolo *

Tarjeta 2:

Columnas 1-4 N (I4) Numeración correspondiente a la experiencia que se calcula.

Columnas 5-7 KI (I3) Número de orden del canal inicial para el ajuste.

Columnas 8-10 KF (I3) Número de orden del canal final para el ajuste; debe ser ≤ 256 .

Columnas 11-13 JM (I3) Número de orden del canal en que el conteo tiene el máximo valor.

Columnas 14-16 KB (I3) Número de veces que el canal 1 contiene al canal de análisis.

Columnas 17-19 KR (I3) Número de veces que el canal de retardo contiene al canal de análisis.

Columnas 20-26 T (F7.6) Ancho temporal de cada canal de análisis, en seg.

Columnas 27-33 AP (F7.6) Ancho temporal del pulso de neutrones, en seg.

Columnas 34-40 TAU (F7.6) Tiempo muerto del sistema de conteaje, en seg.

Columnas 41-47 PE (F7.6) Período de pulsación, en seg.

Columnas 48-52 TM (F5.1) Duración del conteaje, en seg.

Tarjetas 3 y siguientes:

Columnas 1-6-, 7-12,, 67-72 W(I) (F12F6.0) Contaje acumulado en los canales I, donde $I = 1, 2, 3, \dots$ KF.

Al final de las tarjetas de datos se coloca una en blanco.

II.2: Salida del código

Los datos de entrada son impresos bajo las siguientes denominaciones:

CANAL INICIAL: Número de orden del canal inicial para el ajuste.

CANAL FINAL: Número de orden del canal final para el ajuste.

CANAL FONDO: Número de veces que el canal 1 contiene al canal de análisis.

RETARDO: Número de veces que el canal de retardo contiene al canal de análisis.

ANCHO CANAL: Ancho temporal de cada canal de análisis.

ANCHO PULSO: Ancho temporal del pulso de neutrones.

TIEMPO MUERTO: del sistema de conteaje.

PERIODO: de pulsación.

TIEMPO MEDICION: duración del conteaje.

VALORES PARA AJUSTAR: Contaje acumulado en los canales I, para:

$I = 1, 2, 3, \dots 12$
13, 14, 24
25, 26, 36
.....

Los valores calculados por el código a partir de estos datos se imprimen bajo las siguientes denominaciones:

VALORES CORREGIDOS POR TIEMPO MUERTO Y FONDO: conteaje acumulado en los canales I, corregidos por tiempo muerto, a los que se les ha sustraído el valor constante N_R , para:

$$I = \begin{matrix} 1, 2, \dots, 12 \\ 13, 14, \dots, 24 \\ \dots \end{matrix}$$

Si alguno de estos valores resultase negativo, el código imprime la leyenda ERROR DATOS y pasa a resolver el caso siguiente, si lo hay, o se detiene si no lo hay.

CANAL INICIAL: Número de orden del canal inicial empleado en el ajuste que provee los valores de α y $N_I^F(o)$ elegidos por el código.

ALFA: constante de decaimiento.

ERROR STANDARD: error estadístico en la determinación de ALFA.

EXTRAPOLACION: $N_I^F(o)$ (ver sección I).

ERROR STANDARD: error estadístico en la determinación de $N_I^F(o)$

COINCIDENCIAS: Número de veces que se cumple la condición (I.7) en el intervalo $(K_F - K_I)$.

El gráfico imprime en ordenadas en escala logarítmica el conteaje acumulado en los canales I corregidos por tiempo muerto y por sustracción del fondo constante N_R . En eje de absisas el tiempo correspondiente al punto medio de cada canal de análisis, en seg. Los puntos representados simbolizan:

- + : valor experimental del conteaje corregido por tiempo muerto y fondo, en canal I (I= 2, 3, KF)
- : valor correspondiente al canal I, según fórmula (I.6)
- * : indica que el valor experimental y el de ajuste cumplen la condición:

$$\left| \ln N_i^{\text{Exp}} - \ln N_i^{\text{Teor}} \right| < \frac{\ln N^{\text{Exp}}(JM) / N^{\text{Exp}}(KF)}{120}$$

III.- Experiencia tipo y tiempo de computación

El ejemplo que se muestra corresponde a una medición efectuada para un estado subcrítico del reactor RA-2 empleando el método de neutrones pulsados. Los datos provenientes de la experiencia son los siguientes:

Numeración de la experiencia que se calcula: 586
 Número de orden del canal inicial para el ajuste: 12
 Número de orden del canal final para el ajuste: 52
 Número de orden del canal con máximo conteaje: 5
 Número de veces que se ensancha el canal 1: 256
 Número de veces que se ensancha el canal de retardo: 2
 Ancho del canal de análisis: 160 μ seg
 Ancho del pulso de neutrones: 419 μ seg
 Tiempo muerto del sistema de conteaje: 10 μ seg
 Período de pulsación: 69.8 mseg
 Duración del conteaje: 19 min 7 seg
 Contaje acumulado en los canales 1, 2,, 52

En tabla 1 se muestran estos datos ordenados para ser ingresados al programa, y en Tabla 2 se muestra la salida del mismo.

El tiempo de computación para esta experiencia tipo fué 2.88 seg en el procesador central.

TABLA 1

Datos de entrada para la experiencia tipo

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA		HOJA DE PERFORACION FORTRAN										Fecha
Problema		ALIN										Hoja
Programador												
C	Nº	10	20	30	40	50	60	70	80	90	0	
1	•+•*										517	0
2	586 12 52 5256 2	160	419	10	6980011470						586	1
3	49750 8699 13323 15693 16476	16065 15466	15056 13699	12891 11714	10908						586	2
4	9863 9222 8256	7651 6877	6363 5681	5222 4807	4296 4135	3691					586	3
5	3262 2962 2741	2629 2243	2112 1976	1758 1602	1510 1332	1221					586	4
6	1199 1032 1012	919 825	782 764	720 669	601 548	515					586	5
7	515 486 447	423										
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												

Salida del programa para la experiencia tipo

ALIN

CALCULO CONSTANTE DE DECAIMIENTO

METODO CUADRADOS MINIMOS

RESULTADOS EXPERIENCIA NUMERO 586

CANAL INICIAL	CANAL FINAL	CANAL FONDO	RETARDO	PERIODO	TIEMPO MEDICION
12	54	256	2		
ANCHO CANAL	ANCHO PULSO	TIEMPO MUERTO			
0.000160 SEG	0.000419 SEG	0.000010 SEG	0.069800 SEG		1147.0 SEG
VALORES PARA AJUSTAR					
49750. 9863. 9222. 2922. 1032. 1436.	13323. 12693. 17651. 2628. 919. 423.	16476. 16035. 6877. 2243. 825. 416.	15035. 5353. 2712. 732. 339.	15036. 15022. 5922. 1720.	12891. 13594. 4597. 1692. 531.
11714. 4135. 1332. 548.	12066. 4027. 1124. 325.	13351. 4173. 1324. 435.	14258. 4702. 1417. 476.	15776. 5153. 1575. 527.	11186. 3549. 1632. 322.
VALORES CORREGIDOS POR TIEMPO MUERTO Y FONDO					
49787. 10053. 19108. 1910. 1322.	13040. 18329. 2325. 821. 253.	17383. 6867. 2068. 633. 222.	16916. 5326. 1935. 590. 195.	16235. 5612. 1795. 572.	12066. 4027. 1124. 325.
CANAL INICIAL	ALFA (1/SEG)	ERROR STANDARD	EXTRAPOLACION	ERROR STANDARD	COINCIDENCIAS
12	572.9	0.7	37685.	62.	26.



Apéndice A

Fórmulas empleadas

A.1 Cálculo parámetros de ajuste

Definiendo:

$$T_i = t_i - t_{KI} \quad (A.1)$$

la fórmula (I4) queda:

$$F_i = A_{KI} e^{-\alpha T_i} \quad (A.2)$$

Tomando logaritmo:

$$\ln F_i = \ln A_{KI} - \alpha T_i \quad (A.3)$$

La condición de cuadrados mínimos puede expresarse:

$$C = \sum_{i=KI}^{KF} P_i (\ln N_i^{Exp} - \ln F_i)^2 = \text{mínimo}. \quad (A.4)$$

ó lo que es lo mismo:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial A_{KI}} &= -2 \sum_{i=KI}^{KF} P_i (\ln N_i^{Exp} - \ln A_{KI} + \alpha T_i) \frac{1}{A_{KI}} = 0 \\ \frac{\partial C}{\partial \alpha} &= 2 \sum_{i=KI}^{KF} P_i (\ln N_i^{Exp} - \ln A_{KI} + \alpha T_i) T_i = 0 \end{aligned} \right\} (A.5)$$

Operando se obtiene:

$$\left. \begin{aligned} \ln A_{KI} \left(\sum_{i=KI}^{KF} P_i \right) - \alpha \left(\sum_{i=KI}^{KF} P_i T_i \right) &= \sum_{i=KI}^{KF} P_i \ln N_i^{Exp} \\ \ln A_{KI} \left(\sum_{i=KI}^{KF} P_i T_i \right) - \alpha \left(\sum_{i=KI}^{KF} P_i T_i^2 \right) &= \sum_{i=KI}^{KF} P_i \ln N_i^{Exp} T_i \end{aligned} \right\} (A.6)$$

El determinante de los parámetros a calcular es:

$$\Delta = \begin{vmatrix} \sum_i P_i & -\sum_i P_i T_i \\ \sum_i P_i T_i & -\sum_i P_i T_i^2 \end{vmatrix} = \left(\sum_i P_i T_i \right)^2 - \left(\sum_i P_i \right) \left(\sum_i P_i T_i^2 \right) \quad (\text{A.7})$$

$$\alpha = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} \sum_i P_i & \sum_i P_i \ln N_i^{\text{Exp}} \\ \sum_i P_i T_i & \sum_i P_i \ln N_i^{\text{Exp}} T_i \end{vmatrix} \quad (\text{A.8})$$

$$\ln A_{KI} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} \sum_i P_i \ln N_i^{\text{Exp}} & -\sum_i P_i T_i \\ \sum_i P_i \ln N_i^{\text{Exp}} T_i & -\sum_i P_i T_i^2 \end{vmatrix} \quad (\text{A.9})$$

Se obtiene operando:

$$\alpha = \frac{\left(\sum_{i=KI}^{KF} P_i \ln N_i^{\text{Exp}} T_i \right) \left(\sum_{i=KI}^{KF} P_i \right) - \left(\sum_{i=KI}^{KF} P_i \ln N_i^{\text{Exp}} \right) \left(\sum_{i=KI}^{KF} P_i T_i \right)}{\left(\sum_{i=KI}^{KF} P_i T_i \right)^2 - \left(\sum_{i=KI}^{KF} P_i T_i^2 \right) \left(\sum_{i=KI}^{KF} P_i \right)} \quad (\text{A.10})$$



$$l_n A_{KI} = \frac{\left(\sum_{i=KI}^{KF} P_i \bar{T}_i \right) \left(\sum_{i=KI}^{KF} P_i l_n N_i^{Exp} \bar{T}_i \right) - \left(\sum_{i=KI}^{KF} P_i \bar{T}_i^2 \right) \left(\sum_{i=KI}^{KF} P_i l_n N_i^{Exp} \right)}{\left(\sum_{i=KI}^{KF} P_i \bar{T}_i \right)^2 - \left(\sum_{i=KI}^{KF} P_i \bar{T}_i^2 \right) \left(\sum_{i=KI}^{KF} P_i \right)} \quad (A.11)$$

Teniendo en cuenta el tiempo muerto entre canales, que para el caso del analizador TMC es de 10 μ seg, definimos:

$$\Delta t_c = \Delta t + 0.00001 \text{ seg} \quad (A.12)$$

Observando la Fig.1 se obtiene:

$$\bar{T}_i = (i - KI) \Delta t_c \quad (A.13)$$

Reemplazando en las fórmulas (A.10) y (A.11) se obtiene:

$$\alpha = \frac{1}{\Delta t_c} \frac{\left[\sum_{i=KI}^{KF} P_i \right] \left[\sum_{i=KI}^{KF} P_i (i - KI) l_n N_i^{Exp} \right] - \left[\sum_{i=KI}^{KF} P_i (i - KI) \right] \left[\sum_{i=KI}^{KF} P_i l_n N_i^{Exp} \right]}{\left[\sum_{i=KI}^{KF} P_i (i - KI) \right]^2 - \left[\sum_{i=KI}^{KF} P_i \right] \left[\sum_{i=KI}^{KF} P_i (i - KI)^2 \right]} \quad (A.14)$$

$$l_n A_{KI} = \frac{\left[\sum_{i=KI}^{KF} P_i (i - KI) l_n N_i^{Exp} \right] \left[\sum_{i=KI}^{KF} P_i (i - KI) \right] - \left[\sum_{i=KI}^{KF} P_i l_n N_i^{Exp} \right] \left[\sum_{i=KI}^{KF} P_i (i - KI)^2 \right]}{\left[\sum_{i=KI}^{KF} P_i (i - KI) \right]^2 - \left[\sum_{i=KI}^{KF} P_i \right] \left[\sum_{i=KI}^{KF} P_i (i - KI)^2 \right]} \quad (A.15)$$

Tomando t_{KI} como el tiempo correspondiente al punto medio del canal KI, de Fig.2 se obtiene:

$$t_{KI} = \left(KI - \frac{3}{2} \right) \Delta t_c + KR \times \Delta t + 0.00001 \text{ seg} \quad (\text{A.16})$$

Teniendo en cuenta que:

$$A_{KI} = e^{\ln A_{KI}} \quad (\text{A.17})$$

de fórmula (I.2) se obtiene:

$$N_I^F(0) = A_{KI} e^{\alpha t_{KI}} = e^{\ln A_{KI}} e^{\alpha t_{KI}} \quad (\text{A.18})$$

ó sea:

$$N_I^F(0) = e^{(\ln A_{KI} + \alpha t_{KI})} \quad (\text{A.19})$$

Las fórmulas (A.14), (A.15) y (A.19) son las empleadas por el código para el ajuste.

A.2 Error en los parámetros de ajuste

De la ecuación (A.14) se puede escribir:

$$\alpha = \frac{1}{\Delta t_c D} \times \left\{ \left[\sum_{i=KI}^{KF} P_i \right] \left[\sum_{i=KI}^{KF} P_i (i-KI) \ln N_i^{EXP} \right] - \left[\sum_{i=KI}^{KF} P_i (i-KI) \right] \left[\sum_{i=KI}^{KF} P_i \ln N_i^{EXP} \right] \right\} \quad (A.20)$$

o sea:

$$\alpha = \frac{1}{\Delta t_c D} \cdot f_{\alpha} (N_i^{EXP}) \quad i = KI, KI+1, \dots, KF \quad (A.21)$$

Aplicando la teoría estadística de errores de Gauss:

$$\Delta \alpha = \frac{1}{\Delta t_c D} \times \sqrt{\sum_{i=KI}^{KF} \left(\frac{\partial f_{\alpha}}{\partial N_i^{EXP}} \Delta N_i^{EXP} \right)^2} \quad (A.22)$$

Asumiendo

$$\Delta N_i^{EXP} = \sqrt{N_i^{EXP}} \quad (A.23)$$

y operando, en forma directa se obtiene de (A.22):

$$\Delta \alpha = \frac{1}{\Delta t_c D} \times \sqrt{\sum_{i=KI}^{KF} \frac{P_i^2}{N_i^{EXP}} \left\{ \left[\sum_{i=KI}^{KF} P_i \right] (i-KI) - \left[\sum_{i=KI}^{KF} P_i (i-KI) \right] \right\}^2} \quad (A.24)$$

Similarmente de (A.15) se tiene:

$$\ln A_{KI} = \frac{1}{D} \left\{ \left[\sum_{i=KI}^{KF} P_i(i-KI) \ln N_i^{EXP} \right] \left[\sum_{i=KI}^{KF} P_i(i-KI) \right] - \left[\sum_{i=KI}^{KF} P_i \ln N_i^{EXP} \right] \left[\sum_{i=KI}^{KF} P_i(i-KI)^2 \right] \right\} \quad (A.25)$$

ó sea:

$$\ln A_{KI} = \frac{1}{D} \cdot f_{N_{KI}}(N_i^{EXP}) \quad i = KI, KI+1, \dots, KF \quad (A.26)$$

y:

$$A_{KI} = e^{\ln \left[\frac{1}{D} \cdot f_{N_{KI}}(N_i^{EXP}) \right]} = F_{N_{KI}}(N_i^{EXP}) \quad (A.27)$$

Aplicando la teoría de Gauss:

$$\Delta A_{KI} = \sqrt{\left(\sum_{i=KI}^{KF} \frac{\partial F_{N_{KI}}(N_i^{EXP})}{\partial N_i^{EXP}} \Delta N_i^{EXP} \right)^2} \quad (A.28)$$

Asumiendo nuevamente (A.23) y operando, en forma directa se obtiene de (A.28):

$$\Delta A_{KI} = \frac{e^{\ln A_{KI}}}{D} \sqrt{\sum_{i=KI}^{KF} \frac{P_i^2}{N_i^{EXP}} \left\{ (i-KI) \left[\sum_{i=KI}^{KF} P_i(i-KI) \right] - \left[\sum_{i=KI}^{KF} P_i(i-KI)^2 \right] \right\}^2} \quad (A.29)$$

De fórmula (I.2) se tiene:

$$N_I^F(0) = A_{KI} e^{\alpha t_{KI}} = F(A_{KI}, \alpha) \quad (\text{A.30})$$

luego:

$$\Delta N_I^F(0) = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial A_{KI}} \Delta A_{KI}\right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial \alpha} \Delta \alpha\right)^2} \quad (\text{A.31})$$

Se obtiene en forma directa:

$$\Delta N_I^F(0) = \sqrt{\left(e^{\alpha t_{KI}} \cdot \Delta A_{KI}\right)^2 + \left(A_{KI} \cdot t_{KI} \cdot \Delta \alpha\right)^2} \quad (\text{A.32})$$

Las fórmulas (A.24) (A.29) y (A.32) son las empleadas por el código para el cálculo de los errores estadísticos.



Apéndice B

Corrección por tiempo muerto del sistema de conteo

El número de eventos contado en un canal "i" después de L barridos del analizador multicanal está dado por:

$$N_i^{Exp} = \sum_{l=1}^L C_i^l \Delta t \quad (B.1)$$

donde C_i^1 es la velocidad de conteo en el canal "i" durante el barrido 1.

Suponiendo que el sistema de detección sea del tipo sin paralísis, la corrección en primer orden -(3)- viene dada por

$$\left[C_i^l \right]_c = \frac{C_i^l}{1 - \tau C_i^l} \quad (B.2)$$

siendo τ el tiempo muerto total del sistema.

Luego:

$$\left[N_i^{Exp} \right]_c = \sum_{l=1}^L \frac{C_i^l}{1 - \tau C_i^l} \Delta t \quad (B.3)$$

Suponiendo la velocidad de conteo constante durante los L barridos:

$$C_i^l = C_i \quad l = 1, \dots, L \quad (B.4)$$

$$\left[N_i^{Exp} \right]_C = L \frac{C_i}{1 - \tau C_i} \Delta t = \frac{N_i^{Exp}}{1 - \tau C_i} = \frac{N_i^{Exp}}{1 - \tau \frac{L \Delta t}{L \Delta t} C_i} \quad (B.5)$$

Se obtiene finalmente:

$$\left[N_i^{Exp} \right]_C = \frac{N_i^{Exp}}{1 - \frac{\tau N_i^{Exp}}{L \Delta t}} \quad (B.6)$$

que es la fórmula empleada en el código.



Listado del código

4043	01	06-17-70	17.612
------	----	----------	--------

[illegible]

[illegible]

4043 01 06-17-70 17.612

```

105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 116 117 118 119 120 121 122
21 6 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 116 117 118 119 120 121 122
    EAECI = EAEXT
    CONTINUE
    6 FORMAT (/4X,14,10X,F9.1,9X,F8.1,24X,F8.0,14X,F6.0,10X,F3.0)
    S1 = 0.
    S3 = 0.
    S4 = 0.
    S5 = 0.
    S6 = 0.
    S7 = 0.
    S8 = 0.
    11 CONTINUE
    JCI,ACI,EACI,AECI,EAECI,C1
    CALL DIBUJO
    GO TO 9
    25 WRITE (6,26)
    26 FORMAT (/40X,12H ERROR DATJS)
    GO TO 9
    END

```

22976 WORDS OF MEMORY USED BY THIS COMPILATION



4043 01 06-17-70 17.758

52 RETURN
53 END

23024 WORDS OF MEMORY USED BY THIS COMPILATION

DIBU 500 68
DIBU 510 69



Bibliografía

- 1.- Pasquini, E. y Pieroni, N. "Introducción a Métodos de Neutrones Pulsados", CNEA-Re 17 (junio 1966).
- 2.- Keepin, G.R. , Atomic Energy Review, 2, 2 (1964) 75.
- 3.- Evans, R.D. : "The Atomic Nucleus", Mc Graw-Hill, 1955, Chap. 28.