

AUMENTO DE LA DISPONIBILIDAD DE LA CNA I POR
APROVECHAMIENTO DEL EFECTO Pu-Sm AL REDUCIR POTENCIA

Carlos Alberto *Hugo Roberto*

C. VILLONE - H. MARTÍN
Comisión Nacional de Energía Atómica

INTRODUCCION

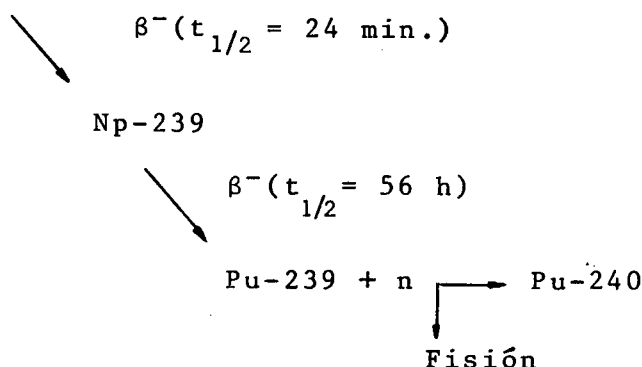
La CNA I opera normalmente con una reactividad de reserva compensada con barras de control de 7 mk. Esto garantiza (dependiendo del estado de quemado del núcleo) una operación normal a plena potencia, sin carga de elementos combustibles (EC) nuevos, de aproximadamente una semana. Estos valores son fijados en base a la experiencia operativa considerando, entre otras cosas, la indisponibilidad que se puede prever en el Sistema de Recambio de EC. Existen sin embargo situaciones que inhabilitan el uso de este sistema y que por sus características particulares no es razonable prever mediante un exceso adicional en la reactividad de reserva. Las razones son fundamentalmente de tipo económico ya que por cada mk de reactividad adicional de reserva, que asegura a lo sumo dos días de operación a plena potencia, se estima una disminución del quemado medio de extracción de aproximadamente 120 Mwd/TnU. Esto se traduce en un incremento del consumo anual de EC del orden del 2,2 % (aproximadamente U\$S 650.000.-). Se deben mencionar también las necesidades del Sistema Interconectado Nacional. Estas obligan a permanecer en línea, aún a costa de una reducción de potencia durante las horas de menor consumo, pero garantizando en cualquier momento la plena potencia de la CNA I ante fallas imprevistas en las máquinas del Sistema. Durante los meses de Septiembre/Octubre de 1979 y ante una serie de desperfectos inusuales en el Sistema de Recambio de EC, fue necesario reducir la potencia de la CNA I con el objeto de prolongar el tiempo de funcionamiento y permitir la realización de las reparaciones necesarias. Estas maniobras dieron lugar a un comportamiento atípico de la reactividad de reserva que llevó a analizar su evolución ante modificaciones de la potencia. La obtención de un modelo teórico puntual que reprodujera las tendencias observadas constituyó la base del método de trabajo seguido. En particular se estudiaron los efectos sobre la reactividad del Pu-239 y Sm-149 cuando sus concentraciones en el núcleo son alteradas por modificaciones en la potencia del reactor. Se consideraron estos isótopos debido a que los efectos a analizar involucraban tiempos suficientemente grandes comparados con aquellos asociados al Xe-135. A continuación se presenta la formulación teórica del problema

y los resultados experimentales obtenidos durante la operación del reactor.

FORMULACION TEORICA

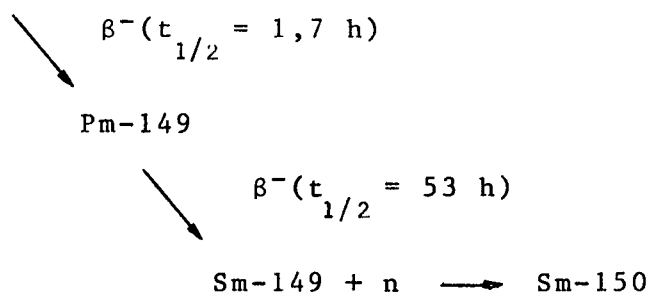
Esquemas de producción-eliminación.

-Plutonio-239



Comparando los valores de $t_{1/2}$ para los dos decaimientos β^- , puede despreciarse el primero a fin de simplificar las ecuaciones.

-Samarium-149



Con las mismas consideraciones que en el caso anterior, el primer decaimiento β^- puede considerarse instantáneo.

Por la forma en que se generan el Pu-239 y el Sm-149 se concluye que la evolución temporal de las concentraciones de ambos están regidas por ecuaciones análogas (difieren sólo en las constantes). De este modo puede obtenerse una solución general, que tiene validez para ambos nucleídos. Si representamos con $I(t)$ la concentración (at/cm^3) del

Np-239 ó Pm-149 y con $F(t)$ la del Pu-239 ó Sm-149, resulta:

$$\frac{dI(t)}{dt} = \alpha \phi(t) - \lambda I(t) \quad (1)$$

$$\frac{dF(t)}{dt} = \lambda I(t) - \sigma \phi(t) F(t) \quad (2)$$

Haciendo $I = \frac{\alpha}{\sigma} i$ y $F = \frac{\alpha}{\sigma} f$ las ecuaciones (1) y (2) se transforman en:

$$\frac{di(t)}{dt} = \sigma \phi(t) - \lambda i(t) \quad (3)$$

$$\frac{df(t)}{dt} = \lambda i(t) - \sigma \phi f(t) \quad (4)$$

Resolviendo este sistema de ecuaciones con las condiciones iniciales i_0 y f_0 resulta:

$$i(t) = (i_0 - \frac{\sigma \phi}{\lambda}) e^{-\lambda t} + \frac{\sigma \phi}{\lambda} \quad (5)$$

$$f(t) = 1 + \frac{(\lambda i_0 - \sigma \phi)}{(\sigma \phi - \lambda)} e^{-\lambda t} + \left[f_0 + \frac{\lambda(1 - i_0)}{\sigma \phi - \lambda} \right] e^{-\sigma \phi t} \quad (6)$$

Constantes utilizadas:

- Constantes de desintegración

$$\lambda_{\text{Np-239}} = 0.0123 \text{ h}^{-1} \quad \lambda_{\text{Pm-149}} = 0.0128 \text{ h}^{-1}$$

-Secciones eficaces microscópicas de absorción térmica del Pu-239 y Sm-149.

Se obtuvieron con el programa COCAP para un quemado medio de 3.000 Mwd/Tn U utilizando el formalismo de Westcott. (Ref. 1)

$$\sigma_{\text{Pu-239}} = 1079 \text{ b} \quad \sigma_{\text{Sm-149}} = 55800 \text{ b}$$

Cálculo del incremento de la reactividad.

La variación en la reactividad, relativa a condiciones de equilibrio estacionario al 100 % de potencia térmica puede escribirse:

$$\Delta\rho_f(t) = (f(t) - 1) R_f, \quad (7)$$

donde R_f es la reactividad asociada a las condiciones mencionadas anteriormente.

El valor de R para el Pu-239 se obtuvo con el programa COCAP (Ref. 1) para un quemado medio de 3.000 Mwd/Tn U.

$$R_{Pu} = 230 \text{ mk}$$

El correspondiente a Sm-149 se obtuvo utilizando datos de concentraciones de los isótopos más importantes dados por el programa CIRCE (Ref. 2) para un quemado medio de aproximadamente 3.000 Mwd/Tn U.

$$R_{Sm} = -5 \text{ mk}$$

El incremento de reactividad debido al efecto combinado de ambos isótopos viene dado por:

$$\Delta\rho_{Pu-Sm}(t) = \Delta\rho_{Pu}(t) + \Delta\rho_{Sm}(t) \quad (8)$$

Cálculo de la reactividad teórica

La evolución teórica de la reactividad compensada por barras de control, durante las modificaciones de potencia efectuadas en períodos de indisponibilidad del sistema de recambio de EC, se calcula mediante la expresión:

$$\rho_{TEORICA}(t) = \rho_0 + \Delta\rho_{Pu-Sm}(t) - \dot{\rho} \cdot t \quad (9)$$

donde: ρ_0 es la reactividad en exceso del núcleo luego de un período prolongado en estado estacionario, dado por el programa de cálculo del reactor TRISIC, en el momento de comenzar la simulación.

$\Delta\rho_{Pu-Sm}(t)$ es el aporte de reactividad por el efecto

to combinado del Pu-239 y Sm-149 según la ecuación (8).

ρ es el consumo de reactividad estimado a partir del programa TRISIC.

No se incluyen en esta expresión, aunque es posible hacerlo en cada caso particular, los aportes de reactividad asociados con las variaciones de temperatura (moderador, refrigerante y combustible) y con la concentración de Xe-135.

EXPERIENCIA OPERATIVA

En la figura 1 se muestra la evolución de la potencia térmica (P_T), reactividad compensada en barras de control: real (ρ_{BARRAS}) y teórica (ρ_{TEORICA}) e indisponibilidad del sistema de recambio de EC durante dos períodos de operación del reactor.

En ambos casos, cuando la CNA I se encontraba operando a plena potencia se produjo la salida de servicio del sistema de recambio de EC por problemas en el mecanismo ascensor de la máquina de carga.

En el primero de los períodos mostrados (Set./Oct. 1979) se observa que la velocidad de consumo de la reactividad hacía imposible la continuidad de la operación a 100 % hasta tanto se efectuaran las reparaciones correspondientes. Por este motivo se programó una reducción de potencia que asegurara una reactividad de reserva suficiente para continuar en línea, previendo la realización de ciclos de carga y un margen de seguridad por eventuales problemas que pudieran surgir en las reparaciones. Se observa que esto permitió incrementar la reactividad desde 4 mk hasta valores superiores a 6 mk durante más de 5 días sin carga de EC alguno.

En el segundo de los períodos mostrados (Abr./May. 1980) se presentó inicialmente una situación similar a la descrita que llevó a reducir la potencia hasta el 80 %. Esto permitió disminuir el consumo de reactividad de tal forma de disponer una reserva segura hacia el final de las reparaciones. El resultado infructuoso de las mismas hizo necesario el cambio de la máquina de carga en operación por la de reserva. Esta maniobra, realizada por primera vez en operación, requirió una reducción de la potencia hasta el 60 % a fin de asegurar un exceso de reactividad. El comportamiento del núcleo verificó la predicción del modelo elevando la reactividad en aproximadamente 2 mk durante una semana.

CONCLUSIONES

El modelo puntual obtenido dentro de las limitaciones que el mismo presupone, constituye una herramienta muy útil para la predicción de los efectos sobre la reactividad a largo plazo debidos a modificaciones en la potencia. La baja reactividad de reserva en operación de los reactores de Uranio natural/D₂O hace imprescindible el disponer

de una herramienta de este tipo, simple y confiable, a fin de optimizar la producción de energía ante indisponibilidades del sistema de recambio de EC. La disminución de la cantidad de ciclos térmicos de la instalación por parada, el ahorro de combustible por una menor reactividad de reserva en operación y el aumento del factor de disponibilidad son algunos de los logros que una herramienta de este tipo ayuda a alcanzar.

Podemos destacar que los apartamientos observados entre la teoría y la experiencia se deben a las innumerables simplificaciones efectuadas en el modelo aquí presentado y que en el caso más desfavorable llegan al 28 %. Estas diferencias sin bien son apreciables, se han producido en todas las situaciones en que se utilizó el modelo sobre el lado más seguro de las predicciones, es decir, subestimando la reactividad a largo plazo.

REFERENCIAS

- 1- Comunicaciones - Lic. J. FINK - Depto. Reactores Nucleares -CAC - 18/1/80 y 10/10/80.
- 2- Cálculos neutrónicos de la Central Nuclear en Atucha por Métodos Homogéneos - Lic. J. FINK - Ing. R. SOLANILLA - CNEA -Re -67

