

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 1	AÑO 1978

02.78.18

CNEA-NT 37/78

PROGRAMA DE COMPUTADORA

RADAR-CNEA

Para la determinación de constantes de semidesintegración
y actividades iniciales de una mezcla de radionucleídos

M. C. SARAVI, H. FERNANDEZ GIANOTTI

C. WASILEVSKY, S. J. NASSIFF y

M. de la VEGA VEDOYA

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
GERENCIA DE INVESTIGACIONES
"RADIOQUIMICA"

RESUMEN

El programa "RADAR" (1) de H.Münzel y E.Pfennig, cedido gentilmente por el INSTITUT FÜR RADIOCHEMIE de KARLSRUHE, ALEMANIA FEDERAL, fue adaptado a las condiciones de trabajo de la COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA de la ARGENTINA para ser utilizado en una computadora IBM 370.

El "DECK" de tarjetas en lenguaje FORTRAN IV del programa RADAR-CNEA se encuentra archivado en la biblioteca de programas de RADIOQUIMICA-CNEA.

ABSTRACT

The H. Münzel and E. Pfennig "RADAR" computer program given by the INSTITUT für RADIOCHEMIE of KARLSRUHE, GERMANY, was adapted to the COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA of ARGENTINA working conditions in order to be useful in a IBM 370 computer.

The deck of cards in FORTRAN IV language may be found in the RADIOQUIMICA-CNEA's computer programs library.

I - INTRODUCCION

Las actividades y períodos de las componentes de una mezcla de radionucleídos se pueden obtener a través de un análisis de la curva de desintegración radioactiva. Para llevar a cabo tales análisis se emplean normalmente métodos gráficos. Los resultados así obtenidos tienen, aún en casos simples, algunos porcientos de error. Además, por aplicación de ese método, no existe la posibilidad de obtener información sobre la desviación standard de los resultados. Ambas desventajas se superan mediante un análisis numérico de la curva de desintegración ya que se obtienen resultados más exactos como así también su desviación standard. La realización de tal análisis numérico insume mucho tiempo y no es posible realizarla prácticamente con una calculadora de mesa. Por eso se ha escrito un programa en lenguaje FORTRAN IV y en vistas a operar en una IBM 370.

II - DESCRIPCION DEL PROGRAMA

II.1. TEORIA

La actividad de un nucleído j se define como la variación del número de átomos en la unidad de tiempo:

$$A_j = - \frac{dN_j}{dt} \quad (\text{II.1.1.})$$

Si λ_j es la constante de desintegración (probabilidad de desintegración), la actividad será igual al número de átomos presentes N_j por la probabilidad de desintegración:

$$A_j = \lambda_j N_j \quad (\text{II.1.2.})$$

Ubicando el origen del tiempo ($t=0$) en el instante en que terminó la irradiación, llamaremos t_{io} el instante inicial de una medición (la i -ésima) y t_{if} el instante final de dicha medición. El tiempo que dura tal medición será: $\Delta t_i = t_{if} - t_{io}$. El número de átomos que han desintegrado en el intervalo t_{io} , t_{if} será igual al número de átomos presentes en el instante final menos el número de átomos presentes en el instante inicial:

$$N_j(t_{if}-t_{io}) = N_j(0) e^{-\lambda_j t_{if}} - N_j(0) e^{-\lambda_j t_{io}} \quad (\text{II.1.3.})$$

La actividad será entonces:

$$A_j = - \frac{\Delta N_j}{\Delta t} = \frac{N_j(0)(e^{-\lambda_j t_{io}} - e^{-\lambda_j t_{if}})}{t_{if} - t_{io}} = \lambda_j N_j \quad (\text{II.1.4.})$$

así obtenemos la actividad para el nucleído j como:

$$A_j = \frac{N_j(0) \lambda_j}{(t_{if} - t_{io})^{\lambda_j}} e^{-\lambda_j t_{io}} \cdot [1 - e^{-\lambda_j (t_{if} - t_{io})}] \quad (\text{II.1.5.})$$

por lo que la expresión de la actividad del nucleído j en la medición i-ésima queda:

$$A_{ji} = \frac{A_j(0)}{\lambda_j (t_{if} - t_{io})} e^{-\lambda_j t_{io} (1 - e^{-\lambda_j (t_{if} - t_{io})})} \quad (\text{II.1.6.})$$

Cuando se trata de una mezcla de NK radionucleídos la actividad en la medición i-ésima será:

$$AB(i) = \sum_{j=1}^{NK} A_{ji} = \sum_{j=1}^{NK} \frac{A_j(0)}{\lambda_j (t_{if} - t_{io})} e^{-\lambda_j t_{io} (1 - e^{-\lambda_j (t_{if} - t_{io})})} \quad (\text{II.1.7.})$$

llamando:

$$H(i, j) = \frac{e^{-\lambda_j t_{io}}}{\lambda_j (t_{if} - t_{io})} \left\{ 1 - e^{-\lambda_j (t_{if} - t_{io})} \right\} \quad (\text{II.1.8.})$$

y escribiendo además:

$$Z_j = \lambda_j$$

$$B(i) = t_{io} \quad (\text{II.1.9.})$$

$$D(i) = t_{if} - t_{io}$$

$$A_j(o) = A_0(j)$$

quedará:

$$H(i,j) = \frac{\exp\{-Z(j)B(i)\}}{Z_j D(i)} \left\{ 1 - \exp(-Z(j) D(i)) \right\} \quad (II.1.10.)$$

con lo que

$$AB(i) = \sum_{j=1}^{NK} AO(j) \cdot H(i,j) \quad (II.1.11.)$$

El objetivo del análisis numérico de la curva de desintegración es, dados los datos experimentales $A(i)$; $B(i)$; $D(i)$, calcular las cantidades $AO(j)$ y $Z(j)$.

Si entre dos o más componentes de la mezcla de radionucleídos existe una relación genética, entonces no es más válida la ecuación II.1.11. Por un análisis de la curva de desintegración no se determinarán las verdaderas actividades iniciales $AO(j)$ sino las actividades aparentes $AOS(j)$.

Sea una serie genética $N_1 \rightarrow N_2 \rightarrow N_3 \rightarrow \text{etc.} \rightarrow \text{estable}$. Inicialmente hay una cantidad $N_1(0)$, $N_2(0)$, etc., de cada nucleído de la cadena. La variación del número de átomos presentes estará dada por las siguientes ecuaciones:

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 \quad (II.1.12.)$$

$$\vdots \quad \vdots \quad \vdots$$

$$\frac{dN_k}{dt} = \lambda_{k-1} N_{k-1} - \lambda_k N_k$$

Este sistema de ecuaciones diferenciales se resuelve poniendo:

$$N_1 = A_{11} e^{-\lambda_1 t}$$

$$N_2 = A_{21} e^{-\lambda_1 t} + A_{22} e^{-\lambda_2 t}$$

$$N_3 = A_{31} e^{-\lambda_1 t} + A_{32} e^{-\lambda_2 t} + A_{33} e^{-\lambda_3 t}$$

$$N_k = A_{k1} e^{-\lambda_1 t} + A_{k2} e^{-\lambda_2 t} + \dots + A_{ki} e^{-\lambda_i t} + \dots + A_{kk} e^{-\lambda_k t}$$

Estas soluciones se sustituyen en las ecuaciones diferenciales para determinar los coeficientes A_{ki} . Se obtiene así, para el caso en que $k \neq i$

$$A_{ki} = \frac{\lambda_{k-1}}{\lambda_k - \lambda_i} A_{k-1}, i$$

Los coeficientes para el caso en que $K = i$ se obtienen de las condiciones iniciales.

En el caso de una cadena simple formada por Madre (M), hija (T), nieto estable (E)



tendremos:

$$N_1 = A_{11} e^{-\lambda_1 t}$$

$$N_2 = A_{21} e^{-\lambda_1 t} + A_{22} e^{-\lambda_2 t}$$

que con las condiciones iniciales será:

$$N_1(0) = A_{11}$$

$$A_{21} = A_{11} \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} = N_1(0) \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1}$$

$$A_{22} = N_2(0) - N_1(0) \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1}$$

Por lo tanto obtendremos :

$$N_1 = N_1(0) \cdot e^{-\lambda_1 t}$$

$$N_2 = N_1(0) \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \cdot e^{-\lambda_1 t} + \left[N_2(0) - N_1(0) \cdot \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \right] \exp(-\lambda_2 \cdot t)$$

(II.1.15)

Las actividades correspondientes serán:

$$A_1 = \lambda_1 N_1 = \lambda_1 N_1(0) e^{-\lambda_1 t} ;$$

$$A_2 = \lambda_2 N_2 = A_1(0) \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \cdot e^{-\lambda_1 t} + \left[\lambda_2 N_2(0) - \frac{A_1(0) \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \right] \cdot e^{-\lambda_2 t}$$

y la actividad total se escribirá:

$$A = A_1 + A_2 = A_1(0) \cdot e^{-\lambda_1 t} + A_1(0) \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \cdot e^{-\lambda_1 t} + \left[A_2(0) - A_1(0) \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \right] \cdot e^{-\lambda_2 t}$$

Finalmente la actividad total resulta

$$A = A_1(0) \left[1 + \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \right] \cdot e^{-\lambda_1 t} + \left[A_2(0) - A_1(0) \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \right] \cdot e^{-\lambda_2 t} \quad (\text{II.1.16})$$

La desintegración de cada uno de esos términos se produce según una sola constante de decaimiento λ_1 y λ_2 . Así es que las actividades iniciales aparentes que se determinan al hacer un análisis numérico de la curva de desintegración son:

$$AOS(M) = AO(M) \left[1 + \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \right] \quad (II.1.17)$$

$$AOS(T) = AO(T) - AO(M) \cdot \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1}$$

donde se puso

$$A_1(O) = AO(M)$$

$$A_2(O) = AO(T)$$

Llamando

$$\lambda_1 = Z(M) \quad ; \quad \lambda_2 = Z(T) \quad (II.1.18)$$

$$VZ = \frac{Z(T)}{Z(T) - Z(M)}$$

se obtienen las expresiones siguientes para las actividades iniciales aparentes:

$$AOS(M) = AO(M) [1 + VZ] \quad (II.1.19)$$

$$AOS(T) = AO(T) - AO(M) \cdot VZ$$

Teniendo en cuenta la eficiencia del detector para las radiaciones emitidas por la desintegración de la madre y de la hija y

llamando $YZ(M)$ a dicha eficiencia para la desintegración de la madre y $YZ(T)$ para la hija se obtiene :

$$AOS(M) = AO(M) \left[1 + VY \cdot VZ \right] \quad (II.1.20)$$

$$AOS(T) = AO(T) - AO(M) \cdot VZ \cdot VY$$

donde $VY = YZ(T)/YZ(M)$. De las dos ecuaciones anteriores se desprende que para las actividades aparentes $AOS(j)$ es posible obtener valores negativos, contrariamente a lo que ocurre con $AO(j)$.

Los "mejores" valores para $AO(j)$ y $Z(j)$ se calcularán mediante el método de cuadrados mínimos. La expresión teórica tiene la forma siguiente:

$$A = A_1 \cdot e^{-\lambda_1 t} + A_2 \cdot e^{-\lambda_2 t} + \dots \quad (II.1.21)$$

Considerando que la expresión teórica a ser ajustada a los datos observados es $\xi(t)$, para varios valores de t habrá varios valores de ξ que anotaremos con ξ_i . La expresión para ξ contiene varios parámetros a ajustar, a_j , que son los que se deben hallar. Esto se hará pidiendo que el cuadrado de la diferencia entre los valores observados y los obtenidos teóricamente sea un mínimo. Si hay m parámetros a ajustar se tendrán m ecuaciones diferenciales simultáneas de la forma

$$\frac{\partial}{\partial a_j} \left[\sum_{i=1}^n \frac{(M_i - \xi_i)^2}{2 \sigma_i^2} \right] = 0 ; j=1, \dots, m \quad (II.1.22)$$

donde M_i y σ_i son los valores observados y su desviación standard, y n es el número de datos experimentales. Esto conduce a que

$$\sum_{i=1}^n \frac{2(M_i - \xi_i)}{2 \sigma_i^2} \cdot \frac{\partial \xi_i}{\partial a_j} = 0 \quad , \text{ o lo que es igual}$$

$$\sum_{i=1}^n \frac{M_i}{\sigma_i^2} \cdot \frac{\partial \xi_i}{\partial a_j} = \sum_{k=1}^n \frac{\xi_k}{\sigma_k^2} \cdot \frac{\partial \xi_k}{\partial a_j} \quad j=1, \dots, m \quad (\text{II.1.23})$$

Si ξ es una función lineal de los parámetros a ajustar el problema se reduce a un conjunto de m ecuaciones lineales simultaneas. Es decir, si :

$$\xi_i = (a_1, \dots, a_m) = \sum_{j=1}^m c_{ij} a_j$$

se tendrá que

$$\frac{\partial \xi_i}{\partial a_j} = c_{ij}$$

y el conjunto de ecuaciones se reduce a:

$$\sum_{i=1}^n \frac{M_i}{\sigma_i^2} c_{ij} = \sum_{k=1}^n \frac{c_{kj}}{\sigma_k^2} \sum_{l=1}^m c_{kl} a_l$$

(II.1.24)

$$\sum_{i=1}^n \frac{M_i}{\sigma_i^2} c_{ij} = \sum_{l=1}^m a_l \cdot \sum_{k=1}^n \frac{c_{kl} c_{kj}}{\sigma_k^2}$$

Estas expresiones se pueden expresar en forma matricial definiendo los elementos de las matrices de la siguiente manera:

$$\mathcal{F}_{j1} = \sum_{i=1}^n \frac{M_i}{\sigma_i^2} \frac{c_{ij}}{2} \quad ; \quad \mathcal{N}_{j1} = \sum_{k=1}^n \frac{c_{kj}}{2} \frac{c_{k1}}{\sigma_k^2} \quad (\text{II.1.25})$$

La ecuación II.1.24 queda escrita así en forma matricial:

$$\mathcal{F} = \mathcal{N} \cdot \mathcal{A} \quad (\text{II.1.26})$$

donde $\mathcal{N}$ es una matriz de $m \times m$ simétrica y $\mathcal{F}$ y $\mathcal{A}$ son matrices de m filas por columna. La solución de esa ecuación es:

$$\mathcal{A} = \mathcal{N}^{-1} \mathcal{F} \quad (\text{II.1.27})$$

Obsérvese que la expresión teórica II.1.21 no es una función lineal de los parámetros λ_i a ajustar. Ahora bien, si los λ_i son conocidos se podrá aplicar la solución II.1.27. Como ejemplo se efectúa el cálculo de las matrices $\mathcal{N}$ y $\mathcal{F}$. Se considera una medición determinada, sea la i -ésima; en ese caso se tendrá

$$AB(i) = AO(1) H(i,1) + AO(2) H(i,2) + \dots$$

$$AB(i) = \frac{AO(1) \cdot e^{-\lambda_1 t_0}}{\lambda_1 (t_f - t_0)} \left(1 - e^{-\lambda_1 (t_f - t_0)} \right) + \frac{AO(2) \cdot e^{-\lambda_1 t_0}}{\lambda_2 (t_f - t_0)} \left(1 - e^{-\lambda_2 (t_f - t_0)} \right) + \dots$$

La matriz $\mathcal{N}_{j1}$

$$\mathcal{N}_{j1} = \sum_{k=1}^n \frac{H(k,j) H(k,1)}{\sigma_k^2} = \frac{H(1,j) H(1,1)}{\sigma_1^2} + \frac{H(2,j) H(2,1)}{\sigma_1^2} + \dots$$

Si consideramos como ejemplo solo 3 observaciones es $n=3$, con lo que resulta:

$$\mathcal{N}_{11} = \frac{H_{11} H_{11}}{1^2} + \frac{H_{21} H_{21}}{2^2} + \frac{H_{31} H_{31}}{3^2}$$

$$N_{12} = \frac{H_{11} H_{12}}{\sigma_1^2} + \frac{H_{21} H_{22}}{\sigma_1^2} + \frac{H_{31} H_{32}}{\sigma_1^2}$$

$$N_{21} = \frac{H_{12} H_{11}}{\sigma_1^2} + \frac{H_{22} H_{21}}{\sigma_2^2} + \frac{H_{31} H_{32}}{\sigma_3^2}$$

..... etc

Llamando H_{ij} a los elementos de una matriz $\mathcal{H}$ y $\mathcal{G}$ a la matriz diagonal del cuadrado del peso de las mediciones se tendrá:

$$\mathcal{H} = \begin{bmatrix} H_{11} & H_{12} & H_{13} \\ H_{21} & H_{22} & H_{23} \\ H_{31} & H_{32} & H_{33} \end{bmatrix} \quad \mathcal{G} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma_1^2} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma_2^2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\sigma_3^2} \end{bmatrix}$$

donde además se ha tomado el caso de una mezcla de 3 radionucleídos (NK=3). Se ve que

$$N = \mathcal{H} \mathcal{G} \mathcal{H} \quad (\text{II.1.28})$$

En efecto:

$$\mathcal{G} \mathcal{H} = \begin{bmatrix} H_{11}/\sigma_1^2 & H_{12}/\sigma_2^2 & H_{13}/\sigma_1^2 \\ H_{21}/\sigma_2^2 & H_{22}/\sigma_2^2 & H_{23}/\sigma_2^2 \\ H_{31}/\sigma_3^2 & H_{32}/\sigma_3^2 & H_{33}/\sigma_3^2 \end{bmatrix}$$

$$\overline{H}(GH) = \begin{bmatrix} H_{11} & H_{21} & H_{31} \\ H_{11} & H_{22} & H_{32} \\ H_{13} & H_{23} & H_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H_{11}/\sigma_1^2 & H_{12}/\sigma_1^2 & H_{13}/\sigma_1^2 \\ H_{21}/\sigma_2^2 & H_{22}/\sigma_2^2 & H_{23}/\sigma_2^2 \\ H_{31}/\sigma_3^2 & H_{32}/\sigma_3^2 & H_{33}/\sigma_3^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{H_{11}H_{11}}{\sigma_1^2} + \frac{H_{21}H_{21}}{\sigma_2^2} + \frac{H_{31}H_{31}}{\sigma_3^2} \dots \\ \frac{H_{12}H_{12}}{\sigma_1^2} + \frac{H_{22}H_{22}}{\sigma_2^2} + \frac{H_{32}H_{32}}{\sigma_3^2} \dots \\ \dots \dots \dots \end{bmatrix}$$

que es la matriz $\mathcal{N}$

Calculando la matriz $\mathcal{F}$ se tendrá: $\mathcal{F}_j = \sum_{i=1}^n \frac{M_i C_{ij}}{\sigma_i^2}$

$$\mathcal{F}_1 = \frac{M_1 C_{11}}{\sigma_1^2} + \frac{M_2 C_{21}}{\sigma_2^2} + \frac{M_3 C_{31}}{\sigma_3^2}$$

$$\mathcal{F} = \begin{bmatrix} M_1 \frac{C_{11}}{\sigma_1^2} + M_2 \frac{C_{21}}{\sigma_2^2} + M_3 \frac{C_{31}}{\sigma_3^2} \\ M_1 \frac{C_{12}}{\sigma_1^2} + M_2 \frac{C_{22}}{\sigma_2^2} + M_3 \frac{C_{32}}{\sigma_3^2} \\ M_1 \frac{C_{13}}{\sigma_1^2} + M_2 \frac{C_{23}}{\sigma_2^2} + M_3 \frac{C_{33}}{\sigma_3^2} \end{bmatrix}$$

Esta matriz no es otra cosa que el producto de la matriz $\mathcal{M}$, cuyos elementos son las actividades medidas $A(i)$, por la matriz $\mathcal{G}$ (peso de las mediciones), y multiplicadas por la traspuesta de $\mathcal{H}$ que es $\mathcal{H}$

$$GM = \begin{bmatrix} 1/\sigma_1^2 & 0 & 0 \\ 0 & 1/\sigma_2^2 & 0 \\ 0 & 0 & 1/\sigma_3^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1/\sigma_1^2 \\ A_2/\sigma_2^2 \\ A_3/\sigma_3^2 \end{bmatrix}$$

$$\tilde{F}(GM) = \begin{bmatrix} H_{11} & H_{21} & H_{31} \\ H_{12} & H_{22} & H_{32} \\ H_{13} & H_{23} & H_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_1/\sigma_1^2 \\ A_2/\sigma_2^2 \\ A_3/\sigma_3^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{11} \frac{A_1}{\sigma_1^2} + H_{21} \frac{A_2}{\sigma_2^2} + H_{31} \frac{A_3}{\sigma_3^2} \\ H_{12} \frac{A_1}{\sigma_1^2} + H_{22} \frac{A_2}{\sigma_2^2} + H_{32} \frac{A_3}{\sigma_3^2} \\ H_{13} \frac{A_1}{\sigma_1^2} + H_{23} \frac{A_2}{\sigma_2^2} + H_{33} \frac{A_3}{\sigma_3^2} \end{bmatrix}$$

$$\mathcal{F} = \tilde{F} GM$$

(II.1.29)

Resumiendo: entran en juego las siguientes matrices:

$\tilde{F}$: cuyos elementos son los H_{ij} que quedan definidos por la fórmula II.1.8

G : matriz diagonal que toma en cuenta el peso de cada medición

M : matriz que contiene las actividades medidas experimentalmente.

Se puede demostrar que la covariancia entre dos parámetros ajustados es

$$\langle (a_p - \bar{a}_p) (a_q - \bar{a}_q) \rangle = N^{-1}_{pq}$$

así que

$$G^2_{(a_p)} = N^{-1}_{pp}$$

De esta forma se calculan las desviaciones standard $S(j)$ de los $AO(j)$ desconocidos mediante:

$$S(j) = \left\{ \frac{FQ}{FR} \gamma(j,j) \right\} \quad (II.1.30)$$

con FQ que es la suma de los errores pesados, FR es el número de grados de libertad y γ_{jj} los elementos diagonales j de la matriz N^{-1}

$$FQ = \tilde{D} G D \quad (II.1.31)$$

$$D = [M, A, X]$$

Para calcular la matriz inversa N^{-1} se aplica en el programa el algoritmo normal gaussiano que consiste en la separación de N en dos matrices triangulares L y U . La matriz N^{-1} se calcula a partir de L . Con este procedimiento el cálculo de la inversa es suficientemente exacto.

Si para algunas o todas las constantes de decaimiento $Z(j)$ sólo se conocen valores aproximados (VA) el cálculo de los mejores valores (MV) para $AO(j)$ y $Z(J)$ se realiza en forma iterativa. El programa

considera que un valor aproximado para $Z(j)$ es un buen valor si éste no se aparta en más del 50% del mejor valor (MV). Así, cuando

$$MV > VA \text{ entonces } MV-VA \leq 50\% VA$$

$$\text{O sea } MV \leq 1.5 VA \quad (\text{II.1.31.a})$$

Si $MV < VA$ entonces es $VA-MV \leq 50\% VA$

y así

$$MV > 0.5 VA \quad (\text{II.1.31.b})$$

Para el análisis de la curva se usarán al comienzo los valores aproximados de $Z(j)$, obteniendo entonces valores aproximados de $AO(j)$. Para un mejoramiento de los valores de $AO(j)$ y $Z(j)$ se sigue un desarrollo en serie de Taylor de la ecuación II.1.11., que es el siguiente

$$AB(i) = \sum_{j=1}^{NK} \left\{ AO(j)H(i,j) + \sum_{j=1}^{NK} \frac{\partial A_i}{\partial AO(j)} \cdot \Delta(AO(j)) + \sum_{j=1}^{NK} \frac{\partial A_i}{\partial Z(j)} \Delta(Z(j)) + \dots \right\} \quad (\text{II.1.32.a})$$

$$AB(i) = \sum \left\{ M(i) + H(i,j)\Delta(AO(j)) + h_{ij} \Delta(Z(j)) + \dots \right\} \quad (\text{II.1.32.b})$$

donde $M(i)$ es el valor calculado de $AO(j)H(i,j)$ tomando los $AO(j)$ de la primera aproximación del cálculo ($Z(j)=\text{constante}$).

Este desarrollo en serie se cortará en los términos lineales, por lo que es necesario dar buenos valores como datos de entrada pues sino el proceso no convergirá.

El cálculo de los factores de corrección se llevará a cabo aplicando la ecuación II.1.27

$$A = N F$$

donde ahora las matrices y vectores serán los siguientes:

A : matriz que contiene los factores de corrección desconocidos

M : vector que contiene las diferencias $A(i) - M(i)$

H : contiene los elementos $H(i, j)$

$$h_{ij} : \text{que vendrá dado por } \frac{\partial A_i}{\partial Z(j)} = A_{0i} \frac{\partial H(i, j)}{\partial Z(j)}$$

Efectuando la $\frac{\partial H(i, j)}{\partial Z(j)}$ tendremos

$$\begin{aligned} \frac{\partial H(i, j)}{\partial Z(j)} = & \frac{-C(i)e^{-Z_j B_i}}{Z_j D_i} \left\{ 1 - e^{-Z_j D_i} \right\} + \frac{e^{-Z_j B_i}}{Z_j D_i} D_i e^{-Z_j D_i} + \frac{(-1)e^{-Z_j B_i}}{D_i Z_j^2} + \\ & + \frac{e^{-Z_j B_i} - e^{-Z_j D_i}}{D_i Z_j^2} \end{aligned}$$

Resumiendo el segundo término con el cuarto y el primero con el quinto queda:

$$\frac{\partial H(i, j)}{\partial Z(j)} = \frac{e^{-Z_j B_i} - e^{-Z_j D_i}}{Z_j D_i} \left[B_i + \frac{1}{Z_j} \right] - \frac{e^{-Z_j B_i}}{Z_j D_i} \left[B_i + \frac{1}{Z_j} \right] + \frac{e^{-Z_j B_i} - e^{-Z_j D_i}}{Z_j}$$

$$h_{i, j} = A_{0(j)} \left[B(i) + \frac{1}{Z(j)} \right] \frac{e^{-Z_j B_i}}{Z_j D_i} \left\{ T(i, j) - 1 \right\} \quad (II.1.33)$$

$$\text{donde } T_{i,j} = \left[1 + \frac{D(i)}{B(i) + \frac{1}{Z(j)}} \right] e^{-Z(j)D(i)} \quad (\text{II.1.34})$$

Durante el cálculo debe tenerse en cuenta que $H(i,j)$ no son exactos debido a errores de redondeo. En el programa se aplican por esta razón las siguientes ecuaciones aproximadas:

$$H(i,j) = \frac{e^{-Z(j)B(i)}}{y} \left\{ 1 - e^{-y} \right\}$$

$$\text{llamando } y = Z(j) D(i) \text{ y } x = \frac{D(i)}{-D(i) + B(i)}$$

Para $y \leq 2$ resulta

$$H(i,j) \approx \exp \left\{ -Z(j) \left[B(i) + \frac{D(i)}{2} \right] \right\} \sum_n \frac{1}{(2n-1)!} \left[\frac{y}{2} \right]^{2(n-1)}$$

y para $T(i,j) > 0.5$ queda

$$h(i,j) \approx AO(j) \left[B(i) + D(i) \right] \exp \left[-Z(j)B(i) \right] \sum_n \frac{(-1)^n y^{n-1}}{(n+1)!} (n+1-x)$$

En las primeras iteraciones se adicionan unicamente la mitad de las correcciones $\Delta AO(j)$ y $\Delta Z(j)$ a los resultados. Recién cuando todos los cocientes $\Delta AO(j)/AO(j)$ y $\frac{\Delta Z(j)}{Z(j)}$ sean menores a 0.1 se usará la corrección total para mejorar los resultados.

Después de cada iteración se controlarán todos los $Z(j)$, para ver si están dentro del límite impuesto: 50% del valor de entrada. Si algún $Z(j)$ no cae dentro de esos límites, se tomarán nuevas cotas y se conservará dicho $Z(j)$ constante para una iteración. Los valores de $AO(j)$

se confrontarán con los datos previos que se tengan de ellos (signo). Si el signo (positivo o negativo) no concuerda, entonces se dejará de lado la corrección o sino en la primera iteración se reemplazará $AO(j)$ por $10^{-4} A(1)$ con el signo correcto y durante una iteración quedará constante. Si algún $Z(j)$ o $AO(j)$ queda fijo durante cinco repeticiones de este proceso, entonces se interrumpe el análisis.

Siguiendo adelante se verificará si se cumple la desigualdad

$$FQ < FQM \cdot FFQ \quad (II.1.35)$$

donde FQ es la suma de las desviaciones standard pesadas, FQM es la mínima FQ encontrada en las sucesivas iteraciones y FFQ es un factor que se hará cada vez más pequeño en cada iteración; precisamente el nuevo valor de FFQ será $2 \cdot (FFQ \text{ anterior})^{1/2}$. Los valores iniciales de FQM y FFQ son 10^{20} y 10^4 respectivamente. Si la desigualdad 2.1.35 no se satisface, el análisis se interrumpe.

La aproximación de los valores calculados a los mejores valores queda satisfecha, y con esto finaliza el análisis, cuando se cumplen las siguientes desigualdades:

$$\Delta AO(j)/AO(j) < FDEL \quad \text{y} \quad Z(j)/Z(j) < FDEL$$

y también

$$\Delta [AO(j)]/S[AO(j)] < FSIG \quad \text{y}$$

$$\Delta [Z(j)]/S[Z(j)] < FSIG$$

Aquí $S[AO(j)]$ y $S[Z(j)]$ son las desviaciones standard calculadas de $AO(j)$ y $Z(j)$ respectivamente.

Los valores FDEL y FSIG son 10^{-2} y 10^{-1} respectivamente. Sin embargo pueden cambiarse a los valores 10^{-3} y 10^{-2} respectivamente mediante SENSE SWITCH 1 o 2 respectivamente ON.

Si el análisis converge el programa calcula los valores $AB(i)$ según la ecuación II.1.11. Además se darán los valores de los errores cuadráticos pesados FQ (ecuación II.1.31) como así también el cociente $VAR=FQ/FR$.

FQ da una idea de la bondad del ajuste (test χ^2). Para un número grande de mediciones el valor esperado para la varianza normada VAR debe ser igual a 1. El valor numérico de FQ como el de VAR da idea de la bondad del ajuste sobre la curva total de decaimiento, pero no dice nada sobre alguna parte aislada de dicha curva. Por eso se introduce en el programa otra magnitud con la que se estudia la bondad del ajuste. La distribución de frecuencia de las diferencias pesadas DIFREL(i) (ver ecuación II.1.38) debe ser gaussiana

$$DIF(i) = A(i) - \sum_{j=1}^{NK} AO(j) \cdot H(i,j) = A(i) - AB(i) \quad (II.1.37)$$

$$DIFREL(i) = DIF(i) \cdot G(i) = DIF(i) / S(A(i)) \quad (II.1.38)$$

$S(A(i))$ es la desviación standard de $A(i)$ (ver ecuación II.1.30)

Para probar esa distribución los DIFREL(i) son divididos en diez clases. Los límites de cada clase se determinan de manera que cada clase represente un 10% de la curva bajo la curva de Gauss. Estas 10 clases deben estar igualmente pobladas. Un apartamiento notable respecto de la distribución regular esperada para el poblamiento de dichas

clases indicará la presencia de errores en los datos de entrada. Tales errores pueden ser:

- A) cantidad equivocada del número de componentes de la mezcla de radio-nucleídos.
- B) período equivocado para alguna componente.
- C) errores en los valores dados de las mediciones tomadas.

Si para algunas mediciones los valores absolutos de DIFREL resultan extremadamente grandes es probable que el error en los datos de entrada sea del tipo C. Si por el contrario, los valores absolutos de DIFREL sobre una serie de mediciones crecen continuamente es probable que los errores sean del tipo A o B.

Para un análisis convergente se probará si el valor de DIFREL para cada componente es mayor que un RFMAX. El valor RFMAX se da como entrada para cada análisis. Si algunos DIFREL son mayores que RFMAX el programa repite el análisis dejando de lado dichos valores, siempre que el número de mediciones con $DIFREL > RFMAX$ no supere el 20%.

II.2. PREPARACION DE LOS DATOS DE ENTRADA

Los valores medidos de la actividad del preparado deben adecuarse para su entrada como datos del programa. La actividad A en impulsos por minuto está dada por la ecuación siguiente

$$A(i) = \left\{ \frac{IMP(i)}{D(i) - TM \cdot IMP(i)} - \frac{IMPF(i)}{IMF} \right\} \cdot \frac{ISTO \cdot IMMS}{NIMS} \quad (II.2.1)$$

donde

IMP(i) : impulsos medidos en la medición i-ésima
 B(i) : comienzo de la medición i-ésima
 IM(i) : intervalo de medición
 IMPF(i) : fondo ambiental
 IMF(i) : tiempo de medición del fondo
 NIMS(i) : impulsos medidos para la muestra standard de referencia
 IMMS(i) : tiempo de medición de la muestra standard
 ISTO es el número de impulsos por minuto para la muestra standard de referencia.

Según la ecuación II.2.1 la corrección por tiempo muerto depende del número de impulsos IMP(i). Esto ocurre cuando el tiempo muerto del aparato de medición está provisto a través de la electrónica. Si, por el contrario, el detector estima el tiempo muerto, la corrección por dicho tiempo muerto puede depender del número real de sucesos en el volumen del detector. Por este motivo se hace la siguiente corrección en el programa

$$A(i) = \left\{ \frac{IMP(i)}{IM(i)} ZWG(i) - \frac{IMPF(i)}{IMF(i)} \right\} \frac{ISTO \cdot IMMS(i)}{NIMS(i)} \quad (II.2.2)$$

donde

$$ZWG(i) = 1 + \frac{1}{4} \left\{ 4 \cdot TM \cdot \frac{IMP(i)}{IM(i)} \right\} + \frac{1}{4} \cdot \frac{3}{6} \left\{ 4 \cdot TM \cdot \frac{IMP(i)}{IM(i)} \right\}^2 + \dots$$

Si el tiempo muerto se da con signo positivo el programa calcula A(i) según la ecuación II.2.2. Si se da el tiempo muerto con signo negativo la corrección se calculará con la ecuación II.2.1.

Si la mezcla de radionucleidos está formada por NCCAP componentes con conocido Z y AO, entonces se pueden descontar sus actividades antes de comenzar el análisis. La actividad restante se calcula con la igualdad

$$AK(i) = A(i) - \sum_{K=1}^{NCCAP} AO(k) \cdot H(i,k) \quad (II.2.3)$$

Para el análisis se usan los valores AK(i) en lugar de los A(i).

Para calcular el peso de cada medición, cuando no es la unidad, se aplica la ecuación II.2.4.

$$\left[1/G(i) \right] = \left[S(i) \right]^2 = \sum \left[\frac{\partial A(i)}{\partial x} \right]^2 \cdot SIG(x)^2 = \sum s \quad (II.2.4)$$

donde

$$S(IMP) = \left\{ \frac{ISTO \cdot IMMS(i) \cdot IM(i)}{NIMS(i) [IM(i) - IMP(i) \cdot TM]^2} \right\}^2 \cdot IMP(i) \quad (II.2.5)$$

$$S(TM) = \left\{ \frac{ISTO \cdot IMMS(i) \cdot IMP(i)^2}{NIMS(i) [IM(i) - IMP(i) \cdot TM]^2} \right\} DIM^2 \quad (II.2.6)$$

$$S(IMPF) = \left\{ \frac{ISTO \cdot IMMS(i)}{NIMS(i) IMF(i)} \right\} IMPF(i) \quad (II.2.7)$$

$$S(NIMS) = \left\{ \frac{A(i)}{NIMS(i)} \right\}^2 \cdot NIMS(i) \quad (II.2.8)$$

$$S(B) = \left\{ \frac{A(i) - A(i-1)}{B(i) - B(i-1)} \right\}^2 \cdot SIG(B)^2 \quad (II.2.9)$$

$$S(IM) = \left\{ \frac{ISTO \cdot IMMS(i) \cdot IMP(i)}{NIMS(i) [IM(i) - IMP(i) \cdot TM]^2} \right\}^2 \cdot SIG(IM)^2 \quad (II.2.10)$$

DTM, SIG(B) y SIG(IM) son las desviaciones standard para el tiempo muerto, comienzo de la medición y duración de la misma respectivamente.

Para SIG(B) y SIG(IM) se utiliza la mayor de las dos cantidades DBA y DBR.B(i), y DDA y DDR.IM(i). Aquí DBA y DDA son desviaciones standard en unidades absolutas de tiempo. DBR y DDR son los errores relativos con que se determina la hora en el aparato de medición. Estos errores no pueden ser arbitrariamente grandes y se considera que el límite superior de SIG(B) y SIG(IM) es 1 minuto.

II.3. LIMITACIONES DEL PROGRAMA

En razón del espacio de memoria disponible en una IBM 360 se presentan las siguientes limitaciones del programa: para una mezcla compuesta por 5 o 6 radionucleídos pueden darse datos de hasta 300 mediciones y para $NK < 4$ se pueden dar hasta 400 resultados de mediciones.

Si se desea analizar una mezcla con más componentes se llevará a cabo un análisis en etapas. Primero se analizará la parte de componentes de vida media larga. Los valores calculados de AO y Z para dichas componentes se restarán de la curva total. La curva de desintegración simplificada será analizada nuevamente.

Es necesario poner nuevamente de manifiesto que para todas las componentes debe darse necesariamente un valor aproximado o exacto del período.

III - ENTRADA Y SALIDA DE DATOS

III.1. ENTRADA AL PROGRAMA

Se presenta una tabla (Tabla 1) donde figuran las variables de entrada al programa. En la columna 1 de dicha tabla se indica el número de tarjeta; en la columna 2 se da el nombre de la variable; la columna 3 indica el formato en que deberá perforarse dicha variable; en la columna 4 se da una breve descripción de la variable.

También se presenta un diagrama de flujo de la entrada de datos (Fig.1).

III.2. SALIDA DE DATOS

Se presenta un problema ejemplo donde se ha considerado el caso de una mezcla de 4 radionucleídos.

III.3. CODIGO DE ERRORES

Durante la ejecución del programa se verificará la posible existencia de errores. En el caso de encontrarse algún error la máquina imprimirá los mensajes siguientes e interrumpirá el análisis.

A) "NO SE IDENTIFICA EL TIEMPO DE REFERENCIA"

B) "CALCULO NO REPETIDO, MOTIVO (Nº)". Si para una ó más mediciones $DIFREL(i) > RFMAX$, debe repetirse el análisis. Los índices del código para la causa del abandono de dicha repetición tienen el significado siguiente:

INDICE	CAUSA
1	El análisis no converge
2	El cálculo ya fue repetido una vez
3	Más del 20% de DIFREL son mayores que RFMAX.
4	Más de 25 iteraciones.

C) "ERROR DATOS INPUT, N^o , CALCULO INTERRUMPIDO" o bien "PREPARADO (N^o) NO CALCULADO, MOTIVO (N^o)."

INDICE	CAUSA
1	NVTRF > NVWM
2	NVTRF > NVTR
3	NIDC > 20
4	No se identifica el preparado en la biblioteca. (Esto corresponde en el caso de usar cinta magnética).
5	LIM ≤ 0
6	LSM > NM
7	MCA no identificable en los datos de entrada por tarjeta
8	NK mayor que 6 en algún NVPER
9	NK > 4 y NM > 300
10	NK ≤ 4 y NM > 400
11	NWM > 5
12	NVTR > 5
13	NIDC = 0

D) "ACTIVIDAD N^o (cantidad), NO ES IDENTIFICABLE TIEMPO REFERENCIA".

Este mensaje aparecerá únicamente en el caso de haber com-

ponentes con conocida actividad inicial.

Si el análisis no converge la máquina imprime para todas las desviaciones standard $S(j) = 0$.

ENTRADA AL PROGRAMA

TARJETA	CODIGO	FORMATO	OBSERVACIONES
I	VPREC		Precisión en el cálculo
II	JA(K)	I5	Año(k 4). Año de referencia es JA(1).
	JDA(k)	I5	Cantidad de días desde el comienzo del año de referencia JA(1) hasta el comienzo del año JA(k). Ejemplo: JDA(2)= 365 + JABI(1), donde JABI(1) es $\begin{cases} +1 & \text{si JA(1) bisiestro} \\ 0 & \text{caso contrario} \end{cases}$
	JABI(K)	I5	Indice año bisiestro $\begin{cases} +1 & \text{bisiestro} \\ 0 & \text{no bisiestro} \end{cases}$
III	NFECH	I10	Fecha de realización del cálculo Ejemplo: 30 Sept.1971 es 30091971.
IV	NAN	I5	Número de análisis a realizar NAN $\begin{cases} >0 & \text{lee tarjeta siguiente} \\ =0 & \text{Stop.} \end{cases}$
	NVVM	I5	Cantidad total de variantes sobre la vida media de los componentes de la mezcla. $1 \leq NVVM \leq 5$.
	NVTR	I5	Cantidad total de variantes para el tiempo de referencia. $1 \leq NVTR \leq 5$
V	NK	I5	Cantidad de radionucleídos que componen la mezcla.
VI	PER(j)	F10.5	Período correspondiente a la componente j de la mezcla. Se da un valor aproximado o correto. Unidades: Minutos. $1 \leq j \leq NK$
	EXPER(j)	I5	Exactitud con que se conoce el PER(j) EXPER (j) $\begin{cases} +1 & \text{buen valor aproximado} \\ -1 & \text{valor exacto que no será modificado en el cálculo} \end{cases}$

TARJETA	CODIGO	FORMATO	OBSERVACIONES
VI	SGA(j)	I5	Conocimiento previo del signo de AO(j) y de AOS(j). $SGAO(j) \begin{cases} +1 & AO(j) \text{ o } AOS(j) > 0 \\ 0 & AOS(j) \geq 0 \\ -1 & AOS(j) < 0 \end{cases}$ $1 \leq j \leq NK$
VII	MCA(k)	I5	Año en que finalizó la irradiación (tiempo de referencia)
	MCM(k)	I5	Mes en que finalizó la irradiación
	NDIA(k)	I5	Día del mes en que finalizó la irradiación.
	MCH(k)	I5	Hora finalización irradiación.
	MINCM(k)	I5	Minutos fin irradiación. Los segundos se escriben en centésimas de minuto. k = 1, NVTR.
VIII	NIDC	I5	Número identificación dispositivo de conteo. Entrada por tarjeta lleva signo negativo.
	NIPR	I5	Número de tres cifras para identificación del preparado. Las dos primeras cifras son para el observador; la tercera es libre.
	NPCM	I5	Número posición cambiador muestras.
	MDE	I5	Tipo de dato de entrada +1 directo y por cinta 0 sólo por cinta -1 directo (tarjetas)
	NVPER	I5	Índice de la variante de composición de la mezcla.
	NVTRF	I5	Idem. Tiempo de referencia.
	IPESO	I5	Tipo de peso de cada medición +1 peso depende de la variación standard de cada medición. -1 todos los pesos iguales a 1.

TARJETA	CODIGO	FORMATO	OBSERVACIONES
VIII	LIM	I5	Límite inferior de la serie de mediciones a considerar
	LSM	I5	Límite superior de la serie de mediciones a considerar.
	NCCAP	I5	Número de componentes con conocido AO y período conocido.
	RFMAX	F10.5	Error relativo máximo para DIFREL (i) Si DIFREL (i) > RFMAX dicha medición i-ésima no se considerará y se repetirá el cálculo.
IX	TM	E10.5	Tiempo muerto.
	DTM	E10.5	Desviación standard de TM.
	DTOM	E10.5	Desviación standard del tiempo inicial de medición.
	DRTOM	E10.5	Desviación standard relativa del tiempo inicial de medición.
	DSIM	E10.5	Desviación standard del intervalo de medición.
	DSRIM	E10.5	Desviación standard y relativa del intervalo de medición.
	IRMS	E10.5	Impulsos de la muestra standard de referencia (Imp./min.).
X	NOMC	I5	Número que identifica al observador.
	NEXP	I5	Número identificación experimento.
	NPREP	I5	Número identificación preparado.
	MCA	I5	Año comienzo mediciones.
	NTM	I5	Cantidad total de mediciones que deberá leer el programa.
XI	NMCD	I10	Indice de la medición en la curva de decaimiento.
	MCM	I10	Comienzo de la medición referida al año MCA. Si MCM < 0 dicha medición será anulada.

TARJETA	CODIGO	FORMATO	OBSERVACIONES
XI	IM	I10	Duración de la medición en centésimas de minuto.
	IMP	I10	Cantidad de impulsos medidos.
	IMPF	I10	Cantidad de cuentas para el fondo.
	IMF	I10	Intervalo de medición del fondo (centésimas de minuto).
	NIMS	I10	Cantidad de cuentas muestras standard.
	IMMS	I10	Intervalo medición muestra standard.
XII	MCA	I5	Año comienzo mediciones.
	MCM	I5	Mes comienzo mediciones.
	MDIA	I5	Día del mes en que comenzaron las mediciones.
	MCH	I5	Hora comienzo mediciones.
	MENCM	I5	Minutos comienzo mediciones (centésimas de minuto).
	AO	F10.5	Actividad inicial.
	SAO	F10.5	Desviación standard $S(j)/AO(j)$ para una actividad conocida.
	PER	F10.5	Período
	SVM	F10.5	Desviación standard relativa $S(j)/VM(j)$ para una actividad conocida. $VM(j)$ es la constante de decaimiento $VM(j) = \frac{\ln 2}{PER(j)}$

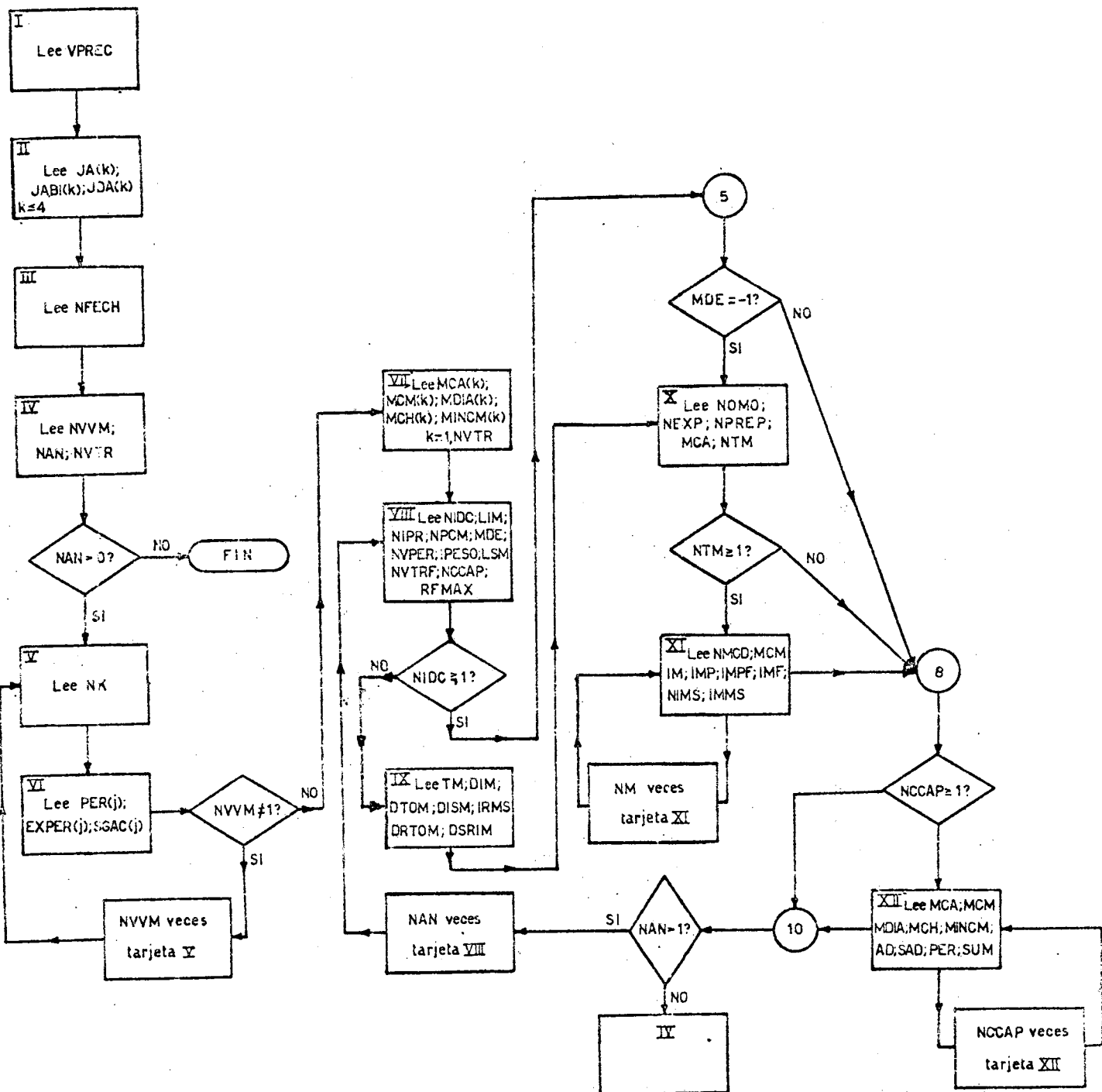


Fig.1

HOJA DE DATOS

EJEMPLO DE ENTRADA DE DATOS

[illegible]

HOJA DE DATOS

EJEMPLO DE ENTRADA DE DATOS

Y	N°	6	10	20	30	40	50	60	70	80										
1	1966		0	0	1967	365		0	1968	730		1	1369	1096		0		31	59	90
2	120	151	181	212	243	273	304	334												
3	10101966																			
4	1	1																		
5	4																			
6	6.0		1	1		20.9	-1	-1	28.5			1				1		72.0		1
7	1966	9	20	20	40															
8	-4	310	4	-1	1	1	0	0	0	0	5.0									
9	1.8E-	7	2.0	E- 9	3.0	E- 3	1.0	E- 3	3.0	E- 3	1.0	E- 3	4.075E+	4						
10	7	7	1	1966	24															
11		1	263204660			31	4030		15704		100000		163000							400
12		2	263204818			85	10000		15704		100000		163000							400
13		3	263204965			85	10000		15704		100000		163000							400
14		4	263205187			90	10000		15704		100000		163000							400
15		5	263205420			96	10000		15704		100000		163000							400
16		6	263205839			105	10000		15704		100000		163000							400
17		7	263210287			113	10000		15704		100000		163000							400
18		8	263210758			121	10000		15704		100000		163000							400
19		9	263211268			132	10000		15704		100000		163000							400
20		10	263211847			147	10000		15704		100000		163000							400

PROGRAMA RADAR-CNEA

VARIANTE DE PERIODO		1	VARIANTES DADAS				VARIANTES DADAS			
PER(MIN)		6.000000E 00	NUMERO DE COMPONENTES 4				SIGNO ACT.			
PER(MIN)		2.089999E 01	PRECISION , 1				SIGNO ACT.			
PER(MIN)		2.850000E 01	PRECISION , -1				SIGNO ACT.			
PER(MIN)		7.200000E 01	PRECISION , 1				SIGNO ACT.			
TIEMPO REF.			PRECISION , 1				SIGNO ACT.			
VARIANTE 1			ANO-MES-DIA-HORA-MINUTO				1966			
			DATOS DE ENTRADA							
1	263204660	31	4000	15704	100000	163000	400	20	20	40
2	263204818	85	10000	15704	100000	163000	400			
3	263204965	85	10000	15704	100000	163000	400			
4	263205187	90	10000	15704	100000	163000	400			
5	263205420	96	10000	15704	100000	163000	400			
6	263205839	105	10000	15704	100000	163000	400			
7	263210287	113	10000	15704	100000	163000	400			
8	263210768	121	10000	15704	100000	163000	400			
9	263211288	132	10000	15704	100000	163000	400			
10	263211847	147	10000	15704	100000	163000	400			
11	263212463	158	10000	15704	100000	163000	400			
12	263213128	173	10000	15704	100000	163000	400			
13	263213853	195	10000	15704	100000	163000	400			
14	263214656	217	10000	15704	100000	163000	400			
15	263215564	251	10000	15704	100000	163000	400			
16	263220603	290	10000	15704	100000	163000	400			
17	263221798	341	10000	15704	100000	163000	400			
18	263223203	414	10000	15704	100000	163000	400			
19	263224905	511	10000	15704	100000	163000	400			
20	263231064	654	10000	15704	100000	163000	400			
21	263234000	945	10000	15704	100000	163000	400			
22	264002026	1473	10000	15704	100000	163000	400			
23	264012186	2752	10000	15704	100000	163000	400			
24	264032116	10429	10000	15704	100000	163000	400			

PERIODOS

COMP.	ENTRADA	FECHA	SIGMA	FECHA	20	9	1966	ACTIVIDADES AO	CALCULADO	SIGMA	SIGMA REL.	LIMITE INTERNO
1	6.0000000E 00								5.37449741E 00	2.54947567E 00	4.74365413E-01	1
2	2.08999939E 01								2.08999939E 01	0.0	0.0	1
3	2.85000000E 01								2.56877899E 01	4.98608398E 00	1.94103301E-01	1
4	7.20000000E 01								7.41159821E 01	8.56464922E-01	1.15557387E-02	1
RESPECTO DE LA PRIMERA MEDICION												
COMP.	AO CALCULADO	FECHA	SIGMA	FECHA	20	9	1966			HORA.MINUTOS	SIGNO CORRECTO	
1	1.73515552E 03								8.36943115E 02	4.82344687E-01	1	
2	-9.28503125E 03								1.71710508E 04	1.84932518E 00	1	
3	1.52546719E 04								1.61133789E 04	1.05629063E 00	1	
4	5.03316797E 03								2.61893066E 02	5.20334430E-02	1	
RESPECTO TIEMPO REF.												
COMP.	AO CALCULADO	FECHA	SIGMA	FECHA	20	9	1966			HORA.MS	SIGNO CORRECTO	
1	4.06452344E 03								2.55675684E 03	6.29042268E-01	1	
2	-1.15570078E 04								-2.13726641E 04	1.84932518E 00	1	
3	1.82283242E 04								1.92646992E 04	1.05685520E 00	1	
4	5.35362500E 03								2.78593506E 02	5.20383306E 02	1	

SUCESION	AO(1)	--AO(NK)	-Z(1)	--Z(NK)	/,	1	2	3	4		
AO-Z NUEVO	1.081E	03-1.561E	03	7.667E	03	5.385E	03	1.155E-01	3.516E-02	2.432E-02	9.627E-03
VARIABLE	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
DELTA AO,Z	5.018E	02-5.895E	03	5.702E	03-1.253E	02	3.651E-02	0.0	4.126E-03	-1.471E-04	
LIM INTERNO	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
DEL/(AO,Z)	4.641E-01	3.777E	00	7.437E-01	-2.328E-02	3.161E-01	0.0		1.697E-01	-1.528E-02	
AO-Z NUEVO	1.532E	03-4.508E	03	1.052E	04	5.320E	03	1.338E-01	3.316E-02	2.638E-02	9.553E-03
VARIABLE	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
DELTA AO,Z	4.241E	02-6.316E	03	6.116E	03-1.472E	02-6.967E-03	0.0		1.919E-03	-1.125E-04	
LIM INTERNO	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
DEL/(AO,Z)	3.183E-01	1.401E	00	5.816E-01	-2.767E-02	-5.208E-02	0.0		7.274E-02	-1.177E-02	
AO-Z NUEVO	1.544E	03-7.666E	03	1.358E	04	5.246E	03	1.303E-01	3.316E-02	2.734E-02	9.497E-03
VARIABLE	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
DELTA AO,Z	2.439E	02-4.114E	03	4.005E	03-1.106E	02-4.260E-03	0.0		5.961E-04	-7.925E-05	
LIM INTERNO	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
DEL/(AO,Z)	1.580E-01	5.367E-01	2.950E-01	-2.108E-02	-3.269E-02	0.0			2.180E-02	-8.344E-03	
AO-Z NUEVO	1.636E	03-9.723E	03	1.558E	04	5.191E	03	1.282E-01	3.316E-02	2.764E-02	9.458E-03
VARIABLE	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
DELTA AO,Z	8.658E	01-1.382E	03	1.396E	03-8.441E	01-9.454E-04	0.0		-4.288E-05	-5.775E-05	
LIM INTERNO	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
DEL/(AO,Z)	5.197E-02	1.421E-01	8.961E-02	-1.626E-02	-7.376E-03	0.0			-1.551E-03	-6.106E-03	
AO-Z NUEVO	1.709E	03-1.041E	04	1.628E	04	5.149E	03	1.277E-01	3.316E-02	2.762E-02	9.429E-03
VARIABLE	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
DELTA AO,Z	6.906E	01-2.077E	02	2.216E	02-6.159E	01-1.377E-04	0.0		-1.792E-04	-4.162E-05	
LIM INTERNO	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
DEL/(AO,Z)	4.040E-02	1.994E-02	1.361E-02	-1.196E-02	-1.078E-03	0.0			-6.488E-03	-4.414E-03	
AO-Z NUEVO	1.778E	03-1.062E	04	1.650E	04	5.087E	03	1.276E-01	3.316E-02	2.744E-02	9.387E-03
VARIABLE	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
DELTA AO,Z	4.748E	01	1.263E	03-1.183E	03-3.495E	01	1.846E-03	0.0	-3.763E-04	-2.104E-05	
LIM INTERNO	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
DEL/(AO,Z)	2.670E-02	-1.189E-01	-7.172E-02	-6.869E-03	1.447E-02	0.0			-1.371E-02	-2.242E-03	
AO-Z NUEVO	1.731E	03-9.559E	03	1.551E	04	5.052E	03	1.294E-01	3.316E-02	2.706E-02	9.366E-03
VARIABLE	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
DELTA AO,Z	1.042E	01-1.488E	02	1.470E	02-9.990E	00-7.772E-04	0.0		-5.539E-07	-8.067E-06	
LIM INTERNO	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
DEL/(AO,Z)	6.019E-03	1.590E-02	9.597E-03	-1.977E-03	-6.006E-03	0.0			-2.047E-05	-8.613E-04	
AO-Z NUEVO	1.741E	03-9.508E	03	1.546E	04	5.042E	03	1.286E-01	3.316E-02	2.706E-02	9.358E-03
VARIABLE	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
DELTA AO,Z	6.398E	00	2.001E	02-1.863E	02-6.800E	00	4.042E-04	0.0	-6.866E-05	-4.082E-06	
LIM INTERNO	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
DEL/(AO,Z)	-3.674E-03	-2.105E-02	-1.205E-02	-1.349E-03	3.143E-03	0.0			-2.537E-03	-4.362E-04	
AO-Z NUEVO	1.535E	03-9.307E	03	1.528E	04	5.036E	03	1.290E-01	3.316E-02	2.700E-02	9.354E-03
VARIABLE	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
DELTA AO,Z	1.945E-01	2.242E	01-2.040E	01-2.405E	00-6.131E-05	0.0			-1.199E-05	-1.733E-06	
LIM INTERNO	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
DEL/(AO,Z)	1.121E-04	-2.408E-03	-1.335E-03	-4.777E-04	-4.751E-04	0.0			-4.440E-04	-1.852E-04	
ERROR CUADRAT.FQ		2.23605973E	01		(FQ(MIN.))	9.999998E	19		F(FQ)	1.000000E	04)
SIGMA	0.8369E	050.1717E	050.1611E	050.2619E	030.6118E-010.0				0.5238E-020.1081E-03		
DEL/SIGM	0:2324E-030.1305E-02-	1266E-02-	9185E-02-	1002E-020.0					-:2289E-02-	1603E-01	
EL ANALISIS HA CONVERGIDO											1

DATOS PARA EL CALCULO 1
EXPERIMENTO 7 PREP
DATOS DET. ,NZA-TOT-DTCT-DBA-DDA-DDR-STO 4 1.800E-07 2.000E-09 3.000E-03 1.000E-03 3.000E-03 1.000E-03 4.075E 04
COMIENZO PRIMERA MEDICION (FECH,HS.MTS) 20 9 1966 20.47

PREPARADO NR 431004
1 CARACT. 431004

FECHA 10/01/1966
1.VAR.-T1/2

1VAR.TIEMP.REF.
1.000E-03 3.000E-03 1.000E-03 4.075E 04

N	INIC.MEDIC.	DURAC.MED.	IMPULSOS	IMP.R.-CERO-DURAC.MED)	FACT.NOIRM	CORR.T.MUERTO	SIGMA(CALC)	ACT RATE
1	0.0	3.099999E-01	4.00000000E 03	1.57040E 01 1.00000E 03	1.000000E 00	1.00233E 00	2.403156E 02	1.29176172E 04
2	1.57999992E 00	8.500000E-01	1.00000000E 04	1.57040E 01 1.00000E 03	1.000000E 00	1.00213E 00	1.253097E 02	1.17740039E 04
3	3.04999924E 00	8.500000E-01	1.00000000E 04	1.57040E 01 1.00000E 03	1.000000E 00	1.00213E 00	1.252909E 02	1.17740039E 04
4	5.26999950E 00	9.000000E-01	1.00000000E 04	1.57040E 01 1.00000E 03	1.000000E 00	1.00201E 00	1.176027E 02	1.11177070E 04
5	7.59999943E 00	9.600000E-01	1.00000000E 04	1.57040E 01 1.00000E 03	1.000000E 00	1.00188E 00	1.095694E 02	1.04205547E 04
6	1.17900000E 01	1.049999E-00	1.00000000E 04	1.57040E 01 1.00000E 03	1.000000E 00	1.00172E 00	9.942230E 01	9.52448438E 03
7	1.62699890E 01	1.129999E 00	1.00000000E 04	1.57040E 01 1.00000E 03	1.000000E 00	1.00160E 00	9.188705E 01	8.84799219E 03
8	2.10799866E 01	1.209999E 00	1.00000000E 04	1.57040E 01 1.00000E 03	1.000000E 00	1.00149E 00	8.543985E 01	8.26107813E 03
9	2.62799988E 01	1.320000E 00	1.00000000E 04	1.57040E 01 1.00000E 03	1.000000E 00	1.00137E 00	7.798016E 01	7.57039453E 03
10	3.18699951E 01	1.469999E 00	1.00000000E 04	1.57040E 01 1.00000E 03	1.000000E 00	1.00123E 00	6.974008E 01	6.79535547E 03
11	3.80299988E 01	1.580000E 00	1.00000000E 04	1.57040E 01 1.00000E 03	1.000000E 00	1.00114E 00	6.463554E 01	6.32062500E 03
12	4.46799927E 01	1.730000E 00	1.00000000E 04	1.57040E 01 1.00000E 03	1.000000E 00	1.00104E 00	5.890468E 01	5.77066406E 03
13	5.19299927E 01	1.950000E 00	1.00000000E 04	1.57040E 01 1.00000E 03	1.000000E 00	1.00092E 00	5.219165E 01	5.11722656E 03
14	5.99599915E 01	2.169999E 00	1.00000000E 04	1.57040E 01 1.00000E 03	1.000000E 00	1.00083E 00	4.676062E 01	4.59640625E 03
15	6.90399933E 01	2.509999E 00	1.00000000E 04	1.57040E 01 1.00000E 03	1.000000E 00	1.00072E 00	4.046219E 01	3.97121777E 03
16	7.94299927E 01	2.900000E 00	1.00000000E 04	1.57040E 01 1.00000E 03	1.000000E 00	1.00062E 00	3.495149E 01	3.43470947E 03
17	9.13799896E 01	3.410000E 00	1.00000000E 04	1.57040E 01 1.00000E 03	1.000000E 00	1.00053E 00	2.976614E 01	2.91839380E 03
18	1.05429993E 02	4.139999E 00	1.00000000E 04	1.57040E 01 1.00000E 03	1.000000E 00	1.00043E 00	2.460493E 01	2.40080322E 03
19	1.22449997E 02	5.110000E 00	1.00000000E 04	1.57040E 01 1.00000E 03	1.000000E 00	1.00035E 00	1.995627E 01	1.94193164E 03
20	1.44039993E 02	6.540000E 00	1.00000000E 04	1.57040E 01 1.00000E 03	1.000000E 00	1.00027E 00	1.563882E 01	1.51376758E 03
21	1.73399994E 02	9.450000E 00	1.00000000E 04	1.57040E 01 1.00000E 03	1.000000E 00	1.00019E 00	1.099729E 01	1.04269751E 03
22	2.13659988E 02	1.473000E 01	1.00000000E 04	1.57040E 01 1.00000E 03	1.000000E 00	1.00012E 00	7.116373E 00	6.63265137E 02
23	2.75259766E 02	2.751999E 01	1.00000000E 04	1.57040E 01 1.00000E 03	1.000000E 00	1.00006E 00	3.917095E 00	3.47691406E 02
24	3.94559814E 02	1.042900E 02	1.00000000E 04	1.57040E 01 1.00000E 03	1.000000E 00	1.00002E 00	1.314198E 00	8.01840973E 01

RESULTADO FINAL PARA CASO 1 PREPARADO 431004 FECHA 10101966												
DATOS DET. ,NZA-TOT-DTOT-DBA-DDA-DDR-STO 4 1.800E-07 2.000E-09 3.000E-03 1.000E-03 3.000E-03 1.000E-03 4.075E 04												
EL ANALISIS HA CONVERGIDO 1												
PESOS DEPENDIENTES SIGMA 1 STANDARD CONSIDERADO 0 DIFEREN. DIFEREN. (REL.)												
NR	ACT.RATE (EXP.)	ACT.RATE (CALC)	SIGMA(ESPERADO)	DIFEREN.	DIFEREN. (REL.)							
1	1.29176172E 04	1.26803906E 04	2.40315628E 02	2.37226563E 02	9.87145722E-01	0	1	0	0	0	0	0
2	1.17740039E 04	1.20437656E 04	1.25309708E 02	-2.69761719E 02	2.15275955E 00	0	0	0	0	0	0	0
3	1.17740039E 04	1.15962148E 04	1.25290863E 02	1.77789063E 02	1.41901016E 00	1	0	0	0	0	0	0
4	1.11177070E 04	1.09935430E 04	1.17602692E 02	1.24164063E 02	1.05579185E 00	0	1	0	0	0	0	0
5	1.04205547E 04	1.04432852E 04	1.09569382E 02	-2.27304688E 01	2.07452714E-01	0	0	0	0	0	0	0
6	9.52448438E 03	9.61043359E 03	9.94223022E 01	-8.59492188E 01	8.64486217E-01	0	0	0	0	0	0	0
7	8.84799219E 03	8.87093750E 03	9.18870544E 01	-2.29453125E 01	2.49712110E-01	0	0	0	0	0	0	0
8	8.26107813E 03	8.18943359E 03	8.54398499E 01	7.16445313E 01	8.38537534E-01	0	0	1	0	0	0	0
9	7.57039453E 03	7.54029297E 03	7.79801483E 01	3.01010742E 01	3.86009395E-01	0	0	1	0	0	0	0
10	6.79535547E 03	6.91612500E 03	6.97400818E 01	-1.20771240E 02	1.73173532E 00	0	0	0	0	0	0	0
11	6.32062500E 03	6.30175781E 03	6.46355438E 01	1.88659668E 01	2.91882157E-01	0	0	1	0	0	0	0
12	5.77066406E 03	5.70578516E 03	5.89046936E 01	6.48769531E 01	1.10138798E 00	0	1	0	0	0	0	0
13	5.11722656E 03	5.12421094E 03	5.21916504E 01	-6.98730469E 00	1.33877754E-01	0	0	0	0	0	0	0
14	4.59640625E 03	4.55641406E 03	4.67606049E 01	3.99912109E 01	8.55232716E-01	0	1	0	0	0	0	0
15	3.97121777E 03	3.99530640E 03	4.04621887E 01	-2.40886230E 01	5.95336556E-01	0	0	0	0	0	0	0
16	3.43470947E 03	3.44777148E 03	3.49514771E 01	-1.50620117E 01	3.73718262E-01	0	0	0	0	0	0	0
17	2.91839380E 03	2.92165820E 03	2.97661285E 01	-3.26440430E 00	1.09668314E-01	0	0	0	0	0	0	0
18	2.40080322E 03	2.41811890E 03	2.46049194E 01	-1.73156738E 01	7.03748107E-01	0	0	0	0	0	0	0
19	1.94193164E 03	1.93997046E 03	1.99562683E 01	1.96118164E 00	9.82739329E-02	0	0	0	0	0	0	0
20	1.51376758E 03	1.48596118E 03	1.56388330E 01	2.78063965E 01	1.77803421E 00	1	0	0	0	0	0	0
21	1.04269751E 03	1.05144580E 03	1.09972916E 01	-8.74829102E 00	7.95494974E-01	0	0	0	0	0	0	0
22	6.63265137E 02	6.70792725E 02	7.11637115E 00	-7.52758789E 00	1.05778408E 00	0	0	0	0	0	0	0
23	3.47691406E 02	3.43928223E 02	3.91709518E 00	3.76318359E 00	9.60707486E-01	0	1	0	0	0	0	0
24	8.01840973E 01	8.03912048E 01	1.31419849E 00	-2.07107544E-01	1.57592237E-01	0	0	0	0	0	0	0
DISTR. ERRORES (OBSERV. 1 HASTA 24)				2	5	1	2	1	5	1	3	2
DISTR. ERRORES (OBSERV. 1 HASTA 24)				2	5	1	2	1	5	1	3	2
ERROR RELATIVO DE 0 MEDICIONES MAYORES QUE				5.000								
ERROR CUADRAT-SUMA. 2.236040E 01				VARIANZA(FQ/FR) 1.315317E 00								

Bibliografia

- H. Münzel y G. Pfennig: "RADAR, Rechenprogramm zur Analyse der Absfallkurven von Radionukleidgemischen". Kernforschungszentrum Karlsruhe, Externer Bericht 10/67-5.
- J. Higbie: "An improved numerical method for determining composite decay constants". Nuclear Instruments and methods 105 (1972).
- M. Lietzke: "BOLFIT II, an IBM 7090 programm for Polynomial Least squares fitting". ORNL 3132.
- M. Lietzke: "Generalized Least squares and the inversion of symmetric positive definite matrices". NAS-NS-3107-1962.