

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
GERENCIA DE ENERGIA

DOSIMETRIA DE LA RADIACION EN EL
NUCLEO DEL RA-3 MEDIANTE UNA TECNICA
CALORIMETRICA

D. PARKANSKY

CNEA-Re-42

Junio 1970

DEPARTAMENTO DE REACTORES

CNEA- DEPTO DE REACTORES

LABORATORIO DE FLUIDODINAMICA

DOSIMETRIA DE LA RADIACION EN EL
NUCLEO DEL RA-3 MEDIANTE UNA TECNICA
CALORIMETRICA

D. PARKANSKY

CNEA-Re-42

Junio 1970

REFERENCIAS

- 1) Etude Theorique et Expérimentale d'une Technique Calorimetrique de Mesure des Depots D'Energie dans les Materiaux dus au Rayonnement Complexe de Pile.
Rapport CEA-n°2217 (1962).
- 2) Dosimétrie du Rayonnement Complexe de Pile par une Technique Calorimetrique.
Rapport CEA-R2443

Colaboración

Colaboraron en este trabajo:

Sr. J.M ALAPIN, Sr. M. MARTINEZ y el Personal de Operación del RA-3.

Determinación de la absorción de energía calórica en los materiales sometidos a radiación γ en el RA-3

Introducción:

La determinación del calentamiento γ tiene aplicación en experiencias a realizarse en los reactores de investigación. En el presente caso la razón de la medición es determinar el consumo de nitrógeno líquido utilizado en una experiencia cuyo fin es estudiar los daños producidos en materiales sometidos a flujos neutrónicos a bajas temperaturas.

Otra utilización prosible es la medición de la potencia de un reactor dada la configuración del núcleo y la posición del detector con relación al mismo (previa calibración). Esto es posible en razón de la linealidad existente entre la potencia P (MW) del reactor y la potencia γ absorbida por unidad de masa p (W/g) en el detector. (Ver ref. (1)).

Además la posibilidad de relacionar el calentamiento γ en un material dado con el flujo γ en el mismo lugar, impone éste método como el apropiado para medir flujos γ intensos (superiores a 10^6 R/h) en la vecindad de el núcleo de un reactor tipo piscina como el RA-3. Ya que los otros sistemas de detección γ (cámaras de ionización, etc) se saturan normalmente con tales intensidades.

La fórmula que relaciona el flujo $\phi_0 \gamma$ (fotones/cm².seg) con la potencia calórica absorbida p es (W/g) (ver Ref 1).

$$p = 1,6 \times 10^{-13} \cdot \frac{\mu_a}{\rho} \cdot \phi_0 \gamma \cdot E_0 \gamma \cdot (1 - x_0)$$

ρ densidad del núcleo irradiado en g/cm³

μ_a coeficiente lineal de absorción de energía en cm⁻¹

$\phi_0 \gamma$ = flujo γ no perturbado en fotones/cm².seg.

$E_0 \gamma$ = energía media de los γ incidentes en Mev.

X_0 = coeficiente de corrección que tienen en cuenta las dimensiones del núcleo y el coef. de atenuación lineal.

X_0 = Está dado en función $y_0 = \mu_0.R$.

R radio del cilindro que constituye el núcleo en (cm)

μ_0 = coeficiente de atenuación total en cm⁻¹

para nuestro detector de grafito resulta:

$$\phi_0 \gamma \cong 2,86 \times 10^{14} \cdot \rho.$$

para obtener el flujo γ no perturbado en rep/hora se aplica

$$\phi \gamma (\text{rep/hora}) = 4,25 \times 10^8 \cdot \rho$$

La medición del flujo γ mediante el método calorimétrico esta afectada por el calentamiento producido por la interacción del flujo neutrónico con el detector.

Del análisis de todos los tipos de interacción neutrón-detector surge que sólo produce un calentamiento no despreciable el choque elástico de los neutrones de energías superiores a 10Kev.

La relación entre la potencia específica W_R ($\frac{\text{Watt}}{\text{g}}$) de calentamiento por choque elástico de los neutrones y el flujo de los mismos ϕ_R es (ver Ref 1).

$$W_R = 0,7 \times 10^{-14} \phi_R$$

siendo ϕ_R el flujo rápido para energías $> 1\text{Mev}$ en n/cm²/s.

En el reactor francés Melusine W_R no ha alcanzado jamás el 10% del calentamiento total.

En el RA-3 la aplicación de esta fórmula nos llevaría a valores

de W_R que podrían alcanzar hasta un 20% del calentamiento total
La influencia de W_R decrece rapidamente a medida que nos alejamos
del núcleo.

EXPLICACION DEL METODO

Disponemos de un recipiente de Al cerrado hermeticamente (ver Fig 1), dentro de él se coloca un núcleo de grafito (en el que se mide la absorción γ), este se halla sostenido por una termocupla cuya función es medir la diferencia de temperatura entre el núcleo de grafito y la pared de Al que se la supone a la misma temperatura que el agua que la circunda.

Al colocar el sistema de la figura en la zona en que se desea medir el flujo γ , éste último comienza a calentar el grafito con relación al recipiente de Al.

El recipiente de Al si bien absorbe también radiación γ está refrigerado por el agua circundante y el aumento de su temperatura es despreciable. La diferencia de temperatura entre grafito y Al (θ) genera una transmisión de calor mediante los procesos de conducción y convección; dentro de las temperaturas que se alcanzan normalmente la radiación térmica resulta despreciable. Esta transmisión se puede expresar matemáticamente mediante:

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{\theta}{R} \quad (1)$$

$\frac{dQ}{dt}$ cantidad de calor transmitida por unidad de tiempo del grafito al Al.

θ salto de temperatura grafito-Al.

$\frac{1}{R}$ coeficiente de transmisión total.

Si tomamos volumen del grafito como volumen de control y le aplicamos el principio de conservación de la energía resulta:
Energía que ingresa por unidad de tiempo - Energía que egresa por unidad de tiempo = Variación de la energía interna del grafito por unidad de tiempo, que expresado matemáticamente sería

$$pM - \frac{\theta}{R} = MCp \frac{d\theta}{dt} \quad (2)$$

p=potencia σ absorbida por el grafito (W/g)

M = masa del grafito (g)

t = tiempo (seg)

Cp = calor específico del grafito.

integrando la expresión (2) resulta:

$$\theta = pM \cdot R \cdot \left[1 - e^{-\left(\frac{t}{RMCp}\right)} \right] \quad (3)$$

que es la ecuación de calentamiento del sistema.

Al cabo de cierto tiempo la potencia entrante es igual a la saliente y se llega a un régimen estable.

Teóricamente este se alcanzaría para $t = \infty$ en que $\theta = \theta_1 = pMR$ (4)

En la realidad con el sistema empleado se alcanza en el orden de algunos minutos (10 a 30 min), dependiendo este tiempo de la geometría del sistema y de la intensidad del flujo σ .

Si alejamos bruscamente el sistema de la zona de radiación σ , el término pM de la ecuación (2) desaparece y si consideramos que para $\theta = \theta_1$, $t = 0$ resulta la ecuación de enfriamiento

$$\theta = \theta_1 e^{-\left(\frac{t}{RMCp}\right)} \quad (5)$$

si tomamos un período de tiempo (T) tal que

$$\theta = \theta_1/e \quad \text{para } t = T$$

$$\text{será } T = RMCp \quad (6)$$

y coordinando (6) y (4) resulta:

$$p_1 = Cp \frac{\theta_1}{T} \quad (7)$$

Donde Cp es dato y θ_1 y T son valores a medir.

Nota: Teniendo en cuenta que la medición se hace con el reactor en marcha, para la fase de enfriamiento es necesario alejar el detector del núcleo (en el RA-3 hay que elevarlo 3m como mínimo). Para que p sea medido con precisión el tiempo de alejamiento debe ser despreciable respecto de T . De las experiencias realizadas en el RA-3 con un detector cuyas dimensiones se aclaran en Fig.1 surge que los valores de T varían entre los 2 y 3 minutos y los tiempos de alejamiento no sobrepasan los 8 segundos.

Otra magnitud medible experimentalmente es $\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{t=0}$ en la curva de enfriamiento, para relacionarla con p se deriva la ecuación (5) para $t = 0$ que sería

$$\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{t=0} = \frac{\theta_1}{RMCp} \quad (8)$$

e introduciendo (8) en (4) resulta:

$$p_2 = -Cp \cdot \left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{t=0} \quad (9)$$

Experimentalmente registramos la señal θ de la termocupla en función del tiempo que nos daría la curva de la Fig (2). De dicha curva se obtienen los valores de θ_1 , T y $\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{t=0}$

Determinaciones Experimentales:

Los resultados de las mediciones realizadas en el RA-3 hasta el momento son los siguientes. Ver posición en Fig 3 (configuración RA-3).

Potencia RA-3 (MW)	Posición N°	$\theta_1 (^{\circ}\text{C})$	T (seg)	$\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{t=0} (^{\circ}\text{C/seg})$	$p_1 \left(\frac{W}{g}\right)$	$p_2 \left(\frac{W}{g}\right)$	$p_1' \left(\frac{W}{g}\right)$
2,7	1	42	165	0,264	0,21	0,24	0,21
2,7	2	56,5	162	0,362	0,30	0,35	0,30
2,7	3 (G-2)	75,5	121	0,72	0,58	0,65	0,60
2,7	4 (H-3)	48,6	87	0,56	0,46	0,49	0,47

Análisis de las limitaciones y corrección:

De la tabla de valores surge que los valores p_2' (Fórmula 9) son sistemáticamente mayores que p_1 (Fórmula 7) y que la diferencia crece porcentualmente con p . El presente trabajo no ha sido realizado en vistas de obtener una gran precisión en el cálculo de p . No podemos a priori decidir cual de los 2 valores (p_1 o p_2) es el más correcto pero si podemos indicar las limitaciones del método.

El método ha sido desarrollado con precisión en Grenoble (Francia), ver Ref.2. En sus primeras mediciones encontraron divergencias cuyo orden de magnitud coincidan con los nuestros. Del análisis de las curvas de calentamiento y enfriamiento llegaron a determinar que la Fórmula (2) no respondía exactamente a la realidad si R y C_p eran considerados constantes (es decir independientes de la temperatura y por lo tanto del tiempo). La fórmula que da C_p del grafito en función de la temperatura es:

$$C_{p30} = C_{p30} + C_1\theta \quad \text{donde} \quad \begin{cases} C_{p30} = 0,174 \text{ cal. g}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1} \\ C_1 = 6,67 \cdot 10^{-4} \text{ cal. g}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-2} \end{cases}$$

C_{p30} = calor específico del grafito a los 30°C (temperatura aproximada del recipiente de aluminio y el agua que lo rodea).

θ = diferencia de temperatura entre grafito y Al.

$C_{p\theta}$ = calor específico del grafito a la temperatura $(30+\theta)^\circ\text{C}$
Esta fórmula es válida entre 20° y 120°C. (zona de trabajo para este tipo de mediciones).

Al considerar $C_p = f_1(t)$, las ecuaciones 3 y 5 resultarían respectivamente:

$$\theta = \theta_1 \left[1 - \exp\left(-\frac{t + RMC_1\theta}{AMC\theta_1}\right) \right] \quad (10) \text{ (calentamiento)}$$

$$\theta = \theta_1 \exp\left[-\frac{t - RMC_1(\theta_1 - \theta)}{RMC_{30^\circ}}\right] \quad (11) \text{ (enfriamiento)}$$

El valor de p se calcula según (7) pero C_p es encontrado a la temperatura $\left[30^\circ + \theta_1 \cdot \left(1 - \frac{1}{e}\right)\right]$ respondían aún correctamente a las curvas experimentales, un análisis mas exhaustivo hizo surgir a la resistencia térmica R , también como función de θ , siendo ésta función del tipo

$$R\theta = R_{30^\circ} + R_1 \cdot \theta \quad (12)$$

La introducción de (12) en la ecuación (2) llevo a la determinación de las siguientes ecuaciones.

Calentamiento:

$$\theta = \theta_1 \cdot \left\{ 1 - \exp \left[-\frac{(1 - PMR_1) \cdot t + M(RC)_1\theta + MR_1C_1\theta(\theta_1 + \theta/2)}{MR\theta_1 \cdot C\theta_1} \right] \right\} \quad (13)$$

$$\theta_1 = \frac{p \cdot M \cdot R_{30}^\circ}{1 - p \cdot M \cdot R_1} \quad (14)$$

$$\theta = \theta_1 \cdot \exp \left[\frac{-t - M(R.C)_1 \cdot (\theta_1 - \theta) - MR_1 C_1 (\theta_1 - \theta) \cdot \frac{3\theta_1 + \theta}{2}}{M \cdot R_{30}^\circ \cdot C_{30}^\circ} \right] \quad (15)$$

siendo $(RC)_1 = R_{30}^\circ C_1 + R_1 C_{30}$ y $R_1/R_{30} = -1,63 \times 10^{-3} \cdot ^\circ C^{-1}$

De estas ecuaciones resulta finalmente

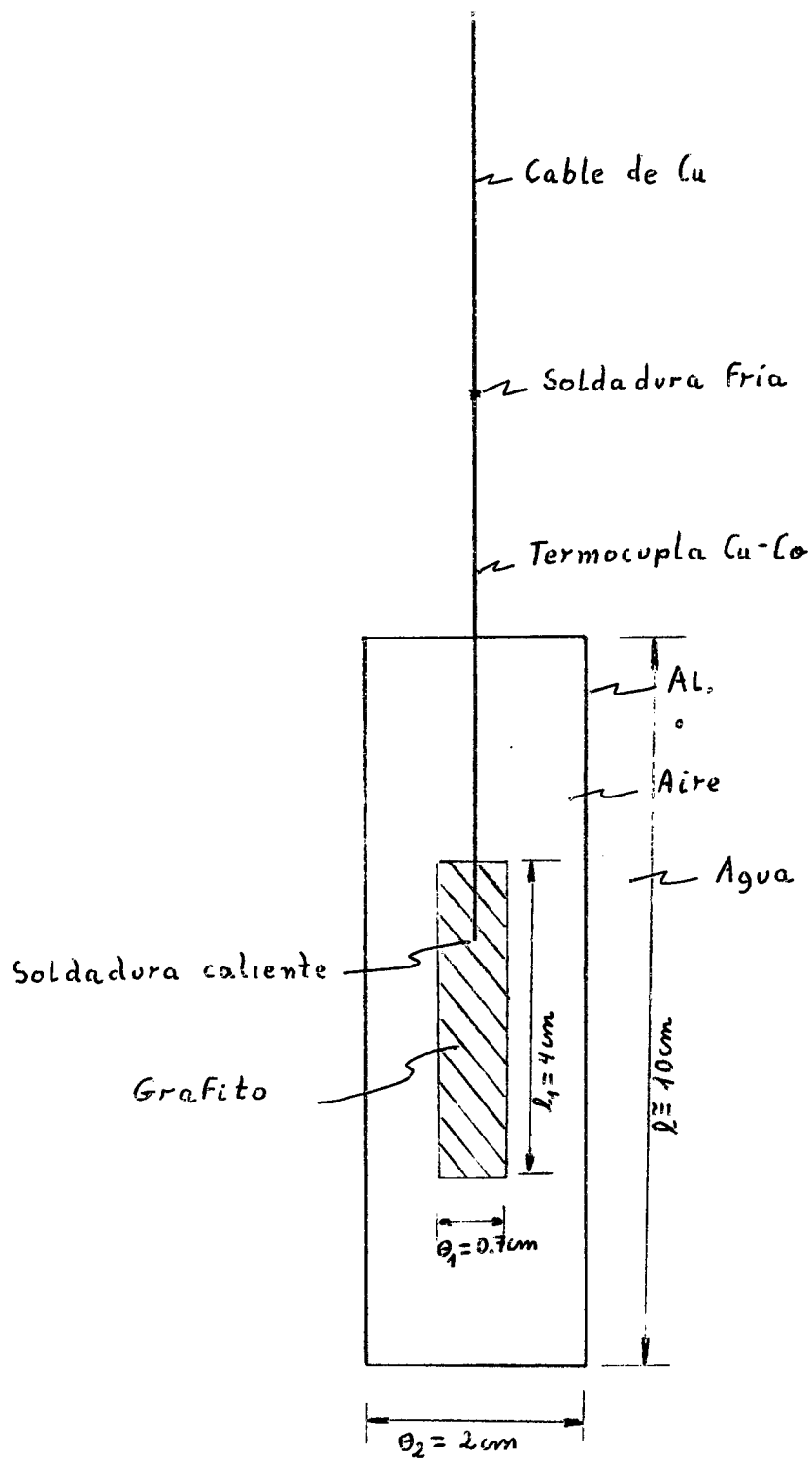
$$P' = \frac{\theta_1}{T} \cdot C_p \left[\theta_1 \left(1 - \frac{\theta_1}{e} \right) \right] \cdot \left(1 - \frac{R_1}{R_{30}^\circ} \cdot \frac{\theta_1}{e} \right)$$

cuyos valores p'_1 , p'_2 y p'_3 se pueden ver en tabla.

Estas ecuaciones que son el reemplazo final de las ecuaciones (3), (4) y (5) respectivamente han logrado la coincidencia entre los cálculos analíticos y las curvas experimentales permitiendo además el cálculo p con un error inferior a $\pm 2\%$.

Conclusiones:

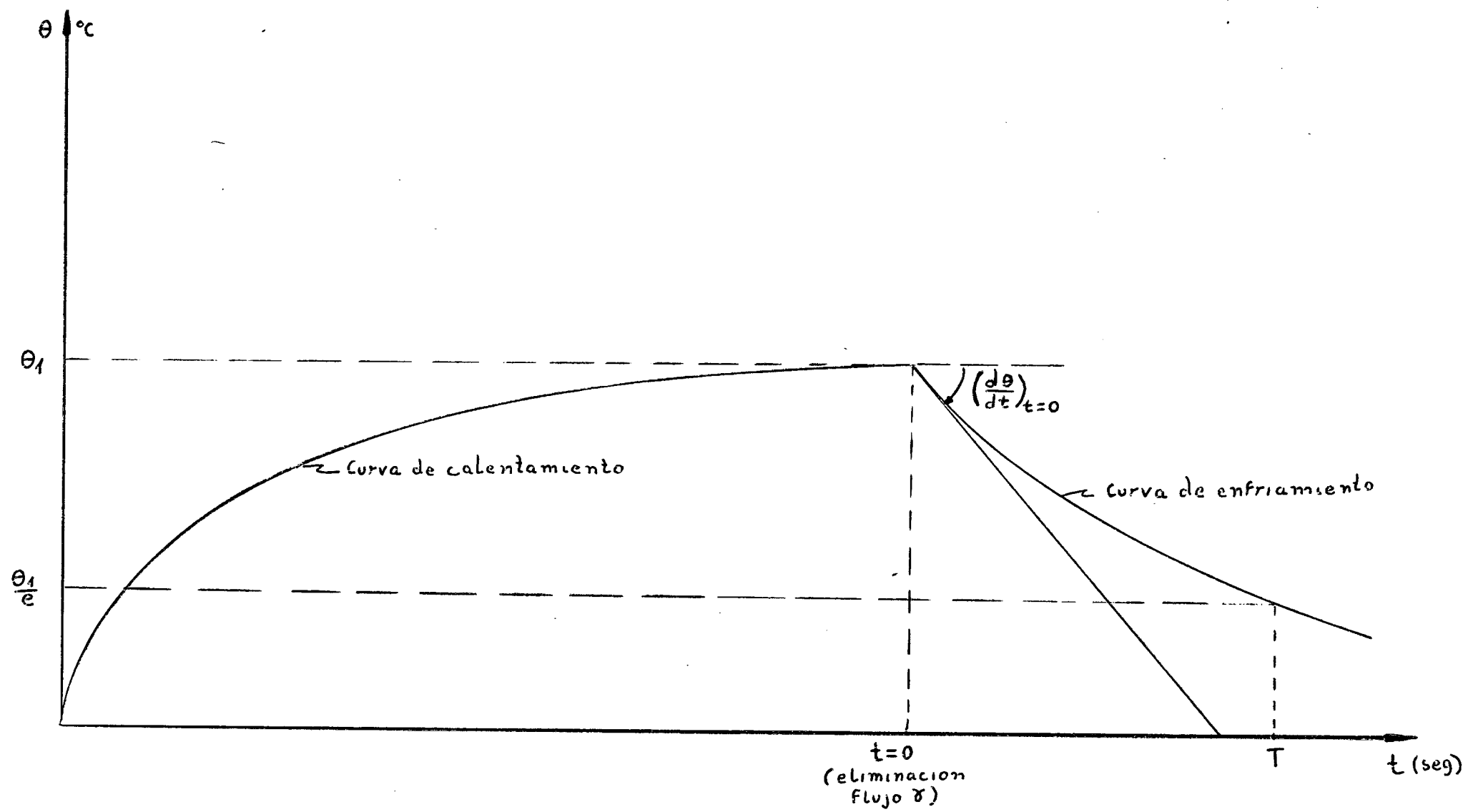
Al realizar los cálculos de las ecuaciones (13), (14) y (15), cosa que no es de importancia dentro de la precisión requerida por nosotros, es de hacer notar que el cálculo p_1 (fórmula 7) a partir de las ecuaciones (3), (4) y (5) ha llevado a los franceses (ver Ref. 2) a obtener errores por defecto en el calentamiento θ que eran crecientes con el flujo $\dot{Q}$ y llegaban hasta el 20%. Analizando nuestra tabla de valores podemos apreciar que al aplicar esta corrección a p_1 los valores de p'_1 y p_2 se acercan considerablemente.



DETECTOR δ

FIG. 1

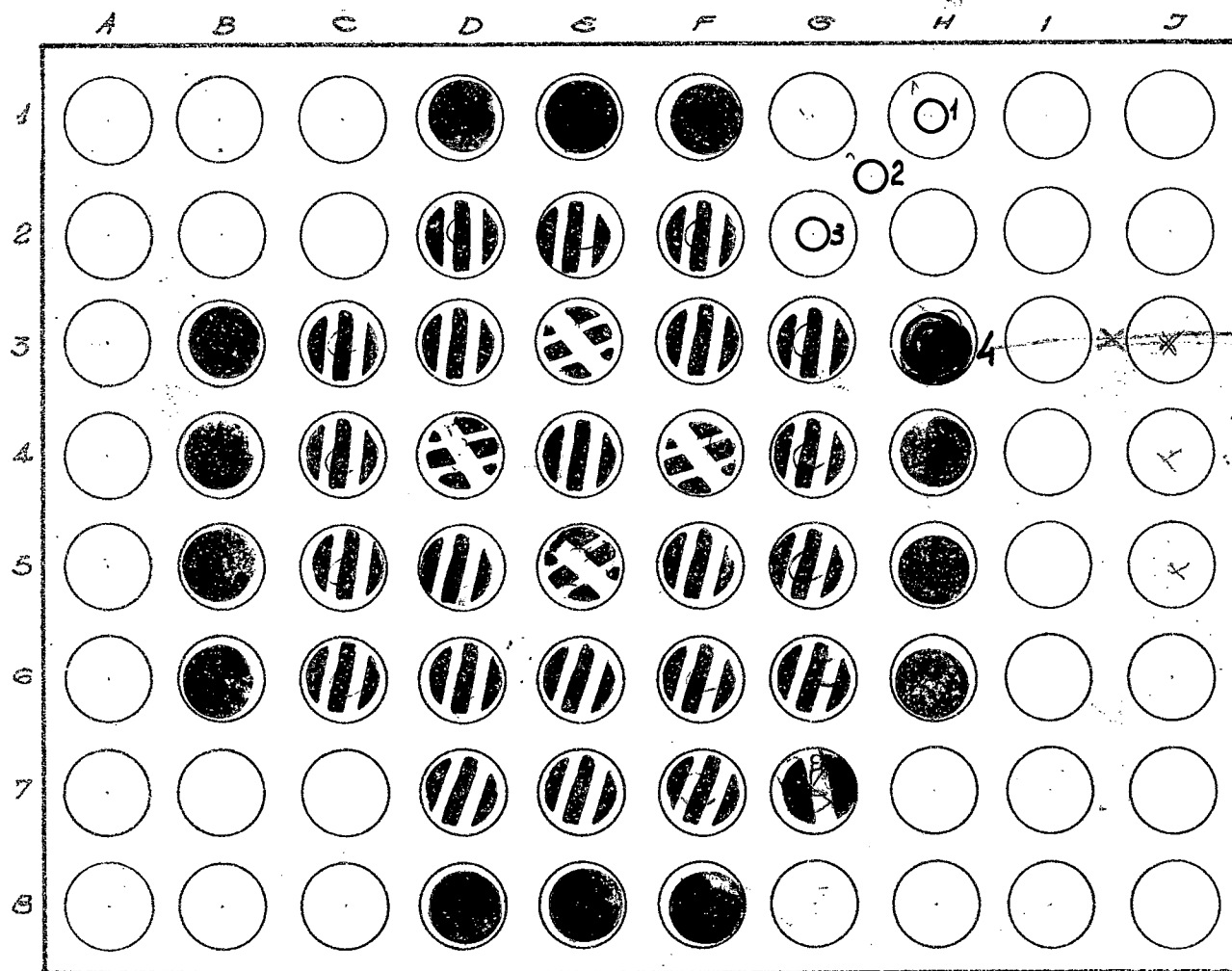
Fig. 2



CONFIGURACION N°

FECHA INICIAL _____ FINAL _____

HUCLEO

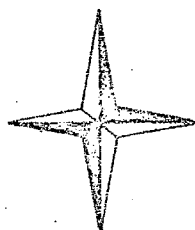


DETECTORES

BF₃ ☐ CF ☐
CIC ☐ CINC ☐

Referencias

-  elemento de grafito
-  elemento de grafito con barra de control
-  elemento combustible
-  elemento combustible con barra de control



CONSOLA

FIG. 3

AGUJEROS DE IRRADIACION

