

IMPLEMENTACION DEL METODO CUASISTATICO PARA LA SIMULACION
DEL COMPORTAMIENTO DINAMICO DE LOS REACTORES DE POTENCIA.
SU VERIFICACION CON CASOS DE REFERENCIA.

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº	AÑO
1	1984

C. GRANT, C.M. ARIZMENDI

(CNEA, Gerencia de Ingeniería, D. Nac. de Centrales Nucleares)

El aumento de tamaño de los reactores de potencia hace cada vez más dudosos los resultados obtenidos de la simulación de su comportamiento dinámico mediante el empleo de la cinética puntual, especialmente cuando se trata de perturbaciones muy localizadas (por ejemplo, inserción o extracción de barras de control). Este hecho ha llevado al desarrollo de métodos especiales para resolver las ecuaciones cinéticas espaciales, las que expresaremos en la forma:

$$\nabla D_g \nabla \phi_g - \Sigma_g \phi_g + \sum_{g' \neq g} \sigma_{g'g} \phi_{g'} + (1 - \beta) \chi_g \sum_{g'} \nu \sigma_{g'g} \phi_{g'} + \sum_{m=1}^M \lambda_m S_{mg} C_m + Q_g = \frac{1}{V_g} \frac{\partial \phi_g}{\partial t} \quad (1)$$

$$\beta_m \sum_g \nu \sigma_{fg} \phi_g - \lambda_m C_m = \frac{\partial C_m}{\partial t} \quad (2)$$

Estas son las ecuaciones multigrupo de difusión acopladas con las concentraciones de precursores C_m , para G grupos y M precursores, donde las σ son secciones eficaces macroscópicas, χ_g el espectro de los neutrones instantáneos, S_{mg} el de los retardados, V_g la velocidad media de cada grupo y el resto de los símbolos responde a lo que es usual en casi todos los trabajos sobre este tema.

El método cuasiestático (Ref. 4) consiste en proceder primeramente como en la cinética puntual, es decir, expresar los flujos de todos los grupos y las concentraciones como el producto de una amplitud sólo dependiente del tiempo y una forma cuya integral en todo el reactor pesado con una cierta función sea siempre igual a la unidad:

$$\phi_g(\vec{r}, t) = \eta(t) \varphi_g(\vec{r}, t) \quad (3)$$

$$C_m(\vec{r}, t) = C_m(t) \Theta_m(\vec{r}, t) \quad (4)$$

$$\int_V \sum_s \phi_{Es}^* \frac{1}{V_s} \psi_s(\vec{r}, t) \equiv 1 \quad (5)$$

$$\int_V \left[\sum_s S_{ms} \phi_{Es}^* \right] \Theta_m(\vec{r}, t) \equiv 1 \quad (6)$$

Las funciones de peso son en este caso las adjuntas del flujo y los precursores para algún estado estacionario. La adopción de estas funciones de peso se debe a que si multiplicamos la (1) respectivamente por las ϕ_{Es}^* y las (2) por las $\Theta_m^* = \sum_s S_{ms} \phi_{Es}^*$, integramos en el espacio y sumamos, obtenemos las ecuaciones de la cinética puntual:

$$\dot{n} = \frac{\rho - \beta_e}{\ell} n + \sum_m \lambda_m C_m + S \quad (7)$$

$$\dot{C}_m = -\lambda_m C_m + \frac{\beta_{em}}{\ell} n \quad (8)$$

en donde si hacemos

$$F = \int_V \left[\sum_s \phi_{Es}^* \chi_{Es} \right] \left[\sum_s v \sigma_{fs} \psi_s \right] dv \quad \chi_{Es} = (1-\beta) \chi_s + \sum_m \beta_m S_{ms}$$

resulta:

$$\begin{cases} S = \int_V \sum_s \phi_{Es}^* Q_s dv & \beta_e = \sum_m \beta_{em} \quad \ell = \frac{1}{F} \\ \beta_{em} = \frac{1}{F} \int_V \left[\sum_s S_{ms} \phi_{Es}^* \right] \beta_{em} \left[\sum_s v \sigma_{fs} \psi_s \right] dv \end{cases} \quad (9)$$

$$\rho = \frac{1}{F} \int_V \sum_s \phi_{Es}^* \left[\nabla D_s \nabla \psi_s - \sigma_{ts} \psi_s + \sum_{s' \neq s} \sigma_{s's} \psi_{s'} + \chi_{Es} \sum_{s'} v \sigma_{fs} \psi_{s'} \right] dv \quad (10)$$

Los segundos miembros de las (1) y (2), empleando las (3) y (4) pueden discretizarse en la forma:

$$\begin{cases} \frac{1}{V_s} \frac{\partial \phi_s^{(p+1)}}{\partial t} \approx \frac{1}{V_s} \left[n^{(p+1)} \frac{\phi_s^{(p+1)} - \phi_s^{(p)}}{\Delta t_p} + \dot{n}^{(p+1)} \phi_s^{(p+1)} \right] \\ \frac{\partial C_m^{(p+1)}}{\partial t} \approx C_m^{(p+1)} \frac{\Theta_m^{(p+1)} - \Theta_m^{(p)}}{\Delta t_p} + \dot{C}_m^{(p+1)} \Theta_m^{(p+1)} \end{cases} \quad (11)$$

(Dados en los instantes $t_p, t_{p+1}, \Delta t_p = t_{p+1} - t_p$

Reemplazando la (11) en las (1) y (2) se obtienen las ecuaciones espaciales:

$$\begin{aligned} & \nabla D_s \nabla \phi_s^{(p+1)} - \sigma_{T_s}^{*(p+1)} \phi_s^{(p+1)} + \sum_{s' \neq s} \sigma_{s's} \phi_{s'}^{(p+1)} - \frac{1}{\Delta t_p V_s} \phi_s^{(p+1)} + \\ & + \left[(1 - \beta_s) \chi_s + \sum_m \frac{\lambda_m S_{ms} \beta_m \Delta t_p}{1 + \lambda_m^{*(p+1)} \Delta t_p} \right] \sum_{s'} \sqrt{\sigma_{s's}} \phi_{s'}^{(p+1)} = \\ & = - \frac{n^{(p+1)} \phi_s^{(p)}}{n^{(p)} \Delta t_p V_s} - \sum_m \frac{\lambda_m S_{ms} \epsilon_m^{(p+1)} C_m^{(p)}}{C_m^{(p)} (1 + \lambda_m^{*(p+1)} \Delta t_p)} - Q_s \quad (12) \end{aligned}$$

$$C_m = \frac{\frac{C_m^{(p+1)}}{C_m^{(p)}} C_m^{(p)} + \beta_m \Delta t_p \sum_s \sqrt{\sigma_{s'm}} \phi_s^{(p+1)}}{1 + \lambda_m^{*(p+1)} \Delta t_p} \quad (13)$$

$$\sigma_{T_s}^{*(p+1)} = \sigma_{T_s} + \frac{1}{V_s} \frac{\dot{n}^{(p+1)}}{n^{(p+1)}} \quad \lambda_m^{*(p+1)} = \lambda_m + \frac{\dot{C}_m^{(p+1)}}{C_m^{(p+1)}}$$

El método cuasiestático consiste en, dada una forma del flujo y precursores en el instante t_p y las secciones eficaces en el instante t_{p+1} , se calculan por medio de las (9) los coeficientes de las ecuaciones cinéticas puntuales (7) y (8) y la reactividad empleando la (10) para t_{p+1} con la función de forma $\phi_s^{(p)}$ en t_p . Suponiendo una variación lineal de la reactividad entre t_p y t_{p+1} se hallan entonces, resolviendo las ecuaciones puntuales., los valores de $n^{(p+1)}, C^{(p+1)}, \dot{n}^{(p+1)}$ y $\dot{C}^{(p+1)}$.

Se reemplazan estos valores en la (12) y mediante un cálculo espacial se las resuelve hallando una primera estimación de $\phi_s^{(p+1)}, C_m^{(p+1)}$ las formas $\phi_s^{(p+1)}, \theta_m^{(p+1)}$ en t_{p+1} .

Luego se puede, con estas nuevas funciones de forma, recalcular los coeficientes de las ecuaciones cinéticas puntuales y la reactividad y repetir el proceso tantas veces como sea necesario. Se parte de un estado estacionario de donde se obtiene el flujo adjunto.

Resultados obtenidos.

Se compararon los resultados publicados en la referencia I por medio de los códigos CERBERUS y ADEP (Ref. III), el primero de los cuales realiza en cada paso Δt_p sólo dos cálculos espaciales con un cálculo puntual entre ellos y el otro emplea el método de la resolución directa de las ecuaciones cinéticas espaciales, por lo que será tomado como re-

ferencia, con los del código PUMA (Ref.II) desarrollado en CNEA, en el cual se pueden efectuar tantos cálculos espaciales como se desee.

El problema cinético está definido en dos dimensiones con una representación del reactor mostrada en la figura 1 y un reticulado de 64 intervalos en la dirección X y 8 en la dirección Y . En estado estacionario el flujo está aplastado en el centro (fig.2). El transitorio de reactividad representa una pérdida uniforme de refrigerante seguida de una inserción asimétrica de barras de control, lo cual se aproxima mediante un crecimiento lineal de 0.5% de $\sqrt{Q}$ durante un segundo en todo el núcleo, seguido por un incremento en la sección eficaz de absorción térmica en la mitad del núcleo durante los siguientes 1.9 segundos. Se emplearon grupos de precursores. La distribución espacial de flujo en cada instante dada por PUMA puede verse en la Fig.2.

En la tabla I se ven valores de los flujos térmicos medio y en un punto para PUMA, CERBERUS y ADEP. Se ve una buena coincidencia entre PUMA y ADEP para los tres últimos valores con discrepancia entre estos dos modelos y CERBERUS debido a que éste realiza sólo dos cálculos de forma. En 1 segundo la coincidencia de los tres modelos es buena.

En la tabla 2 puede verse la amplitud y la reactividad para cada instante calculado por PUMA. Los valores hallados por CERBERUS y ADEP no se conocen.

TIEMPO (u)	PUMA		CERRILLOS		ALZAP	
	$\bar{\phi}_2(t)$	$\phi_2^r(t)$	$\bar{\phi}_2(t)$	$\phi_2^r(t)$	$\bar{\phi}_2(t)$	$\phi_2^r(t)$
0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0	2.8393	2.8394	2.866	2.866	2.867	2.865
1.5	1.0329	1.8192	1.088	1.926	1.022	1.802
2.5	0.5485	1.0922	0.592	1.109	0.543	1.004
2.9	0.495	1.027	0.525	1.075	0.491	1.002

TABLA 1 : COMPARACION DE FLUJOS TERMICOS RELATIVOS

* $x=575\text{cm}$, $y=400\text{cm}$

TIEMPO (s)	AMPLITUD	REACTIVIDAD (mk)
0.0	1.0	0.0
1.0	2.8393	4.974
1.125	2.7085	1.061
1.25	1.9040	-0.819
1.375	1.3346	-1.895
1.5	1.0225	-2.769
1.7	0.7946	-3.69
1.9	0.6873	-4.389
2.1	0.6215	-4.9019
2.5	0.5369	-5.648
2.9	0.4853	-6.113

TABLA 2 : VARIACION DE LA AMPLITUD Y LA REACTIVIDAD EN EL TIEMPO

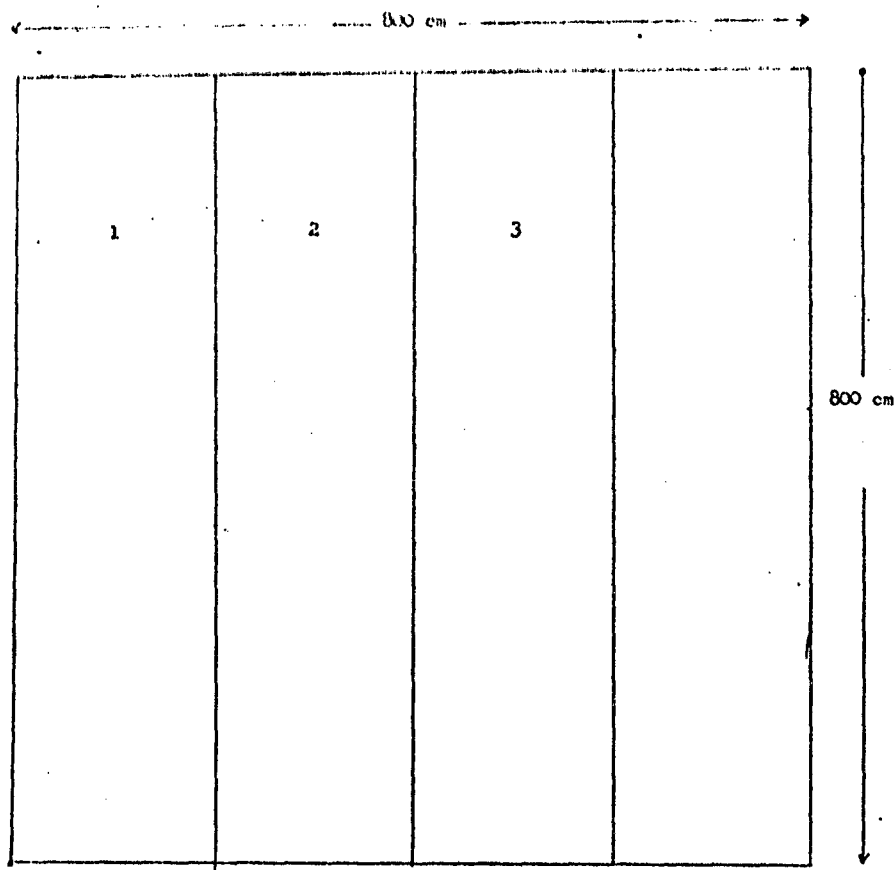


Fig.1: REPRESENTACION DEL REACTOR

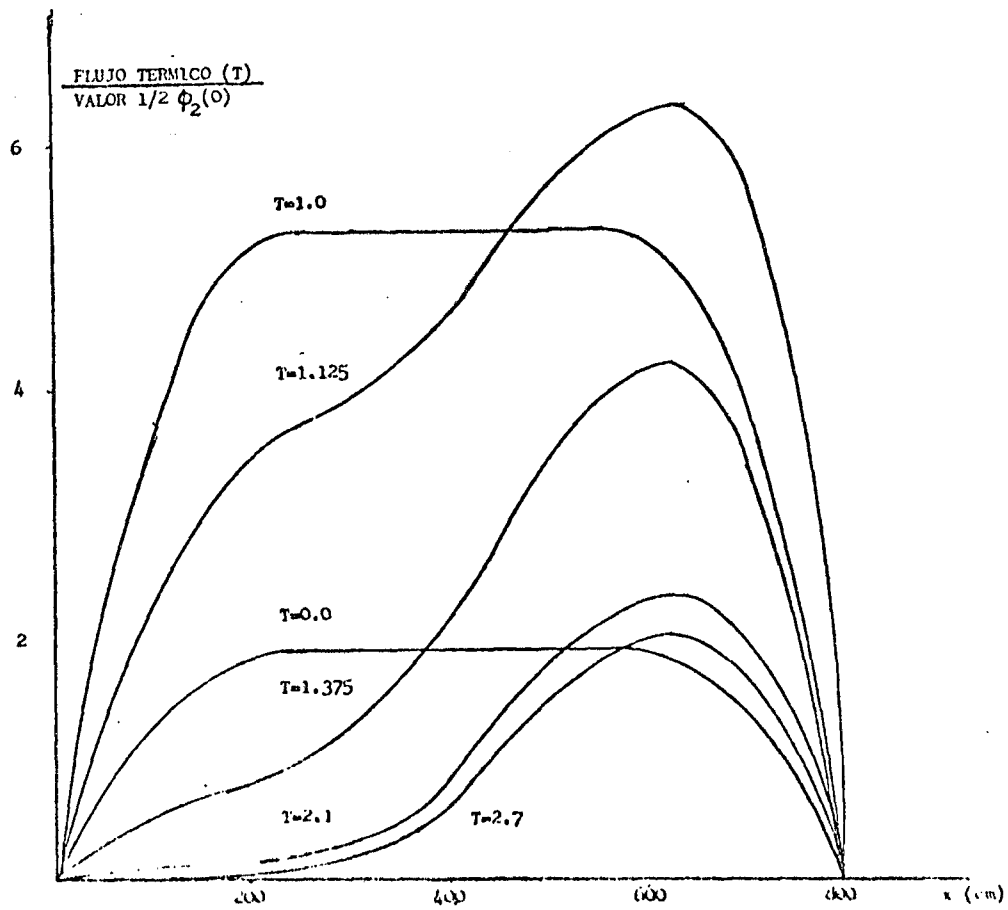


Fig.2: VARIACION DEL FLUJO TERMICO EN EL TIEMPO

Referencias.

- I- CANDU Reactor Kinetics Benchmark Activity
F.N.Mc Donnell & others
NU SCI ENG 67,95-105 (1977)
- II- PUMA Sistema para la Simulación del Funcionamiento de
Reactores Nucleares.
C. GRANT
CNEA-Re-163, 1980
- III ADEP, One and Two dimensional Few-Group Kinetics Code
R.S. DENING
BMI-911, Columbus 1971.
- IV- K.O. OTT and D.A. MENELEY, Nu SCI ENG 36, 402 (1969)