

08.64.03

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 1	AÑO 1964?

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
GERENCIA DE ENERGIA

BURN-UP

VARIACION EN LA COMPOSICION ISOTOPICA
DEL COMBUSTIBLE
CON LA OPERACION DEL REACTOR

Lic. ELBA PEZZONI

ANEA - 00 - 8

PROGRAMA DE REACTORES

BURN-UP

VARIACION EN LA COMPOSICION ISOTOPICA
DEL COMBUSTIBLE
CON LA OPERACION DEL REACTOR

Lic. ELBA PEZZONI

CNEA - Re - 8

I N T R O D U C C I O N

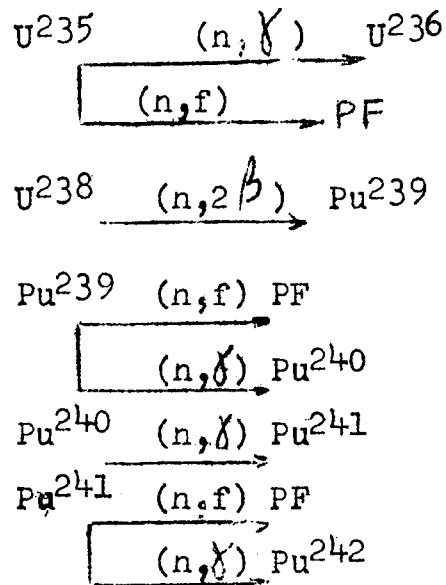
Se trata de elaborar un programa para Mercury Ferranti con el propósito de estudiar la variación en la composición isotópica del combustible por la operación del reactor y por lo tanto la variación en reactividad por el consumo de U^{235} y la acumulación de productos de fisión. Este programa, como es lógico, deberá a su vez anexarse a otro que permita el cálculo de las constantes neutrónicas y que se está desarrollando separadamente.

Se plantean las ecuaciones diferenciales que describen el proceso y se utiliza la rutina que la Mercury posee para el método Runge Kutta ya que no se encontraron diferencias con los resultados obtenidos utilizando las soluciones analíticas.

-.-.-000-.-.-

PLANTEO DEL PROBLEMA

Suponiendo como combustible U natural, la cadena considerada para describir el proceso es:



El sistema de ecuaciones diferenciales lineales que da la variación del número de átomos de los diversos nucleídos en la composición del combustible es, con condiciones iniciales :

$$\begin{array}{ll}
 1) \quad \frac{dN^{25}}{dt} = -N^{25} \Gamma^{25} \varnothing & N_0^{25} = N_0^{25} \\
 2) \quad \frac{dN^{26}}{dt} = N^{25} \Gamma_c^{25} \varnothing - N^{26} \Gamma^{26} \varnothing & N_0^{26} = 0 \\
 3) \quad \frac{dN^{49}}{dt} = N_0^{28} \Gamma^{28} \varnothing + \eta^{25} N^{25} \Gamma^{25} \varepsilon_{p_1} (1-p) \varnothing + \eta^{49} N^{49} \Gamma^{49} \varepsilon_{p_1} (1-p) \varnothing - N^{49} \Gamma^{49} \varnothing & \\
 4) \quad \frac{dN^{40}}{dt} = N^{49} \Gamma_c^{49} \varnothing - N^{40} \Gamma^{40} \varnothing & N_0^{49} = 0 \\
 & N_0^{40} = 0
 \end{array}$$

///

$$5) \frac{dN^{41}}{dt} = N^{40} \sigma^{40} - N^{41} \sigma^{41} \quad N_0^{41} = 0$$

$$6) \frac{dN^{42}}{dt} = N^{41} \sigma_c^{41} - N^{42} \sigma^{42} \quad N_0^{42} = 0$$

$$7) \frac{dN_f^{25}}{dt} = N^{25} \sigma_f^{25} \quad N_{of}^{25} = 0$$

$$8) \frac{dN_f^{49}}{dt} = N^{49} \sigma_f^{49} \quad N_{of}^{49} = 0$$

$$9) \frac{dN_f^{41}}{dt} = N^{41} \sigma_f^{41} \quad N_{of}^{41} = 0$$

OBSERVACIONES:

Los números que caracterizan a los isótopos son:
25 para U^{235} , 26 para U^{236} , 49 para Pu^{239} , 40 para Pu^{240} , etc.-

C O N S I D E R A C I O N E S

- 1º - La cantidad de U^{238} se supone constante.
- 2º - No se considera captura y multiplicación de neutrones durante moderación, se incluye captura por resonancia en U^{238} .
- 3º - El decaimiento de los diversos nucleidos puede despreciarse ya que sus vidas medias son muy largas.
- 4º - Se desprecia la absorción neutrónica de los isótopos intermedios U^{239} y Np^{239} y por lo tanto no se consideran en la cadena.



- 5º - Se desprecia la contribución de los neutrones de fisión del Pu^{241} a la captura por resonancia del U^{238} en la ecuación 3) donde el 2º y 3º términos describen la captura de resonancia del U^{238} o sea: los neutrones emitidos

///

en fisión que no se escapan del reactor (p_1 : probabilidad de no escape) y no escapan a la captura de resonancia de U^{238} ($1-p$).

- 6º - No se considera la captura por resonancia del Pu^{240} el cual tiene una fuerte resonancia a 1eV, con lo cual se mantiene la linealidad del sistema de ecuaciones.
- 7º - El flujo será supuesto constante dentro del intervalo de tiempo durante el cual se resuelven las ecuaciones (el valor considerado al comienzo del intervalo).

RESOLUCION DEL SISTEMA:

1º - Solución Analítica:

$$N^{25} = N_0^{25} e^{-\lambda^{25} T}$$

$$T = \int_0^t \phi dt$$

$$N^{26} = A \left[e^{-\lambda^{26} T} - e^{-\lambda^{25} T} \right]$$

$$A = \frac{N_0^{25} \lambda^{25}}{\lambda^{25} - \lambda^{26}}$$

$$N^{49} = B_1 (1 - e^{-\lambda^{49} \omega T}) + B_2 (e^{-\lambda^{25} T} - e^{-\lambda^{49} \omega T})$$

$$\omega = 1 - \eta^{49} \epsilon p_1 (1-p)$$

$$B_1 = \frac{N_0^{25} \lambda^{25}}{\lambda^{49} \omega}$$

$$B_2 = \frac{\eta^{25} N_0^{25} \lambda^{25} \epsilon p_1 (1-p)}{\omega \lambda^{49} - \lambda^{25}}$$

$$N^{40} = C_1 (1 - e^{-\lambda^{40} T}) + C_2 (e^{-\lambda^{25} T} - e^{-\lambda^{40} T}) + C_3 (e^{-\lambda^{49} \omega T} - e^{-\lambda^{40} T})$$

$$C_1 = \frac{\lambda^{49}}{\lambda^{40}} \cdot B_1$$

$$C_2 = \frac{\lambda^{49}}{\lambda^{40} - \lambda^{25}} \cdot B_2$$

$$C_3 = \frac{-\lambda^{49}}{\lambda^{40} - \lambda^{49} \omega} (B_1 + B_2)$$

$$N^{41} = D_1 (1 - e^{-\gamma_{41} T}) + D_2 (e^{-\gamma_{25} T} - e^{-\gamma_{41} T}) + D_3 (e^{-\gamma_{49} \omega T} - e^{-\gamma_{41} T}) + D_4 (e^{-\gamma_{40} T} - e^{-\gamma_{41} T})$$

$$D_1 = \frac{\gamma_{40}}{\gamma_{41}} C_1$$

$$D_2 = \frac{\gamma_{40}}{\gamma_{41} - \gamma_{25}} C_2$$

$$D_3 = \frac{\gamma_{40}}{\gamma_{41} - \gamma_{49} \omega} C_3$$

$$D_4 = \frac{-\gamma_{40}}{\gamma_{41} - \gamma_{40}} (C_1 + C_2 + C_3)$$

$$N^{42} = E_1 (1 - e^{-\gamma_{42} T}) + E_2 (e^{-\gamma_{25} T} - e^{-\gamma_{42} T}) + E_3 (e^{-\gamma_{49} \omega T} - e^{-\gamma_{42} T}) + E_4 (e^{-\gamma_{40} T} - e^{-\gamma_{42} T}) + E_5 (e^{-\gamma_{41} T} - e^{-\gamma_{42} T})$$

$$E_1 = \frac{\gamma_{41}}{\gamma_{42}} D_1$$

$$E_2 = \frac{\gamma_{41}}{\gamma_{42} - \gamma_{25}} D_2$$

$$E_3 = \frac{\gamma_{41}}{\gamma_{42} - \gamma_{49} \omega} D_3$$

$$E_4 = \frac{\gamma_{41}}{\gamma_{42} - \gamma_{40}} D_4$$

$$E_5 = -\frac{\gamma_{41}}{\gamma_{42} - \gamma_{41}} (D_1 + D_2 + D_3 + D_4)$$

$$N_F^{25} = \frac{N_0^{25} \gamma_F^{25}}{\gamma_{25}} (1 - e^{-\gamma_{25} T})$$

$$N_F^{49} = \gamma_F^{49} \left[B_1 \left(T - \frac{1 - e^{-\gamma_{49} \omega T}}{\omega \gamma_{49}} \right) + B_2 \left(\frac{1 - e^{-\gamma_{25} T}}{\gamma_{25}} - \frac{1 - e^{-\gamma_{49} \omega T}}{\omega \gamma_{49}} \right) \right]$$

$$N_F^{41} = \gamma_F^{41} \left[\left(T - \frac{1 - e^{-\gamma_{41} T}}{\gamma_{41}} \right) D_1 + D_2 \left(\frac{1 - e^{-\gamma_{25} T}}{\gamma_{25}} - \frac{1 - e^{-\gamma_{41} T}}{\gamma_{41}} \right) + D_3 \left(\frac{1 - e^{-\gamma_{49} \omega T}}{\gamma_{49} \omega} - \frac{1 - e^{-\gamma_{41} T}}{\gamma_{41}} \right) + D_4 \left(\frac{1 - e^{-\gamma_{40} T}}{\gamma_{40}} - \frac{1 - e^{-\gamma_{41} T}}{\gamma_{41}} \right) \right]$$

2º - Resolución por método Runge-Kutta

Utilizando la rutina que la Mercury-Ferranti posee para resolver sistemas de ecuaciones diferenciales por el método Runge-Kutta se obtienen, con un paso $h = 0,025$, prácticamente los mismos resultados que con las soluciones analíticas.

Los datos empleados para un primer cálculo de prueba son, en el orden que se dan en el programa:

$$h = 0,025$$

$$\phi t = 1,80403$$

$$\left[\frac{\text{neutrones}}{\text{Kilobarns} \cdot \text{seg}} \right]$$

$$N_0^{25} = 0,000016061$$

$$(10^{24})$$

$$N_0^{26} = 0$$

$$N_0^{49} = 0$$

$$N_0^{40} = 0$$

$$N_0^{41} = 0$$

$$N_0^{42} = 0$$

$$N_F^{25} = 0$$

$$N_F^{49} = 0$$

$$N_F^{41} = 0$$

$$\alpha^{25} = 0,182099$$

$$\left(\frac{\sqrt{c}}{\sqrt{d}} \right)$$

$$\alpha^{49} = 0,55228$$

$$\alpha^{41} = 0,32258$$

$$\eta^{25} = 1,293992$$

- 6 -

$$\varepsilon = 1,0131832$$

$$p_1 = 0,87738$$

$$1-p = 0,079005$$

$$N_o^{28} = 0,00221459 \quad (10^{24})$$

$$\eta^{49} = 1,856$$

$$\sigma^{25} = 383 \cdot 10^{-3} \quad (\text{kilo-barns})$$

$$\sigma^{26} = 8 \cdot 10^{-3}$$

$$\sigma^{28} = 1,79 \cdot 10^{-3}$$

$$\sigma^{49} = 1158 \cdot 10^{-3}$$

$$\sigma^{40} = 567 \cdot 10^{-3}$$

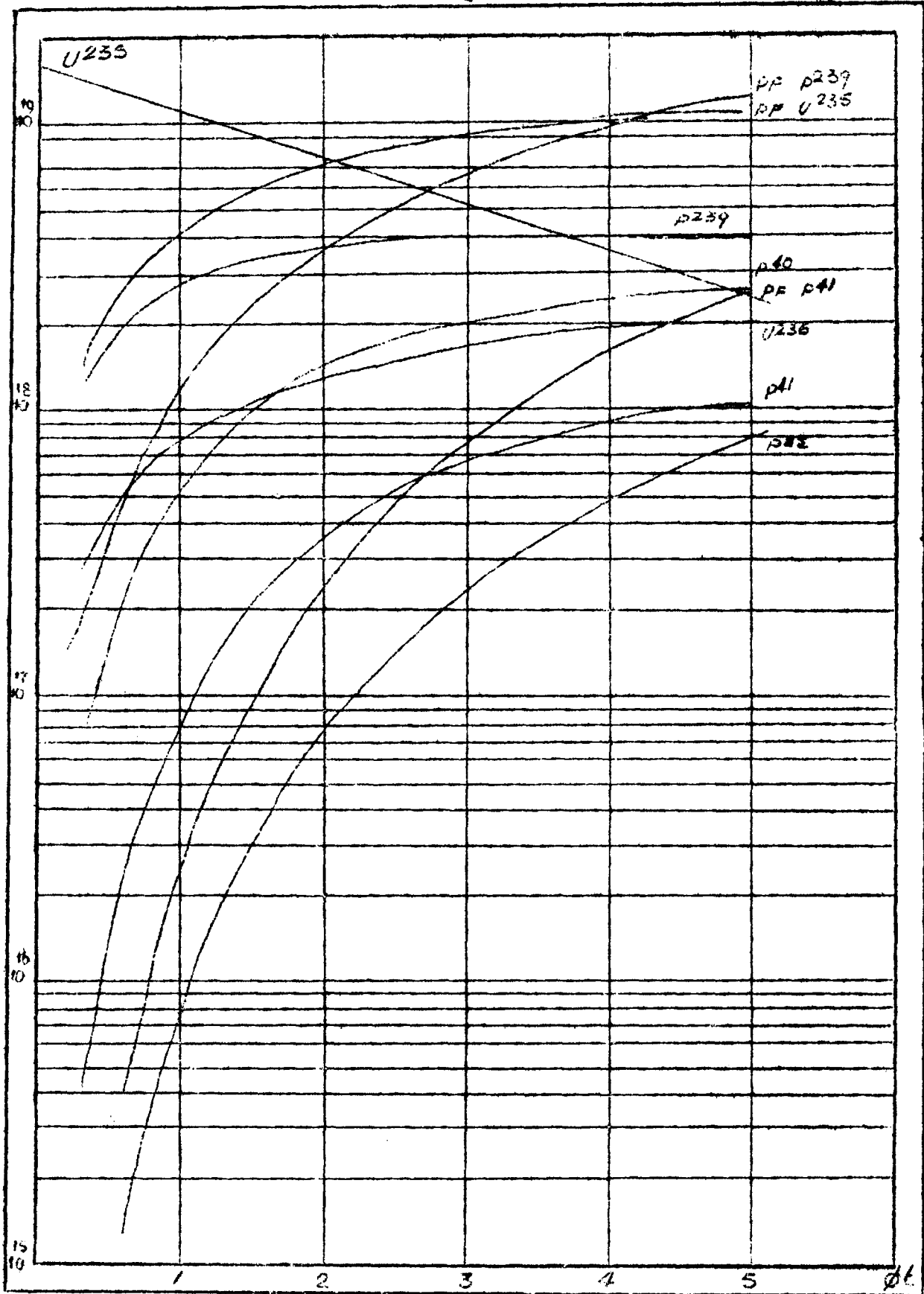
$$\sigma^{41} = 1312 \cdot 10^{-3}$$

$$\sigma^{42} = 19,75 \cdot 10^{-3}$$

N O T A :

Actualmente se están preparando las secciones eficaces efectivas de los diversos nucleidos que aparecen en las ecuaciones para ser utilizadas en el código Procón (programa para el cálculo de las constantes nucleares). Con este código y el que resuelve las ecuaciones de burn-up, se hará una aplicación inmediata al cálculo de la vida útil de un núcleo del R.A.E.P. por quemado de U^{235} .

-----oOo-----



B I B L I O G R A F I A

Thermal Reactor Theory - Galanin

Burn - up calculation - Ginebra 1958 P/1339

One dimensional few group - WAPD -TM-2

Programme "Autocode" 222/21 (Departament des **Etudes de**
Piles).-

-.--.-0o0o0-.-.-.-

APLICACION AL R.A.E.P.

Para estudiar la vida de un núcleo se considera la variación de reactividad por consumo de U^{235} y por envenenamiento debido a la acumulación de productos de fisión. La variación de reactividad por esos efectos se puede apreciar analizando la multiplicación k a través de la variación de η para lo cual el programa proporciona las densidades atómicas a través del tiempo incluyendo las del Xe y Sm [ANL 5800 - 2ª edición] y de los productos de fisión de "vida larga" de acuerdo al método expuesto por Hurst [Cross Sections and Yields of Pseudo Fission Products, CRRP 760 (AECL - 715)]

El programa al que se hace referencia es el que considera las soluciones analíticas de las ecuaciones de burn-up y al cual se le agregó el cálculo de la variación de reactividad y de la masa de U^{235} consumida en el tiempo.

En el gráfico 2 se indica la pérdida en reactividad para un núcleo del R.A.E.P. y en el gráfico 3 el quemado de U^{235} .

Se consideró una masa de U^{235} de 2429 gs., potencia inicial de 5 Mw. y flujo de $2,52 \times 10^{13}$.



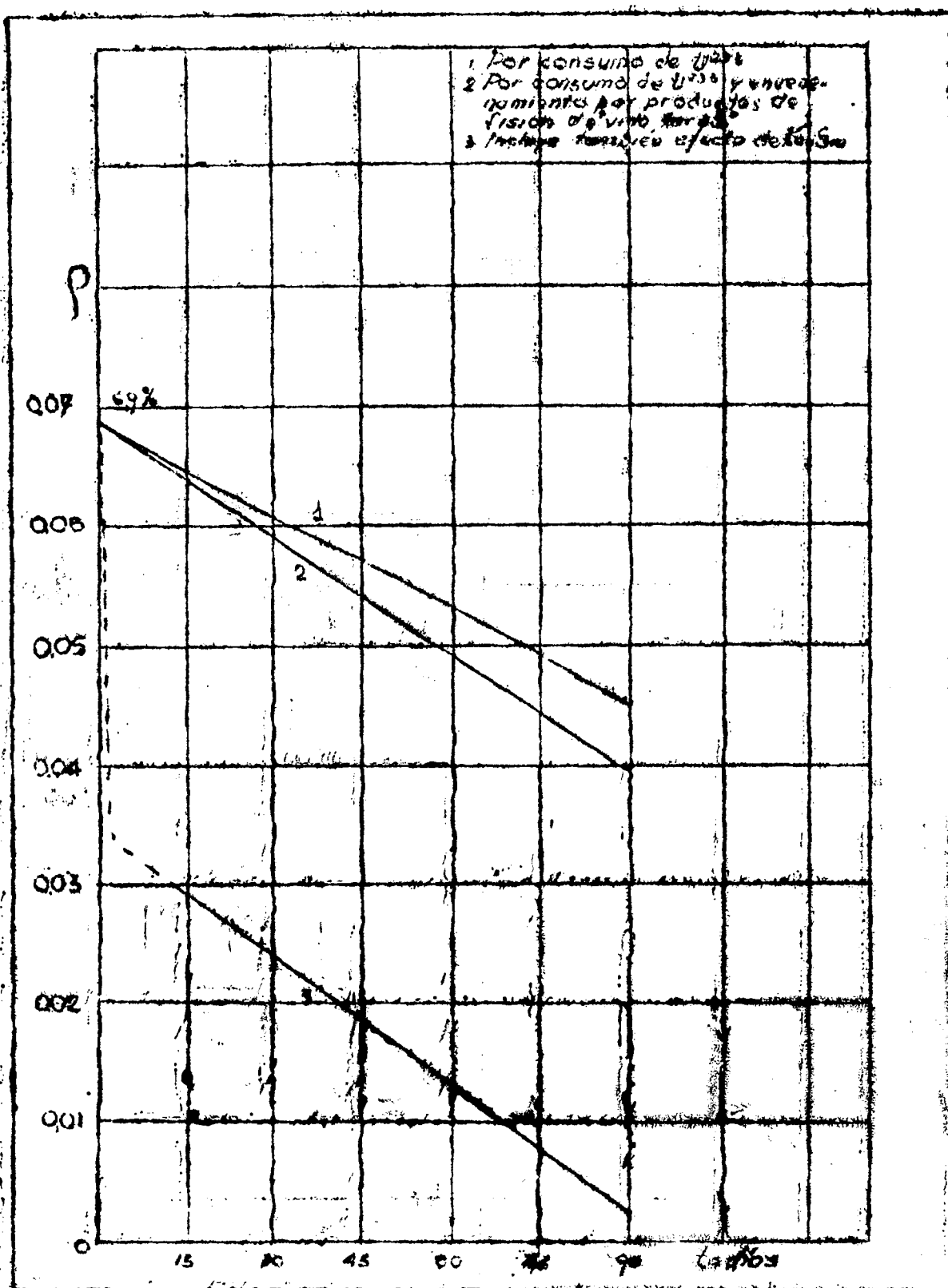


GRAFICO 2

GRAFICO 3

