J. E. N. 266
Sp ISSN 0081-3397

Cálculo de variaciones de reactividad en algunos períodos regulares de operación del reactor JEN-1 Mod.

por
Francisco Alcalá Ruiz

JUNTA DE ENERGIA NUCLEAR

MADRID, 1973

Toda correspondencia en relación con este trabajo debe dirigirse al Servicio de Documentación Biblioteca y Publicaciones, Junta de Energía Nuclear, Coidad Universitaria, Madrid-3, ESPAÑA.

Las solicitudes de ejemplares deben dirigirse a este mismo Servicio.

Se autoriza la reproducción de los resúmenes analíticos que aparecen en esta publicación.

Este trabajo se ha recibido para su impresión en Mayo de 1973.

Depósito legal nº M-14940-1973 I.S.B.N. 84-Exento.

INDICE

	Pag.
1. INTRODUCCION	1
2. REACTIVIDAD DEL NUCLEO	2
3. PROCESOS QUE MODIFICAN LA REACTIVIDAD DEL NUCLEO	3
3.1. Variacion de la temperatura del moderador	4
3.2. Quemado de combustible	5
3.3. Envenenamiento por productos de fisión	7
4. EXPRESION DE LA REACTIVIDAD EN FUNCION DEL TIEMPO	9
5. VALORES EXPERIMENTALES	12
6. RESULTADOS	14
6.1. Periodo Experimental	14
6.2. Periodo regular de operación	15
6.3. Operación contínua a 3 Mw	16
6.4. Operación contínua a 5 Mw	19
BIBLIOGRAFIA	21
APENDICE I	22
APENDICE II	28
FIGURAS	46

1. INTRODUCCION

Mediante un modelo puntual del reactor y teoría de perturbaciones se ha calculado la reactividad introducida en el reactor JEN-1 MOD por los procesos siguientes: 1) Variación de temperatura del moderador; 2) Quemado de combustible y 3) Envenenamiento por productos de fisión. Los resultados se han comparado con valores experimentales encontrándose un acuerdo aceptable; estos valores fueron obtenidos a partir de lecturas de posición de elementos de control traducidas a reactividad controlada mediante Curvas de Calibración de dichos elementos.

Para comparar estos valores experimentales con los calculados se había de tener en cada instante una señal de potencia que no se viese influída por cambios de reactividad local o variaciones en la distribución de flujo ocasionados por el movimiento compensador de los elementos de control. Esta ha sido la razón por la que no se han tenido en cuenta las indicaciones de potencia dadas por cámaras de ionización situadas en las proximidades del núcleo. En principio, una señal de potencia no perturbada por el movimiento de elementos de control es suministrada por la diferencia de temperaturas del agua de refrigeración a la entrada y salida del cambiador de calor; sin embargo se ha desechado también este sistema por ser un procedimiento de control de potencia de respuesta muy lenta.

El sistema de control de potencia que se ha utilizado ha sido la actividad del N-16 del agua del circuito primario de refrigeración. Con este fin se montó una cámara de ionización de gran volumen a la salida de dicho circuito de la piscina del reactor y su señal (10^{-9} A a 1 MW de potencia), se llevó a un picoamperímetro situado en la Sala de Control.

La calibración de esta cámara se llevó a cabo mediante el procedimiento térmico anteriormente aludido (Martín, P.; 1972) y durante el periodo de toma de datos el reactor se operó a potencia constante controlada por esta instrumentación.

También se ha realizado un cálculo de la variación de la reactividad durante un periodo regular de operación del reactor JEN-1 MOD, entendiendo como tal su puesta en marcha el lunes a las 15.00 a 2 MW y parada a las 22.00; durante el martes, miércoles y jueves operación a 2 MW desde las 9.30 hasta las 22.00 y el viernes operación a 3 MW durante el mismo tiempo anterior; durante el resto de la semana el reactor permanece apagado. Por último se estudió el caso de funcionamiento contínuo del reactor a 3 y 5 MW desde el lunes a las 15.00 hasta el sábado a las 8.00, permaneciendo el resto de la semana apagado. Estos estudios encierran consecuencias prácticas de posible aplicación en el futuro en caso de elevar la potencia del reactor.

2. REACTIVIDAD DEL NUCLEO

La reactividad total del núcleo, ρ , se define como el cociente:

$$\rho = \frac{k_{ef} - 1}{k_{ef}}$$

donde k_{ef} es el factor efectivo de multiplicación del núcleo que depende del número de neutrones que se pueden producir, absorber o perder por fugas.

Cuando el reactor opera a potencia constante, $k_{ef} = 1$ y $\rho = 0$ para una determinada posición de los elementos de control. Al comenzar la operación del reactor y, considerando la no existencia de elementos de control y seguridad, es necesario que dicho factor sea mayor que la unidad y el valor positivo de ρ en esas condiciones se denomina exceso de reactividad o simplemente reactividad del núcleo.

Durante la operación a potencia se modifican las secciones eficaces de absorción y fisión y los parámetros que determinan los escapes de neutrones por fugas; esto produce un cambio en los valores iniciales de k_{ef} y ρ que hay que compensar contínuamente mediante el movimiento de los elementos de control.

La reactividad, al ser una magnitud sin dimensiones, se suele expresar en tantos por ciento, en una unidad especial (dólar) o bien en partes por cien mil (pcm) que es la unidad más apropiada para este trabajo y, por tanto, la que se utilizará a lo largo del mismo.

3. PROCESOS QUE MODIFICAN LA REACTIVIDAD DEL NUCLEO

Los procesos que principalmente intervienen en la modificación de los parámetros nucleares de un reactor que opera a potencia constente suficientemente alta, son la variación de temperatura del combustible y del moderador, el quemado de combustible y la generación de absorbentes neutrónicos por los productos resultantes de las fisiones.

Estos procesos modifican directamente el espectro neutrónico y las concentraciones isotópicas e indirectamente las secciones eficaces macroscópicas y el flujo.

El espectro neutrónico se va a considerar constante y sin duda así sucederá ya que nuestras observaciones serán hechas a corto plazo y en ellas las variaciones en las concentraciones isotópicas serán pequeñas; solamente en reactores que funcionen a muy alta potencia e incluyan producción apreciable de plutonio habría que considerar la variación del espectro.

En cuanto al flujo, solamente se considerará su cambio en magnitud permaneciendo su forma constante. Una pequeña perturbación en las secciones eficaces apenas afecta la forma del flujo térmico que está determinada fundamentalmente por el porcentaje de pérdidas en el núcleo como se puede ver desarrollando las ecuaciones de la teoría de perturbaciones. Tampoco se considerará, a efectos de reactividad global del núcleo, la variación de la forma del flujo térmico ocasionada por el movimiento de elementos de control, que aunque contínuo, es demasiado lento para que su incidencia en el porcentaje de pérdidas neutrónicas pueda perturbar severamente la economía neutrónica global al mantener la potencia constante.

Además de considerar el espectro constante, de acuerdo con los resultados, se ha considerado suficiente utilizar valores de secciones eficaces microscópicas promediadas con un espectro puramente maxwelliano a partir de secciones eficaces microscópicas efectivas (equivalente a tratar el problema con un sólo grupo neutrónico) en vez de utilizar valores promediados con espectros calculados mediante algún código apropiado y utilizar teoría de dos grupos. Esta aproximación es más que suficiente ya que las discrepancias encontradas con los datos experimentales se pueden explicar perfectamente a partir de los errores inherentes a dichos datos.

3.1. Variación de la temperatura del moderador

Durante las primeras horas que siguen a la puesta en marcha de un reactor de piscina, la temperatura del agua de la misma suele aumentar en cuantía que, naturalmente, depende del sistema de refrigeración. Experimentalmente se ha determinado el efecto de la temperatura sobre la reactividad total y se ha obtenido (1)

$$\delta\rho_T = \alpha\,\delta T$$

donde $\alpha = -5.8 \times 10^{-5}\ {}_{\circ}C^{-1}$ y δT es la variación de temperatura del moderador.

En términos generales se ha considerado que durante las dos primeras horas de operación (en la época en que se tomaron los datos) ocurre un cambio de temperatura de 5 °C y que este cambio se produce linealmente:

$$\delta\rho_T = -2.41.10^{-6}t = -0.241t \text{ pcm.} \qquad 0 \leq t \leq 120 \text{ m}$$

$$\delta\rho_T = -2.90.10^{-4} = -29.0 \text{ pcm.} \qquad t > 120 \text{ min} \qquad [3.1]$$

(1) Experiencia llevada a cabo en la SRP (Sección Reactores Piscina) utilizando Curvas de Calibración de placas de control.

donde t es el tiempo expresado en minutos a partir del momento en que se llegó a la potencia de operación.

3.2. Quemado de combustible

Considerando la operación del reactor a potencia constante, la densidad media de potencia en el núcleo ha de ser constante:

$$P(t) = \epsilon \sigma_f N_f(t)\phi(t) = \epsilon \sigma_f N_f(0)\phi(0) = P(0) \qquad [3.2]$$

donde ϵ es la energía media liberada por fisión, σ_f la sección eficaz microscópica térmica media de fisión, $N_f(t)$ la densidad de núcleos fisibles y ϕ (t) el flujo térmico medio.

Consecuentemente, durante la operación, el ritmo medio de quemado de núcleos fisibles ha de ser constante:

$$\frac{dN_f(t)}{dt} = - \sigma_a N_f(t)\, \phi(t) = - \sigma_a N_f(0)\, \phi(0)$$

donde σ_a es la sección eficaz microscópica de absorción de neutrones del material fisible. La solución de la ecuación anterior es

$$N_f(t) = N_f(0) \left[1 - \sigma_a \phi(0)\, t \right] \qquad [3.3]$$

y la sección eficaz macroscópica térmica media de fisión:

$$\Sigma_f(t) = \sigma_f N_f(t) = \Sigma_f(0) \left[1 - \sigma_a \phi(0)\, t \right] \qquad [3.4]$$

Teniendo en cuenta [3.2] y [3.3] se obtiene:

$$\phi(t) = \frac{\phi(0)}{1 - \sigma_a \phi(0) t} \qquad [3.5]$$

Las dos ecuaciones anteriores muestran la forma de evolución de $\Sigma_f(t)$ y $\phi(t)$ cuando el reactor opera a potencia constante.

El flujo térmico medio inicial se puede determinar mediante la expresión (NEH, pág. 1-26).

$$\phi = 1.036x10^{16} \frac{A}{\sigma_f} \frac{P}{M_f} = 2.532x10^{13} \frac{P}{M_f} n/cm^2 .s \qquad [3.6]$$

donde A = 235 g, E = 200 Mev, σ_f = 480,8 b; P es la potencia en Kw y M_f la masa del material fisible, expresada en gramos, que actualmente existe en el núcleo.

El valor utilizado de σ_f se ha obtenido, como ya se hizo notar en el párrafo 3 promediándola en un espectro maxvelliano puro, mediante la expresión (Westcott, C.M.; 1960):

$$\sigma_f = \sqrt{\frac{\pi T_o}{4T}} \hat{\sigma}_f$$

donde $\hat{\sigma}_f$ = 560,3 b es la sección eficaz microscópica efectiva térmica; T_o = 293 °K la temperatura del moderador y T = 313 °K la efectiva del espectro (2)

El flujo obtenido mediante la expresión /3.6/ es el flujo integrado y su valor, operando a 2000 KW y estimado (mediante el Libro de Quemado del reactor JEN-1 MOD) M_f = 3718 en la época de recogida de datos, es:

$$\phi(0) = 1.362 \times 10^{13} \ n/cm^2 . \ s$$

que concuerda con valores obtenidos experimentalmente (Alcalá Ruiz,F.; 1971) en condiciones similares de quemado. En las circunstancias presentes la densidad de núcleos de U-235 en $N_f(0) = 0.8635 \times 10^{20}$ núcleos/cm^3, de modo que

$$\Sigma_f(0) = \sigma_f N_f(0) = 0.0415 \ cm^{-1}$$

(2) La temperatura efectiva del espectro se ha obtenido mediante el código PROMETEO para la UNIVAC de la JEN

La sección eficaz microscópica térmica media de absorción en el combustible se ha estimado por el mismo procedimiento que la de fisión y su valor es

$$\sigma_a = \sqrt{\frac{\pi T_o}{4T}}\ \hat{\sigma}_a(\text{U-235}) = 570.5\ \text{b}$$

Sustituyendo los valores anteriores en las ecuaciones [3.4] y [3.5] se obtienen las expresiones de la variación de la sección eficaz microscópica térmica de fisión y del flujo en función del tiempo cuando el reactor opera a potencia constante:

$$\delta\Sigma_f(t) = -\Sigma_f(0)\ \sigma_a\ \phi(0)t = -\ 1.935 \times 10^{-8} t\ \text{cm}^{-1} \qquad [3.4a]$$

$$\phi(t) = \frac{\phi(0)}{1 - \sigma_a\ \phi(0)t} = \frac{1.362 \times 10^{13}}{1 - 4.662 \times 10^{-7} t}\ \text{n/cm}^2\ \text{s} \qquad [3.5a]$$

donde el tiempo t se expresa en minutos. Para un tiempo de funcionamiento de una semana el flujo puede tomarse constante; sin embargo la variación en la sección eficaz no puede despreciarse como se comprenderá mejor más adelante.

3.3. Envenenamiento por productos de fisión

Entre los productos o subproductos de fisión aparecen los núclidos Xe-135 y Sm-149 que por su gran sección eficaz de absorción juegan un papel importante en la economía neutrónica durante la operación del reactor y después de ella ya que los cambios de reactividad que se producen se deben casi exclusivamente a ellos. El primero se produce directamente como producto de fisión o como subproducto mediante la cadena

$$Te^{135} \xrightarrow[2\ \text{min}]{\beta^-} I^{135} \xrightarrow[6.7\ \text{h}]{\beta^-} Xe^{135} \xrightarrow[9.2\ \text{h}]{\beta^-} Cs^{135} \qquad [3.6]$$

El Sm-149 se produce de la misma forma: directamente o por me-

dio de la cadena:

$$Nd^{149} \xrightarrow[1{,}7\ h]{\beta^-} Pm^{149} \xrightarrow[47\ h]{\beta^-} Sm^{149} \qquad [3.7]$$

Además de estos dos importantes absorbentes de neutrones, los otros productos de fisión del U-235 se podrían considerar como un único "elemento" absorbente con una sección eficaz térmica de 80 b si el núcleo es casi limpio y frío o de 65 b si el grado de quemado es del 10 % y el flujo del orden de 10^{14} n/cm^2.s; este "elemento" se produciría en el 100% de las fisiones (NHE, pág. 1-23).

En [3.6] se muestra el periodo de desintegración del Te-135 que es muy corto frente al del I-135 por lo que se puede considerar este último núclido como producto directo de fisión. Otro tanto se puede decir respecto del Pm-149 frente al Nd-149 en [3.7]. Teniendo en cuenta estas circunstancias, las ecuaciones de evolución de las concentraciones de I-135, Xe-135, Pm-149 y Sm-149, son respectivamente, las siguientes:

$$\begin{aligned}
\frac{dI(t)}{dt} &= \gamma_i \Sigma_f(t)\,\phi(t) - \sigma_i\,\phi(t)\,I(t) - \lambda_i\,I(t) \\
\frac{dX(t)}{dt} &= \gamma_x \Sigma_f(t)\,\phi(t) + \lambda_i\,I(t) - \sigma_x\,\phi(t)\,X(t) - \lambda_x\,X(t) \\
\frac{dP(t)}{dt} &= \gamma_p \Sigma_f(t)\,\phi(t) - \sigma_p\,\phi(t)\,P(t) - \lambda_p\,P(t) \\
\frac{dS(t)}{dt} &= \gamma_s \Sigma_f(t)\,\phi(t) + \lambda_p\,P(t) - \sigma_s\,\phi(t)\,S(t) - \lambda_s\,S(t)
\end{aligned} \qquad [3.8]$$

Por simetría, en la última de las ecuaciones anteriores se ha añadido un término de desintegración para el Sm-149, que es estable. El significado de los símbolos empleados en [3.8] es el siguiente:

I (t), X(t), P(t), S(t) : Concentraciones de I-135, Xe-135, Pm-149, Sm-149, respectivamente.

$\gamma_i, \gamma_x, \gamma_p, \gamma_s$: número de dichos núclidos que aparecen directamente por cada fisión

$\lambda_i, \lambda_x, \lambda_p, \lambda_s$: Constantes de desintegración

$\sigma_i, \sigma_x, \sigma_p, \sigma_s$: Secciones eficaces microscópicas de absorción térmica.

Resolviendo el sistema de ecuaciones diferenciales [3.8] seobtienen las concentraciones de absorbentes (APENDICE I). La modificación en la sección eficaz macroscópica total de absorción del reactor será:

$$\delta\Sigma_a(t) = \sigma_i\,\delta I(t) + \sigma_x\,\delta X(t) + \sigma_p\,\delta P(t) + \sigma_s\,\delta S(t) + \\ + \sigma_{ot}\,\Sigma_f(t)\,\phi(t)\,t \qquad [3.9]$$

en donde σ_{ot} representa la sección eficaz microscópica de absorción - térmica equivalente de los demás productos de fisión. En el APENDICE-I se dan los valores de los parámetros que aparecen en [3.8] y[3.9]. Se verá que la contribución principal a $\delta\Sigma_a(t)$ la producen las concentraciones de xenon y samario, pudiéndose despreciar los otros términos - frente a aquellos.

4. EXPRESION DE LA REACTIVIDAD EN FUNCION DEL TIEMPO

Cuando se opera a potencia constante un reactor, la reactividad total del núcleo (teniendo en cuenta los elementos de control) es nula. Si designamos por $\delta\rho_c$ la reactividad controlada por aquellos y por - $\delta\rho_p$ la reactividad introducida por los procesos considerados se tendrá

$$0 = \delta\rho_c + \delta\rho_p$$

o bien

$$\delta\rho_c = -\delta\rho_p \qquad [4.1]$$

a todo lo largo de la operación.

La ecuación de criticidad para un reactor es (Alcalá,F.; y Alcober, V.; 1968):

$$kS\,\emptyset = \nu M\,\emptyset \qquad [4.2]$$

donde k es el factor efectivo de multiplicación; $\nu = 2.47$ es el número medio de neutrones por fisión; $\emptyset = \begin{pmatrix}\emptyset_1\\ \emptyset_2\end{pmatrix}$ el flujo en teoría de dos grupos y M y S las matrices de producción y aniquilación, respectivamente.

Si se produce un cambio en Σ_{2a} y/o Σ_{2f}, se producirán igualmente cambios en k,$\emptyset$, M y S. Si se tiene en cuenta que $\emptyset$ se ha supuesto constante, diferenciando [4.2] y multiplicando a la izquierda por el flujo adjunto $\emptyset^+ = (\emptyset_1{}^+ , \emptyset_2{}^+)$ se obtiene la reactividad producida por estos cambios:

$$\delta\rho = \frac{\delta k}{k} = \frac{\frac{\nu\epsilon}{k}\int \phi_1^+ \delta\Sigma_{2f}\,\phi_2\,d\tau - \int \phi_2^+ \delta\Sigma_{2a}\,\phi_2\,d\tau}{\nu\epsilon\int \phi_1^+ \Sigma_{2f}\,\phi_2\,d\tau} =$$

$$= \frac{\delta\Sigma_{2f}}{\Sigma_{2f}} - \frac{\delta\Sigma_{2a}}{\nu\epsilon\Sigma_{2f}}\,\frac{\int \phi_2^+\phi_2\,d\tau}{\int \phi_1^+\phi_2\,d\tau} \qquad [4.3]$$

donde se ha hecho k = 1 (el reactor permanece crítico) y $\epsilon = 1{,}04$ es aquí el factor de fisión rápida; las secciones eficaces se consideran en sus valores promediados en todo el volumen del núcleo y los integrales se extienden a todo el núcleo.

El cálculo del cociente de integrales que aparece en [4.3] se lleva a cabo teniendo en cuenta la ecuación adjunta de la [4.2] (véase referencia anterior).

$$k\emptyset^+S^+ = \nu\,\emptyset^+M^+ \qquad [4.4]$$

Si se hace la hipótesis de igualdad de forma entre flujos ordinarios y adjuntos (cierto solamente para teoría de un grupo y reactor des

nudo), es decir, si se supone que

$$\Delta \phi^{+} + B^{2} \phi = 0$$

donde $B^2 = 0.01\ cm^{-2}$ es el laplaciano del reactor, desarrollando [4.4], se puede obtener la expresión:

$$\frac{\phi_2^{+}}{\phi_1^{+}} = \frac{1 + L_1^{2} B^{2}}{p}$$

donde $L_1^2 \approx 60\ cm^2$ es la longitud rápida de difusión al cuadrado y $p \approx 1$ la probabilidad de escape a las resonancias del U-238. Sustituyendo en [4.3] se obtiene:

$$\delta\rho(t) = \frac{\delta\Sigma_{2f}(t)}{\Sigma_{2f}(t)} - \frac{(1 + L_1^2 B^2)\ \delta\Sigma_{2a}(t)}{\nu\epsilon\ \Sigma_{2f}(t)} \qquad [4.5]$$

que es la ecuación que se utilizará en el cálculo de los cambios de reactividad producidos por variaciones en las secciones eficaces.

De acuerdo con los párrafos anteriores, se obtiene la siguiente fórmula para la reactividad global generada en el núcleo en función del tiempo:

$$\delta\rho(t) = \delta\rho_T(t) + \delta\rho_Q(t) + \delta\rho_A(t)$$

$$= \alpha\ \delta T(t) + \frac{\delta\Sigma_f(t)}{\Sigma_f(t)} - \frac{(1 + L_1^2 B^2)\ \delta\Sigma_a(t)}{\nu\epsilon\ \Sigma_f(t)}$$

$$= \alpha\ \delta T(t) - \frac{\sigma_a \phi(0)\, t}{(1 - \sigma_a \phi(0) t)} - \frac{(1 + L_1^2 B^2)[\sigma_x \delta X(t) + \sigma_s \delta S(t)]}{\nu\epsilon\ \Sigma_f(0)(1 - \sigma_a \phi(0) t)} \qquad [4.6]$$

que es la expresión que se utilizará en el código CORE, descrito en el apéndice II.

Las constantes utilizadas en [4.6] son las determinadas en párrafos anteriores. A pesar de utilizar teoría de dos grupos en la obtención de [4.5] la hipótesis de igualdad de forma de los flujos ordinario y adjunto presupone operar con constantes promediadas por un solo grupo.

5. VALORES EXPERIMENTALES

Los valores experimentales utilizados se han tomado del Cuaderno de Datos de Operación del Reactor JEN-1 MOD durante el periodo del 4-1-72 al 20-1-72. Durante este tiempo se cuidó especialmente que las anotaciones en dicho cuaderno fuesen de la máxima precisión. Cada media hora se tomaron lecturas de la hora, potencia, posición del servocontrol y de la temperatura. La lectura de la posición del servocontrol es difícil de realizar con precisión ya que al ser controlada la potencia automaticamente aquel está en contínuo y brusco movimiento oscilatorio; no obstante siempre se tomó como posición de lectura la de equilibrio en dicho movimiento.

Para transformar las posiciones de los elementos de control en reactividad controlada, se utilizaron las Curvas de Calibración (Fig. 1 y 2) (3). En la primera figura se ha representado la reactividad controlada por las cuatro placas admitiendo la adtividad de la controlada por cada una de ellas. Se ha representado la reactividad total controlada por todas porque normalmente la posición de las cuatro placas es la misma durante la operación regular. En la fig. 2 se da la reactividad controlada por la barra de control fino.

En la Tabla I se dan los valores de los datos experimentales correspondientes al día 10-1-72 así como la reactividad total controlada por los elementos de control. En las Fig. 3 se representan los demás valores experimentales utilizados. Siempre los valores de la reactividad controlada se han referido al valor inicial del día 10-1-72.

(3) Estas curvas fueron determinadas experimentalmente por el método de periodos crecientes utilizando curvas de Nordheim obtenidas con el código AIREK JEN (Alcalá Ruiz, F.; 1970)

TABLA I

Fecha y hora	Potencia (Mw)	Posición placas (pulgadas)	Posición servo (pulgadas)	Reactividad controlada por placas (pcm)	Reactividad controlada por servo (pcm)	Reactividad controlada Total (pcm)	Reactividad relativa del núcleo (pcm)	Observaciones
10-1-72 14.52	2.0	18.00	7'00	9411	109	9520	0	
15	"	"	8'33	"	158	9569	49	
15.30	"	"	6'43	"	91	9502	-18	
16	"	"	8'02	"	148	9559	39	
16,30	"	"	9'82	"	214	9625	105	
17	"	"	11'05	"	258	9669	149	
1730	"	"	12'52	"	308	9719	199	
18	"	"	14'04	"	354	9765	245	
18.30	"	"	17'72	"	427	9838	318	
19	"	18.30	13'98	9597	352	9949	429	
19.30	"	"	16'42	"	406	10003	483	
20	"	18.80	9'78	9879	211	10090	550	
20.30	"	"	10'07	"	222	10101	581	
21	"	"	14'01	"	353	10232	712	
21.30	"	"	17'92	"	430	10309	789	

En la misma figura y mediante trazo contínuo se representan los valores de la reactividad calculados mediante el modelo teórico descrito, en las siguientes circunstancias: el reactor se mantuvo apagado desde el 20-12-71 hasta el 3-1-72: el día 4 se operó a 2 MW, el 5 a 3 MW y el 7 de nuevo a 3 MW. Durante estos días la operación fue un tanto irregular produciéndose diversas paradas de emergencia por lo que no se han representado dichas curvas; no obstante se llevó a cabo el cálculo, teniendo en cuenta todas las incidencias, suponiendo concentraciones iniciales nulas de absorbentes debido al largo periodo que estuvo el reactor apagado. Como resultado de este primer análisis se encontraron las concentraciones iniciales de absorbentes utilizadas en el cálculo que se representa en la figura y que se describe en el párrafo siguiente.

6. RESULTADOS

6.1. Periodo Experimental

Como se puede observar en la fig. 3 los resultados teóricos concuerdan aceptablemente con los experimentales, sobre todo en el primer día de operación. En los demás días hay desplazamientos que son explicables en parte porque el efecto de temperatura no se ha aplicado a lo largo de la operación y sobre todo durante la noche, cuando el reactor está apagado y por otra parte porque el movimiento contínuo y oscilatorio del servocontrol posee un error sistemático en un sentido u otro según tienda a salir del núcleo o a introducirse en él. Durante las primeras horas de operación el xenon comienza a disminuir y el servocontrol tiende a introducirse en el núcleo sistemáticamente; esto produce una reacción en los mecanismos de control que se traduce en un fuerte impulso de extracción del mismo tomándose erróneamente las lecturas de posición en el sentido de suponer el núcleo con menor reactividad de la que realmente posee. Una reacción parecida pero de sentido contrario se produce en las primeras horas de la tarde cuando el xenon comienza a aumentar. Entonces, las lecturas son inexactas al considerar el núcleo con mayor reactividad que la real. No obstante este error es menor debido a que los impulsos de extracción son menores que los de inserción. Estos mecanismos

explican la tendencia de los valores experimentales a desplazarse hacia la derecha de los calculados.

La buena concordancia de valores experimentales y calculados se debe a que los valores iniciales de las concentraciones de absorbentes se conocían perfectamente por el hecho de que el reactor había estado apagado durante varias semanas. Los valores de la reactividad dependen principalmente de los iniciales de las concentraciones como se puede ver en el párrafo AI.2, donde se comentan algunas de las causas de imprecisión de los valores calculados.

En el martes de la segunda semana de operación, se observa una fuerte discrepancia entre los valores calculados y experimentales. Se debe a que al principio de la operación, se desprendieron las placas de control y el reactor estuvo apagado más de una hora; al intentar reproducir esta situación en el código no se tuvo en cuenta la variación de temperatura que ocurre en estos casos y que es importante ya que se deja de generar energía y se mantiene la refrigeración.

6.2. Periodo regular de operación

Se ha intentado dar una idea de la evolución de la reactividad durante un periodo de operación que se aproxime al tipo medio que se lleva a cabo en el reactor JEN-1 MOD. Con este fin se reproduce en la Fig. 4 la reactividad para el periodo regular descrito en la Introducción.

Es preciso hacer notar que los resultados obtenidos solamente se pueden utilizar a modo de guía y no con la esperanza de hacer predicciones demasiado exactas. La razón es bien sencilla: nunca se opera en idénticas condiciones dos semanas consecutivas; como consecuencia no es posible utilizar valores iniciales únicos para las concentraciones de absorbentes, sobre todo para el Samario debido a su relativamente largo periodo de desintegración. Esta indeterminación de los valores iniciales supone un error inicial que se va acumulando en la reactividad debido al sistema de operación del código tal como se muestra en el párrafo AI.2.

La única posibilidad de obtener valores precisos para la reactividad calculada es seguir contínuamente la operación del reactor a partir de su puesta en marcha después de un periodo largo de parada ya que entonces se pueden considerar las concentraciones iniciales nulas tal como se hizo en la comparación de valores calculados y experimentales.

Sin embargo, el error que se introduce por imprecisión en las concentraciones iniciales en el periodo regular es realmente insignificante en el caso de llevar varias semanas operando de modo regular. En la tabla II se da, junto con los valores iniciales de las concentraciones de absorbentes, la variación semanal de reactividad a través de un periodo largo de operación.

Se observa que rápidamente se alcanza una concentración "límite" para el iodo, xenón y prometio mientras que el samario varía de una semana a otra pero cada vez se van reduciendo dichas variaciones. Utilizando las concentraciones de la última fila estaremos seguros que el error que se introducirá será pequeño. Sin embargo, hacemos notar de nuevo que estos valores corresponden a un periodo de operación hipotético; concretamente los valores de la tabla corresponden a los 15^h del lunes. Para estudiar un caso concreto se deben tomar los valores que corresponden a la hora de comienzo que han sido tabulados para los casos más frecuentes que se dan en la operación del reactor JEN-1 MOD y se presentan al final del listado del código.

6.3. Operación contínua a 3 MW

En la figura 5 se han representado varias curvas que corresponden a distintos valores iniciales de concentraciones que se detallan en la Tabla III. Se puede observar como a partir de la 5ª semana de operación regular y contínua a 3 Mw la reactividad apenas varía apreciablemente con los valores iniciales del samario de una semana a otra, salvo en los momentos en que se pasa por el máximo de antirreactividad del núcleo o se está llegando al final del periodo. Sin embargo, se observará que la reactividad final puede ser muy diferente si no se elige con precisión el valor inicial de la concentración de samario.

TABLA II

CONCENTRACIONES INICIALES EN EL PERIODO REGULAR DE OPERACION A LAS 15^h DEL LUNES

Semana	I (0) (at/cm^3)	X (0) (at/cm^3)	P (0) (at/cm^3)	S (0) (at/cm^3)	(pcm)
1^a	$.1722x10^{13}$	$.3755x10^{14}$	$.3841x10^{15}$	$.2099x10^{16}$	-287.5
2^a	.1706	.3783	.3998	.3267	-266.1
3^a	.1706	.3783	.3968	.4230	-248.4
4^a	.1706	.3783	.4011	.5017	-234.1
5^a	.1706	.3783	.4012	.5659	-222.3
6^a	.1706	.3783	.4012	.6182	-212.7
7^a	.1706	.3783	.4012	.6609	-204.8
8^a	.1706	.3783	.4012	.6956	-198.4
9^a	.1706	.3783	.4012	.7237	-193.3
10^a	.1706	.3783	.4012	.7468	-189.1
11^a	.1706	.3783	.4012	.7656	-185.6
12^a	.1706	.3783	.4012	.7810	-182.8
13^a	.1706	.3783	.4012	.7935	-180.5
14^a	.1706	.3783	.4012	.8037	-178.6
15^a	.1706	.3783	.4012	.8121	-177.1
16^a	.1706	.3783	.4012	.8188	

Variación semanal de reactividad por quemado de combustible $\approx$ -170 pcm.

TABLA III

CONCENTRACIONES INICIALES EN LA OPERACION CONTINUA A 3 Mw

Semana	I (0) (at/cm^3)	X (0) (at/cm^3)	P (0) (at/cm^3)	S (0) (at/cm^3)	(pcm)
1^a	$.1722 \times 10^{13}$	$.3755 \times 10^{14}$	$.3841 \times 10^{15}$	$.2099 \times 10^{16}$	-981.7
2^a	.6286	$.1000 \times 10^{15}$	$.1001 \times 10^{16}$	.4580	-647.7
3^a	.6286	.1000	.1052	.6436	-573.3
4^a	.6286	.1000	.1052	.7543	-527.2
5^a	.6286	.1000	.1052	.8186	-500.2
6^a	.6286	.1000	.1052	.8557	-484.7
7^a	.6286	.1000	.1052	.8772	-475.7
8^a	.6286	.1000	.1052	.8896	-470.6
9^a	.6286	.1000	.1052	.8968	-467.6
10^a	.6286	.1000	.1052	.9010	-465.8
11^a	.6286	.1000	.1052	.9034	-464.8
12^a	.6286	.1000	.1052	.9048	-464.2
13^a	.6286	.1000	.1052	.9056	-463.9
14^a	.6286	.1000	.1052	.9060	-463.7
15^a	.6286	.1000	.1052	.9062	

Variación semanal de reactividad por quemado de combustible $\approx$ -463 pcm.

TABLA IV

CONCENTRACIONES INICIALES DURANTE LA OPERACION CONTINUA A 5 MW

Semana	I (0) (at/cm^3)	X (0) (at/cm^3)	P (0) (at/cm^3)	S (0) (at/cm^3)	(pcm)
1^a	$.6286 \times 10^{13}$	$.1000 \times 10^{15}$	$.1056 \times 10^{16}$	$.9056 \times 10^{16}$	-1035.0
2^a	$.1047 \times 10^{14}$	.1602	.1702	.9050	- 810.1
3^a	.1047	.1602	.1756	.9418	- 791.2
4^a	.1047	.1602	.1761	.9597	- 780.8
5^a	.1047	.1602	.1761	.9672	- 776.4
6^a	.1047	.1602	.1761	.9702	- 774.7
7^a	.1047	.1602	.1761	.9714	- 773.9
8^a	.1047	.1602	.1761	.9718	- 773.6
9^a	,1047	.1602	.1761	.9720	

Variación semanal de reactividad por quemado de combustible $\approx$ -773 pcm.

BIBLIOGRAFIA

1 - MARTIN, P.; Puesta a punto de un equipo de N-16 y determinación de cambios de reactividad en el reactor JEN-1.
Tesina. Madrid, Marzo, 1972

2 - N E H; Nuclear Engineering Handbook
Editor H.ETHERINGTON. Mc. Graw-Hill Book Co. (1958).

3 - WESTCOTT,C.M.; Efective Cross Section Values For Well-Moderated Thermal Reactor Spectra. AECL-1101, 1960.

4 - ALCALA RUIZ, F y ALCOBER BOSCH,V.; Determinación de la función de importancia del Reactor JEN-2 OUR/18, 1968.

5 - ALCALA RUIZ, F.; Código AIREK-JEN. OUR/31, 1970.

APENDICE I

AI.1. Solución de las ecuaciones de evolución de las concentraciones de absorbentes

El sistema [3.8] se resolverá suponiendo constantes $\Sigma_f(t)$ y ϕ (t). Dada la forma de las ecuaciones [3.4] y [3.5] parece que es admisible esta hipótesis para un tiempo de funcionamiento no demasiado largo.

Haciendo $l = \lambda + \sigma_a \phi$ para cada uno de los núclidos, el sistema [3.8] se puede escribir así:

$$\frac{dI(t)}{dt} = \gamma_i \Sigma_f \phi - l_i I(t)$$

$$\frac{dX(t)}{dt} = \gamma_x \Sigma_f \phi + \lambda_i I(t) - l_x X(t)$$

$$\frac{dP(t)}{dt} = \gamma_p \Sigma_f \phi - l_p P(t) \qquad [AI.1]$$

$$\frac{dS(t)}{dt} = \gamma_s \Sigma_f \phi + \lambda_p P(t) - l_s S(t)$$

Los valores de los parametros que intervienen en el sistema [AI.1] se han tomado de (NH E, pág. 8-28) y vienen dados en la tabla AI.1 junto con los valores iniciales de Σ_f y de ϕ encontrados anteriormente (ver párrafo 3.2).

TABLA AI.1

Núclido / Parámetro	I - 135	Xe - 135	Pm - 149	Sm - 149
σ_a (barn)	0	2.9×10^{6}	60	6.6×10^{4}
γ (%)	6.7	0.4	1.3	0
λ (min^{-1})	1.74×10^{-3}	1.26×10^{-3}	2.46×10^{-4}	0
ℓ (min^{-1}) $\phi \Leftrightarrow 1$ Mw	1.74×10^{-3}	2.44×10^{-3}	2.46×10^{-4}	0.269×10^{-4}
ℓ $\phi \Leftrightarrow 2$ Mw	"	3.63×10^{-3}	2.46×10^{-4}	0.539×10^{-4}
ℓ $\phi \Leftrightarrow 3$ Mw	"	4.81×10^{-3}	"	0.809×10^{-4}
ℓ $\phi \Leftrightarrow 5$ Mw	"	7.18×10^{-3}	"	1.35×10^{-4}

$$\phi_{1Mw} = 0.681 \times 10^{13} \ n/cm^2.s$$

$$\Sigma_f(0) = 0.0415 \ cm^{-1}$$

La solución del sistema [AI.1] durante un tiempo de <u>operación a potencia constante</u> de 0 a t_1 es la siguiente:

$$I(t) = I_o - [I_o - I(0)]\, e^{-\ell_i t}$$

$$X(t) = X_o - \left\{ X_o - X(0) - \frac{\lambda_i}{\ell_x - \ell_i}[I_o - I(0)] \right\} e^{-\ell_x t} - \frac{\lambda_i}{\ell_x - \ell_i}[I_o - I(0)]\, e^{-\ell_i t} \qquad [AI.2]$$

$$P(t) = P_o - [P_o - P(0)]\, e^{-\ell_p t}$$

$$S(t) = S_o - \left\{ S_o - S(0) - \frac{\lambda_p}{\ell_s - \ell_p}[P_o - P(0)] \right\} e^{-\ell_s t} - \frac{\lambda_p}{\ell_s - \ell_p}[P_o - P(0)]\, e^{-\ell_p t}$$

donde

$$I_o = \frac{\gamma_i \Sigma_f(0)\, \phi(0)}{\ell_i}$$

$$X_o = \frac{\left(\gamma_x + \gamma_i \frac{\lambda_i}{\ell_i}\right) \Sigma_f(0)\, \phi(0)}{\ell_x}$$

$$P_o = \frac{\gamma_p \Sigma_f(0)\, \phi(0)}{\ell_p} \qquad [AI.3]$$

$$S_o = \frac{\left(\gamma_s + \gamma_p \frac{\lambda_p}{\ell_p}\right) \Sigma_f(0)\, \phi(0)}{\ell_s}$$

son las concentraciones asintóticas de los absorbentes e I(0), S(0), P (0) y S(0) sus valores iniciales.

Si el reactor se para durante un tiempo t_2 contado a partir del instante en que terminó la operación a potencia constante, las ecuaciones que siguen la evolución de absorbentes serán:

$$\frac{d\,I(t)}{dt} = -\lambda_i\, I(t)$$

$$\frac{d\,X(t)}{dt} = \lambda_i\, I(t) - \lambda_x\, X(t) \qquad [AI.4]$$

$$\frac{d\,P(t)}{dt} = -\lambda_p\, P(t)$$

$$\frac{d\,S\,(t)}{dt} = \lambda_p\,P\,(t) - \lambda_s\,S\,(t)$$

cuya solución para un tiempo comprendido entre 0 y t_2 es:

$$\begin{aligned}
I\,(t) &= I_1\,e^{-\lambda_i t} \\
X\,(t) &= \left[X_1 - \frac{\lambda_i}{\lambda_x-\lambda_i}\,I_1\right] e^{-\lambda_x t} + \frac{\lambda_i}{\lambda_x-\lambda_i}\,I_1\,e^{-\lambda_i t} \\
P\,(t) &= P_1\,e^{-\lambda_p t} \\
S\,(t) &= \left[S_1 - \frac{\lambda_p}{\lambda_s-\lambda_p}\,P_1\right] e^{-\lambda_s t} + \frac{\lambda_p}{\lambda_s-\lambda_p}\,P_1\,e^{-\lambda_p t}
\end{aligned} \qquad [AI.5]$$

donde I_1, X_1, P_1 y S_1, son los valores iniciales de las concentraciones obtenidos de [AI.2] para $t = t_1$.

Al final del periodo en el que el reactor ha permanecido apagado, los valores de las concentraciones de absorbentes serán I_2, X_2, P_2 y S_2 obtenidos haciendo $t = t_2$ en [AI.5]. Estos valores servirán como valores iniciales en el periodo siguiente de funcionamiento del reactor a potencia constante. Y así sucesivamente.

En el APENDICE II se describe un programa de cálculo para evaluar las concentraciones de absorbentes en cada instante en los diversos periodos de funcionamiento y parada de un reactor así como la variación de reactividad que aquellos introducen en el núcleo.

AI.2. Algunas consideraciones sobre errores

La reactividad [4.5] se verá afectada de error a través de imprecisiones en la sección eficaz de fisión, en el flujo y en las concentraciones de xenón y semario:

$$\Delta\rho = \left[\frac{1+L_1^2B^2}{\nu\epsilon}\,\frac{\sigma_x X(t)+\sigma_s S(t)}{\Sigma_f(t)}\right]\frac{\Delta\Sigma_f(0)}{\Sigma_f(0)} + \left[-k^2 - k(1+\frac{1+L_1^2B^2}{\nu\epsilon}\,\frac{\sigma_x X(t)+\sigma_s S(t)}{\Sigma_f(t)}\right]\frac{\Delta\phi(0)}{\phi(0)}$$

$$[AI.6]$$

$$-\frac{1+L_1^2B^2}{\nu\epsilon}\,\frac{\sigma_x}{\Sigma_f(t)}\,\Delta X(t) - \frac{1+L_1^2B^2}{\nu\epsilon}\,\frac{\sigma_s}{\Sigma_f(t)}\,\Delta S(t)$$

donde $$K = \frac{\sigma_a \phi(0)\, t}{1 - \sigma_a \phi(0)\, t} \sim \sigma_a \phi(0)\, t$$

Como se puede observar $\Delta\rho$ es una función complicada del tiempo si se tiene en cuenta las expresiones de X(t) y S(t) dadas en [AI.2].

Según se dijo en los párrafos [6.2] y [6.3] podemos suponer que no introduciremos error apreciable en las concentraciones iniciales de iodo, xenon y prometio y entonces $\Delta X(t) \sim 0$ y

$$\Delta S(t) = e^{-\ell_s t}\, \Delta S(0)$$

Este error se haría despreciable a medida que transcurre el tiempo; sin embargo, como el código determina variaciones de reactividad a través de variaciones en S (t) que va acumulando, los errores, siempre en el mismo sentido, se irán sumando algebraicamente de modo que en el instante t, el error cometido será

$$\Delta S(t) = \left(e^{-\ell_s t} - 1\right) \Delta S(0)$$

Para el reactor operando a 2 Mw el coeficiente del primer término varia poco y se puede tomar como cota máxima su valor para las concentraciones asintóticas. Sustituyendo en [AI.6] los valores de los parámetros se obtiene finalmente:

$$\Delta\rho \approx 0.037\, \frac{\Delta\Sigma_f(0)}{\Sigma_f(0)} - 0.53\times10^{-6}\, t\, \frac{\Delta\phi(0)}{\phi(0)} + 1.0\times10^{-18}\left(1 - e^{-\ell_s t}\right) \Delta S(0) \qquad [AI.7]$$

Al principio de la operación predominan el primero y el último de los términos (recuerdese que $\Delta S(0)$ es del orden de 10^{16}) y para tiempos largos (por ejemplo al final de una semana de operación) son importantes los tres términos.

Tanto el error en el flujo (que es el menos importante) como en la sección eficaz iniciales no pueden ser muy grandes. Por ejemplo,

$$\frac{\Delta\Sigma_f(0)}{\Sigma_f(0)} = \frac{\Delta N_{U^{235}}(0)}{N_{U^{235}}(0)}$$

y la cantidad de uranio en el nucleo es de unos 4000 gr, quemándose aproximadamente 1 gr. cada día de operación. Como las configuraciones suelen durar 15 días por término medio, se pueden cometer errores del 1% como máximo, lo que supone que la mayor fuente de error sea el último de los términos de [AI.7] . Suponiendo un error del 5% para los dos primeros términos tendríamos:

$$\Delta\rho = 0.00185 - 0.0265 \times 10^{-6} t + 1.0 \times 10^{-18} (1 - e^{-\ell_s t}) \Delta S(0)$$

Si t = 10^4 min (final de la semana de operación a 3 Mw) y se toma S(o) = $.4580 \times 10^{16}$ (cuando el verdadero valor es $.9060 \times 10^{16}$) el error cometido según la expresión [AI.7] sería

$$\Delta\rho \approx -246 \text{ pcm}$$

En la tabla III se puede observar un error de -647.7 - (-463.7)= -184.0 pcm al final de la semana, que es algo menor porque no se ha tenido en cuenta un posible error en $\Sigma_f(0)$ que podría ser en sentido contrario. Por supuesto la estimación no pretende ser rigurosa sino simplemente orientativa.

APENDICE II

AII.1. Descripción del código Core

Escrito en FORTRAN V para la UNIVAC 1106 de la JEN, calcula variaciones de reactividad producidas por los diversos procesos ya descritos.

Contiene como parámetros constantes las secciones eficaces microscópicas de fisión y absorción en el combustible, de absorción del iodo, xenon, prometio y samario (SIG(I), I = 1,4 , respectivamente), las fracciones de dichos núcleos por fisión (GAM(I)) y sus constantes de desintegración (CD(I)).

AII.2. Datos de entrada

Tarjeta n° 1 : En formato I10 se perfora el número de operaciones ($N < 50$) funcionando o parado, que realiza el reactor durante el periodo que se estudia. A continuación en formato E10.4 se da la sección eficaz macroscópica de fisión inicial (SIFI) y los valores iniciales de las concentraciones de núcleos absorbentes (CIN(I)).

Tarjeta n° 2 y/o siguientes: En formato E10.4 se dan los valores de los flujos medios de operación en $n/cm^2.s$ para cada una de las N operaciones.

Tarjeta n° 3 y/o siguientes: En formato F10.2 se da el intervalo de tiempo (D(K)) en minutos en el cual se quiere determinar el cambio de reactividad para cada una de las N operaciones.

Tarjeta n° 4 y/o siguientes: Con el mismo formato anterior se da el tiempo (TAU(K)) en minutos de cada una de las N operaciones.

El número de puntos por operación lo determina el programa y es -

IT = TAU(K)/D(K) + 1 y éste ha de ser menor que 300; por tanto D(K) debe determinarse previamente y considerando que ha de cubrirse totalmente el intervalo TAU(K) para cada operación.

AII.3. Esquema de cálculo

Con los datos internos y los de entrada el programa comienza realizando un primer ciclo que ha de ser necesariamente de funcionamiento a potencia. Determina para cada instante, a intervalos D(1), las -- concentraciones de absorbentes según las expresiones AI.2 , las diferencias, entre dos instantes sucesivos, de dichas concentraciones y la reactividad que se introduce según la expresión [4.6] . Durante un determinado tiempo de funcionamiento hasta alcanzar la temperatura de estabilización se tienen en cuenta las variaciones de reactividad por variación de temperatura, olvidándose después esta contribución hasta el final del periodo de funcionamiento en el que se vuelve el sistema a su estado inicial de reactividad por cambio de temperatura.

El siguiente ciclo se supone que el reactor está parado y de la misma forma se calcula la concentración de absorbentes según AI.5 y la variación de reactividad entre dos instantes sucesivos, ahora producida exclusivamente por variación en las concentraciones de absorbentes.

El siguiente ciclo es de funcionamiento a potencia y así sucesivamente hasta agotar los N ciclos u operaciones del reactor.

AII.4. Salida de resultados

Al final de este párrafo se da un listado del programa y un ejemplo de entrada de datos y salida de resultados.

En primer lugar aparecen los datos de entrada y a continuación los datos sobre la operación (N° de la misma, tiempo, flujo, intervalo) las constantes temporales totales de destrucción (ELE(I)) y las

concentraciones asintóticas para cada especie de absorbente y después en una serie de columnas el tiempo acumulado de operación, las concentra-- ciones de iodo, xenon, prometio y samario, respectivamente, la variación relativa de reactividad en pcm entre el intervalo en cuestión y la total acumulada relativa al instante inicial del periodo de estudio.

El código permite seleccionar los datos de salida así como pasar varios problemas variando unicamente los datos iniciales, que utiliza los calculados previamente en la pasada anterior.

El tiempo de cálculo es de unos 30 ms por paso.

LISTADO DEL CODIGO CORE

```
      DIMENSION T(300),TAU(50),DFA(4,300),DFU(4,300),FLUX(50),ELE(4,50),
     1CER(4,50),SIG(4),GAM(4),CD(4),CIN(4),D(50)
      DATA SIG/0.0,290000.0,60.0,66000.0/,GAM/0.067,0.004,0.013,0.0/,CD
     1/0.00174,0.00126,0.000246,0.0/
C     CONSTANTES DESINTEGRACION EN MIN-1
      WRITE(6,1)
    1 FORMAT(1H1,54X,14HPROGRAMA  CORE//35X,56HCONCENTRACIONES DE IODO,X
     1ENON,PROMETIO Y SAMARIO DURANTE/43X,40HEL FUNCIONAMIENTO Y PARADA
     2DE UN REACTOR//50X,24HVARIACION DE REACTIVIDAD///10X,6HDATOS=/)
      READ(5,5) N,SIFI,(CIN(I),I=1,4)
    5 FORMAT(I10,5E10.4)
C     TIEMPOS EN MIN Y FLUJOS EN NEUT/CM2.SEG
      READ(5,10) (FLUX(K),K=1,N)
   10 FORMAT(8E10.4)
      WRITE(6,2) SIFI,N,(CIN(I),I=1,4)
    2 FORMAT(20X,11HSIG.FISION=,F7.4,1X,4HCM-1//20X,16HNUM.OPERACIONES=,
     1I3//20X,15HDENS.INIC.IODO=,E11.4,1X,6HAT/CM3//20X,15HDENS.INIC.XEN
     20=,E11.4,3X,3HID.//20X,15HDENS.INIC.PROM=,E11.4,3X,3HID.//20X,15HD
     3ENS.INIC.SAMA=,E11.4,3X,3HID.///10X,11HRESULTADOS=/)
      READ(5,15) (D(K),K=1,N)
      READ(5,15) (TAU(K),K=1,N)
   15 FORMAT(8F10.2)
      ITER=1
   16 TIEM=0.0
      SVREF=0.0
      SIGF=SIFI
      DO 300 K=1,N,2
      DO 20 I=1,4
   20 ELE(I,K)=CD(I)+SIG(I)*FLUX(K)*60.0E-24
      CER(1,K)=(GAM(1)*SIGF*FLUX(K)*60.0)/ELE(1,K)
      CER(2,K)=(GAM(2)+GAM(1)*CD(1)/ELE(1))*SIGF*FLUX(K)*60.0/ELE(2,K)
      CER(3,K)=(GAM(3)*SIGF*FLUX(K)*60.0)/ELE(3,K)
      CER(4,K)=(GAM(4)+GAM(3)*CD(3)/ELE(3))*SIGF*FLUX(K)*60.0/ELE(4,K)
      WRITE(6,3) K,TAU(K),FLUX(K),D(K)
```

```
35*          3 FORMAT(1H1,10X,21HTIEMPO OPERACION NUM.,I3,1H=,F7.1,1X,3HMIN,10X,6
36*           1HFLUJO=,E11.4,1X,9HN/CM2.SEG,10X,8HDELTA=,F7.1,1X,3HMIN/)
37*            WRITE(6,4) (ELE(I,K),I=1,4),(CER(I,K),I=1,4)
38*          4 FORMAT(39X,4HIODO,12X,5HXENON,9X,8HPROMETIO,9X,7HSAMARIO/10X,10HEL
39*           1E(MIN-1),14X,4(E11.4,5X)/10X,24HCONC. ASINTOTICA(AT/CM3),4(E11.4,5
40*           2X),//)
41*            WRITE(6,6)
42*          6 FORMAT(10X,104HTIEMPO(MIN)  CO.IODO FUN.  CO.XENO.FUN.  CO.PROM.FU
43*           1N.  CO.SAMA.FUN    VARIAC. REACT.   REACT. TOTAL(PCM)/)
44*            T(1)=0.0
45*            VREF=0.0
46*            DELT=D(K)
47*            IMP=3
48*            IT=IFIX(TAU(K)/DELT)+1
49*            DO 100 J=1,IT
50*            DFU(1,J)=CER(1,K)-(CER(1,K)-CIN(1))*EXP(-ELE(1,K)*T(J))
51*            DFU(2,J)=CER(2,K)-(CER(2,K)-CIN(2)-CD(1)*(CER(1,K)-CIN(1))/(ELE(2,
52*           1K)-ELE(1,K)))*EXP(-ELE(2,K)*T(J))-CD(1)*(CER(1,K)-CIN(1))*EXP(-ELE
53*           2(1,K)*T(J))/(ELE(2,K)-ELE(1,K))
54*            DFU(3,J)=CER(3,K)-(CER(3,K)-CIN(3))*EXP(-ELE(3,K)*T(J))
55*            DFU(4,J)=CER(4,K)-(CER(4,K)-CIN(4)-CD(3)*(CER(3,K)-CIN(3))/(ELE(4,
56*           1K)-ELE(3,K)))*EXP(-ELE(4,K)*T(J))-CD(3)*(CER(3,K)-CIN(3))*EXP(-ELE
57*           2(3,K)*T(J))/(ELE(4,K)-ELE(3,K))
58*            IF(J-1)26,26,22
59*         22 JJ=J-1
60*            VDFX=DFU(2,J)-DFU(2,JJ)
61*            VDFS=DFU(4,J)-DFU(4,JJ)
62*            TIEM=TIEM+DELT
63*            SIGF=SIFI*(1.0-570.5E-24*FLUX(K)*60.0*TIEM)
64*            IF(T(J)-120.0)23,23,24
65*         23 VREF=-0.241*DELT-(570.5E-19*SIFI*FLUX(K)*60.0*DELT+0.623E-19*(SIG(
66*           12)*VDFX+SIG(4)*VDFS))/SIGF
67*            GO TO 25
68*         24 VREF=-(570.5E-19*SIFI*FLUX(K)*60.0*DELT+0.623E-19*(SIG(2)*VDFX+SIG
69*           1(4)*VDFS))/SIGF
70*         25 SVREF=SVREF+VREF
71*            IF(K-1)125,125,130
```

```
125 TIME=T(J)
    GO TO 126
130 TIME=DELT+TIME
126 IF(IMP-3)27,26,27
 26 WRITE(6,7) TIME,(DFU(I,J),I=1,4),VREF,SVREF
    IMP=0
 27 IMP=IMP+1
    T(J+1)=T(J)+DELT
100 CONTINUE
    DO 30 II=1,4
 30 CIN(II)=DFU(II,IT)
    L=K+1
    WRITE(6,3) L,TAU(L),FLUX(L),D(L)
    WRITE(6,8)
  8 FORMAT(10X,104HTIEMPO(MIN)  CO.IODO PAR.  CO.XENO.PAR.  CO.PROM.PA
   1R.  CO.SAMA.PAR.   VARIAC. REACT.   REACT. TOTAL(PCM)/)
    DELT=D(L)
    MT=IFIX(TAU(L)/DELT)+1
    T(1)=0.0
    VREP=0.0
    SVREP=SVREF
    DO 200 M=1,MT
    DPA(1,M)=CIN(1)*EXP(-CD(1)*T(M))
    DPA(2,M)=(CIN(2)-CD(1)*CIN(1)/(CD(2)-CD(1)))*EXP(-CD(2)*T(M))+CD(1
   1)*CIN(1)*EXP(-CD(1)*T(M))/(CD(2)-CD(1))
    DPA(3,M)=CIN(3)*EXP(-CD(3)*T(M))
    DPA(4,M)=(CIN(4)-CD(3)*CIN(3)/(CD(4)-CD(3)))*EXP(-CD(4)*T(M))+CD(3
   1)*CIN(3)*EXP(-CD(3)*T(M))/(CD(4)-CD(3))
    IF(M-1)35,35,32
 32 MM=M-1
    VDPX=DPA(2,M)-DPA(2,MM)
    VDPS=DPA(4,M)-DPA(4,MM)
    VREP=-0.623E-19*(SIG(2)*VDPX+SIG(4)*VDPS)/SIGF
    SVREP=SVREP+VREP
    TIME=DELT+TIME
    IF(IMP-2)37,36,37
```

```
                                                                        1001
 35 VREP=VREP+29.4                                                      1002
    SVREP=SVREP+VREP                                                    1003
 36 WRITE(8,7) TIME,(DPA(I,M),I=1,4),VREP,SVREP                         1010
    IMP=0                                                               1012
 37 IMP=IMP+1                                                           1016
    T(M+1)=T(M)+DELT                                                    1020
200 CONTINUE                                                            1030
    DO 40 LL=1,4                                                        1040
 40 CIN(LL)=DPA(LL,MT)                                                  1050
    SVREF=SVREP                                                         1060
300 CONTINUE                                                            1070
  7 FORMAT(11X,F7.1,5X,E10.5,4X,E10.5,4X,E10.5,4X,E10.5,6X,F8.1,11X,F8  1080
   1.1)                                                                 1090
    ITER=ITER+1                                                         1094
    IF(ITER-8)16,15,301                                                 1095
301 STOP                                                                1100
    END                                                                 1110
```

TIEMPO OPERACION NUM. 1= 420.0 MIN FLUJO= .1362+14 N/CM2.SEG DELTA= 10.0 MIN

	IODO	XENON	PROMETIO	SAMARIO
ELE(MIN-1)	.1740-02	.3630-02	.2460-03	.5394-04
CONC. ASINTOTICA(AT/CM3)	.1306+16	.6633+15	.1792+16	.8173+16

TIEMPO(MIN)	CO.IODO FUN.	CO.XENO.FUN.	CO.PROM.FUN.	CO.SAMA.FUN	VARIAC. REACT.	REACT. TOTAL(PCM)
0.0	.17059+13	.37831+14	.40123+15	.81206+16	.0	.0
30.0	.68037+14	.39553+14	.41145+15	.81105+16	-6.6	-15.1
60.0	.13099+15	.44291+14	.42160+15	.81004+16	-10.7	-43.4
90.0	.19075+15	.51574+14	.43168+15	.80905+16	-14.2	-82.7
120.0	.24747+15	.60983+14	.44168+15	.80806+16	-17.1	-131.3
150.0	.30130+15	.72153+14	.45161+15	.80709+16	-17.1	-180.4
180.0	.35239+15	.84763+14	.46147+15	.80612+16	-19.1	-235.8
210.0	.40089+15	.98534+14	.47125+15	.80516+16	-20.6	-296.2
240.0	.44592+15	.11322+15	.48097+15	.80421+16	-21.8	-360.6
270.0	.49060+15	.12861+15	.49061+15	.80327+16	-22.8	-428.0
300.0	.53207+15	.14451+15	.50018+15	.80233+16	-23.4	-497.7
330.0	.57143+15	.16077+15	.50968+15	.80141+16	-23.9	-569.0
360.0	.60878+15	.17725+15	.51910+15	.80049+16	-24.2	-641.3
390.0	.64424+15	.19383+15	.52846+15	.79958+16	-24.2	-713.9
420.0	.67789+15	.21040+15	.53776+15	.79868+16	-24.2	-786.6

TIEMPO OPERACION NUM. 2= 690.0 MIN FLUJO= .0000 N/CM2.SEG DELTA= 10.0 MIN

TIEMPO(MIN)	CO.IODO PAR.	CO.XENO.PAR.	CO.PROM.PAR.	CO.SAMA.PAR.	VARIAC. REACT.	REACT. TOTAL(PCM)
420.0	.67789+15	.21040+15	.53776+15	.79869+16	29.4	-757.2
450.0	.64341+15	.23643+15	.53380+15	.79908+16	-36.6	-870.9
480.0	.61068+15	.25976+15	.52988+15	.79947+16	-32.8	-972.9
510.0	.57962+15	.28060+15	.52598+15	.79986+16	-29.2	-1064.1
540.0	.55014+15	.29912+15	.52211+15	.80025+16	-25.9	-1145.1
570.0	.52216+15	.31548+15	.51827+15	.80063+16	-22.9	-1216.7
600.0	.49561+15	.32983+15	.51446+15	.80101+16	-20.0	-1279.6
630.0	.47040+15	.34233+15	.51068+15	.80139+16	-17.4	-1334.4
660.0	.44647+15	.35311+15	.50693+15	.80177+16	-15.0	-1381.7
690.0	.42377+15	.36229+15	.50320+15	.80214+16	-12.7	-1422.0
720.0	.40221+15	.37000+15	.49950+15	.80251+16	-10.6	-1455.9
750.0	.38176+15	.37634+15	.49583+15	.80288+16	-8.7	-1483.9
780.0	.36234+15	.38144+15	.49218+15	.80324+16	-6.9	-1506.5
810.0	.34391+15	.38537+15	.48856+15	.80360+16	-5.3	-1524.0
840.0	.32642+15	.38824+15	.48497+15	.80396+16	-3.8	-1536.8
870.0	.30982+15	.39012+15	.48140+15	.80432+16	-2.4	-1545.4
900.0	.29406+15	.39111+15	.47786+15	.80467+16	-1.1	-1550.0
930.0	.27910+15	.39128+15	.47435+15	.80502+16	.0	-1551.1
960.0	.26491+15	.39069+15	.47086+15	.80537+16	1.1	-1548.9
990.0	.25143+15	.38942+15	.46740+15	.80572+16	2.0	-1543.7
1020.0	.23865+15	.38752+15	.46396+15	.80606+16	2.9	-1535.8
1050.0	.22651+15	.38506+15	.46055+15	.80640+16	3.7	-1525.4
1080.0	.21499+15	.38208+15	.45717+15	.80674+16	4.4	-1512.7
1110.0	.20405+15	.37863+15	.45380+15	.80708+16	5.1	-1498.1

TIEMPO OPERACION NUM. 3= 750.0 MIN FLUJO- .1362+14 N/CM2.SEG DELTA= 10.0 MIN

	IODO	XENON	PROMETIO	SAMARIO
ELE(MIN-1)	.1740-02	.3630-02	.2460-03	.5394-04
CONC. ASINTOTICA(AT/CM3)	.1306+16	.6632+15	.1791+16	.8171+16

TIEMPO(MIN)	CO.IODO FUN.	CO.XENO.FUN.	CO.PROM.FUN.	CO.SAMA.FUN	VARIAC. REACT.	REACT. TOTAL(PCM)
1110.0	.20403+15	.37863+15	.45380+15	.80708+16	.0	-1498.1
1140.0	.26008+15	.35494+15	.46364+15	.80611+16	29.2	-1402.6
1170.0	.31326+15	.33638+15	.47341+15	.80515+16	22.1	-1329.5
1200.0	.36373+15	.32231+15	.48310+15	.80421+16	15.9	-1275.8
1230.0	.41164+15	.31211+15	.49272+15	.80327+16	10.5	-1239.2
1260.0	.45710+15	.30528+15	.50227+15	.80233+16	8.3	-1209.9
1290.0	.50026+15	.30134+15	.51176+15	.80141+16	4.3	-1193.2
1320.0	.54122+15	.29989+15	.52117+15	.80050+16	.8	-1187.4
1350.0	.58010+15	.30056+15	.53051+15	.79959+16	-2.1	-1190.8
1380.0	.61700+15	.30303+15	.53978+15	.79869+16	-4.6	-1202.1
1410.0	.65202+15	.30702+15	.54899+15	.79780+16	-6.6	-1220.0
1440.0	.68527+15	.31229+15	.55813+15	.79692+16	-8.4	-1243.4
1470.0	.71682+15	.31862+15	.56720+15	.79605+16	-9.8	-1271.5
1500.0	.74677+15	.32581+15	.57620+15	.79518+16	-11.0	-1303.4
1530.0	.77519+15	.33371+15	.58514+15	.79432+16	-11.9	-1338.3
1560.0	.80217+15	.34216+15	.59401+15	.79347+16	-12.7	-1375.7
1590.0	.82777+15	.35103+15	.60282+15	.79263+16	-13.3	-1414.9
1620.0	.85208+15	.36023+15	.61156+15	.79180+16	-13.7	-1455.5
1650.0	.87515+15	.36964+15	.62024+15	.79097+16	-13.9	-1497.1
1680.0	.89704+15	.37920+15	.62885+15	.79015+16	-14.1	-1539.3
1710.0	.91782+15	.38882+15	.63740+15	.78934+16	-14.2	-1581.8
1740.0	.93754+15	.39846+15	.64589+15	.78854+16	-14.2	-1624.4
1770.0	.95627+15	.40804+15	.65431+15	.78774+16	-14.1	-1666.8
1800.0	.97403+15	.41755+15	.66268+15	.78696+16	-13.9	-1708.8
1830.0	.99090+15	.42692+15	.67098+15	.78618+16	-13.8	-1750.2
1860.0	.10069+16	.43614+15	.67922+15	.78540+16	-13.5	-1791.0

TIEMPO OPERACION NUM. 4= 890.0 MIN FLUJO= .0000 N/CM2.SEG DELTA= 10.0 MIN

TIEMPO(MIN)	CO.IODO PAR.	CO.XENO.PAR.	CO.PROM.PAR.	CO.SAMA.PAR.	VARIAC. REACT.	REACT. TOTAL(PCM)
1860.0	.10069+16	.43614+15	.57922+15	.78540+16	29.4	-1761.6
1890.0	.95569+15	.47021+15	.67422+15	.78590+16	-47.7	-1910.5
1920.0	.90709+15	.50046+15	.66927+15	.78640+16	-42.7	-2042.8
1950.0	.86095+15	.52716+15	.66434+15	.78689+16	-37.3	-2159.6
1980.0	.81716+15	.55057+15	.65946+15	.78738+16	-32.6	-2262.1
2010.0	.77560+15	.57093+15	.65461+15	.78786+16	-28.3	-2351.2
2040.0	.73615+15	.58846+15	.64980+15	.78834+16	-24.3	-2428.0
2070.0	.69871+15	.60337+15	.64502+15	.78882+16	-20.6	-2493.4
2100.0	.66317+15	.61585+15	.64028+15	.78930+16	-17.2	-2548.3
2130.0	.62944+15	.62610+15	.63557+15	.78977+16	-14.0	-2593.4
2160.0	.59743+15	.63429+15	.63090+15	.79023+16	-11.1	-2629.5
2190.0	.56704+15	.64057+15	.62626+15	.79070+16	-8.4	-2657.4
2220.0	.53820+15	.64511+15	.62165+15	.79116+16	-5.9	-2677.6
2250.0	.51083+15	.64804+15	.61708+15	.79162+16	-3.7	-2690.8
2280.0	.48485+15	.64949+15	.61254+15	.79207+16	-1.6	-2697.6
2310.0	.46019+15	.64959+15	.60804+15	.79252+16	.3	-2698.5
2340.0	.43678+15	.64846+15	.60357+15	.79297+16	2.1	-2694.0
2370.0	.41457+15	.64621+15	.59913+15	.79341+16	3.6	-2684.6
2400.0	.39348+15	.64292+15	.59473+15	.79385+16	5.1	-2670.7
2430.0	.37347+15	.63871+15	.59035+15	.79429+15	6.4	-2652.9
2460.0	.35447+15	.63366+15	.58601+15	.79472+16	7.6	-2631.2
2490.0	.33645+15	.62784+15	.58170+15	.79515+16	8.6	-2606.3
2520.0	.31933+15	.62134+15	.57743+15	.79558+16	9.6	-2578.4
2550.0	.30309+15	.61423+15	.57318+15	.79601+16	10.5	-2547.9

TIEMPO OPERACION NUM. 5= 750.0 MIN FLUJO= .1362+14 N/CM2.SEG DELTA= 10.0 MIN

	IODO	XENON	PROMETIO	SAMARIO
ELE(MIN-1)	.1740-02	.3630-02	.2460-03	.5394-04
CONC. ASINTOTICA(AT/CM3)	.1305+16	.6830+15	.1791+16	.8168+16

TIEMPO(MIN)	CO.IODO FUN.	CO.XENO.FUN.	CO.PROM.FUN.	CO.SAMA.FUN	VARIAC. REACT.	REACT. TOTAL(PCM)
2550.0	.30309+15	.61423+15	.57318+15	.79601+16	.0	-2547.9
2580.0	.35406+15	.57099+15	.58214+15	.79515+16	56.6	-2367.3
2610.0	.40243+15	.53467+15	.59103+15	.79429+16	47.0	-2216.9
2640.0	.44835+15	.50443+15	.59985+15	.79345+16	38.6	-2092.9
2670.0	.49193+15	.47952+15	.60861+15	.79261+16	31.2	-1992.2
2700.0	.53329+15	.45928+15	.61730+15	.79178+16	27.1	-1904.6
2730.0	.57255+15	.44312+15	.62593+15	.79096+16	21.4	-1834.8
2760.0	.60981+15	.43052+15	.63450+15	.79014+16	16.5	-1780.5
2790.0	.64517+15	.42101+15	.64300+15	.78934+16	12.2	-1739.7
2820.0	.67874+15	.41418+15	.65145+15	.78854+16	8.5	-1710.6
2850.0	.71050+15	.40968+15	.65983+15	.78775+16	5.3	-1691.6
2880.0	.74084+15	.40718+15	.66814+15	.78696+16	2.5	-1681.3
2910.0	.76954+15	.40639+15	.67640+15	.78619+16	.2	-1678.5
2940.0	.79679+15	.40707+15	.68460+15	.78542+16	-1.8	-1682.1
2970.0	.82264+15	.40899+15	.69273+15	.78456+16	-3.5	-1691.1
3000.0	.84718+15	.41195+15	.70081+15	.78390+16	-5.0	-1704.7
3030.0	.87048+15	.41579+15	.70882+15	.78315+16	-6.2	-1722.1
3060.0	.89259+15	.42036+15	.71678+15	.78241+16	-7.2	-1742.6
3090.0	.91357+15	.42552+15	.72468+15	.78168+16	-8.0	-1765.8
3120.0	.93349+15	.43116+15	.73252+15	.78095+16	-8.6	-1791.0
3150.0	.95239+15	.43718+15	.74031+15	.78023+16	-9.1	-1817.9
3180.0	.97033+15	.44348+15	.74803+15	.77952+16	-9.5	-1846.1
3210.0	.98736+15	.45000+15	.75570+15	.77882+16	-9.8	-1875.2
3240.0	.10035+16	.45667+15	.76331+15	.77812+16	-10.0	-1905.0
3270.0	.10189+16	.46343+15	.77087+15	.77742+16	-10.1	-1935.1
3300.0	.10334+16	.47023+15	.77837+15	.77674+16	-10.1	-1965.5

TIEMPO OPERACION NUM. 6= 690.0 MIN FLUJO= .0000 N/CM2.SEC DELTA= 10.0 MIN

TIEMPO(MIN)	CO.IODO PAR.	CO.XENO.PAR.	CO.PROM.PAR.	CO.SAMA.PAR.	VARIAC. REACT.	REACT. TOTAL(PCM)
3300.0	.10334+16	.47023+15	.77837+15	.77674+16	29.4	-1936.1
3330.0	.98087+15	.50436+15	.77265+15	.77731+16	-47.9	-2085.4
3360.0	.93098+15	.53460+15	.76697+15	.77788+16	-42.3	-2217.7
3390.0	.88363+15	.56123+15	.76133+15	.77844+16	-37.2	-2334.3
3420.0	.83869+15	.58450+15	.75573+15	.77900+16	-32.4	-2436.3
3450.0	.79603+15	.60469+15	.75017+15	.77956+16	-28.0	-2524.7
3480.0	.75554+15	.62197+15	.74466+15	.78011+16	-24.0	-2600.6
3510.0	.71712+15	.63560+15	.73918+15	.78065+16	-20.2	-2664.9
3540.0	.68064+15	.64878+15	.73375+15	.78120+16	-16.7	-2718.5
3570.0	.64603+15	.65863+15	.72835+15	.78174+16	-13.5	-2762.2
3600.0	.61317+15	.66648+15	.72300+15	.78228+16	-10.5	-2796.7
3630.0	.58198+15	.67236+15	.71769+15	.78281+16	-7.8	-2822.8
3660.0	.55238+15	.67646+15	.71240+15	.78334+16	-5.3	-2841.2
3690.0	.52429+15	.67893+15	.70717+15	.78386+16	-3.0	-2852.5
3720.0	.49762+15	.67991+15	.70197+15	.78438+16	-.9	-2857.3
3750.0	.47231+15	.67952+15	.69680+15	.78490+16	1.0	-2856.1
3780.0	.44829+15	.67789+15	.69168+15	.78541+16	2.8	-2849.5
3810.0	.42549+15	.67511+15	.68660+15	.78592+16	4.4	-2837.9
3840.0	.40385+15	.67130+15	.68155+15	.78642+16	5.8	-2821.8
3870.0	.38331+15	.66655+15	.67654+15	.78692+16	7.2	-2801.6
3900.0	.36381+15	.66096+15	.67156+15	.78742+16	8.4	-2777.7
3930.0	.34531+15	.65460+15	.66662+15	.78791+16	9.4	-2750.5
3960.0	.32775+15	.64755+15	.66172+15	.78840+16	10.4	-2720.3
3990.0	.31109+15	.63988+15	.65686+15	.78889+16	11.3	-2687.4

TIEMPO OPERACION NUM. 7= 750.0 MIN FLUJO= .1362+14 N/CM2.SEG DELTA= 10.0 MIN

	IODO	XENON	PROMETIO	SAMARIO
ELE(MIN-1)	.1740-02	.3930-02	.2460-03	.5394-04
CONC. ASINTOTICA(AT/CM3)	.1305+16	.6628+15	.1790+16	.8165+16

TIEMPO(MIN)	CO.IODO FUN.	CO.XENO.FUN.	CO.PROM.FUN.	CO.SAMA.FUN	VARIAC. REACT.	REACT. TOTAL(PCM)
3990.0	.31108+15	.53988+15	.65686+15	.78889+16	.0	-2687.4
4020.0	.36161+15	.59438+15	.66519+15	.78810+16	59.8	-2496.9
4050.0	.40958+15	.55601+15	.67347+15	.78732+16	49.9	-2337.6
4080.0	.45511+15	.52391+15	.68168+15	.78655+16	41.2	-2205.8
4110.0	.49832+15	.49731+15	.68983+15	.78578+16	33.5	-2097.6
4140.0	.53933+15	.47554+15	.69792+15	.78502+16	29.2	-2003.3
4170.0	.57826+15	.45739+15	.70596+15	.78427+16	23.4	-1927.5
4200.0	.61521+15	.44413+15	.71393+15	.78353+16	18.3	-1867.8
4230.0	.65028+15	.43347+15	.72185+15	.78279+16	13.8	-1822.0
4260.0	.68356+15	.42561+15	.72970+15	.78206+16	10.0	-1788.4
4290.0	.71515+15	.42016+15	.73750+15	.78134+16	6.6	-1765.3
4320.0	.74514+15	.41679+15	.74524+15	.78062+16	3.7	-1751.3
4350.0	.77360+15	.41522+15	.75293+15	.77991+16	1.3	-1745.2
4380.0	.80061+15	.41518+15	.76056+15	.77921+16	-.9	-1745.7
4410.0	.82625+15	.41644+15	.76813+15	.77851+16	-2.5	-1751.9
4440.0	.85059+15	.41881+15	.77565+15	.77782+16	-4.2	-1763.0
4470.0	.87368+15	.42210+15	.78311+15	.77714+16	-5.4	-1778.0
4500.0	.89560+15	.42617+15	.79052+15	.77646+16	-6.5	-1796.5
4530.0	.91641+15	.43088+15	.79787+15	.77579+16	-7.4	-1817.7
4560.0	.93616+15	.43610+15	.80517+15	.77513+16	-8.1	-1841.2
4590.0	.95491+15	.44173+15	.81241+15	.77447+16	-8.6	-1866.6
4620.0	.97270+15	.44769+15	.81960+15	.77382+16	-9.0	-1893.3
4650.0	.98958+15	.45389+15	.82674+15	.77318+16	-9.4	-1921.0
4680.0	.10056+16	.46026+15	.83383+15	.77254+16	-9.6	-1949.6
4710.0	.10208+16	.46675+15	.84086+15	.77191+16	-9.7	-1978.6
4740.0	.10353+16	.47330+15	.84784+15	.77128+16	-9.8	-2008.0

TIEMPO OPERACION NUM. 8= 690.0 MIN FLUJO= .0000 N/CM2.SEC DELTA= 10.0 MIN

TIEMPO(MIN)	CO.IODO PAR.	CO.XENO.PAR.	CO.PROM.PAR.	CO.SAMA.PAR.	VARIAC. REACT.	REACT. TOTAL(PCM)
4740.0	.10353+16	.47330+15	.84784+15	.77128+16	29.4	-1978.6
4770.0	.98261+15	.50740+15	.84161+15	.77191+16	-47.3	-2127.9
4800.0	.93263+15	.53762+15	.83542+15	.77253+16	-42.3	-2260.2
4830.0	.88520+15	.56421+15	.82928+15	.77314+16	-37.2	-2376.7
4860.0	.84017+15	.58746+15	.82318+15	.77375+16	-32.4	-2478.6
4890.0	.79744+15	.60760+15	.81713+15	.77436+16	-28.0	-2567.0
4920.0	.75688+15	.62485+15	.81112+15	.77496+16	-23.9	-2642.9
4950.0	.71839+15	.63944+15	.80515+15	.77555+16	-20.2	-2707.0
4980.0	.68185+15	.65158+15	.79923+15	.77614+16	-16.7	-2760.5
5010.0	.64717+15	.66143+15	.79336+15	.77673+16	-13.5	-2804.0
5040.0	.61425+15	.66919+15	.78752+15	.77732+16	-10.5	-2838.4
5070.0	.58301+15	.67502+15	.78173+15	.77789+16	-7.8	-2864.4
5100.0	.55336+15	.67908+15	.77599+15	.77847+16	-5.3	-2882.7
5130.0	.52522+15	.68150+15	.77028+15	.77904+16	-3.0	-2893.8
5160.0	.49850+15	.68243+15	.76462+15	.77961+16	-.8	-2898.4
5190.0	.47315+15	.68199+15	.75899+15	.78017+16	1.1	-2897.1
5220.0	.44908+15	.68031+15	.75341+15	.78073+16	2.8	-2890.3
5250.0	.42624+15	.67748+15	.74787+15	.78128+16	4.4	-2878.5
5280.0	.40456+15	.67362+15	.74237+15	.78183+16	5.9	-2862.2
5310.0	.38399+15	.66882+15	.73692+15	.78238+16	7.2	-2841.9
5340.0	.36446+15	.66318+15	.73150+15	.78292+16	8.4	-2817.8
5370.0	.34592+15	.65677+15	.72612+15	.78346+16	9.5	-2790.4
5400.0	.32833+15	.64967+15	.72078+15	.78399+16	10.5	-2760.0
5430.0	.31163+15	.64195+15	.71548+15	.78452+16	11.3	-2726.9

TIEMPO OPERACION NUM. 9= 750.0 MIN FLUJO= .2043+14 N/CM2.SEG DELTA= 10.0 MIN

	IODO	XENON	PROMETIO	SAMARIO
ELE(MIN-1)	.1740-02	.4815-02	.2461-03	.3030-04
CONC. ASINTOTICA(AT/CM3)	.1956+16	.7497+15	.2684+15	.8102+16

TIEMPO(MIN)	CO.IODO FUN.	CO.XENO.FUN.	CO.PROM.FUN.	CO.SAMA.FUN	VARIAC. REACT.	REACT. TOTAL(PCM)
5430.0	.31163+15	.64195+15	.71543+15	.78452+16	.0	-2726.9
5460.0	.39528+15	.57953+15	.72996+15	.78315+16	83.0	-2458.2
5490.0	.47468+15	.52761+15	.74433+15	.78180+16	65.9	-2244.1
5520.0	.55004+15	.48728+15	.75860+15	.78045+16	51.3	-2076.2
5550.0	.62157+15	.45595+15	.77276+15	.77913+16	38.9	-1947.5
5580.0	.68946+15	.43222+15	.78682+15	.77781+16	30.9	-1844.8
5610.0	.75389+15	.41489+15	.80078+15	.77651+16	22.1	-1770.0
5640.0	.81505+15	.40295+15	.81463+15	.77523+16	14.7	-1718.8
5670.0	.87310+15	.39550+15	.82838+15	.77395+16	8.8	-1687.1
5700.0	.92820+15	.39180+15	.84203+15	.77269+16	3.5	-1671.8
5730.0	.98049+15	.39121+15	.85559+15	.77145+16	-.8	-1670.1
5760.0	.10301+16	.39318+15	.86903+15	.77021+16	-4.3	-1679.6
5790.0	.10772+16	.39722+15	.88238+15	.76899+16	-7.1	-1698.1
5820.0	.11220+16	.40296+15	.89563+15	.76778+16	-9.4	-1724.0
5850.0	.11644+16	.41004+15	.90878+15	.76659+16	-11.2	-1755.8
5880.0	.12047+16	.41817+15	.92184+15	.76540+16	-12.6	-1792.2
5910.0	.12429+16	.42712+15	.93480+15	.76423+16	-13.7	-1832.2
5940.0	.12792+16	.43667+15	.94767+15	.76307+16	-14.5	-1874.9
5970.0	.13135+16	.44666+15	.96044+15	.76193+16	-15.0	-1919.4
6000.0	.13463+16	.45693+15	.97312+15	.76079+16	-15.4	-1965.2
6030.0	.13774+16	.46737+15	.98570+15	.75967+16	-15.6	-2011.7
6060.0	.14068+16	.47787+15	.99819+15	.75856+16	-15.6	-2058.6
6090.0	.14348+16	.48835+15	.10106+16	.75746+16	-15.6	-2105.3
6120.0	.14613+16	.49875+15	.10229+16	.75637+16	-15.4	-2151.7
6150.0	.14865+16	.50901+15	.10351+16	.75530+16	-15.2	-2197.5
6180.0	.15104+16	.51907+15	.10473+16	.75424+16	-14.9	-2242.5

TIEMPO OPERACION NUM. 1DE 3800.0 MIN FLUJO= .0000 N/CM2.SEC DELTA= 30.0 MIN

TIEMPO(MIN)	CO.IODO PAR.	CO.XENO.PAR.	CO.PROM.PAR.	CO.SAMA.PAR.	VARIAC. REACT.	REACT. TOTAL(PCM)
6180.0	.15104+16	.51907+15	.10473+16	.75424+16	29.4	-2213.1
6270.0	.12914+16	.57010+15	.10243+16	.75653+16	-195.8	-2374.4
6360.0	.11042+16	.77497+15	.10019+16	.75877+16	-133.6	-3334.3
6450.0	.94417+15	.84298+15	.97995+15	.76097+16	-84.0	-3633.3
6540.0	.80731+15	.88181+15	.95849+15	.76311+16	-44.9	-3804.8
6630.0	.69029+15	.89774+15	.93751+15	.76521+16	-14.3	-3876.4
6720.0	.59023+15	.89595+15	.91698+15	.76726+16	9.3	-3870.7
6810.0	.50467+15	.88066+15	.89690+15	.76927+16	27.1	-3806.0
6900.0	.43152+15	.85531+15	.87726+15	.77124+16	40.3	-3697.2
6990.0	.36897+15	.82266+15	.85805+15	.77316+16	49.7	-3556.7
7080.0	.31548+15	.78495+15	.83926+15	.77504+16	56.2	-3394.0
7170.0	.26975+15	.74397+15	.82089+15	.77687+16	60.2	-3217.0
7260.0	.23065+15	.70112+15	.80291+15	.77867+16	62.3	-3031.8
7350.0	.19722+15	.65752+15	.78533+15	.78043+16	63.0	-2843.2
7440.0	.16863+15	.61401+15	.76813+15	.78215+16	62.5	-2655.1
7530.0	.14419+15	.57126+15	.75131+15	.78383+16	61.1	-2470.2
7620.0	.12329+15	.52975+15	.73486+15	.78548+16	59.1	-2290.7
7710.0	.10542+15	.48983+15	.71877+15	.78708+16	56.7	-2118.1
7800.0	.90135+14	.45174+15	.70303+15	.78866+16	53.9	-1953.4
7890.0	.77069+14	.41564+15	.68764+15	.79020+16	51.0	-1797.4
7980.0	.65898+14	.38163+15	.67258+15	.79170+16	48.0	-1650.5
8070.0	.56346+14	.34973+15	.65785+15	.79318+16	44.9	-1512.8
8160.0	.48178+14	.31995+15	.64345+15	.79462+16	41.8	-1384.2
8250.0	.41195+14	.29224+15	.62936+15	.79603+16	38.9	-1264.7
8340.0	.35223+14	.26655+15	.61558+15	.79740+16	36.0	-1153.9
8430.0	.30118+14	.24279+15	.60210+15	.79875+16	33.2	-1051.6
8520.0	.25752+14	.22088+15	.58892+15	.80007+16	30.6	-957.3
8610.0	.22019+14	.20073+15	.57602+15	.80136+16	28.1	-870.6
8700.0	.18827+14	.18222+15	.56341+15	.80262+16	25.7	-791.1
8790.0	.16098+14	.16526+15	.55107+15	.80385+16	23.5	-718.3
8880.0	.13765+14	.14975+15	.53900+15	.80506+16	21.5	-651.8
8970.0	.11769+14	.13558+15	.52720+15	.80624+16	19.6	-591.2
9060.0	.10063+14	.12265+15	.51566+15	.80740+16	17.8	-535.9

9150.0	.86047+13	.11088+15	.50437+15	.80852+16	15.2	-485.7
9240.0	.73574+13	.10017+15	.49332+15	.80963+16	14.7	-440.0
9330.0	.62909+13	.90439+14	.48252+15	.81071+16	13.4	-398.6
9420.0	.53790+13	.81604+14	.47195+15	.81177+16	12.1	-361.1
9510.0	.45993+13	.73592+14	.46162+15	.81280+16	10.9	-327.2
9600.0	.39326+13	.66331+14	.45151+15	.81381+16	9.9	-296.5
9690.0	.33626+13	.59758+14	.44163+15	.81480+16	8.9	-268.8
9780.0	.28752+13	.53812+14	.43196+15	.81577+16	8.0	-243.8
9870.0	.24584+13	.48436+14	.42250+15	.81671+16	7.2	-221.3
9960.0	.21020+13	.43580+14	.41325+15	.81764+16	6.5	-201.0
10050.0	.17973+13	.39196+14	.40420+15	.81854+16	5.9	-182.9
10080.0	INICIALES	-	-	.81884+16	5.7	-177.1

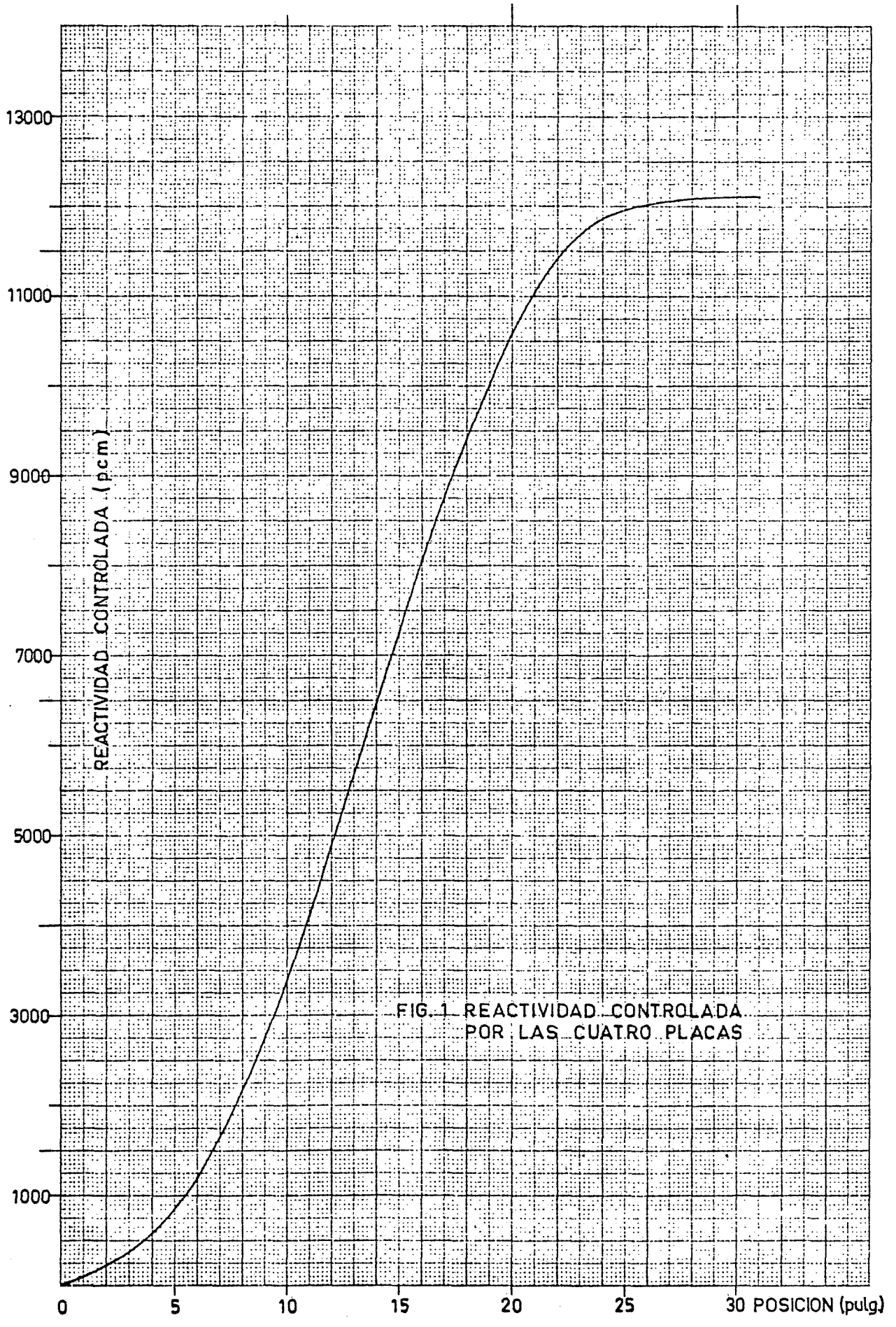

FIG. 1 REACTIVIDAD CONTROLADA POR LAS CUATRO PLACAS

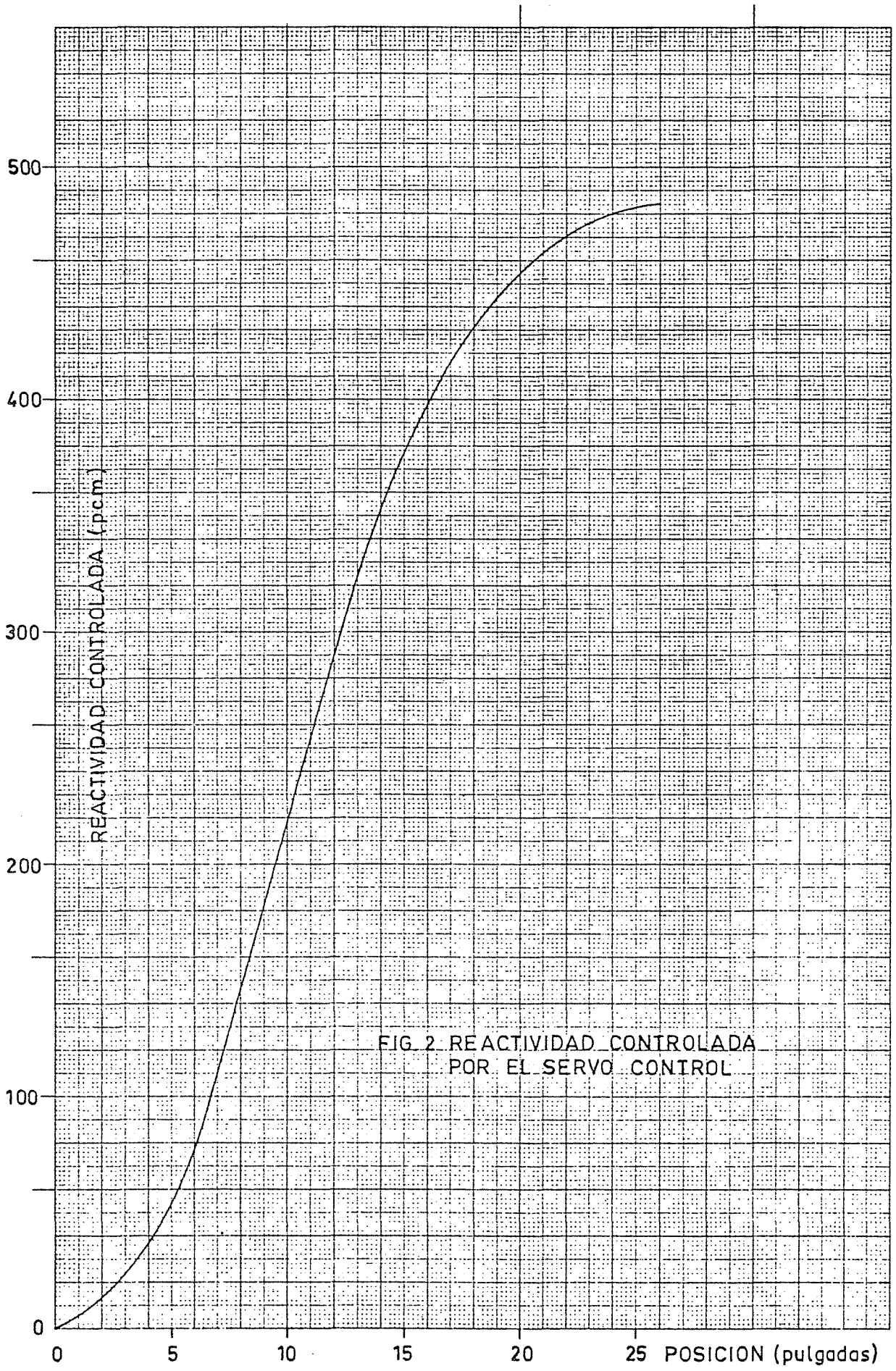

FIG. 2 REACTIVIDAD CONTROLADA POR EL SERVO CONTROL

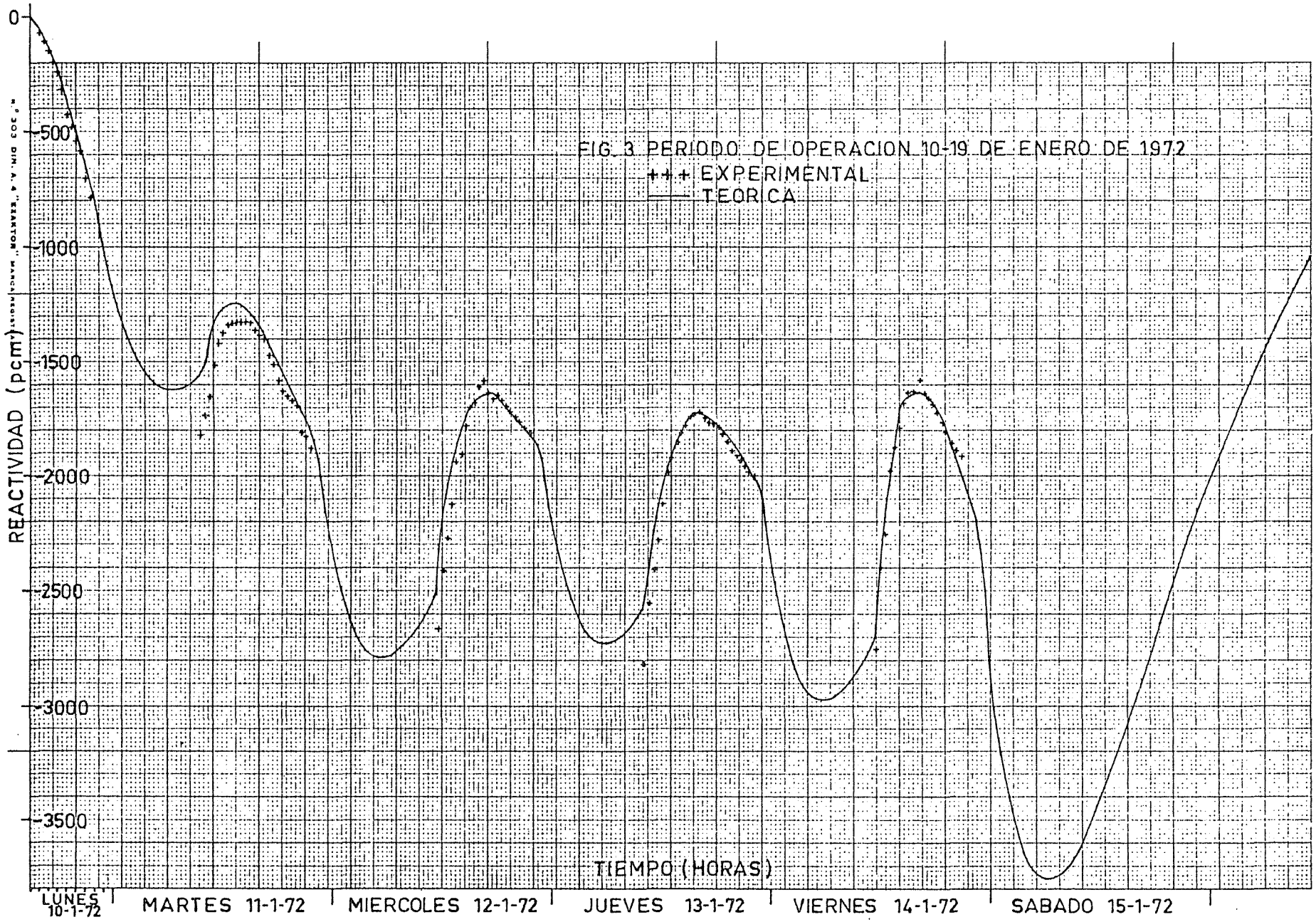
FIG. 3 PERIODO DE OPERACION 10-19 DE ENERO DE 1972
+++ EXPERIMENTAL
—— TEORICA
REACTIVIDAD (pcm)
0
-500
-1000
-1500
-2000
-2500
-3000
-3500
TIEMPO (HORAS)
LUNES 10-1-72
MARTES 11-1-72
MIERCOLES 12-1-72
JUEVES 13-1-72
VIERNES 14-1-72
SABADO 15-1-72

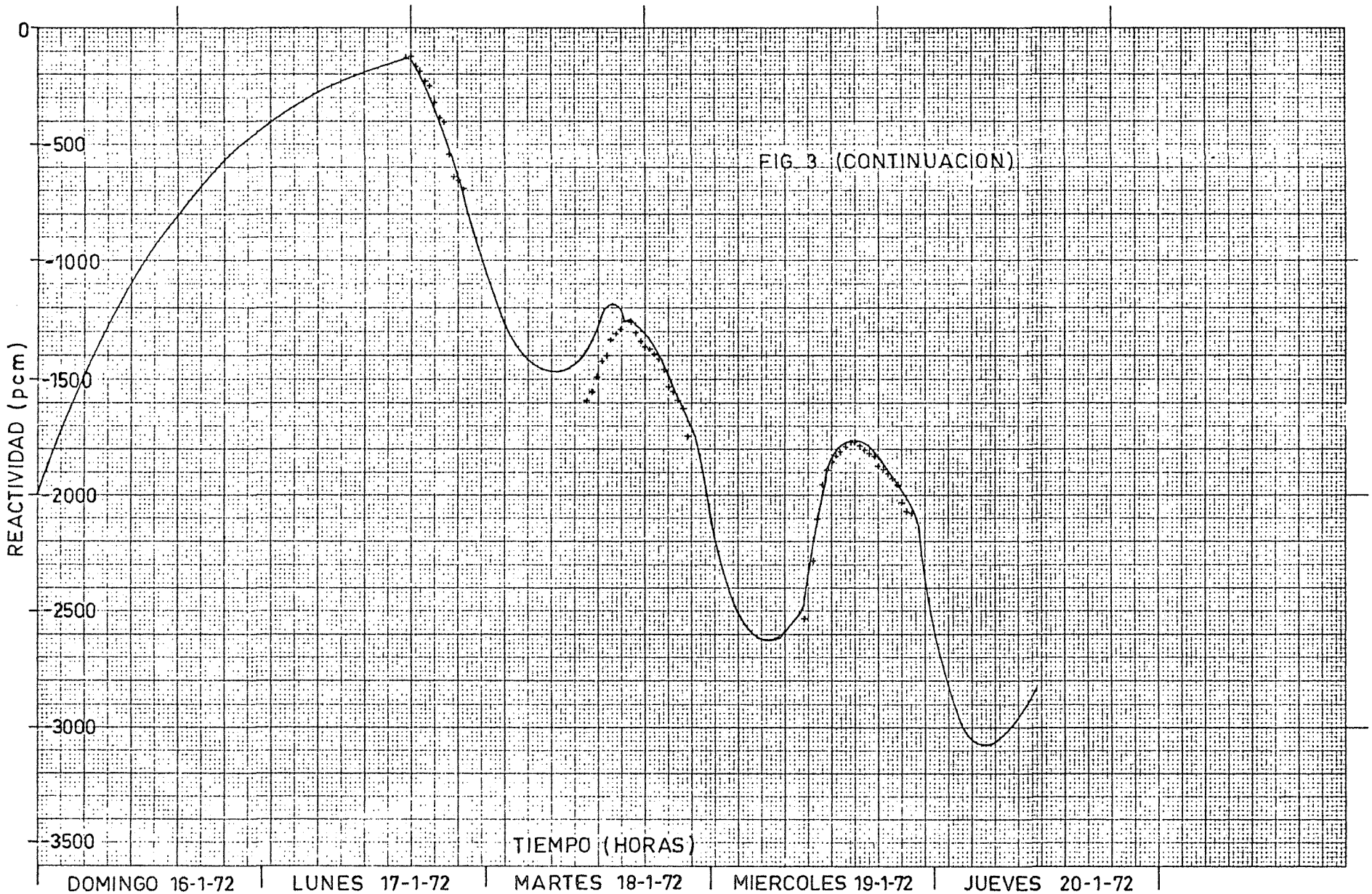
FIG. 3 (CONTINUACION)
REACTIVIDAD (pcm)
0
-500
-1000
-1500
-2000
-2500
-3000
-3500
TIEMPO (HORAS)
DOMINGO 16-1-72
LUNES 17-1-72
MARTES 18-1-72
MIERCOLES 19-1-72
JUEVES 20-1-72

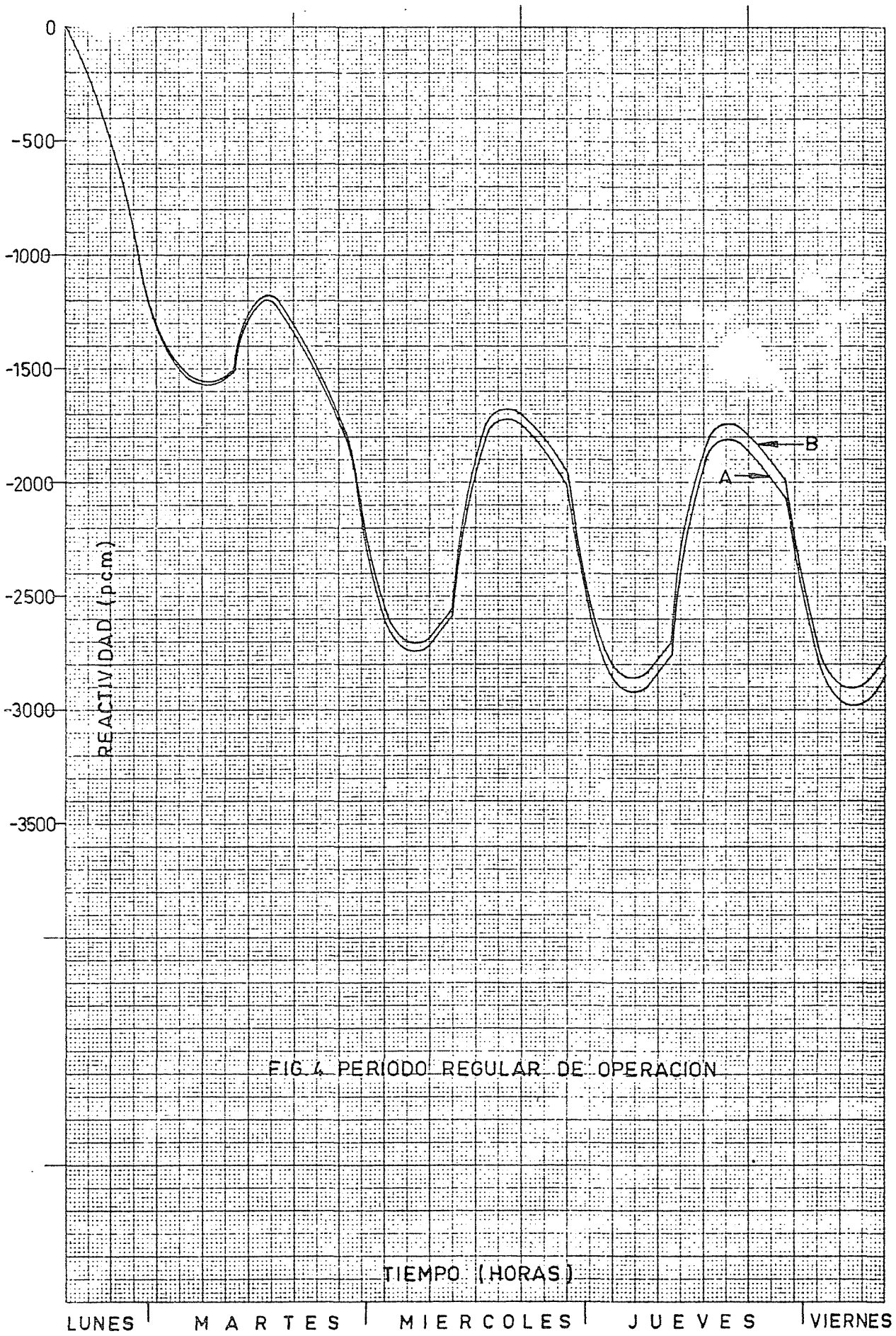

FIG. 4 PERIODO REGULAR DE OPERACION

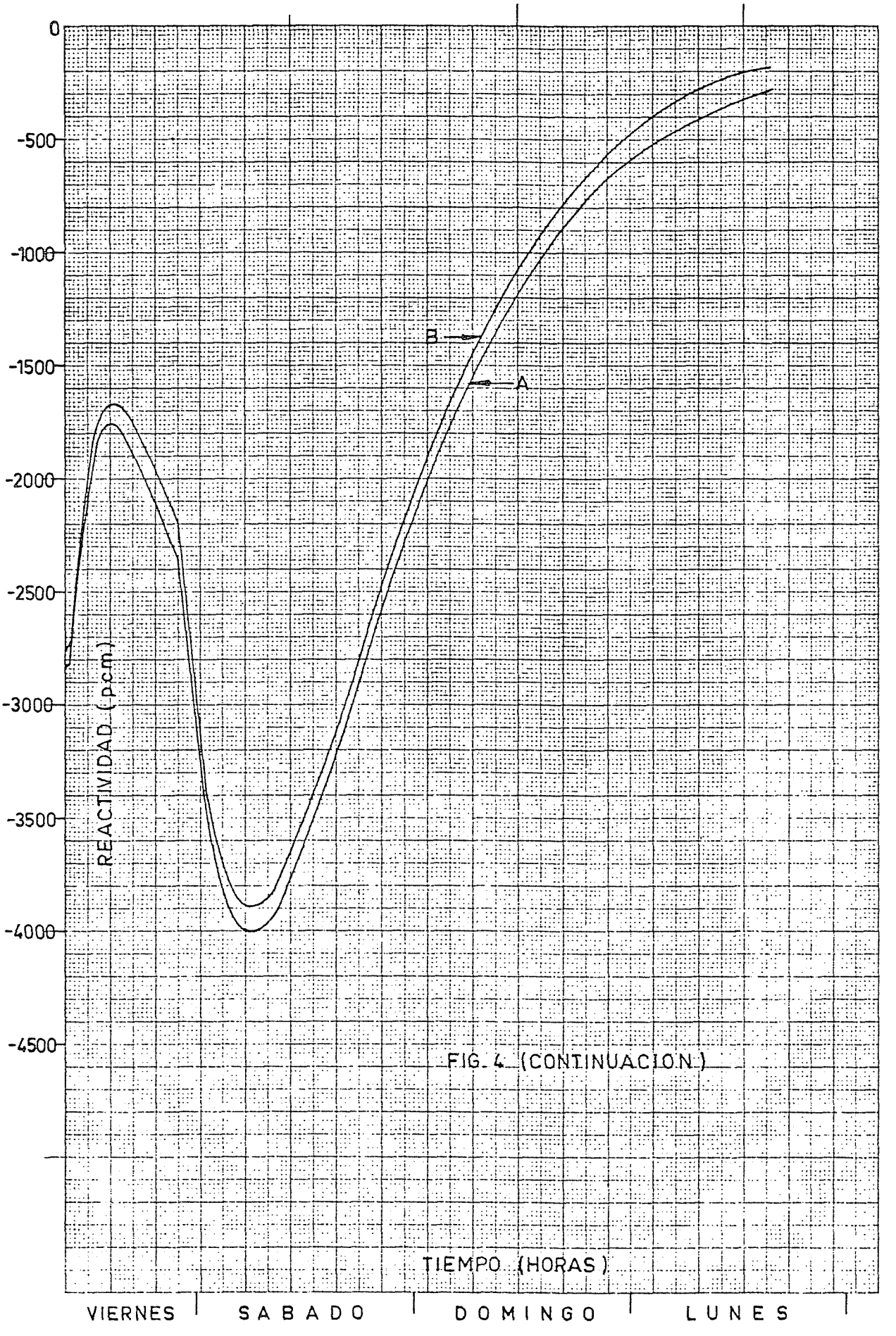

FIG. 4 (CONTINUACION)

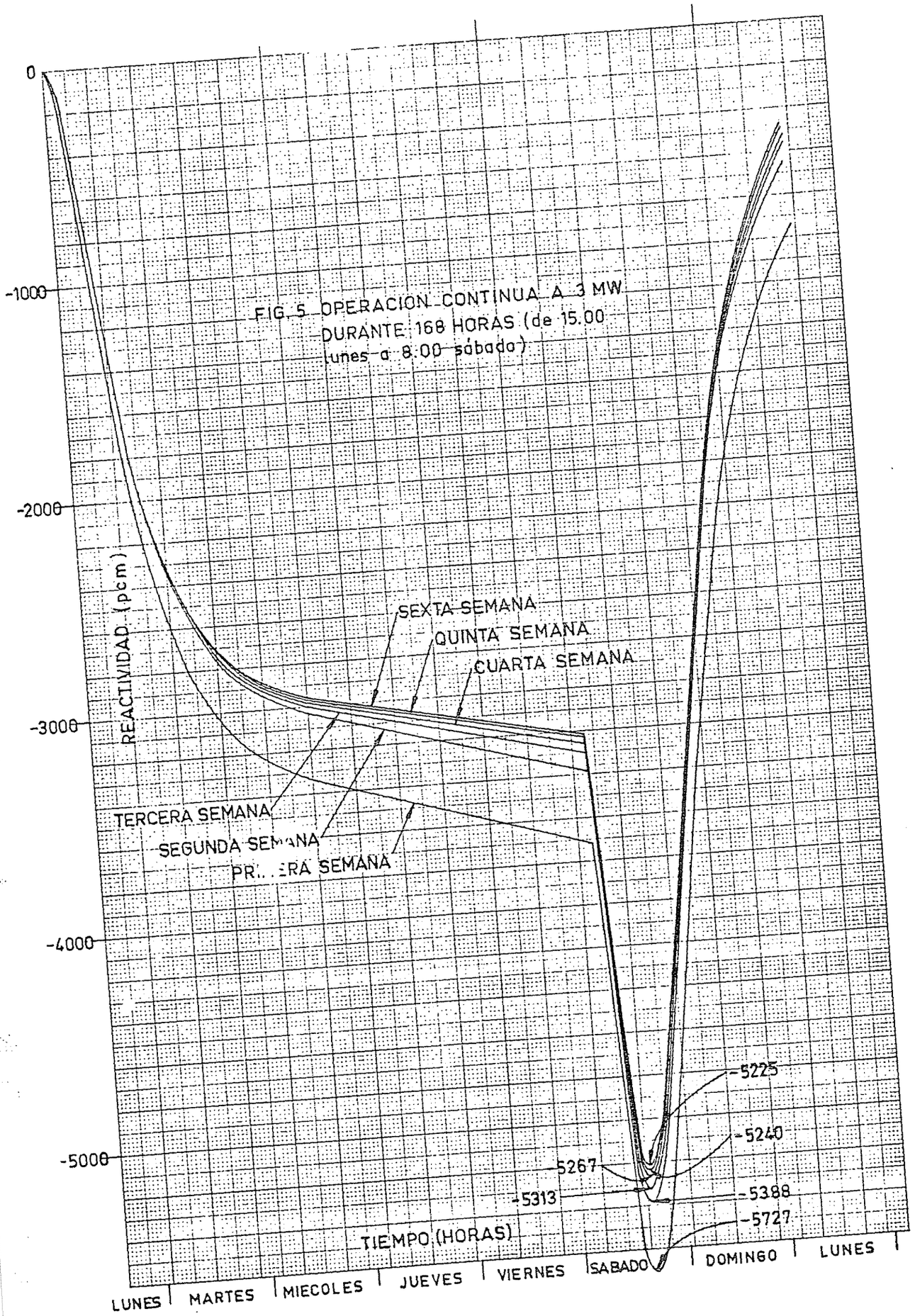
FIG. 5 OPERACION CONTINUA A 3 MW
DURANTE 168 HORAS (de 15.00
lunes a 8.00 sábado)
REACTIVIDAD (pcm)
0
-1000
-2000
-3000
-4000
-5000
SEXTA SEMANA
QUINTA SEMANA
CUARTA SEMANA
TERCERA SEMANA
SEGUNDA SEMANA
PRIMERA SEMANA
-5225
-5240
-5267
-5313
-5388
-5727
TIEMPO (HORAS)
LUNES
MARTES
MIECOLES
JUEVES
VIERNES
SABADO
DOMINGO
LUNES

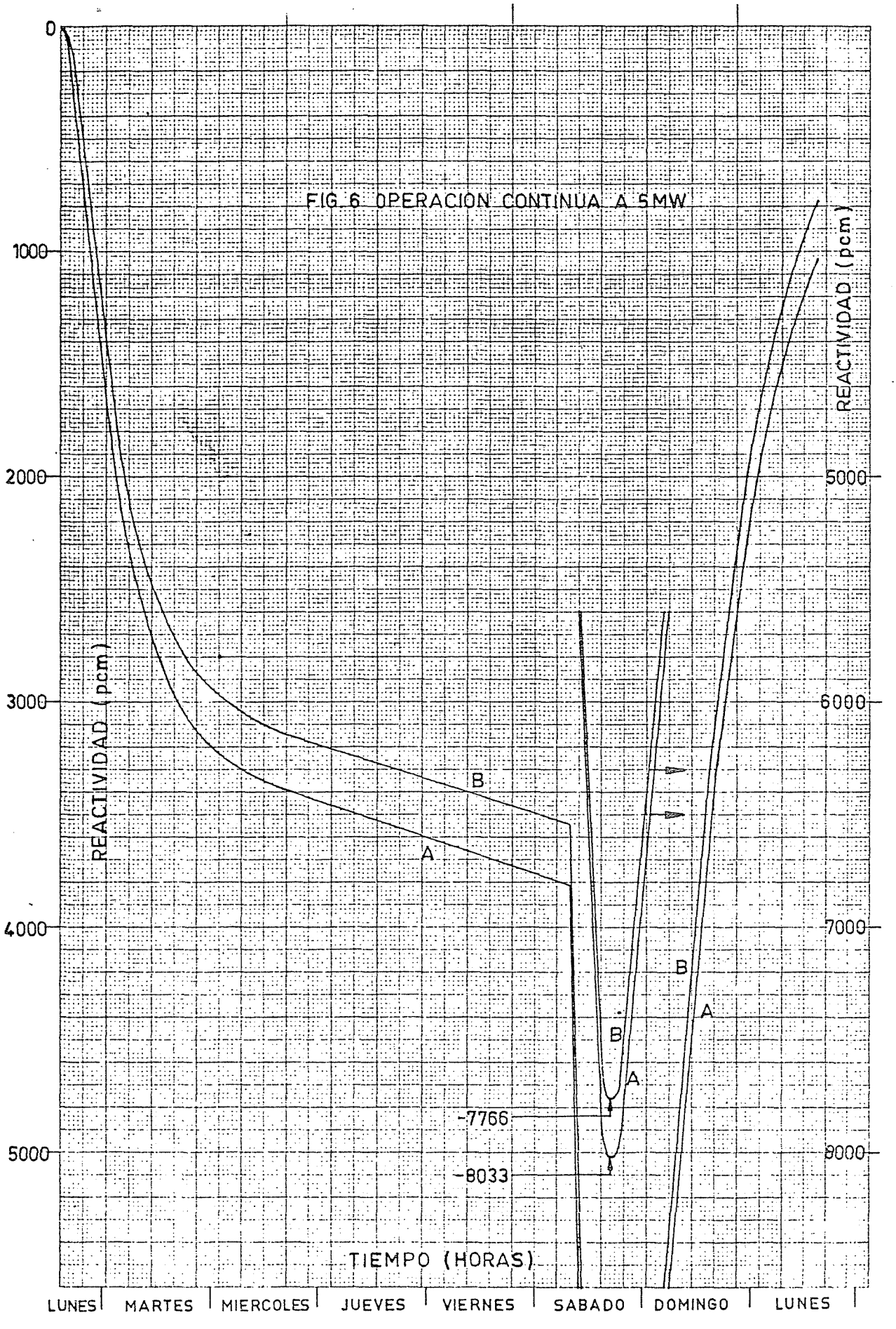
FIG.6 OPERACION CONTINUA A 5MW
REACTIVIDAD (pcm)
REACTIVIDAD (pcm)
0
1000
2000
3000
4000
5000
5000
6000
7000
8000
B
A
B
A
B
A
-7766
-8033
TIEMPO (HORAS)
LUNES
MARTES
MIERCOLES
JUEVES
VIERNES
SABADO
DOMINGO
LUNES

J.E.N. 266

Junta de Energía Nuclear, División de Física, Madrid

"Calculations of Changes in Reactivity during some regular periods of operation of JEN-1 MOD Reactor"

ALCALA RUIZ, F. (1973) 53 pp. 6 figs.

By a Point-Reactor model and Perturbation Theory, changes in reactivity during some regular operating periods of JEN-1 MOD Reactor have been calculated and compared with available measured values. They were in good agreement. Also changes in reactivity have been calculated during operations at higher power levels than the present one, concluding some practical consequences for the case of increasing the present power of this reactor.

J.E.N. 266

Junta de Energía Nuclear, División de Física, Madrid

"Calculations of Changes in Reactivity during some regular periods of operation of JEN-1 MOD Reactor"

ALCALA RUIZ, F. (1973) 53 pp. 6 figs.

By a Point-Reactor model and Perturbation Theory, changes in reactivity during some regular operating periods of JEN-1 MOD Reactor have been calculated and compared with available measured values. They were in good agreement. Also changes in reactivity have been calculated during operations at higher power levels than the present one, concluding some practical consequences for the case of increasing the present power of this reactor.

J.E.N. 266

Junta de Energía Nuclear, División de Física, Madrid.

"Calculations of Changes in Reactivity during some regular periods of operation of JEN-1 MOD Reactor"

ALCALA RUIZ, F. (1973) 53 pp. 6 figs.

By a Point-Reactor model and Perturbation Theory, changes in reactivity during some regular operating periods of JEN-1 MOD Reactor have been calculated and compared with available measured values. They were in good agreement. Also changes in reactivity have been calculated during operations at higher power levels than the present one, concluding some practical consequences for the case of increasing the present power of this reactor.

J.E.N. 266

Junta de Energía Nuclear, División de Física, Madrid.

"Calculations of Changes in Reactivity during some regular periods of operation of JEN-1 MOD Reactor"

ALCALA RUIZ, F. (1973) 53 pp. 6 figs.

By a Point-Reactor model and Perturbation Theory, changes in reactivity during some regular operating periods of JEN-1 MOD Reactor have been calculated and compared with available measured values. They were in good agreement. Also changes in reactivity have been calculated during operations at higher power levels than the present one, concluding some practical consequences for the case of increasing the present power of this reactor.

J.E.N. 266

Junta de Energía Nuclear, División de Física, Madrid

"Cálculo de variaciones de reactividad en algunos periodos regulares de operación del Reactor JEN-1 MOD"

ALCALA RUIZ, F. (1973) 53 pp. 6 figs.

Mediante un modelo de reactor puntual y teoría de perturbaciones se han calculado cambios de reactividad en algunos periodos regulares de operación del reactor JEN-1 MOD y, comparados con valores experimentales existentes, presentan una buena concordancia. También se han calculado variaciones de reactividad en periodos regulares de operación a potencias superiores a las actuales, deduciéndose algunas consecuencias prácticas aplicables en caso de incrementar la potencia de este reactor.

J.E.N. 266

Junta de Energía Nuclear, División de Física, Madrid

"Cálculo de variaciones de reactividad en algunos periodos regulares de operación del Reactor JEN-1 MOD"

ALCALA RUIZ, F. (1973) 53 pp. 6 figs.

Mediante un modelo de reactor puntual y teoría de perturbaciones se han calculado cambios de reactividad en algunos periodos regulares de operación del reactor JEN-1 MOD y, comparados con valores experimentales existentes, presentan una buena concordancia. También se han calculado variaciones de reactividad en periodos regulares de operación a potencias superiores a las actuales, deduciéndose algunas consecuencias prácticas aplicables en caso de incrementar la potencia de este reactor.

J.E.N. 266

Junta de Energía Nuclear, División de Física, Madrid.

"Cálculo de variaciones de reactividad en algunos periodos regulares de operación del Reactor JEN-1 MOD"

ALCALA RUIZ, F. (1973) 53 pp. 6 figs.

Mediante un modelo de reactor puntual y teoría de perturbaciones se han calculado cambios de reactividad en algunos periodos regulares de operación del reactor JEN-1 MOD y, comparados con valores experimentales existentes, presentan una buena concordancia. También se han calculado variaciones de reactividad en periodos regulares de operación a potencias superiores a las actuales, deduciéndose algunas consecuencias prácticas aplicables en caso de incrementar la potencia de este reactor.

J.E.N. 266

Junta de Energía Nuclear, División de Física, Madrid.

"Cálculo de variaciones de reactividad en algunos periodos regulares de operación del Reactor JEN-1 MOD"

ALCALA RUIZ, F. (1973) 53 pp. 6 figs.

Mediante un modelo de reactor puntual y teoría de perturbaciones se han calculado cambios de reactividad en algunos periodos regulares de operación del reactor JEN-1 MOD y, comparados con valores experimentales existentes, presentan una buena concordancia. También se han calculado variaciones de reactividad en periodos regulares de operación a potencias superiores a las actuales, deduciéndose algunas consecuencias prácticas aplicables en caso de incrementar la potencia de este reactor.