

**SIMULACION DE LA EVOLUCION DEL  
XENON-135 Y IODO-135 EN EL REACTOR  
NUCLEAR RP-10**

**O. Orihuela<sup>1</sup> y J. Guarnizo<sup>2</sup>**

**(1) FINES-GIG, (2) FER-DRE, Centro Nuclear RACSO de  
Huarangal, IPEN  
Apartado 1687, Lima - Perú.**

## RESUMEN

*Se presenta la simulación de la evolución de los productos de fisión I-135 y Xe-135 para algunos transitorios de potencia en el reactor nuclear de 10 MW de potencia, RP-10, del Centro Nuclear de Investigaciones del Perú.*

*Los cálculos se hicieron a un grupo de energía y sin tener en cuenta las variaciones espaciales del flujo neutrónico y concentración de los isótopos considerados. La simulación se realizó utilizando el programa TUTSIM.*

*Los resultados que se obtienen son que la concentración del Xe-135 en el núcleo alcanza su estado de equilibrio a las 45 horas de haber levantado el reactor a la potencia de operación; y después de 9 horas de bajar bruscamente la potencia del reactor en equilibrio de 7 a 0 MW, se alcanza la máxima concentración de dicho isótopo en el núcleo.*

## INTRODUCCION

Durante el funcionamiento de un reactor nuclear y debido a la fisiones que ocurren en los elementos combustibles se generan productos de fisión (PF), de los cuales algunos deben ser tenidos en cuenta durante la operación del reactor. Es importante conocer la composición isotópica del núcleo porque los cambios en esta composición pueden afectar el factor de multiplicación del núcleo así como la distribución de flujo y potencia, pues algunos PF (o sus hijos provenientes de decaimientos radioactivos) se caracterizan por tener una sección eficaz de absorción extremadamente grande y por tanto afectarán significativamente la reactividad del núcleo.

El análisis de los cambios en la composición en el núcleo es complicado por el hecho de que la variación temporal y espacial dependerá de la distribución del flujo neutrónico, el cual a su vez, depende de la composición del núcleo. Felizmente los cambios en la composición del núcleo ocurren de una manera relativamente lenta (en escalas de tiempo de horas, días o incluso meses), es decir, el núcleo del reactor puede ser siempre mantenido en estado crítico (i.e. factor de multiplicación = 1 o reactividad = 0) mediante el ajuste de los elementos de control. Esto significa que aunque el análisis temporal en las ecuaciones que describen el ritmo de cambios en la densidad

isotópica es necesario, el comportamiento neutrónico puede ser estudiado mediante una secuencia de cálculos estáticos de criticidad para cada composición del núcleo encontrado.

### XENON: PRODUCTO DE FISION ABSORBENTE

El Xe-135 es el producto de fisión más significativo debido a su enorme sección eficaz de absorción de neutrones térmicos y a su producción por fisión (yield) relativamente grande. En realidad el Xe-135 es producido no solo como PF directo sino también es el resultado del decaimiento b del I-135 (el cual también es producto de fisión). El esquema de decaimiento simplificado se muestra en la fig. 1.

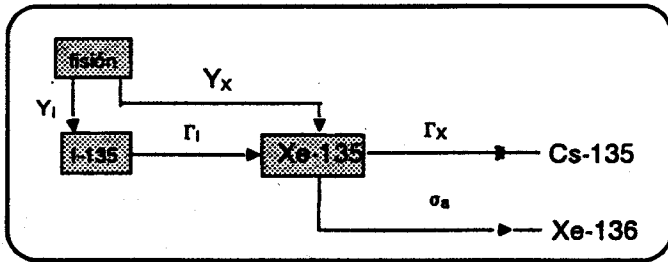


Fig. 1. Esquema de decaimiento simplificado para el Xe-135.

En base al esquema anterior se pueden plantear las siguientes ecuaciones para las densidades atómicas del I-135 y el Xe-135 /1/:

$$\frac{\delta I}{\delta t} = \frac{Y_I \cdot P(t)}{\epsilon f \cdot V_N} - \Gamma_I I(t) \dots \dots \dots (1)$$

directo de fisión                      decaimiento del I

$$\frac{\delta X}{\delta t} = \frac{Y_X \cdot P(t)}{\epsilon f \cdot V_N} + \Gamma_I \cdot I(t) - \Gamma_X \cdot X(t) - \frac{\sigma_a \cdot P(t) \cdot X(t)}{\Sigma f \cdot \epsilon f \cdot V_N} \dots (2)$$

directo de fisión              decaim. del I              decaim. del Xe              absorción del Xe

donde:

I	:	Densidad atómica del I-135.
X	:	Densidad atómica del Xe-135.
$Y_I$	:	Fracción de la producción por fisión del I-135.
$Y_X$	:	Fracción de la producción por fisión del Xe-135.
$\Sigma_f$	:	Sección eficaz macroscópica de fisión.
P(t)	:	Potencia de operación.
$\Gamma_I$	:	Constante de decaimiento del I-135.
$\Gamma_X$	:	Constante de decaimiento del Xe-135.
$\sigma_a$	:	Sección eficaz microscópica de absorción del Xe-135.
$V_N$	:	Volumen del núcleo del reactor.
$e_f$	:	Energía producida por fisión.

En la tabla 1 se muestra los valores de los parámetros nucleares de los isótopos I-135 y Xe-135, así como algunos datos de interés del núcleo del reactor RP-10 /2/.

**Tabla 1. Parámetros nucleares del I-135 y Xe-135, y datos de interés del núcleo del reactor RP-10.**

$Y_I = 0,064$	(para el U-235)
$Y_X = 0,0023$	(para el U-235)
$\Gamma_I = 0,1053$ 1/hs.	( $T_{1/2} = 6,58$ hs.)
$\Gamma_X = 0,0755$ 1/hs.	( $T_{1/2} = 9,17$ hs.)
$\sigma_a = 2,65 \times 10^6$ bam.	
$e_f = 8,89 \times 10^{-21}$ MW-h.	
$\Sigma_f = 0,1066$ 1/cm.	(Elemento combustible normal fresco)
$V_N = 81540$ cm <sup>3</sup>	(Volumen de los elementos combustibles del RP-10)

## **SIMULACION DE LA EVOLUCION DEL I-135 Y Xe-135**

En base a las ecuaciones (1) y (2), y teniendo en cuenta los valores de la tabla 1, se realizó la simulación de la variación temporal de las concentraciones de los isótopos I-135 y Xe-135, utilizando el programa TUTSIM /3/.

El TUTSIM es un programa interactivo que simula la dinámica de sistemas. Es principalmente, un programa que resuelve ecuaciones diferenciales, y permite comparar las respuestas de un modelo para una serie de parámetros, que incluso, pueden ser cambiados durante la simulación misma.

## SUBIDA DE POTENCIA DEL NUCLEO LIMPIO

Suponiendo que el reactor es llevado de potencia cero a un nivel de potencia  $P_0$  al tiempo  $t=0$ , y asumiendo que antes de ese tiempo el núcleo del reactor estuvo con una concentración igual a cero de productos de fisión absorbente (i.e. núcleo limpio); se obtienen los resultados que se muestran en la fig. 2, donde se puede apreciar la evolución de las concentraciones del I-135 y Xe-135 para el escalón de potencia dado.

El parámetro de interés que de aquí se obtiene es el tiempo en el cual el Xe-135 alcanza el equilibrio. El conocer este tiempo es de suma importancia para la operación óptima del reactor, y de la fig. 2 se obtuvo un tiempo de 45 horas para alcanzar el equilibrio. De acuerdo con esos resultados, la variación de ese tiempo con el valor de la potencia  $P_0$ , es despreciable.

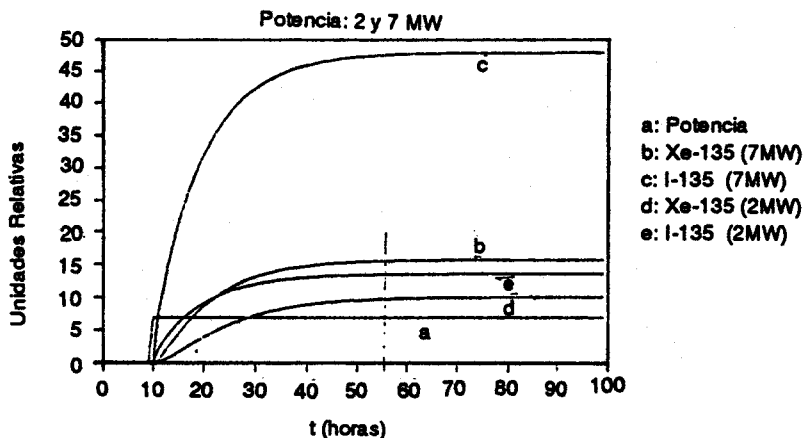


Fig. 2. Evolución del I-135 y Xe-135, después de una subida de potencia del núcleo limpio.

## APAGADO BRUSCO DEL REACTOR

Suponiendo que se tiene el reactor en equilibrio operando a un nivel de potencia  $P_0$ , y repentinamente se apaga el reactor, se obtiene un comportamiento de las concentraciones del I-135 y Xe-135 como los que se muestran en la fig. 3. El resultado de interés en este caso es el tiempo en el cual el Xenón alcanza su máxima concentración, y el tiempo durante el cual dicha concentración está por encima de su valor de equilibrio a la potencia  $P_0$ .

El tiempo en el cual el Xe-135 alcanza su máxima concentración resulta igual a 9 horas para  $P_0 = 7$  MW; y para  $P_0 = 2$  MW este tiempo es de 5 horas.

El tiempo durante el cual la concentración del Xe-135 es mayor que su valor de equilibrio correspondiente a  $P_0$ , depende fuertemente del valor de  $P_0$ . Por ejemplo se tiene que para  $P_0 = 2$  MW, este tiempo es 10 horas, y para  $P_0 = 7$  MW el tiempo es 25 horas.

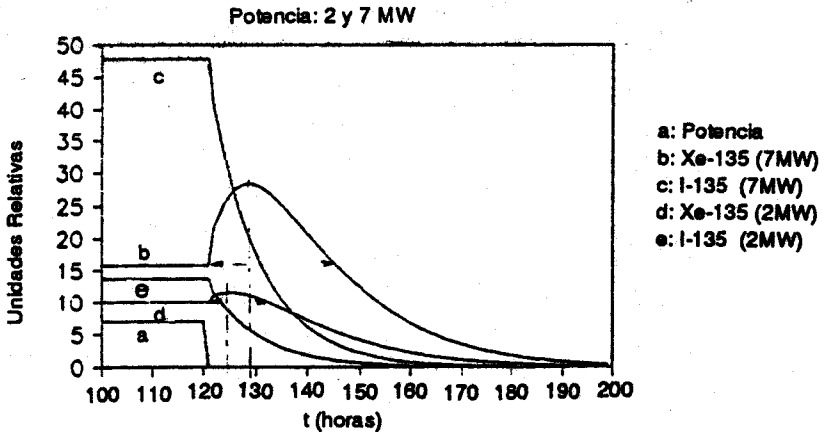


Fig. 3. Evolución del I-135 y Xe-135, después de un apagado brusco del reactor.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos son compatibles con las predicciones teóricas que se tienen para este tipo de reactores.

En cuanto al análisis temporal, el no haber considerado las variaciones espaciales de la potencia y las concentraciones de los isótopos considerados, no es de gran importancia; lo que sí sería necesario para el caso de querer evaluar las reactividades negativas introducidas por estos isótopos, lo cual es de suma importancia para el diseño y determinación de los excesos de reactividad y requerimientos de los sistemas de control.

Si se apaga bruscamente el reactor después de estar operando por un tiempo largo a potencia de algunos MW, se dispondrá de un tiempo corto (1 a 2 hs.) para poder volver a subir la potencia antes que la reactividad negativa introducida por la creciente concentración del Xenón sobrepase el exceso de reactividad disponible. Si no se levantó la potencia en ese lapso de tiempo, será necesario esperar algunas horas. (20 a 30 hs.) hasta que dicha concentración haya descendido lo suficiente (por el decaimiento del Xenón) para tener el exceso de reactividad necesaria para la subida de potencia.

Por los puntos expuestos anteriormente, entre otros, es muy importante conocer la evolución del Xe-135 en el núcleo del reactor para diversos transitorios de potencia, para así poder realizar una óptima operación y explotación de la instalación.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Duderstadt J., Hamilton L., Nuclear Reactor Analysis, John Wiley & Sons, Inc. New York, 1976.
- [2] Core Analysis Report RP-10. Interatom, 1980.
- [3] Tutsim, Interactive Simuaktion Languaje - User's Manual Twente University of Technology - The Netherlands.