

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº	AÑO
	1970

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
GERENCIA DE ENERGIA

Problemas de tiempo muerto en
experiencias con neutrones pulsados

Código QFWFQ

F. Difilippo - N. Pieroni

DEPARTAMENTO DE REACTORES

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
DEPARTAMENTO DE REACTORES

Problemas de tiempo muerto en
experiencias con neutrones pulsados
Código QFWFQ

F. Difilippo - N. Pieroni

CNEA-Re 43

Julio 1970

COMPUTER CODE ABSTRACT

QFWFQ

1. NAME OF PROGRAM : QFWFQ
2. COMPUTER FOR WHICH PROGRAM IS DESIGNED : BULL GE-625 or
IBM/360-65
PROGRAMMING LANGUAGE : Fortran IV.
3. NATURE OF THE PHYSICAL PROBLEM SOLVED : The code calculates
the dead time of a non paralysable detection system using ex-
perimental data as coming from the record of a slow supercri-
tical run of a reactor.
4. METHOD OF SOLUTION : Least squares fit.
5. TYPICAL PROCESSOR TIME : 4 seg
6. STATUS : In use.
7. MACHINE REQUIREMENTS : 8K Core
8. OPERATING SYSTEM OR MONITOR UNDER WHICH PROGRAM IS EXECUTED :
Standard (Gecos 2).
9. MATERIAL AVAILABLE : (from Departamento de Reactores, Comi-
sión Nacional de Energía Atómica, Argentina) Fortran Binary
Deck, Test Problem Results, Instruction Manual (CNEA Re-43).

INDICE

	PAG.
I. Introducción	1
II. Mediciones	2
III. Ajuste que efectúa el código	6
IV. Instrucciones de uso	13
V. Experiencia tipo y tiempo de computación	15
Apéndice : Fórmulas, diagrama del código y listado	22
Referencias	30

SINTESIS

En experiencias con neutrones pulsados es de interés conocer con exactitud el tiempo muerto global ζ del sistema de detección.

Este consiste básicamente de tres etapas : detector, amplificador y sistema de conteo (multiescalímetro).

Para medir ζ se han realizado experiencias que consisten en registrar la variación de la velocidad de conteo en función del tiempo en un reactor levemente supercrítico que evoluciona con un período estable T.

Este registro es ajustado según la ley $N_m = \frac{C e^{t/T}}{1 + \zeta C e^{t/T}}$ con el código QFWFQ que se describe, obteniéndose el parámetro ζ .

Independientemente de este objetivo el programa calcula el período T corregido por el efecto de tiempo muerto, permitiendo así medidas más precisas de la reactividad cuando se aplica el método del período asintótico.

Se comparan, además, los resultados de experiencias con neutrones pulsados, procesando los datos experimentales teniendo o no en cuenta la corrección por tiempo muerto.

I. INTRODUCCION

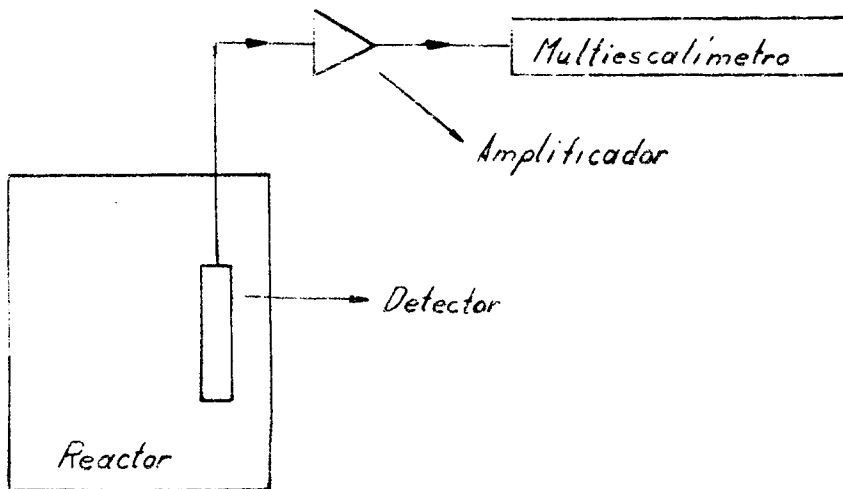


Fig.1

Dado el sistema de la figura 1 se plantea el problema de determinar el tiempo muerto ζ del mismo, es decir del conjunto : detector, amplificador y multiescalímetro.

A fin de medir ζ se lleva el reactor a un estado levemente supercrítico con período estable T.

La población neutrónica crece entonces según la ley $e^{t/T}$.

Si el sistema de detección tuviera un comportamiento ideal la velocidad de conteo sería $N_r(t) = Ce^{t/T}$, donde N_r es la velocidad de conteo real y C el valor inicial del mismo.

Debido al efecto del tiempo muerto, la velocidad de conteo medida N_m será, suponiendo detector sin parálisis (I) :

$$N_m(t) = \frac{N_r(t)}{1 + \zeta N_r(t)} \quad (1)$$

$$\text{o sea : } N_m(t) = \frac{C e^{t/T}}{1 + \zeta C e^{t/T}} \quad (2)$$

Medido $N_m(t)$ en función de t , se ajustan los datos experimentales según la ley (2) mediante cuadrados mínimos.

Es decir, con N_m^{exp} valor medido y N_m^t valor según (2) se verificará :

$$\frac{\partial G}{\partial T} = 0 \quad (3) \quad ; \quad \frac{\partial G}{\partial C} = 0 \quad (4) \quad ; \quad \frac{\partial G}{\partial \beta} = 0 \quad (5)$$

donde :

$$G = \sum_{i=1}^N [N_m^{\text{exp}}(t_i) - N_m^t(t_i)]^2 \quad (6)$$

De las ecuaciones 3, 4 y 5 se obtienen los valores de C , T y β .

II. MEDICIONES

El sistema medido corresponde al de la Fig.1 en donde cada elemento se detalla a continuación; detector: de $B^{10}F_3$ 12 EB70/G de la Twentieth Century Electronic Ltd.; amplificador : del tipo de carga, desarrollado en la Sección Electrónica del Departamento, con distintas ganancias; multiescalímetro : TMC (Technical Measurement Corporation) con la unidad 212 para experiencias de neutrones pulsados.

Puesto el reactor RA2 en estado supercrítico con un período de crecimiento de 322 seg, se midió la velocidad de conteo cada 30 seg; los valores obtenidos se muestran en la Tabla I bajo la columna N_m^{exp} . (Ver sección III).

Las mediciones corresponden al amplificador con la máxima ganancia, para la cual resultaba el menor tiempo muerto.

Esto se verificó ajustando los datos de la tabla I y datos de otras experiencias con el código QFWFQ; se obtuvo :

Ganancia en 1 (máxima) : $\tau = 10.4 \mu \text{seg}$
 Ganancia en 3 : $\tau = 11.6 \mu \text{seg}$
 Ganancia en 4 : $\tau = 15.6 \mu \text{seg}$

Con el amplificador en su máxima ganancia se midió una barra de control por el método de fuente pulsada en el núcleo NB18 del RA2 (II), (III), (IV), (V) para distintas velocidades de conteo en el pico de la respuesta del reactor.

En las figuras 2, 3, 4 y 5 se muestran los valores de α (Constante de decaimiento del modo fundamental de los neutrones instantáneos); $\$_{Go}$ (reactividad en dólares por el método de Gozani); $\$_{GR}$ (reactividad en dólares por el método de Garellis-Russell); $k\beta$ (inversa del tiempo entre generaciones reducido) en función de la velocidad de conteo con y sin corrección por tiempo muerto (curvas ① y ② respectivamente) (VI, VII)

De estas curvas surge que la constante de decaimiento y la reactividad según Gozani pueden medirse aún con alta velocidad de conteo en la seguridad de que la corrección por tiempo muerto conduce a resultados correctos.

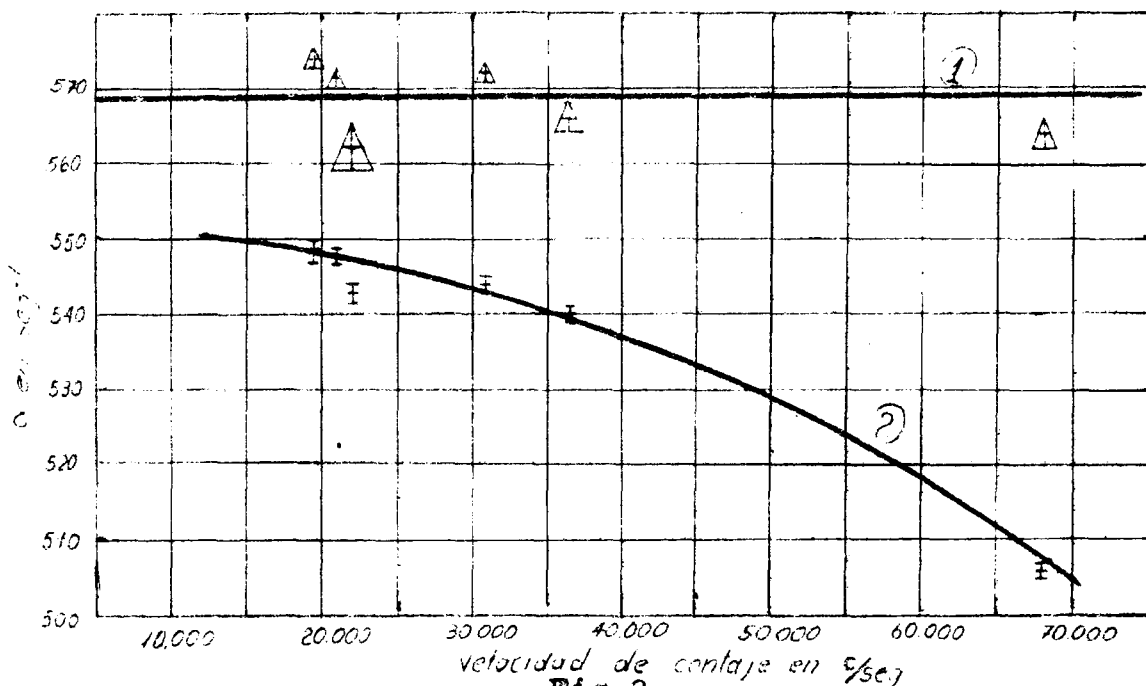


Fig. 2
 Alfa en función de la velocidad de conteo

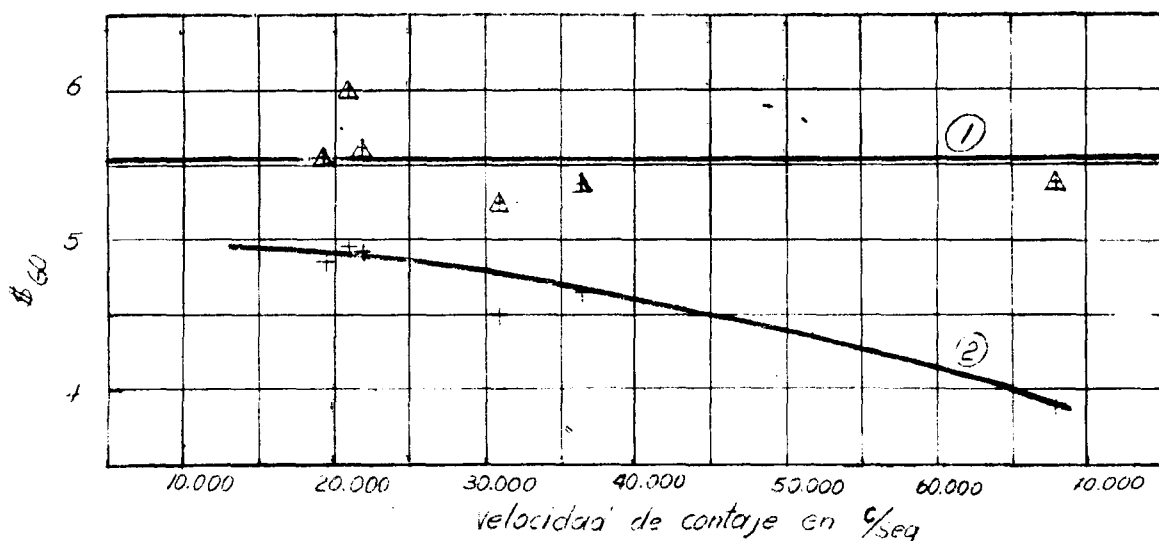


Fig. 3

Reactividad según Gozani : { 1) Corregida por tiempo muerto
2) Sin corrección

Esto es consecuencia de que en ambos casos se utiliza solo una parte de la respuesta del reactor (la que corresponde al modo fundamental) donde las velocidades de conteo son bastante menores que la del pico de la función respuesta.

En cambio en las mediciones de $\frac{k\beta}{\lambda}$ y ρ_{GR} se observa que las curvas corregidas comienzan a estabilizarse recién por debajo de las 30.000 c/seg

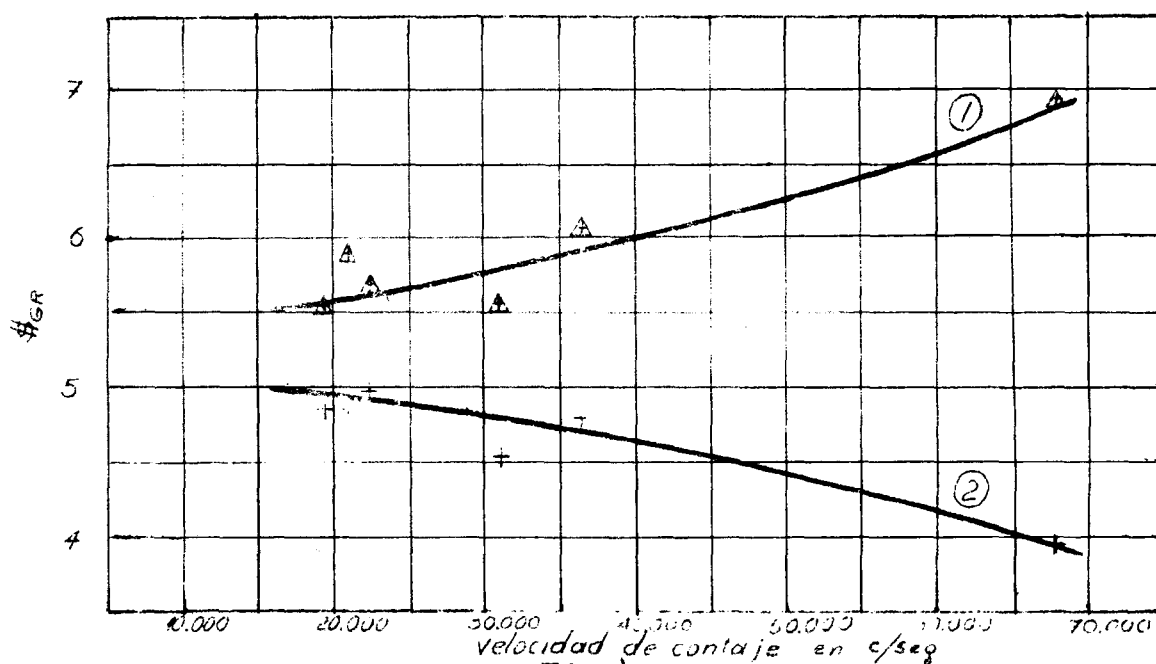
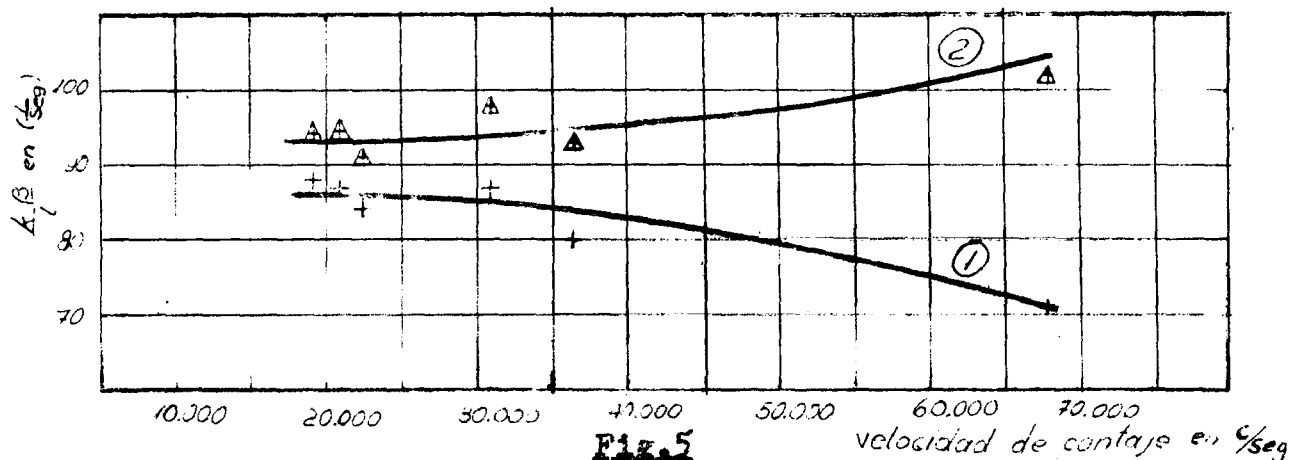


Fig. 4

Reactividad según Garalis-Russell : { 1) Corregido por tiempo muerto
2) Sin corrección



Inversa del tiempo entre generaciones reducido :
 (1) Corregido por tiempo muerto
 (2) Sin corregir

Esto es debido a que en estas mediciones se utiliza toda la respuesta del reactor y en consecuencia son más sensibles al efecto del tiempo muerto en la zona de conteo elevado.

En consecuencia se concluye que con este sistema de recopilación de datos deberá trabajarse con una velocidad de conteo máxima de 30.000 c/seg. por debajo de la cual los dos últimos parámetros mencionados tienden a un valor asintótico.

Incidentalmente puede señalarse que si la experiencia cuyos datos se dan en la tabla I se usa para medir la reactividad por período obtenemos (Fig. 6) un período de 476 seg. que corresponde a una supercríticidad 2.60 ϕ .

Este valor surge del hecho que los 20 primeros puntos caen con bastante aproximación sobre una recta.

Mediante el ajuste se obtiene un período corregido por tiempo muerto de 322 seg. que corresponde a una reactividad de 3.52 ϕ .

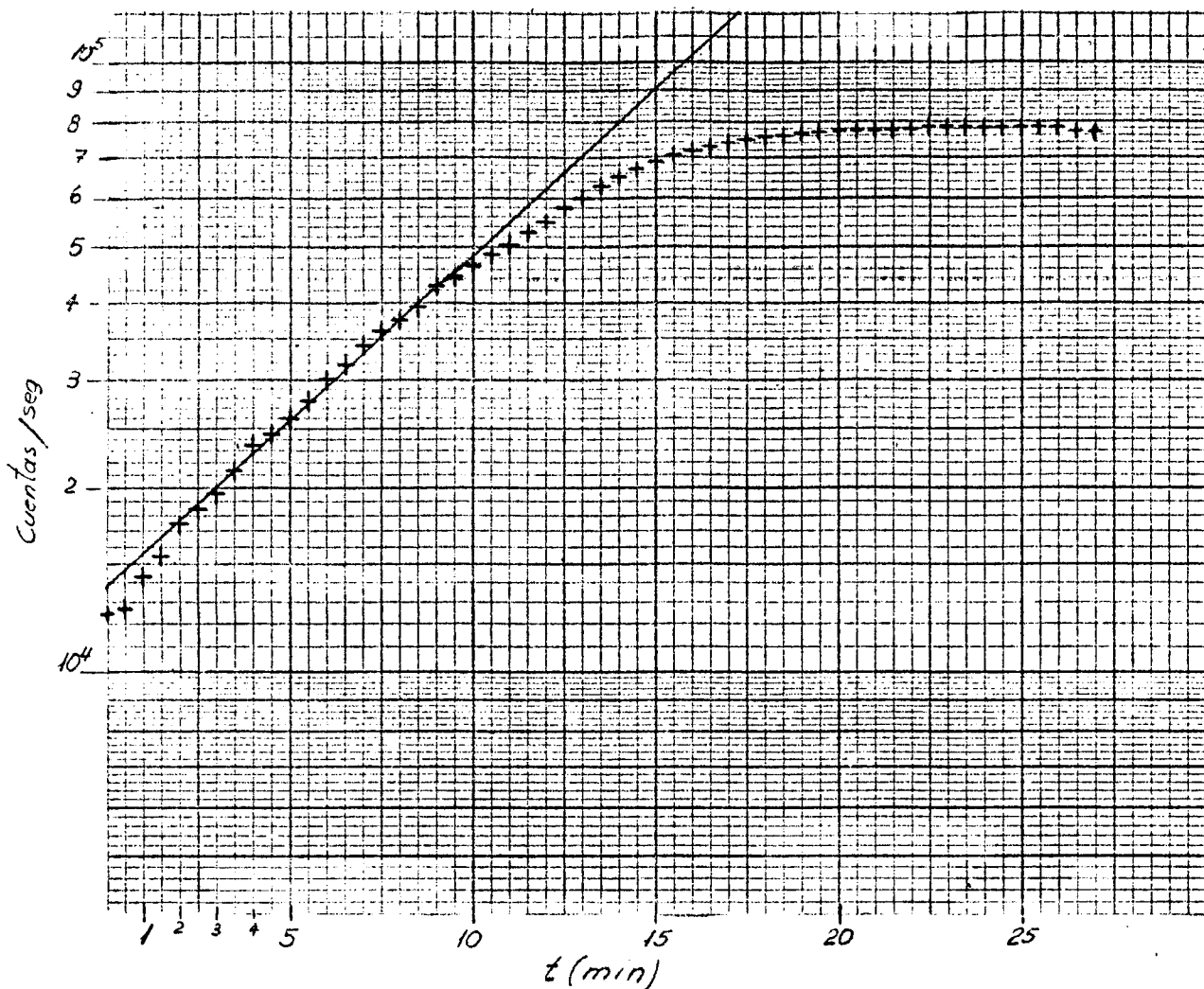


Fig. 6
 N_m^{exp} en función de t

III. AJUSTE QUE EFECTUA EL CODIGO

Las ecuaciones 3, 4 y 5 constituyen un sistema trascendente que hace necesario el uso de un método iterativo.

En lo que sigue $\alpha \equiv \frac{1}{T}$; $B \equiv \frac{1}{C}$, esto último para acelerar la convergencia; la (2) queda :

$$N_m^t = \frac{e^{\alpha t}}{B + \bar{C} e^{\alpha t}} \quad (7)$$

Volviendo a las ecuaciones 3, 4 y 5 tenemos :

$$\sum_{i=1}^N [N_m^{\text{exp}}(t_i) - N_m^t(t_i)] \frac{\partial N_m^t}{\partial x_j} \bigg|_{t_i} = 0 \quad (8) \quad j = 1, 2, 3$$

donde :

$$x_1 \equiv \alpha, \quad x_2 \equiv B, \quad x_3 \equiv \bar{C}$$

Sea α_0 , B_0 y ζ_0 un juego de valores en primera aproximación de los tres parámetros y respectivamente $\Delta\alpha$, ΔB y $\Delta\zeta$ los errores correspondientes (VIII).

Se cumplirá :

$$N_m^t = \frac{e^{\alpha_0 t} e^{(\Delta\alpha)t}}{B_0 + \Delta B + (\zeta_0 + \Delta\zeta) e^{\alpha_0 t} e^{(\Delta\alpha)t}} \approx \frac{e^{\alpha_0 t} [1 + (\Delta\alpha)t]}{B_0 + \Delta B + (\zeta_0 + \Delta\zeta) e^{\alpha_0 t} [1 + (\Delta\alpha)t]} \quad (9)$$

Despreciando los productos cruzados de los incrementos :

$$N_m^t = \frac{e^{\alpha_0 t} [1 + (\Delta\alpha)t]}{[B_0 + \zeta_0 e^{\alpha_0 t}] + \Delta B + e^{\alpha_0 t} [\Delta\zeta + \zeta_0 (\Delta\alpha)t]} \quad (10)$$

$$\text{Si definimos} \quad Q \equiv B_0 + \zeta_0 e^{\alpha_0 t} \quad (11)$$

$$P \equiv \Delta B + e^{\alpha_0 t} [\Delta\zeta + \zeta_0 (\Delta\alpha)t] \quad (12)$$

y considerando que $P \ll Q$, tendremos :

$$N_m^t = \frac{e^{\alpha_0 t} [1 + t(\Delta\alpha)]}{Q} \left[1 - \frac{P}{Q} \right] \quad (13)$$

Desarrollando (13), despreciando los productos cruzados de los incrementos y llamando :

$$N_m^{t(0)} = \frac{e^{\alpha_0 t}}{B_0 + \zeta_0 e^{\alpha_0 t}} \quad (14)$$

tenemos la expresión de N_m^t linealizada en los incrementos :

$$N_m^t = N_m^{t(0)} + \Delta\alpha [t - \zeta_0 t N_m^{t(0)}] N_m^{t(0)} - e^{-\alpha_0 t} [N_m^{t(0)}]^2 \Delta B - [N_m^{t(0)}]^2 \Delta\zeta \quad (15)$$

$$\text{Definiendo } H = \sum [N_m^{exp}(t_i) - N_m^t(t_i)]^2 \quad (16)$$

$N_m^t(t_i)$ está aproximado por la ecuación 15; tendremos :

$$\frac{\partial H}{\partial \Delta\alpha} = 0 \quad (17) ; \quad \frac{\partial H}{\partial \Delta B} = 0 \quad (18) ; \quad \frac{\partial H}{\partial \Delta\zeta} = 0 \quad (19)$$

Las ecuaciones 17, 18 y 19 constituirán un sistema del tipo :

$$(20) \quad \begin{cases} A(1,1) \Delta\alpha + A(1,2) \Delta B + A(1,3) \Delta \zeta = A(1,4) \\ A(2,1) \Delta\alpha + A(2,2) \Delta B + A(2,3) \Delta \zeta = A(2,4) \\ A(3,1) \Delta\alpha + A(3,2) \Delta B + A(3,3) \Delta \zeta = A(3,4) \end{cases}$$

La expresión de los $A(I, J)$ se da en el apéndice; podemos adelantar que llamando G a la expresión (16) con el valor exacto de N_m^t dado por (2) (y haciendo la sustitución $B \equiv \frac{1}{C}$, $\alpha \equiv \frac{1}{\gamma}$) se cumple :

$$A(1,4) = -0.5 \frac{\partial G}{\partial \alpha} \quad (21); \quad A(2,4) = -0.5 \frac{\partial G}{\partial B} \quad (22); \quad A(3,4) = -0.5 \frac{\partial G}{\partial \zeta} \quad (23)$$

El método iterativo surge de las ecuaciones (20). Con un valor estimado de B , α y ζ (B_0 , α_0 , ζ_0) se calculan los coeficientes $A(I, J)$ y del sistema (20) surgen los ΔB , $\Delta\alpha$, $\Delta\zeta$; éstos permiten definir nuevos valores de B , α y ζ con los que se recalculan los $A(I, J)$ originándose así un nuevo paso de la iteración.

Los apartamientos de un juego de valores de los parámetros α , B , ζ respecto a los que satisfacen exactamente las ecuaciones 3, 4 y 5 están medidos por los términos $A(I, 4)$ que cumplen las ecuaciones 21, 22 y 23.

Es decir que cuando los B , α , ζ de una iteración satisfacen las ecuaciones de cuadrados mínimos con el N_m^t exacto, el sistema (20) da incrementos nulos.

En la práctica el programa detiene la iteración, cuando la diferencia en valor absoluto entre los valores que surgen de dos iteraciones sucesivas no es mayor que un determinado porcentaje.

Los valores iniciales pueden surgir por ejemplo de un gráfico semilogarítmico de los datos experimentales (Fig.7)

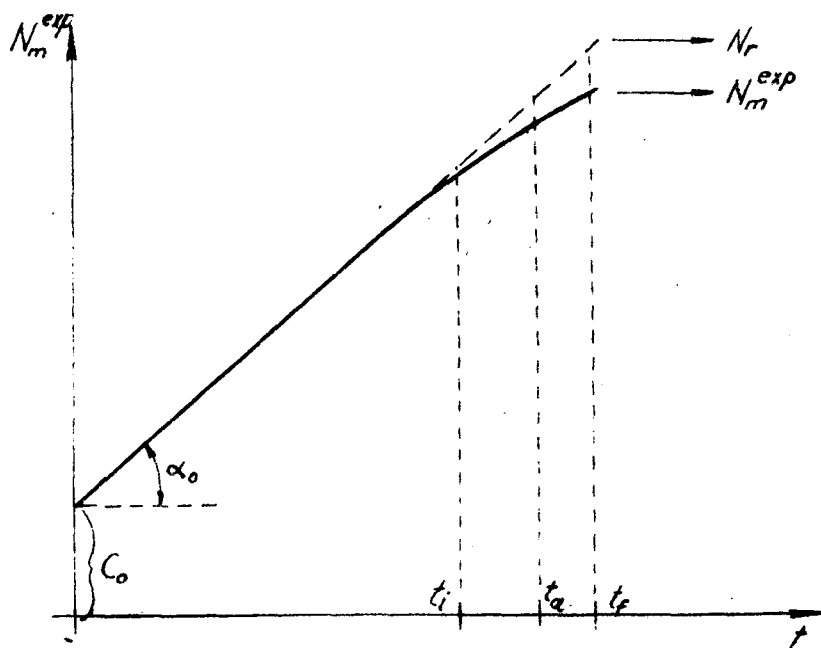


Fig.7

La primera parte, libre de efectos de tiempo muerto, da el valor C_0 , α_0 y de la diferencia entre la recta extrapolada y el valor experimental sale $\bar{C}_0 = \frac{1}{N_m^{exp}} - \frac{1}{N_r}$ (24)

El programa calcula e imprime en cada iteración los valores de $C = \frac{1}{B}$, $T = \frac{1}{\alpha}$, $\bar{C}$ y G (ec. 6).

Además calcula e imprime los valores de :

$$\frac{x_j}{G} \frac{\partial G}{\partial x_j} ; j = 1, 2, 3 \quad x_1 \equiv \alpha \quad x_2 \equiv B \quad x_3 \equiv \bar{C}$$

que nos dan la variación relativa de G frente a una variación relativa de x_j .

Estos cálculos se hacen en forma reiterada variando el número de puntos experimentales considerados en el análisis, es decir, tomando valores experimentales entre 0 y t_a , variando t_a entre t_1 y t_f (Ver Fig.7).

Ajustados los puntos experimentales entre 0 y t_a , si la iteración tuvo éxito el programa pasa a ajustar los puntos entre 0 y $t_a + \Delta t$ tomando como valores iniciales del proceso de iteración a los parámetros que resultaron del ajuste entre 0 y t_a .

Si en cambio la iteración entre 0 y t_a no tuvo éxito ($\left| \frac{\Delta x_j}{x_j} \right| \geq 10$) se indica ITERACION NO ANDA y se pasa al caso siguiente (puntos entre $0 y t_a + \Delta t$) tomando como valores iniciales de los parámetros los dados por la tarjeta de datos.

En la tabla I, bajo la columna N_m^{exp} figuran los datos experimentales utilizados para hallar el tiempo muerto del sistema descrito en la sección II.

Estos datos indican la velocidad de contaje cada 30 segundos, en donde el tiempo cero corresponde a $i = 0$.

En la columna N_m^t de la tabla I están los datos calculados por la fórmula $N_m^t(t_i) = \frac{C e^{\alpha t_i}}{1 + C e^{\alpha t_i}}$ usando como valores de C , α y $\bar{C}$ los que surgen del ajuste considerando los 36 puntos.

Se puede observar así que la discrepancia es menor que 2.5% estando en la mayoría de los casos dentro del 1%.

En la tabla II se muestran los valores iniciales y finales de los parámetros del ajuste y el número de iteraciones que fué necesario para pasar de uno a otro valor. Se observa que aun en el peor de los casos (21 puntos en el análisis) el número de iteraciones es pequeño.

En todos los casos se detuvo la iteración cuando la diferencia porcentual en valor absoluto de todos los parámetros en dos iteraciones sucesivas es menor o igual al 1%.

En esta tabla se muestran asimismo los valores inicial y final de la cantidad a minimizar G (ec. 6).

En la tabla III podemos observar para cada uno de los ajustes, el valor inicial (i) y el valor final (f) de la cantidad adimensional $R_j = \frac{x_j}{G} \frac{\partial G}{\partial x_j}$ ($j = 1, 2, 3$; $x_1 \equiv B$, $x_2 \equiv \alpha$, $x_3 \equiv \bar{C}$). De aquí se puede inferir (puesto que $\frac{\Delta G}{G} = R_j \frac{\Delta x_j}{x_j}$) que una variación relativa de los parámetros finales se traduce

TABLA I

Valores experimentales y valores calculados, luego del ajuste, de la velocidad de conteo en función del tiempo (datos cada 30 seg).

1	N_m^{exp} c/seg.	N_m^t c/seg.	1	N_m^{exp} c/seg.	N_m^t c/seg.
0	12.396	12.315	18	42.507	42.309
1	12.651	13.351	19	44.121	44.526
2	14.417	14.459	20	46.434	46.759
3	15.516	15.641	21	48.387	48.997
4	17.362	16.900	22	50.536	51.231
5	18.673	18.237	23	53.014	53.451
6	19.898	19.654	24	55.489	55.649
7	21.289	21.151	25	57.906	57.813
8	23.024	22.728	26	60.030	59.938
9	24.313	24.385	27	62.586	62.014
10	25.915	26.119	28	64.818	64.034
11	27.835	27.928	29	66.817	65.993
12	30.492	29.810	30	68.511	67.885
13	31.843	31.759	31	70.287	69.705
14	34.271	33.771	32	71.921	71.451
15	35.807	35.839	33	73.203	73.119
16	37.574	37.957	34	73.907	74.708
17	39.327	40.116	35	74.994	76.217

en una variación relativa muy pequeña (orden 10^{-4} de esa variación) de la cantidad a minimizar o sea que efectivamente estamos en un punto estacionario.

TABLA IV
Resultados del ajuste

(1)	$G_i = \frac{1}{B_i} (2)$	$T_i = \frac{1}{\alpha_i} (2)$	$\bar{G}_i (2)$	$\bar{G}_i (2)$	(3)	$C_f = \frac{1}{B_f} (4)$	$T_f = \frac{1}{\alpha_f} (4)$	$\bar{G}_f (4)$	$G_i (5)$	$G_f (6)$
	c/seg	seg	μ seg	μ seg		c/seg	seg	μ seg	$(c/seg)^2$	$(c/seg)^2$
21	13.700	476.4	3.4	3.4	5	14.302	308.5	11.6	$2.09 \cdot 10^8$	$2.33 \cdot 10^6$
24	14.302	308.5	11.6	11.6	2	14.290	314.3	11.2	$2.75 \cdot 10^6$	$2.50 \cdot 10^6$
27	14.290	314.3	11.2	11.2	3	14.307	328.1	10.2	$6.09 \cdot 10^6$	$3.36 \cdot 10^6$
30	14.307	328.1	10.2	10.2	3	14.352	337.3	9.73	$5.87 \cdot 10^6$	$4.06 \cdot 10^6$
33	14.353	337.3	9.73	9.73	2	14.314	333.6	9.91	$4.69 \cdot 10^6$	$4.31 \cdot 10^6$
36	14.314	333.6	9.91	9.91	3	14.125	321.9	10.4	$1.48 \cdot 10^7$	$8.74 \cdot 10^6$

- (1) : Número de puntos experimentales en el ajuste.
(2) : Valores iniciales, para la iteración de $C, T, \bar{G}$.
(3) : Número de iteraciones para llegar al valor final de $C, T, \bar{G}$.
(4) : Valores finales de $C, T, \bar{G}$.
(5) : Valor inicial de G (ec. 6).
(6) : Idem (5) valor final.

TABLA III

Resultados del ajuste

(1)	$\frac{B}{G} \frac{\partial G}{\partial B}$	$\frac{B}{G} \frac{\partial G}{\partial B}$	$\frac{\alpha}{G} \frac{\partial G}{\partial \alpha}$	$\frac{\alpha}{G} \frac{\partial G}{\partial \alpha}$	$\frac{\bar{c}}{G} \frac{\partial G}{\partial \bar{c}}$	$\frac{\bar{c}}{G} \frac{\partial G}{\partial \bar{c}}$
21	13.7	$1.25 \cdot 10^{-4}$	-13.3	$-2.07 \cdot 10^{-4}$	1.73	$1.67 \cdot 10^{-4}$
24	12.7	$-9.39 \cdot 10^{-4}$	-27.9	$1.17 \cdot 10^{-3}$	19.1	$-1.49 \cdot 10^{-4}$
27	21.6	0	-52.0	$-9.53 \cdot 10^{-4}$	38.3	$4.09 \cdot 10^{-4}$
30	20.4	$-1.44 \cdot 10^{-4}$	-52.4	$-1.84 \cdot 10^{-4}$	39.1	$3.22 \cdot 10^{-4}$
33	-11.4	$-1.36 \cdot 10^{-4}$	31.7	$5.84 \cdot 10^{-4}$	-25.9	$-1.55 \cdot 10^{-4}$
36	-13.2	$-2.71 \cdot 10^{-4}$	40.7	$1.49 \cdot 10^{-3}$	-40.9	$-1.60 \cdot 10^{-4}$

(1) N° de puntos en el ajuste.

IV. INSTRUCCIONES DE USO

a) Datos de entrada : entre parentesis se indica el formato Fortran.

Carteta 1 :

CO (F8.0) : Valor en primera aproximación de C (fórmula 2) en cuentas/seg.

TO (F8.2) : Valor en primera aproximación de T (fórmula 2) en seg.

TAUO (F8.1) : Valor en primera aproximación de $\bar{c}$ (fórmula 2) en // seg.

DELT (F5.2) : Espaciado temporal uniforme entre puntos medidos, en seg.

NP (I3) : Número de puntos experimentales.

ND (I2) : Número que identifica al detector.

NAM (I2) : Número que identifica al amplificador.

NG (I2) : Número que identifica a la ganancia del amplificador.

KI (I3) : Número mínimo de puntos que entran en el ajuste.

EPSI (F6.5) : Número que indica que la iteración finaliza cuando la diferencia relativa en valor absoluto de todos los parámetros en dos iteraciones sucesivas es menor o igual al mismo.

KS (I2) : Salto en el número de puntos tomados para el ajuste (N° de puntos en el ajuste = $KI + KS$; $KI + 2KS$; $KI + 3KS$...; $\frac{NP - KI}{KS} = n^{\circ}$ entero).

IOP (I2) : Opción para imprimir las sumas S (Ver Apéndice).

$IOP = 1$ No se imprimen; $IOP = 0$ se imprimen.

Tarjetas 2 y siguientes : En formato F6.0 van los $N_m^{\exp}(t_1)$ (en c/seg) (12 por tarjeta) en orden creciente.

A continuación de estos datos va una tarjeta en blanco.

b) Datos de salida : Se imprimen los números que identifican al detector, al amplificador y a su ganancia.

A continuación y bajo el título DATOS A AJUSTAR van los puntos experimentales $N_m^{\exp}(t_1)$ (c/seg) en orden creciente.

Bajo el título RESULTADOS DEL AJUSTE CON N PUNTOS siguen bajo sendos títulos los valores de C (c/seg), T (seg), τ (μ seg), $\frac{x_j}{G} \frac{\partial G}{\partial x_j}$ ($j = 1, 2, 3$; $x_1 \equiv \alpha$, $x_2 \equiv \beta$, $x_3 \equiv \zeta$) y G correspondientes a cada juego de valores de los parámetros ($ALP \equiv \alpha$; $EP \equiv G$).

Si se desea, a continuación, van impresos los valores de las sumas S en orden correlativo desde $S1$ a $S20$, correspondiente al nuevo juego de parámetros hallados.

Finalizada la iteración y bajo el título VALOR TEORICO DE LA VELOCIDAD DE CONTAJE EN CADA INSTANTE $T(I)$ van impresos los valores correspondientes a $N_m^t(t_1) = \frac{C e^{\alpha t_i}}{1 + \zeta C e^{\alpha t_i}}$ (c/seg) (hasta N puntos) en orden creciente.

Estos datos se repiten para cada caso correspondiente a los distintos números de puntos experimentales tomados en el ajuste.

V. EXPERIENCIA TIPO Y TIEMPO DE COMPUTACION

El ejemplo que se muestra corresponde al sistema de conteaje que se usó en las mediciones descritas en la sección II.

Los datos provenientes de la experiencia para determinar ζ son :

Valor inicial de C : 13700 c/seg

Valor inicial de T : 476.4 seg

Valor inicial de ζ : 3.4 μ seg

Espaciado temporal uniforme de los N_m^{exp} : 30 seg

Número de puntos experimentales : 36

Número que identifica al detector : 1

Número que identifica al amplificador : 1

Número que identifica la ganancia del amplificador : 1

Número mínimo de puntos que entran en el ajuste : 21

Máxima diferencia porcentual, relativa y en valor absoluto,
entre los valores de los parámetros en dos pasos sucesivos,
para que se detenga la iteración : 0.01

Salto en el número de puntos tomados en el análisis : 3

Opción para escribir las sumas S : 1

Velocidad de conteo $N_m^{\text{exp}}(t_1)$: 1 = 1, 2, ... 36

Los datos ordenados para entrar en el programa se
muestran en la Tabla IV.

En la Tabla V se muestra la salida del programa.

El tiempo de computación para este cálculo es de
4 seg en el procesador central.

TABLA IV

Datos de entrada para la experiencia tipo

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA		HOJA DE PERFORACION FORTRAN										Fecha
Problema		QFWFQ										Hoja
		Programador										
C	Nº	5	10	20	30	40	50	60	70	80		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1
1		13700	147640	34	3000	36	1	1	21	100	3	1
2		12396	12651	14417	15516	17362	18673	19898	21289	23024	24313	25915
3		30492	31843	34211	35807	37574	39327	42507	44121	46434	48387	50536
4		55489	57906	60030	62586	64818	66817	68511	70287	71921	73203	73907
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												

TABLA V

Salida del programa para la experiencia tipo

DETERMINACION DE TAU		DETECTOR		1		
AMPLIFICADOR		1		GANANCIA		
DATOS A AJUSTAR						
C	T	TAU	(B/EP)DEP/DB	(ALP/EP)DEP/DALP	(TAU/EP)DEP/DIAU	EP
12396.	12651.	14417.	12516.	17362.	18673.	19898.
23024.	24313.	25915.	27835.	30492.	31843.	34271.
37574.	39327.	42507.	44121.	46434.	48387.	50536.
55489.	57906.	60030.	62556.	64818.	66817.	68511.
71921.	73203.	73907.	74994.			70287.
RESULTADOS DEL AJUSTE CON 21 PUNTOS						
C	T	TAU	(B/EP)DEP/DB	(ALP/EP)DEP/DALP	(TAU/EP)DEP/DIAU	EP
13700.	476.40	3.400	1.376425E 01	-1.335386E 01	1.729594E 00	2.093080E 08
16281.	294.57	20.005	3.459751E 00	-5.327788E 00	5.662336E 00	5.012975E 08
13646.	344.31	7.895	-2.108915E 01	4.224470E 01	-1.448655E 01	1.128525E 07
14359.	311.70	11.735	4.527904E 01	-6.755595E 01	3.586666E 01	4.133139E 06
14301.	308.42	11.622	-6.158943E-01	9.636600E-01	-5.039043E-01	2.331392E 06
14302.	308.48	11.621	1.257876E-04	-2.072706E-04	1.672583E-04	2.331392E 06
VALOR TEORICO DE LA VELOCIDAD DE CONIAJE EN CADA INSTANIE T(I)						
12264.	13323.	14455.	15662.	16947.	18310.	21269.
22864.	24534.	26275.	28082.	29952.	31878.	35870.
37919.	39992.	42079.	44171.	46257.		
RESULTADOS DEL AJUSTE CON 24 PUNTOS						
C	T	TAU	(B/EP)DEP/DB	(ALP/EP)DEP/DALP	(TAU/EP)DEP/DIAU	EP
14302.	308.48	11.621	1.258844E 01	-2.796678E 01	1.914335E 01	2.754048E 06
14292.	314.30	11.190	2.514841E 00	-4.349489E 00	2.445148E 00	2.502656E 06
14290.	314.33	11.180	-9.388302E-04	1.167291E-03	-1.499939E-04	2.501120E 06
VALOR TEORICO DE LA VELOCIDAD DE CONIAJE EN CADA INSTANTE T(I)						
12321.	13371.	14493.	15690.	16963.	18314.	21250.
22835.	24496.	26229.	28033.	29902.	31830.	35842.
37910.	40008.	42128.	44259.	46392.	48518.	52703.

TABLA V (continuación)

RESULTADOS DEL AJUSTE CON 27 PUNTOS

C	T	TAU	(B/EP)DEP/DB	(ALP/EP)DEP/DALP	(TAU/EP)DEP/DIAU	EP
14290.	314.33	11.180	2.155053E 01	-5.200447E 01	3.831077E 01	6.089728E 06
14315.	328.12	10.295	1.323943E 01	-2.481555E 01	1.376208E 01	3.430400E 06
14306.	328.12	10.259	-2.215773E-02	4.819576E-02	-1.925572E-02	3.360768E 06
14307.	328.14	10.258	0.	-9.531805E-04	4.096639E-04	3.360768E 06

VALOR TEORICO DE LA VELOCIDAD DE CONIAJE EN CADA INSTANTE T(I)

12476.	13505.	14604.	15776.	17022.	18345.	19746.	21224.
22782.	24416.	26127.	27912.	29768.	31692.	33678.	35720.
37814.	39950.	42122.	44321.	46539.	48766.	50992.	53209.
55408.	57579.	59715.					

RESULTADOS DEL AJUSTE CON 30 PUNTOS

C	T	TAU	(B/EP)DEP/DB	(ALP/EP)DEP/DALP	(TAU/EP)DEP/DIAU	EP
14307.	328.14	10.258	2.042672E 01	-5.239593E 01	3.907914E 01	5.872640E 06
14356.	337.29	9.742	5.870071E 00	-1.204376E 01	6.968470E 00	4.072960E 06
14353.	337.34	9.727	-5.330827E-03	1.165724E-02	-1.930928E-03	4.056576E 06
14353.	337.35	9.726	-1.440206E-04	-1.845571E-04	3.216893E-04	4.058112E 06

VALOR TEORICO DE LA VELOCIDAD DE CONIAJE EN CADA INSTANTE T(I)

12595.	13611.	14696.	15852.	17081.	18386.	19767.	21226.
22763.	24378.	26070.	27838.	29680.	31592.	33571.	35611.
37709.	39856.	42047.	44273.	46528.	48801.	51084.	53369.
55646.	57907.	60142.	62343.	64504.	66616.		

TABLA V (continuación)

RESULTADOS DEL AJUSTE CON 33 PUNTOS

C	T	TAU	(B/EP)DEP/DB	(ALP/EP)DEP/DALP	(TAU/EP)DEP/DTAU	EP
14353.	337.35	9.726	-1.136427E 01	3.173827E 01	-2.595422E 01	4.693504E 06
14314.	333.66	9.907	-1.024283E 00	-2.211664E 00	-1.420600E 00	4.310528E 06
14314.	333.64	9.907	-1.359924E-04	5.841724E-04	-1.542690E-04	4.309504E 06

VALOR TEORICO DE LA VELOCIDAD DE CONIAJE EN CADA INSTANIE T(I)

12536.	13557.	14647.	15810.	17046.	18358.	19747.	21215.
22761.	24385.	26086.	27863.	29713.	31632.	33617.	35663.
37763.	39911.	42100.	44322.	46568.	48830.	51098.	53364.
55619.	57853.	60057.	62225.	64347.	66418.	68430.	70380.
72261.							

RESULTADOS DEL AJUSTE CON 36 PUNTOS

C	T	TAU	(B/EP)DEP/DB	(ALP/EP)DEP/DALP	(TAU/EP)DEP/DTAU	EP
14314.	333.64	9.907	-1.319466E 01	4.067261E 01	-4.090197E 01	1.477734E 07
14128.	321.84	10.426	4.855010E 00	-1.203057E 01	9.961761E 00	8.805376E 06
14126.	321.94	10.407	-1.765793E-03	1.782105E-04	-9.744126E-03	8.743936E 06
14126.	321.93	10.407	-2.716663E-04	1.492498E-03	-1.597441E-04	8.743936E 06

VALOR TEORICO DE LA VELOCIDAD DE CONIAJE EN CADA INSTANIE T(I)

12315.	13351.	14459.	15641.	16900.	18237.	19654.	21151.
22728.	24385.	26119.	27928.	29810.	31759.	33771.	35839.
37957.	40116.	42309.	44526.	46759.	48997.	51231.	53451.
55649.	57813.	59938.	62014.	64034.	65993.	67885.	69706.
71451.	73119.	74709.	76218.				

Reconocimiento

A J. Gaudio y su colaborador H. Fraga, por la ayuda en la operación de la facilidad crítica RA-2 y realización de las experiencias. A J. Lorenzetti por el apoyo prestado con los equipos electrónicos. A E. Aldaz, C. Balbi, C. Grant, M.T.C de Schillman y H. Schillman por el apoyo y colaboración en la preparación del programa. A A. Gomez por la preparación del informe.

Apéndice

Fórmulas, diagrama del código y listado del programa

De acuerdo a lo que se dijo en la sección III debemos desarrollar las ecuaciones 17, 18, 19 con el $N_m^t(t_1)$ en la aproximación dada por la ecuación 15.

Es decir que tendremos :

$$\sum_{i=1}^N [N_m^{exp}(t_i) - N_m^t(t_i)] \frac{\partial N_m^t}{\partial \Delta \alpha} \Big|_{t_i} = 0 \quad A-1$$

$$\sum_{i=1}^N [N_m^{exp}(t_i) - N_m^t(t_i)] \frac{\partial N_m^t}{\partial \Delta B} \Big|_{t_i} = 0 \quad A-2$$

$$\sum_{i=1}^N [N_m^{exp}(t_i) - N_m^t(t_i)] \frac{\partial N_m^t}{\partial \Delta C} \Big|_{t_i} = 0 \quad A-3$$

Donde N es el número de puntos a ajustar. De las ecuaciones A-1, A-2, A-3 surge el sistema 20.

En lo que sigue se entenderá a C_0 , ζ_0 , α_0 y $N_m^{t(0)}$ como, respectivamente, los valores iniciales en cada paso de la iteración de los parámetros a obtener y al valor teórico de N_m^t de acuerdo a la ecuación 2 calculada con C_0 , ζ_0 , α_0 .

La forma explícita de los coeficientes A(I, J) se da a continuación :

$$A(1,1) = (S1) - 2\zeta_0(S2) + \zeta_0^2(S3)$$

$$A(1,2) = \zeta_0(S5) - (S4)$$

$$A(1,3) = \zeta_0(S6) - (S7)$$

$$A(1,4) = (S8) - \bar{C}_0(S9) - (S10) + \bar{C}_0(S7)$$

$$A(2,1) = A(1,2)$$

$$A(2,2) = (S11)$$

$$A(2,3) = (S12)$$

$$A(2,4) = (S14) - (S13)$$

$$A(3,1) = A(1,3)$$

$$A(3,2) = A(2,3)$$

$$A(3,3) = (S15)$$

$$A(3,4) = (S17) - (S16)$$

Donde las S son las sumas :

$$S1 = \sum_{i=1}^N t_i^2 [N_m^{t(o)}(t_i)]^2$$

$$S9 = \sum_{i=1}^N t_i N_m^{exp}(t_i) [N_m^{t(o)}(t_i)]^2$$

$$S2 = \sum_{i=1}^N t_i^2 [N_m^{t(o)}(t_i)]^3$$

$$S10 = \sum_{i=1}^N t_i [N_m^{t(o)}(t_i)]^2$$

$$S3 = \sum_{i=1}^N t_i^2 [N_m^{t(o)}(t_i)]^4$$

$$S11 = \sum_{i=1}^N e^{-2\alpha_0 t_i} [N_m^{t(o)}(t_i)]^4$$

$$S4 = \sum_{i=1}^N t_i e^{-\alpha_0 t_i} [N_m^{t(o)}(t_i)]^3$$

$$S12 = \sum_{i=1}^N e^{-\alpha_0 t_i} [N_m^{t(o)}(t_i)]^4$$

$$S5 = \sum_{i=1}^N t_i e^{-\alpha_0 t_i} [N_m^{t(o)}(t_i)]^4$$

$$S13 = \sum_{i=1}^N e^{-\alpha_0 t_i} N_m^{exp}(t_i) [N_m^{t(o)}(t_i)]^2$$

$$S6 = \sum_{i=1}^N t_i [N_m^{t(o)}(t_i)]^4$$

$$S14 = \sum_{i=1}^N e^{-\alpha_0 t_i} [N_m^{t(o)}(t_i)]^3$$

$$S7 = \sum_{i=1}^N t_i [N_m^{t(o)}(t_i)]^3$$

$$S15 = \sum_{i=1}^N [N_m^{t(o)}(t_i)]^4$$

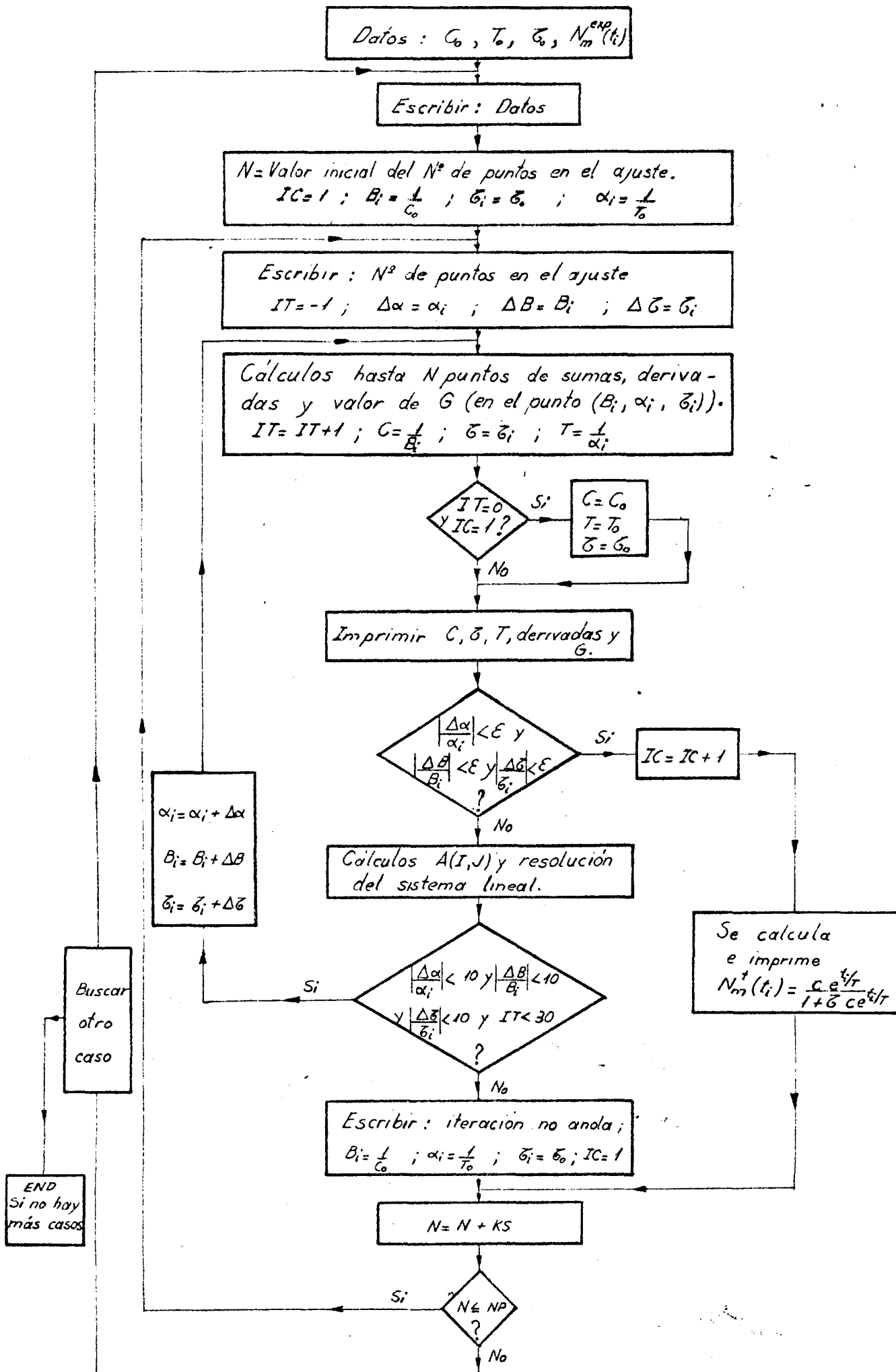
$$S8 = \sum_{i=1}^N t_i N_m^{exp}(t_i) N_m^{t(o)}(t_i)$$

$$S16 = \sum_{i=1}^N N_m^{exp}(t_i) [N_m^{t(o)}(t_i)]^2$$

$$S17 = \sum_{i=1}^N [N_m^{t(o)}(t_i)]^3$$

En la página 25 se muestra el diagrama del código.

Diagrama del código



Listado del código

```
4041 01 08-07-70
C
10 DIMENSION A(3,4),DEXB(256),DTEOR(256)
13 READ(5,100) CO,IO,IAUO,DEL1,NP,ND,NAM,NG,KI,EPSI,KS,IOP
34 FORMAT(6F6.2,F8.1,F2.2,I3,3I2,I3,F6.5,2I2)
45 IF(CO.EQ.0.) STOP
56 READ(5,101) (DEXB(I),I=1,NP)
67 WRITE(6,102) ND,NAM,NG
80 FORMAT(1H1,20HDETERMINACION DE IAU,6X,8HDETECTOR,3X,I3//12HAMPLIF
90 11CADOR,3X,I3,6X,8HGANANCIA,3X,I3//15HDAIOS A AJUSTAR//)
101 WRITE(6,21) (DEXB(I),I=1,NP)
113 FORMAT(8F12.0)
134 ALP=1.0/CO
145 TAU1=(10.**(-6))*TAUO
156 N=KI
167 IC=1
178 WRITE(6,22) N
189 FORMAT(//25HRESULTADOS DEL AJUSTE CON,2X,I3,2X,6HPUNTOS//1HC,11X,
200 11H1,11X,3HTAU,11X,12H(B,EP)DEP/DB,3X,16H(ALP/EP)DEP/DALP,2X,16H(IA
222 U/EP)DEP/DTAU,2X,2HEP//)
234 A(1,4)=ALP
245 A(2,4)=B
256 A(3,4)=TAU1
267 IT=-1
278 DO 14 I=1,N
289 RI=I-1
300 DTEOR(I)=1./(TAU1 + B*EXP((-ALP*RI*DEL1)))
312 S1=0
323 DO 104 I=1,N
334 RI=I-1
345 S1=S1+(RI*DEL1)**2*DTEOR(I)**2
356 IT=IT+1
367 S2=0
378 DO 105 I=1,N
389 RI=I-1
400 S2=S2+(RI*DEL1)**2*DTEOR(I)**3
412 S3=0
423 DO 106 I=1,N
434 RI=I-1
445 S3=S3+(RI*DEL1)**2*DTEOR(I)**4
456 S4=0
467 DO 107 I=1,N
478 RI=I-1
489 S4=S4+RI*DEL1*DTEOR(I)**3*EXP(-ALP*RI*DEL1)
500 S5=0
512 DO 108 I=1,N
523 RI=I-1
534 S5=S5+RI*DEL1*DTEOR(I)**4*EXP(-ALP*RI*DEL1)
545 S6=0
556 DO 109 I=1,N
567 RI=I-1
```

Listado del código (continuación)

```
4041 01 08-07-70          DETERMINACION DEL TIEMPO MUE0000000
53  109 S6=S6+RI*DELT*DTEOR(I)**4
54  S7=0
55  DO 110 I=1,N
56  RI=I-1
57  S7=S7+RI*DELT*DTEOR(I)**3
58  S8=0
59  DO 111 I=1,N
60  RI=I-1
61  S8=S8+RI*DELT*DEXB(I)*DTEOR(I)
62  S9=0
63  DO 112 I=1,N
64  RI=I-1
65  S9=S9+RI*DELT*DEXB(I)*DTEOR(I)**2
66  S10=0
67  DO 113 I=1,N
68  RI=I-1
69  S10=S10+RI*DELT*DTEOR(I)**2
70  S11=0
71  DO 114 I=1,N
72  RI=I-1
73  S11=S11+DTEOR(I)**4*EXP(-2.*ALP*RI*DELT)
74  S12=0
75  DO 115 I=1,N
76  RI=I-1
77  S12=S12+DTEOR(I)**4*EXP(-ALP*RI*DELT)
78  S13=0
79  DO 116 I=1,N
80  RI=I-1
81  S13=S13+DEXB(I)*DTEOR(I)**2*EXP(-ALP*RI*DELT)
82  S14=0
83  DO 117 I=1,N
84  RI=I-1
85  S14=S14+DTEOR(I)**3*EXP(-ALP*RI*DELT)
86  S15=0
87  DO 118 I=1,N
88  S15=S15+DTEOR(I)**4
89  S16=0
90  DO 119 I=1,N
91  S16=S16+DEXB(I)*DTEOR(I)**2
92  S17=0
93  DO 121 I=1,N
94  S17=S17+DTEOR(I)**3
95  S18=0
96  DO 122 I=1,N
97  S18=S18+DEXB(I)**2
98  S19=0
99  DO 123 I=1,N
100 S19=S19+DEXB(I)*DTEOR(I)
101 S20=0
102 DO 124 I=1,N
103 S20=S20+DTEOR(I)**2
104 C CALCULO DE LAS DERIVADAS
```


Listado del código (continuación)

```

4041 01 08-07-70      DETERMINACION DEL TIEMPO MUE0000000
157      GO TO 400
158      20 ALP=ALP + A(1,4)
159      B=B + A(2,4)
160      TAU1 = TAU1 + A(3,4)
161      C=1./B
162      T=1./ALP
163      TAU=(10.**6)*TAU1
164      GO TO 10
165      C CORRECCION DE DATOS
166      40 DO 13 I=1,N
167      RI=I-1
168      13 DTEOR(I)=1.0/(10.**(-6)*IAJ+(1./C)*EXP(-ALP*RI*DELT))
169      23 WRITE(6,23)
170      23 FORMAT(7//62)
171      1 ANTE T(1)///)
172      140 WRITE(9,140) (DTEOR(I),I=1,N)
173      140 FORMAT(8F12.0)
174      IC=IC+1
175      400 N=N+KS
176      IF(N.LE.NP) GO TO 401
177      GO TO 10
178      END
2722 WORDS OF MEMORY USED BY THIS COMPILATION

```

Referencias

- I.- Evans, R.D. "The atomic nucleus", Mc Graw-Hill, 1955, page 787.
- II.- Pasquini, E. y Pieroni, N. "Introducción a métodos de neutrones pulsados", CNEA-Re 17 (junio 1966).
- III.- Difilippo, F. y Pieroni, N. "TRIFIDO. Código para calcular parámetros cinéticos en experiencias con neutrones pulsados", en preparación.
- IV.- Difilippo, F. y Pieroni, N. "Cinética nuclear mediante neutrones pulsados", en preparación.
- V.- Difilippo, F. y Pieroni, N. "Mediciones cinéticas en un núcleo del RA-3", CNEA-Re 39 (Abril 1970)
- VI.- Gozani, T. "The theory of the modified pulsed source technique", EIR-Bericht Nr.79 (April 1965).
- VII.- Gozani, T. "Modified pulsed source techniques", Karlsruhe Symp. Pulsed Neutron Res. , IAEA (1965).
- VIII.- Cazemajou, J. et Beliard, L. "Mesures de reponse impulsionnelle d'un reacteur tres sous-critique", Rapport CEA. R3336.

