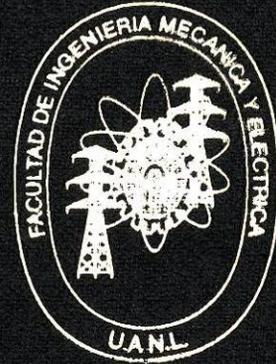
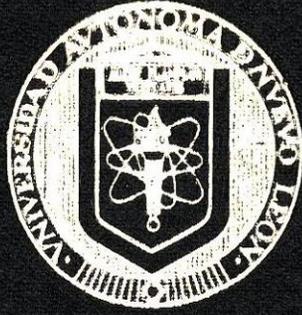


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA



CENTRALES NUCLEOELECTRICAS

TESINA

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

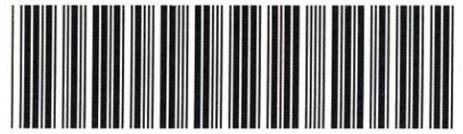
PRESENTA:

ERNESTO CARREÑO CARDENAS

ASESOR: ING. VICENTE CANTU GUTIERREZ

CD. UNIVERSITARIA

OCTUBRE DE 1997



1080078342

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA



CENTRALES NUCLEOELECTRICAS

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

PRESENTA:

ERNESTO CARREÑO CARDENAS

ASESOR: ING. VICENTE CANTU GUTIERREZ



T
TK9203
.P7
C377



CONTENIDO

	PAG.
1.- INTRODUCCION.....	1
2.- REACTOR EN ESTADO SUBCRÍTICO.....	2
TABLA A (CONDICIÓN SUBCRÍTICA SIN FUENTE).....	3
TABLA B (CONDICIÓN SUBCRÍTICA CON FUENTE).....	4
3.- REACTOR A BAJA POTENCIA	6
4.- REACTOR DE POTENCIA.....	15
5.- EFECTO DOOPLER.....	19
6.- VALORES DE BARRA.....	21
7.- VENENOS PRODUCTORES DE FISIÓN..	22
EL XENÓN COMO VENENO PRODUCTO DE FISIÓN.....	24
TABLA (PARAMETROS DE LA FISIÓN U^{235} Y Pu^{239}).....	26
EL SAMARIO CON VENENO	27

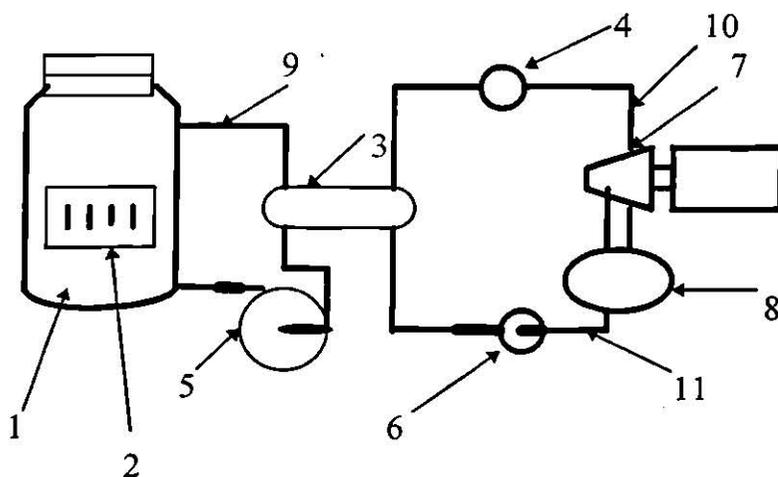
COMPORTAMIENTO DEL REACTOR

INTRODUCCIÓN.

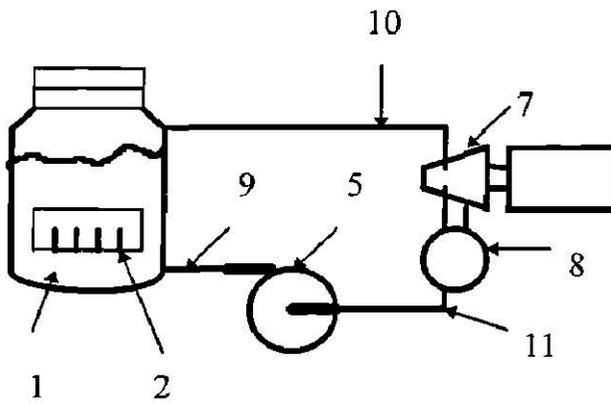
Se han construido varias clases de reactores nucleares, entre ellos existen los que se utilizan agua ligera (H_2O) como moderador en esta clase, conocida como LW (LIGHT WATER REACTOR), hay dos tipos uno del PWR (PRESSURIZED WATER REACTOR), donde al refrigerante, utilizado también como moderador, no se le permite que hierva. Esto se logra mediante presurizadores . El otro tipo es el BWR (BOILING WATER REACTOR), en donde el refrigerante, también moderador, hierve dando lugar a la producción de vapor a la salida del reactor.

Un esquema del ciclo en la generación de energía eléctrica de ambos reactores puede observarse en la figura.

Nuestro objetivo, dado que el reactor de Laguna Verde es un BWR, consiste en analizar el comportamiento de la población neutrónica del reactor, al estar operando en estado subcrítico y crítico a baja potencia y a potencia total.



- 1.- Reactor
- 2.- Núcleo
- 3.- Generador de vapor.
(Intercambiador de calor)
- 4.- Secador de vapor.
- 5.- Bomba de agua de alimentación.
- 6.- Bomba de generador de vapor.
- 7.- Turbo generador.
- 8.- Condensador
- 9.- Refrigerante primario.
- 10.- Línea de vapor.
- 11.- Línea de condensador.



Generación de energía eléctrica con reactor (a) PWR y (b) BW

EL REACTOR EN ESTADO SUBCRÍTICO.

Cuando un reactor ha recibido la reactividad negativa suficiente para que su K_{eff} sea menor que 1 se dice que esta en estado subcrítico y como es de esperarse su población neutrónica (y también su potencia) decrece tan rápidamente como se lo permita la K_{eff} correspondiente a la reactividad insertada.

Como ejemplo supongamos que $k=1$, la población de neutrones sea de 1000 neutrones, y el tiempo que tardan los neutrones en completar su ciclo (llamado tiempo de generación) sea de 1 segundo. La población será constante al transcurso del tiempo, pues en cada segundo se absorberán 1000 neutrones, pero se producirán 1000, esto es, una generación es igual en número a su predecesora. Si insertamos una reactividad negativa de manera tal que $K_{eff}=0.8$, la población de neutrones decrecerá generación tras generación según se muestra en la tabla.

TABLA A
CONDICIÓN SUBCRÍTICA SIN FUENTE

Tiempo (seg.)	población neutrónica	
0	1000	(0.8) = 1000
1	1000	(0.8) = 800
2	800	(0.8) = 640
3	640	(0.8) = 512
4	512	(0.8) = 409.6
5	409.6	(0.8) = 327.68
6	327.68	(0.8) = 262.14
7	262.14	(0.8) = 209.71
8	209.71	(0.8) = 167.77
9	167.77	(0.8) = 134.2
10	134.2	(0.8) = 107.37
.		.
.		.
.		.
.		.
32		= 0

Observe que mientras mas alejado este el reactor de la criticidad, la población de neutrones decrecerá mas rápidamente.

Lo anterior fue hecho sin tomar en cuenta la presencia de fuentes de neutrones en el sistema. En caso contrario, cada nueva generación se incrementara con el numero de neutrones que proporcionara la fuente (S_0) (esto en caso de que la producción de la fuente fuera por cada segundo). Consideremos ahora $K_{ef}=0.5$ y $S_0=1000$ neutrones/segundo. La población de neutrones variará según la tabla.

TABLA B
CONDICIÓN SUBCRÍTICA CON FUENTE

TIEMPO (seg.)	$K_{ef} S_0$	$K_{ef} S_0 + S_0$
1	0.5 (1000) = 500	1500
2	0.5 (1500) = 750	1750
3	0.5 (1750) = 875	1875
4	0.5 (1875) = 937.5	1937.5
5	0.5 (1937.5) = 968.75	1968.75
6	0.5 (1968.75) = 984.37	1984.37
7	0.5 (1948.37) = 992.18	1992.18
8	0.5 (1992.18) = 996.09	1996.09
9	0.5 (1996.09) = 998.04	1998.04
10	0.5 (1998.04) = 999.02	1999.02
11	0.5 (1999.02) = 999.51	1999.51
12	0.5 (1999.51) = 999.75	1999.75
13	0.5 (1999.75) = 999.87	1999.87
14	0.5 (1999.87) = 999.93	1999.93
15	0.5 (1999.93) = 999.96	1999.96

Note que ahora la población neutrónica tiende a estabilizarse en un valor mayor que el proporcionado por la fuente. La serie para llegar a la estabilidad en la población de neutrones puede expresarse en forma matemática como:

$$S = [((S_0 K) + S_0) K] + S_0$$

Donde S es el número de neutrones donde se estabiliza la población de neutrones debido a $K < 1$ y a una fuente (S_0).

Desarrollando la ecuación tendremos.

$$S = S_0 + S_0K + S_0K^2 + S_0K^3 + \dots + S_0K^n$$

$$= S_0 (1 + K + K^2 + K^3 + \dots + K^n)$$

$$= S_0 (M)$$

$$\text{donde } M = (1 + K + K^2 + K^3 + \dots + K^n)$$

finalmente buscaremos el valor donde converge M, para esto, hagamos:

$$KM = (K + K^2 + K^3 + \dots + K^{n+1})$$

y

$$M - KM = M (1 - K) = 1 \pm K^{n+1}$$

Resolviendo para M:

$$M = \frac{1}{1 - K} \pm \frac{K^{n+1}}{1 - K}$$

y como $K < 1$ (estado subcrítico) y $n \rightarrow \infty$

tendremos finalmente que.

$$M = \frac{1}{1 - K}$$

M recibe el nombre de factor de multiplicación subcrítica.

El valor donde se estabiliza la población de neutrones vendrá dado por:

$$S = \frac{S_0}{1 - K} = M S_0$$

comprobemos el resultado obtenido según la tabla A.

$$S = \frac{1000}{1 - 0.5} = 2000$$

Esto nos dice que aunque el reactor este apagado, habrá que remover una potencia que según la una ecuación anterior será:

$$P = \frac{S \Sigma f V}{3.6 \times 10^{10}}$$

EL REACTOR A BAJA POTENCIA

Cuando el reactor esta en estado subcrítico, crítico o supercrítico pero operando en un rango de potencia en el cual las temperaturas que se manejan no influyen para cambiar algunos de sus parámetros, tales como densidades, secciones eficaces, contenido de vapor, etc. se dice que esta operando a baja potencia.

En este caso, la población de neutrones decrecerá, permanecerá constante o crecerá según sea el estado que adquiera el reactor. Sin que exista cambios en la reactividad asociada a cambios en sus parámetros.

Consideremos que existe un número N de neutrones en el reactor, la próxima generación será igual a KN , el cambio entre una y otra generación (ΔN) será $\Delta N = NK - N = N(K - 1)$. Si el tiempo de vida promedio del neutrón en cada generación en segundos es L , el número de generaciones por segundo es $1/L$ y el cambio en N por unidades de tiempo es.

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = \frac{N(K - 1)}{L} = \frac{N\Delta K}{L}$$

en forma diferencial y separando variables.

$$\frac{dN}{N} = \frac{\Delta K}{L} dt$$

Integrando esta ecuación y considerando que en $t = 0$, $N = N(0)$ y en $t = t$, $N = N(t)$

$$N(t) = N_0 e^{(\Delta k/L)t}$$

Si definimos $\tau = L / \Delta k$ la ecuación anterior se escribe como:

$$N(t) = N_0 e^{t/\tau}$$

a τ se le conoce como “período del reactor”, y esta definido como el tiempo en segundos que tarda un reactor en multiplicar su población de neutrones por un factor “e”. El periodo puede tomar valores negativos, positivos e infinitos en caso de $K < 1$, $K > 1$ y $K = 1$ respectivamente y la población de neutrones, al igual que la potencia, decrecerá exponencialmente o permanecerá constante. Esto puede observarse en la figura A.

Si $K > 1$, la potencia crecerá exponencialmente hasta llegar a un rango de potencia en el cual la temperatura afecte a los parámetros del reactor, de tal manera que el crecimiento ya no sea exponencial.

Si $K < 1$, la potencia decrecerá exponencialmente hasta que las fuentes influyan en la generación de potencia y se estabilizara de acuerdo a la ecuación $S = S_0 / (1 - K)$ o, pues cuando $K < 1$, recuerde, estamos en el dominio de el factor de multiplicación subcrítica.

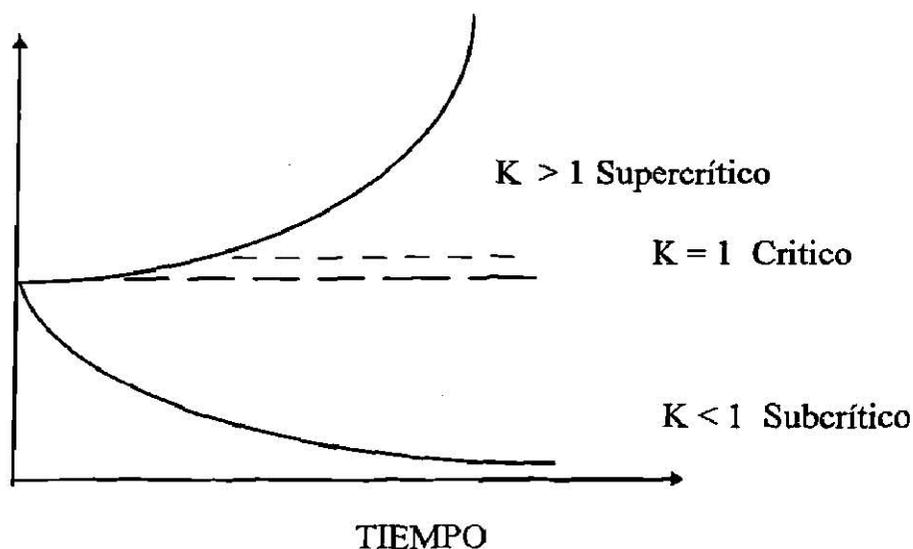


Figura A. Comportamiento de la población de neutrones en un reactor.

Podemos también medir el cambio en el flujo de neutrones, población de neutrones y potencia usada en el sistema logarítmico base 10. La ecuación básica se escribe:

$$N = N_0 10^{\text{SUR} (T)}$$

T = Tiempo expresado en minutos.

SUR = Régimen de arranque, es el número de décadas (órdenes de 10) por minuto en que cambia el flujo neutrónico.

Existe otro método basado en el logaritmo base 2, la unidad de cambio es el llamado tiempo de duplicación (DT). La ecuación utilizando esta base es:

$$N = N_0 2^{t/\text{DT}}$$

Los equivalentes entre t, SUR y DT son:

$$t = \frac{26.05766891}{\text{SUR}} = 1.442695041 \text{ DT}$$

En donde t y DT están expresados en segundos y SUR⁻¹ en min.

A manera de ejemplo supongamos que tenemos 500 neutrones en un tiempo cero. Cual será la población neutrónica en un tiempo de 20 segundos, si el periodo de reactor es 2 segundos?.

Utilizando la formula $N(t) = N_0 e^{t/T}$ tendremos:

$$N = 500 e^{20/2} = 11,013,232.90 \text{ neutrones}$$

Utilizando la ecuación $N = N_0 10^{\text{SUR}(T)}$ tendremos:

$$N = 500 (10)^{(26.05766891/2)(0.33333)}$$

$$N = 11,013,232.88 \text{ neutrones}$$

Note que $\text{SUR} = \frac{26.05766891}{2} \text{ min}^{-1}$. y $t = 0.33333 \text{ min}$.

comprobemos ahora la ecuación $N = N_0 2^{t/DT}$

$$N = 500 (2)^{20/(2/1.4442695041)} = 11,013,232.91 \text{ neutrones}$$

$$\text{obsérvese que } DT = \frac{2}{1.442695041}$$

Ahora supongamos que K es ligeramente mayor a 1, digamos 1.001, que todos los neutrones son rápidos, la vida promedio de los neutrones (L) es de 10^4 segundos. Como esperaríamos que se incrementara el nivel de potencia de nuestro reactor en el primer segundo? Bien, el periodo del reactor tiene un valor de:

$$\tau = \frac{L}{K - 1} = \frac{10^4}{(1.001 - 1)} = 0.1 \text{ seg.}$$

$$\text{entonces } N = N_0 e^{t/0.1} = N_0 (22,026.4658)$$

De acuerdo a este resultado, en el primer segundo después de haber cambiado de $K = 1$ a 1.001 , el flujo de neutrones será multiplicado $22,026.4658$ veces y el operador no tendrá oportunidad de hacer los cambios de reactividad pertinentes para controlar el reactor.

Sin embargo no todos los neutrones de fisión son pronto sino que existe una fracción de neutrones retardados (β) que es de 0.0065 y una fracción de neutrones pronto ($1 - \beta$) igual a 0.9935 . Entonces, si tenemos un número N_1 (0.9935) neutrones pronto y N_1 (0.0065) neutrones retardados. Al insertar reactividad positiva, el número de neutrones pronto aumentará (debido a que aparecen rápidamente) y el de neutrones retardados seguirá constante. Los neutrones pronto serán los primeros en multiplicarse y las generaciones subsecuentes de neutrones pronto (N_{pr}) seguirán la siguiente serie.

$$N_2 \text{ pr} = N_1 (0.9935) (K)$$

$$N_3 \text{ pr} = N_2 \text{ pr} (0.9935) (K) = N_1 (0.9935) (K) 0.9935 (K)$$

así sucesivamente de manera que

$$N_{npr} = N_1 ((0.9935) (K))^n$$

Donde n es el número de generaciones de neutrones pronto.

Si consideramos que el tiempo para que aparezcan los neutrones retardados es en promedio de un minuto, habrá $60/10 = 600,000$ generaciones de neutrones pronto antes de que se manifiesten los primeros neutrones retardados.

Ahora , ¿Que sucede si insertamos una reactividad mayor a β ? Bien, esto corresponde a una $K=1.0065425$. En este caso, según la ecuación anterior el número de neutrones pronto crecerá generación tras generación y el reactor se hará supercrítico únicamente con neutrones pronto y ocurrirá un caso similar al que consideramos que todos los neutrones producidos fuesen pronto. Cuando $\rho > \beta$ nos referimos indistintamente a supercriticidad pronto o criticidad pronto.

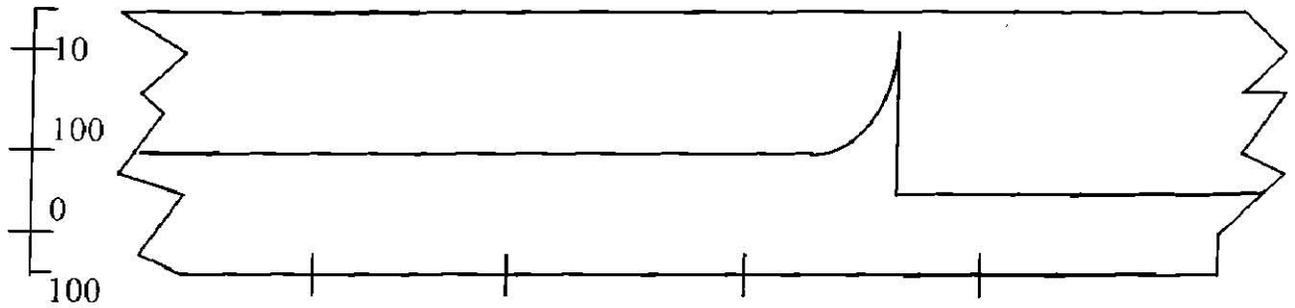
Cuando la reactividad insertada es menor a β , según la ecuación anterior, los neutrones pronto se irán acabando y es necesaria la contribución de los neutrones retardados para alcanzar la criticidad. En este caso se presenta una etapa en la cual, la población de neutrones (al igual que la potencia) experimenta un aumento rápido, debido a la súbita aparición de neutrones pronto. Esta etapa es transitoria, pues recuerde que los neutrones pronto se irán terminando y la potencia tenderá a bajar y lo hará hasta que aparezcan los conoce con el nombre de “salto inmediato”.

Por lo anterior, deberá tenerse cuidado de que las reactividades insertadas no rebase en magnitud a β .

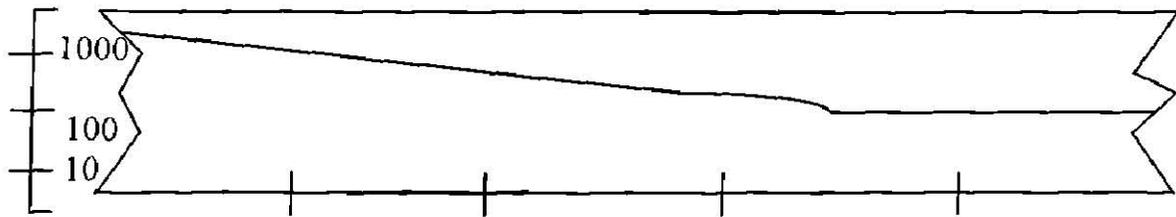
Debido a la existencia de neutrones retardados, el tiempo de vida promedio del neutrón en cada generación se hace mas grande y por lo tanto el período de reactor se alarga. En un reactor BWR el valor mínimo del periodo esta entre 20 y 30 segundos, lo cual permite al operador manipular el sistema de control hasta llevar el nivel de potencia al punto deseado.

El comportamiento en el cambio del nivel de potencia y del período dependerá de como sea la forma que hagamos el cambio en la reactividad.

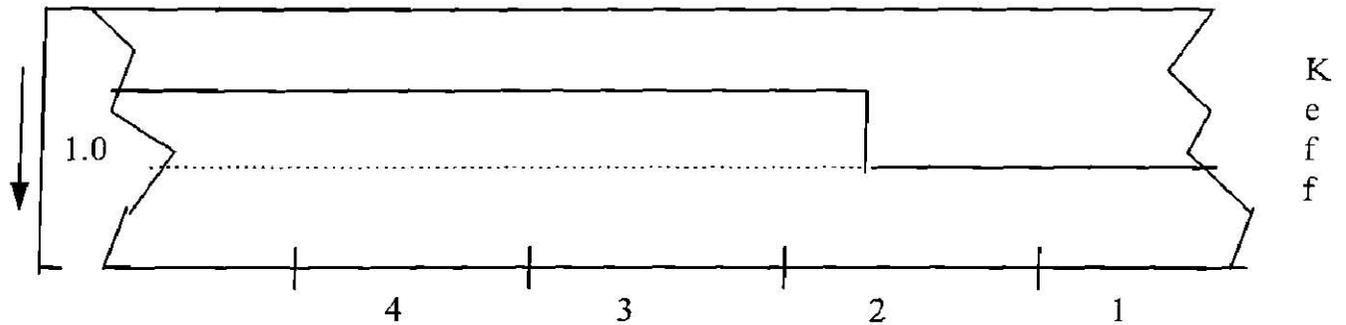
Consideremos que insertamos reactividad súbitamente en escalón para aumentar el nivel de potencia como en la siguiente figura.



(b) Periodo



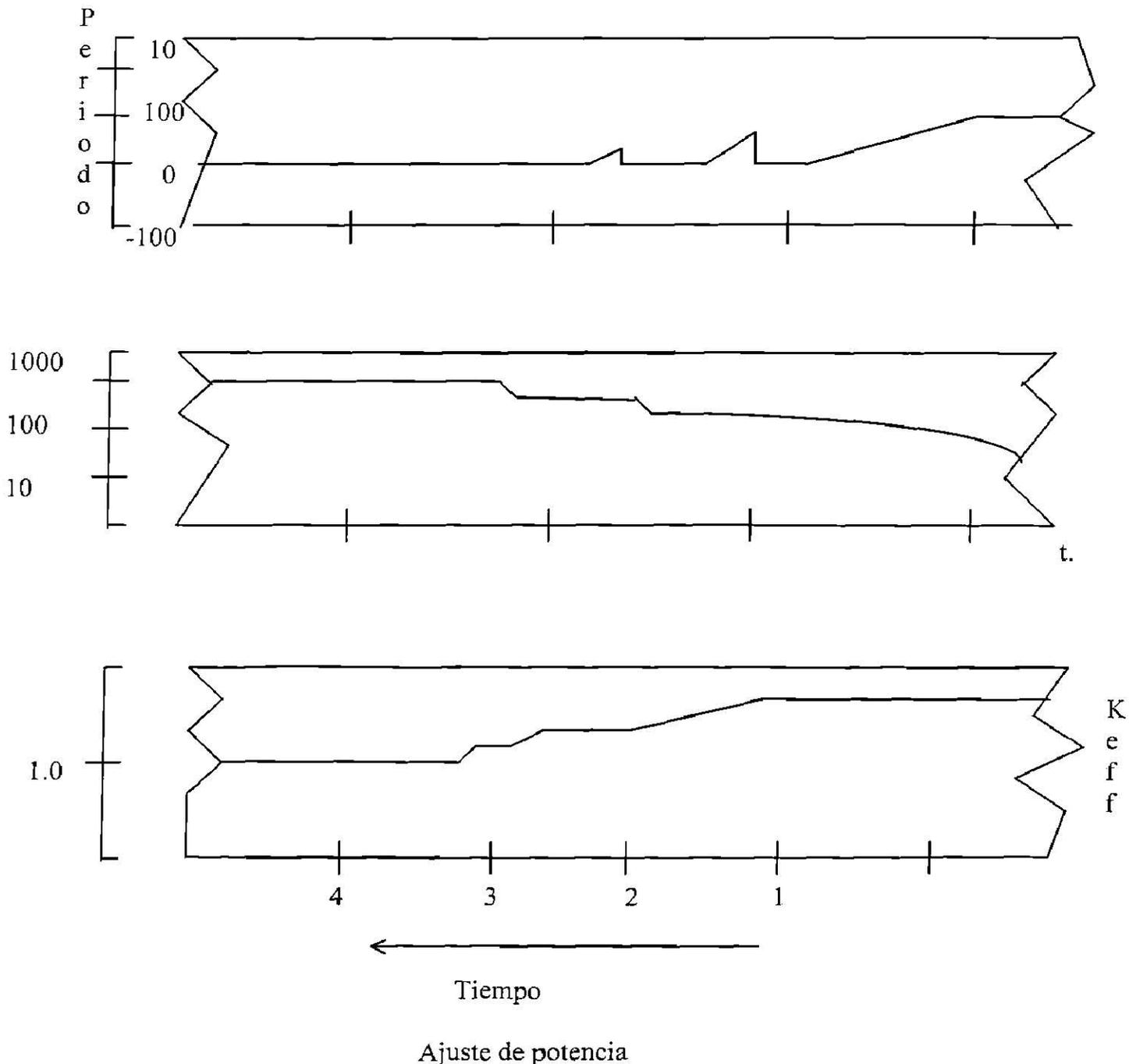
(a) Nivel de potencia

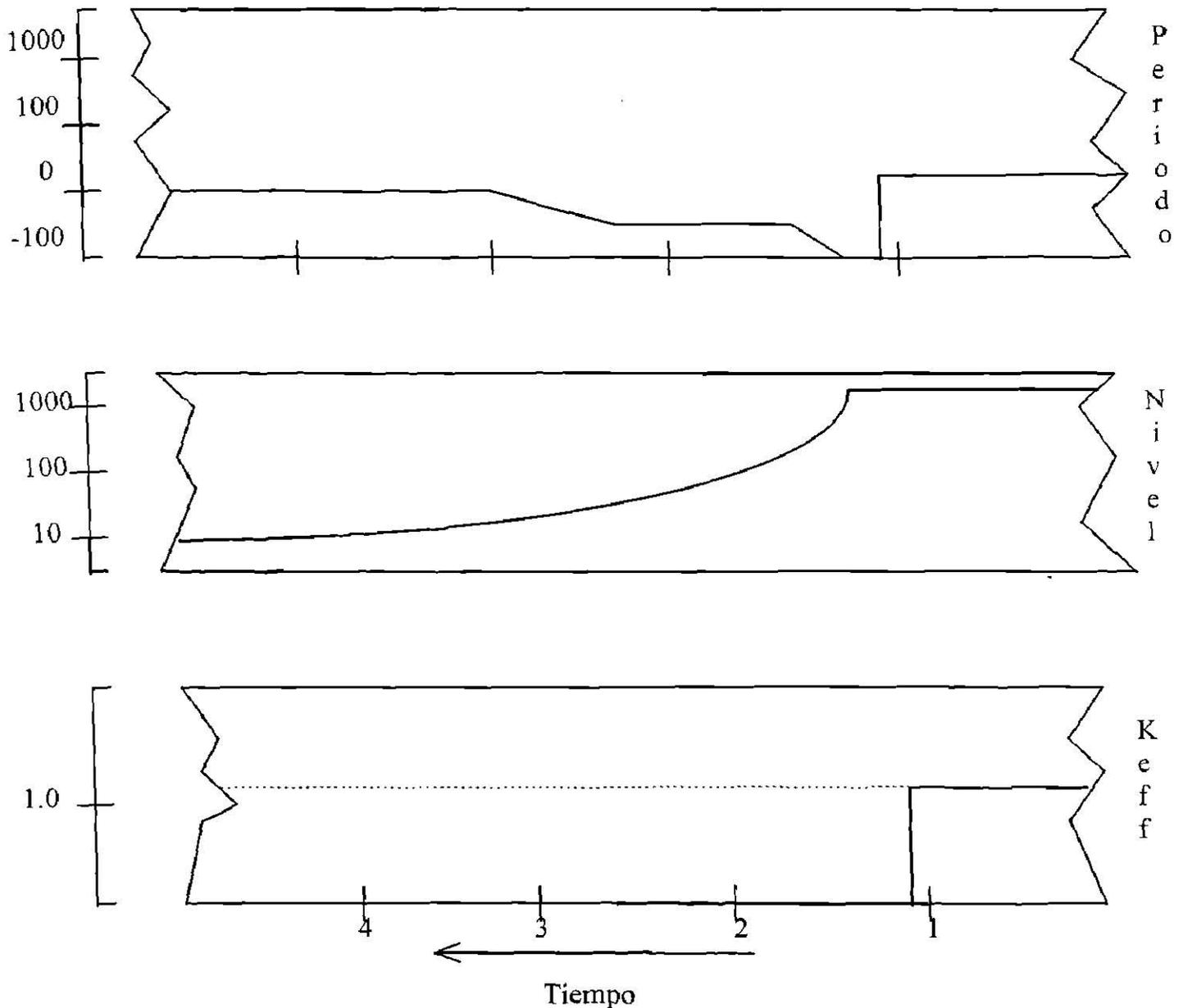


Respuesta del reactor a la inserción de reactividad

Inmediatamente después de la inserción, se representara un brinco pronto, seguido a esto se estabilizara el valor de K_{eff} y el período tomara un valor positivo y estable. La potencia del reactor crecerá exponencialmente según la ecuación. Cuando la potencia se acerca al nivel requerido, tenemos que frenar su crecimiento, para esto, habrá que extraer reactividad positiva, Haciendo que K_{eff} se acerque mas a uno del lado supercrítico (Hacer menos supercrítico el reactor) con lo que el nivel de potencia crecerá menos rápido y el periodo ira tomando valores correspondientes a K_{eff} . Si continuamos acercándonos a $K_{eff} = 1$, el nivel de potencia seguirá creciendo menos rápido hasta el momento en que $K_{eff} = 1$, con lo que el periodo tomara el valor de infinito. En ese momento, el nivel de potencia se estabiliza en un valor mayor al que teníamos en un principio.

Veamos ahora lo que sucede al parar el reactor mediante una inserción súbita de reactividad negativa, que ocurre cuando hay un SCRAM (Safety Control Rod Automatic Motion). Es decir, cuando por condiciones de seguridad el sistema de manejo de barras de control actúa automáticamente. Supongamos que estamos trabajando con $K_{eff} = 1$, por consiguiente, al nivel de potencia es estable y $\tau = \infty$ y se presenta un SCRAM, K_{eff} se hace menor a uno, y el periodo toma valores mas negativos que los que corresponderá al valor de K_{eff} , el nivel de potencia bajara hasta que tome el valor determinado por la ecuación de multiplicación subcrítica, seguido a esto, el valor de el periodo tomara un valor de infinito.





Apagado del reactor mediante un SCRAM.

EL REACTOR DE POTENCIA

Los reactores nucleares son diseñados para tener una $K_{eff} > 1$, lo que significa una masa supercrítica, y los llamados venenos quemables. Estos son materiales que tienen una gran sección eficaz de absorción pero que al absorber un neutrón dejan de tenerla.

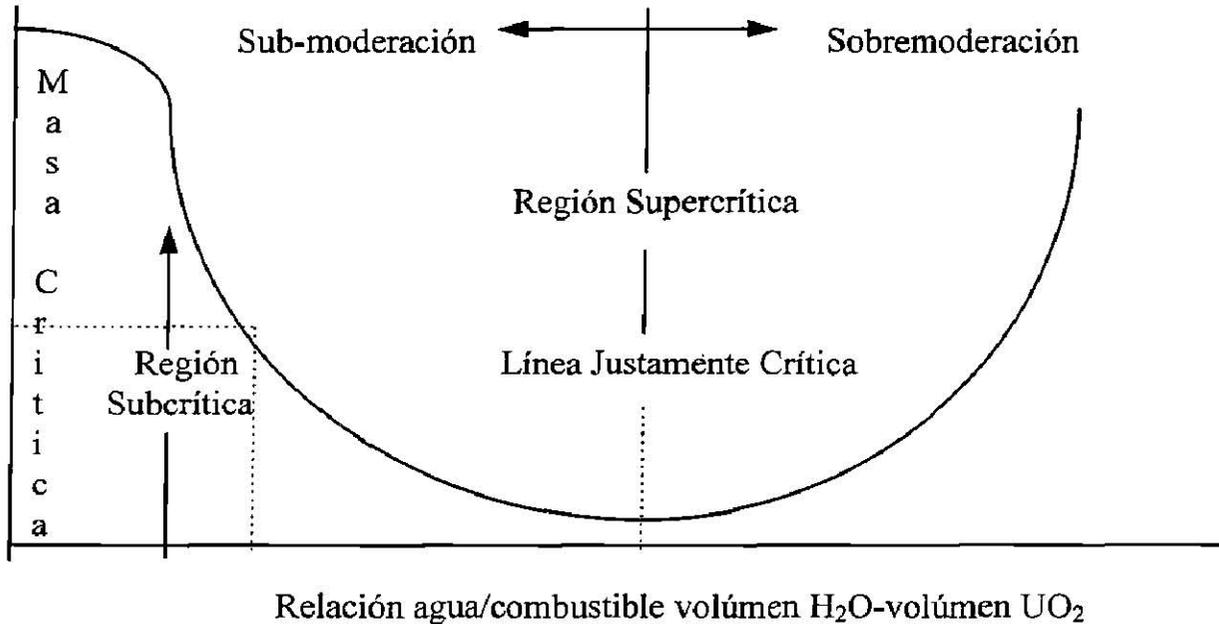
Cuando el reactor está apagado, el flujo de neutrones permanece constante en un nivel determinado por la multiplicación subcrítica. Cuando se quiere trabajar a potencia, habrá que extraer barras de control y llegar a un rango de baja potencia (o de calentamiento).

Seguido a esto, tendremos que llevar el reactor al rango de potencia. En este estado, se produce el calor suficiente para hacer cambios notables en las temperaturas tanto del moderador, combustible y materiales estructurales.

Como ya mencionamos anteriormente, la masa critica depende de la geometría, del moderador y combustible. Esta masa cambiará, si cambiamos algunos de los parámetros de diseño del reactor. Consideremos para facilidad de análisis un reactor homogéneo con una geometría constante. Si estuviese compuesto únicamente de combustible, para lograr criticidad sería necesaria una cierta cantidad de masa, conforme se va agregando agua debido a que hay mas moderación de neutrones, el núcleo se va haciendo más reactivo, necesitándose menos masa de combustible para tener criticidad.

Si seguimos aumentando la relación H_2O /combustible llegaremos a un punto en el cual el núcleo ya no será mas reactivo debido a que la sección eficaz microscópica de fisión del combustible baja considerablemente, entonces necesitaremos mas masa para hacer critico el reactor. A este punto le llamaremos punto optimo, debido a que necesitaremos menos masa para tener una reacción en cadena. Cuando la relación H_2O /combustible es menor que la óptima se dice que existe una submoderación, en caso contrario existe la sobremoderación.

Los reactores nucleares generalmente trabajan a la izquierda del punto óptimo. Siendo este el caso, al hacer la relación H_2O /combustible mas grande o más chica, estamos induciendo reactividad positiva o negativa respectivamente sin estar extrayendo o insertando barras de control. Ahora, ¿que pasaría si la temperatura del moderador cambiara? Al cambiar de temperatura el moderador, su densidad cambia. Al aumentar la temperatura la densidad del moderador disminuye y habría menos moderación y como consecuencia menos fisión.



Esto equivale a insertar reactividad negativa; si la temperatura disminuye la reactividad insertada será positiva.

Supongamos que estamos en $K=1.00$ y la temperatura del moderador aumenta, habrá menos fisiones y menos calor producido entonces disminuye la temperatura del moderador, habrá mas fisiones y subirá la temperatura del moderador.

Como podrá observar el efecto de la temperatura en el moderador tiende a dar reactividad negativa y positiva seguida la una de la otra, lo cual hace que la K_{eff} sea mas o menos estable.

En un reactor BWR, el agua se encuentra a una cierta temperatura y presión, parámetros que permiten haya formación de vapor. Si hay un cambio en la presión habrá un cambio en la temperatura, esto dará como consecuencia mayor o menor fracción de vacíos (volumen de vapor-volumen de la mezcla a agua más vapor).

Si disminuye la presión, aumenta la fracción de vacíos, con lo que, tanto la edad de Fermi como la longitud de difusión térmica aumentan y habrá mas fugas de neutrones, menos moderación y como consecuencia caeríamos en la subcriticidad. En caso contrario, al aumentar la presión, el reactor se haría supercrítico.

A medida que va fisionandose el combustible (aumenta su edad) la relación H₂O/combustible aumenta, con lo cual el núcleo se va haciendo menos reactivo, siendo esta razón por la que los reactores se diseñan con una K en exceso (ΔK) haber un cambio en algún parámetro existe un cambio en la reactividad y para efectos de física en el reactor, se han definido coeficientes de reactividad. Estos son cambios en la reactividad asociados a los cambios en algún parámetro del reactor y se pueden escribir como:

$$\alpha_p = \frac{dp}{dp}$$

$$\alpha_T = \frac{dp}{dT_m}$$

donde p es presión y T_m temperatura del moderador.

El coeficiente de reactividad por presión (dp/ dp) tiende a ser positivo su aumenta la presión y negativa en caso contrario.

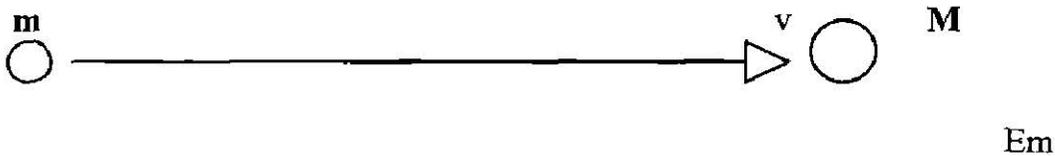
El coeficiente de reactividad por temperatura (dp/ dT_m) tiende a ser positivo si disminuye la temperatura y negativo en caso contrario.

EFEECTO DOOPLER

Existen energías específicas a las cuales los neutrones presentan una gran probabilidad de ser absorbidos por un núcleo blanco, llamadas energías de resonancia o simplemente resonancias.

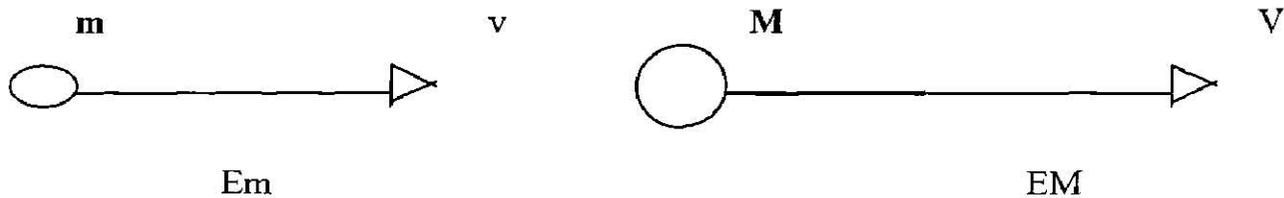
Estas gráficas están hechas considerando que los núcleos blancos están en reposo, pero como en realidad se mueven a una velocidad que depende de la temperatura del medio, existen energías relativas entre núcleos y neutrón incidente, lo cual afecta las probabilidades de captura en las resonancias.

Para comprender esto, veamos lo que es el efecto Doppler. Consideremos un cuerpo de masa m moviéndose en una dirección, de manera tal que este acercándose a otro cuerpo en reposo de masa M .



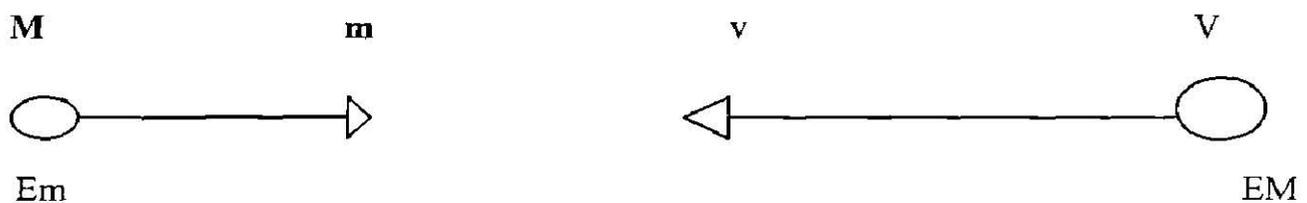
Movimiento de un cuerpo de masa m hacia otro de masa M en reposo.

Si el cuerpo **M** se mueve en el mismo sentido y dirección que **m**, el cuerpo de masa **m** se acerca al de masa **M** con una energía relativa de $E_r = E_m - E_M$.



Movimiento de dos cuerpos en la misma dirección y sentido.

Consideremos ahora que **M** se mueve en la misma dirección pero en sentido contrario que **m**. En este caso **m** se acercará a **M** con una energía relativa $E_r = E_m + E_M$.



Movimiento de dos cuerpos en la misma dirección pero en sentido contrario.

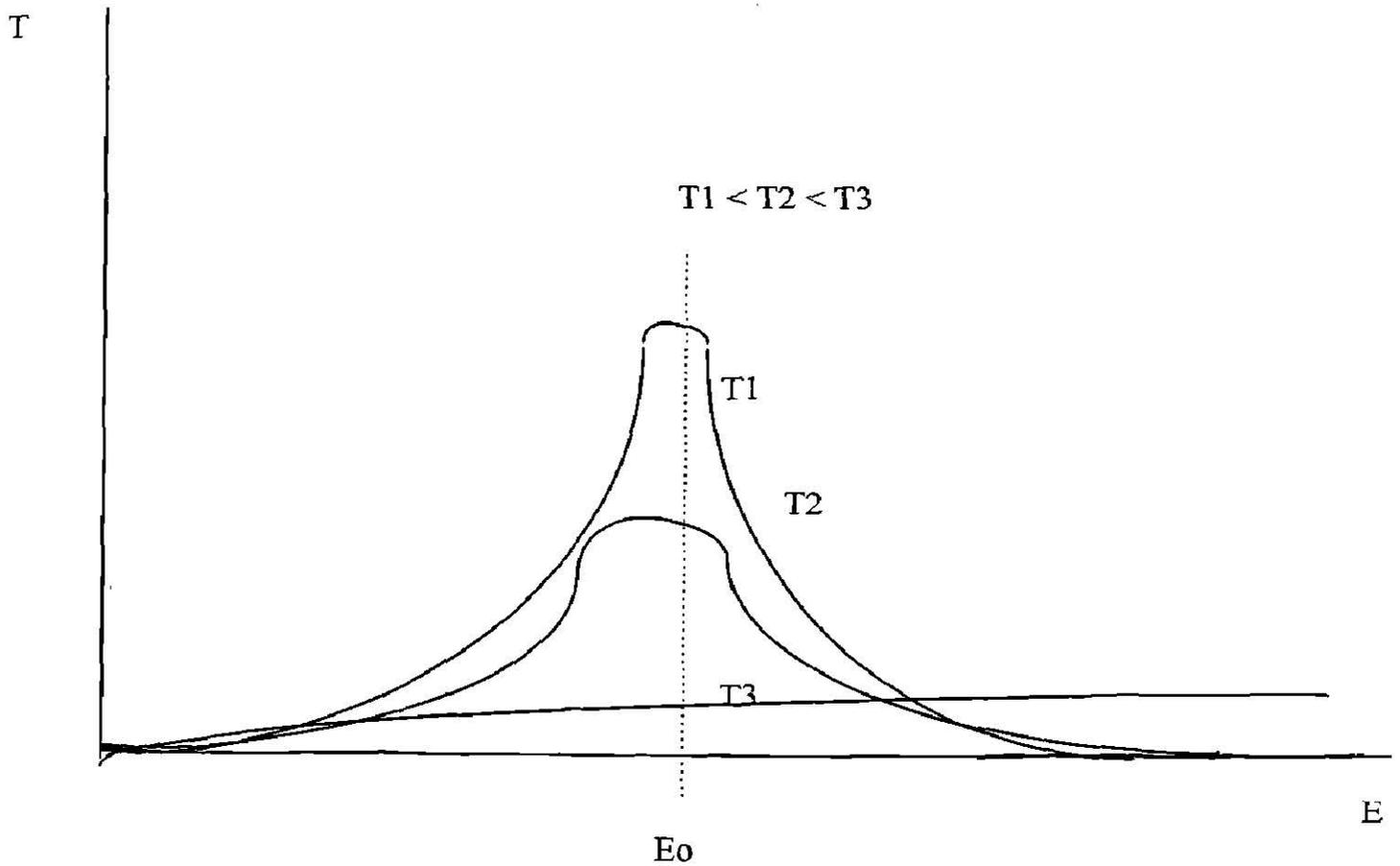
Estas consideraciones son bastantes simples, pues no hemos tomado en cuenta que las partículas blanco se puedan mover en otras direcciones y sentidos como sucede en los átomos de cualquier material que esta a una cierta temperatura.

Ahora analicemos desde este punto de vista que sucede cuando un neutrón se acerca a un núcleo que no está en reposo, supongamos que estamos parados en el núcleo blanco, entonces veríamos al neutrón acercándose variando su velocidad y por tanto su energía cinética. Esto permite que veamos al neutrón más veces con energía de resonancia, luego el neutrón tiene más probabilidad de ser absorbidos y las resonancias del material blanco se ensancharán.

Cuando la temperatura del combustible aumenta, éste capturará más neutrones en la zona de resonancia, y como la mayoría de estas absorciones son el Uranio-238, esto equivale a insertar reactividad negativa. Existiendo un coeficiente de reactividad por efecto Doppler (dp / dD) el cual es negativo cuando aumenta la temperatura del combustible.

VALORES DE BARRA

Los cambios mas substanciales en la reactividad del reactor se hacen mediante inserciones o extracciones de barra de control, las cuales tendrán mayor o menor valor. Entendiendo como valor de barra a la capacidad de la barra de absorber neutrones de acuerdo a su posición y temperatura.

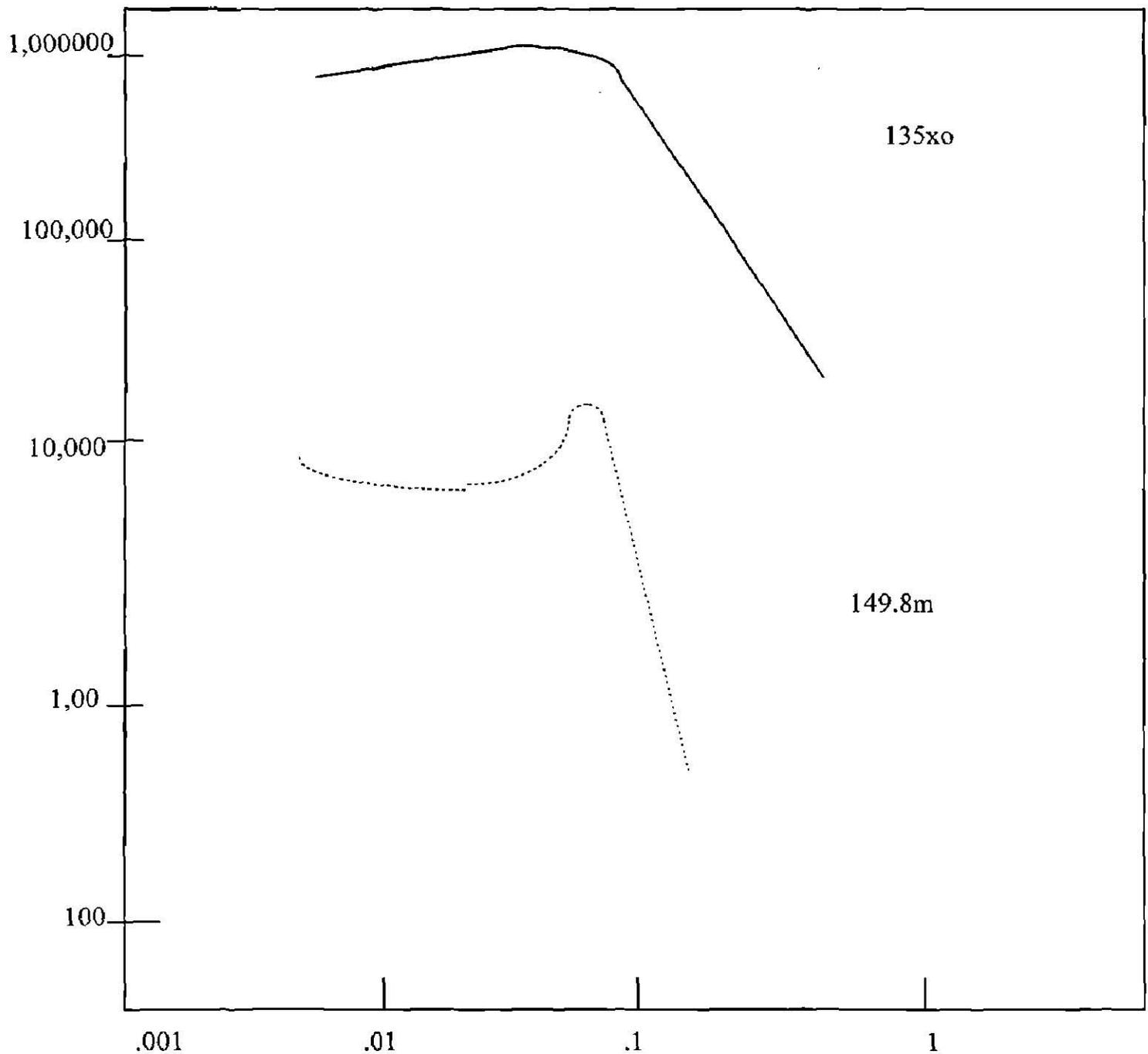


Representación gráfica de el ensanchamiento de la sección eficaz en función de la energía y la temperatura.

VENENOS PRODUCTOS DE FISIÓN

Ciertos productos de fisión tienen una gran sección eficaz de absorción para neutrones térmicos. Casos particulares lo son el Xe^{135} y el Sm^{149}

La importancia de estos productos de fisión radica en que además de ser altamente absorbedores de neutrones tienen un alto porcentaje de producción por fisión.



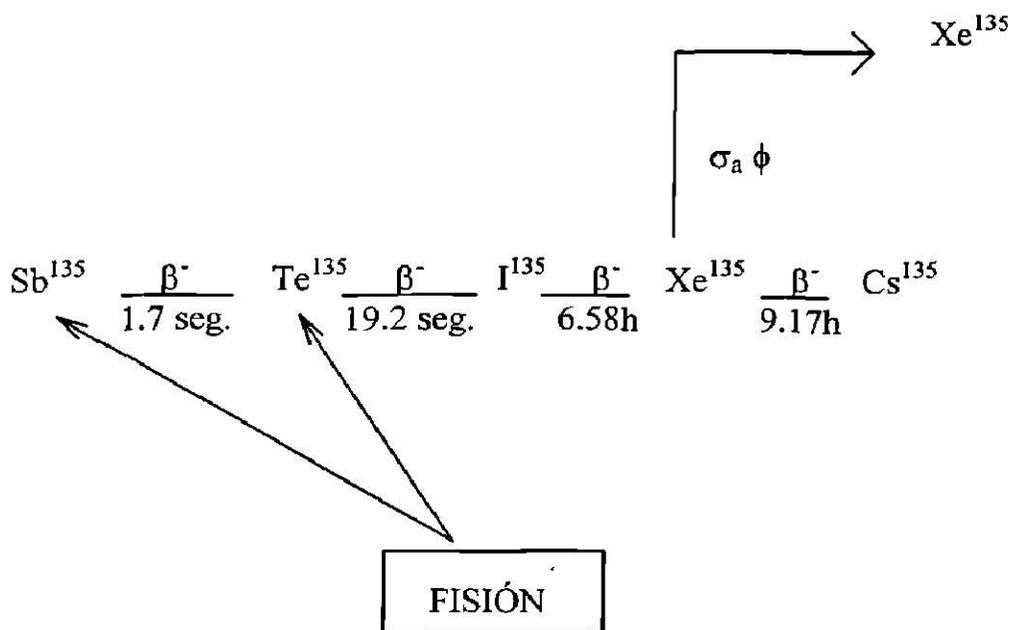
La presencia de tales productos de fisión puede afectar apreciablemente al factor de multiplicación y por lo tanto la operación del reactor. Lo primero que afectan, dichos venenos es la utilización térmica pues si recuerda .

$$f = \frac{\Sigma a \text{ combustible}}{\Sigma a \text{ reactor}}$$

El termino $\Sigma a \text{ reactor}$ se incrementara con la presencia de los venenos, f se hará mas pequeño y K decrecerá.

EL XENÓN COMO VENENO PRODUCTO DE FISIÓN

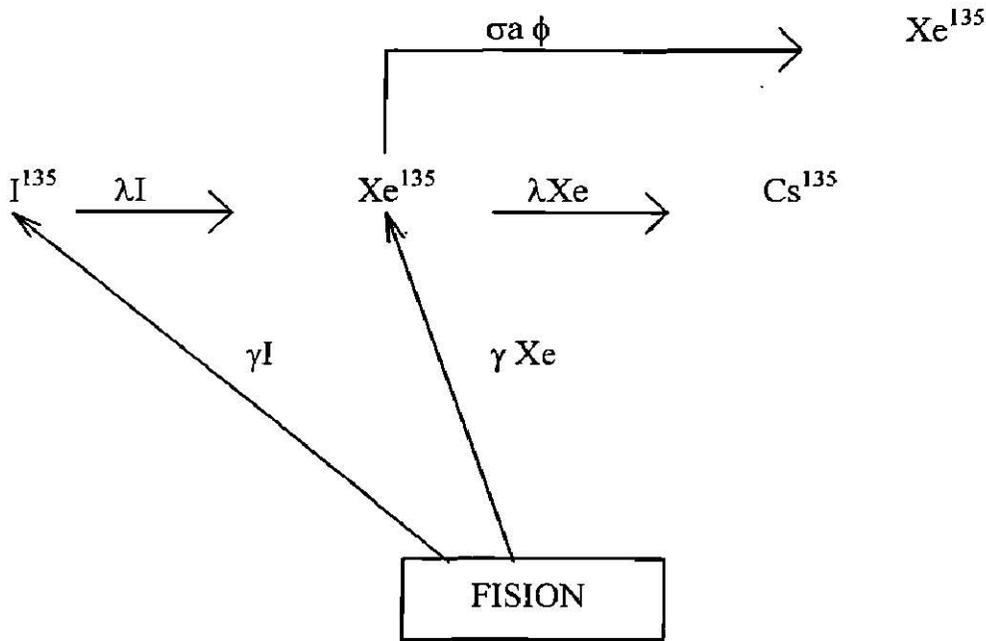
El Xe^{135} es el veneno producto de fisión más importante debido a su gran sección eficaz de absorción y su producción por fisión relativamente alta. El Xe^{135} se puede producir no solo directamente de la fisión, sino que también resulta del decaimiento β^- del Sb^{135} . En la siguiente figura se muestra una porción de las producciones de Xe^{135} en un reactor nuclear.



Producción del Xenón-135

Este esquema puede simplificarse considerando que el decaimiento del Te^{135} al Xe^{135} es instantáneo (es decir el I^{135} se produce totalmente como fragmento y que el Cs^{135} para fines prácticos es estable).

El diagrama resultante para la producción de Xe^{135} se muestra en la siguiente figura.



donde:

- γI es la producción de Iodo por fisión.
- γXe es la producción del Xe por fisión.
- λI es la constante de decaimiento del I^{135} .
- λXe es la constante de decaimiento del Xe^{135} .

Simplificación de la producción del Xenón-135

En la tabla siguiente se dan valores para algunos parámetros involucrados en este balance.

T A B L A
PARÁMETROS DE LA FISIÓN DE U^{235} Y Pu^{239}

Producción por fisión	U^{235}	Pu^{239}	Constantes de decaimiento
γ_I (%)	6.386	6.100	$\lambda_I = 0.1035 \text{ hr}^{-1}$
γ_{Xe} (%)	0.228	1.087	$\lambda_{Xe} = 0.0753 \text{ hr}^{-1}$
γ_{Sm} (%)	1.13	1.9	$\lambda_p = 0.0128 \text{ hr}^{-1}$

Con esto, podemos escribir ecuaciones de razón de cambio acoplados con las cuales podemos conocer la concentración del Xe^{135} con respecto al tiempo entonces:

Para Iodo:

$$\frac{dI}{dt} = \gamma_I \Sigma f \phi \quad - \quad \lambda_I I$$

(directamente de fisión) (decaimiento del Iodo)

Para Xenón:

$$\frac{dX}{dt} = \gamma_X \Sigma f \phi \quad - \quad \lambda_I I \quad - \quad \lambda_X X \quad - \quad \sigma_a^X \phi X$$

directamente de fisión decaimiento del Iodo decaimiento del Xenón absorción del Xenón

Lo más importante para operación es conocer concentraciones de equilibrio ($d/dt = 0$) estas son:

Para Iodo:

$$I_{\text{equilibrio}} = \frac{\gamma_I \Sigma f \phi}{\lambda_I}$$

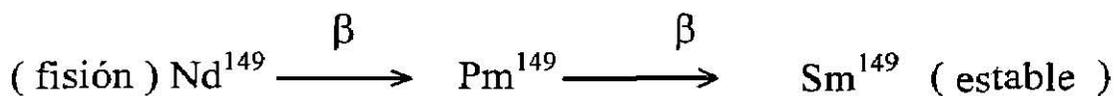
Para Xenón:

$$\text{Xe equilibrio} = \frac{(\gamma_I + \gamma_{xe}) \Sigma f \phi}{\lambda_{xe} + \sigma a^{xe} \phi}$$

Como podrá observar, después de un SCRAM habrá que esperar un tiempo de aproximadamente 72 horas, para volver a operar, debido a la gran reactividad negativa proporcionada por el Xe^{135}

EL SAMARIO CON VENENO

Podemos hacer un análisis similar al de Xe^{135} para el Sm^{149} , ya que también tiene una gran sección eficaz de absorción.



Sus correspondientes ecuaciones de razón de cambio son:

Prometio:

$$\frac{dP}{dt} = \gamma_p \Sigma f \phi - \lambda_p P$$

Samario:

$$\frac{dS}{dt} = \lambda_p P - \sigma a^s \phi S$$

Donde:

P = concentración de prometio
S = concentración de samario

La concentración de equilibrio es:

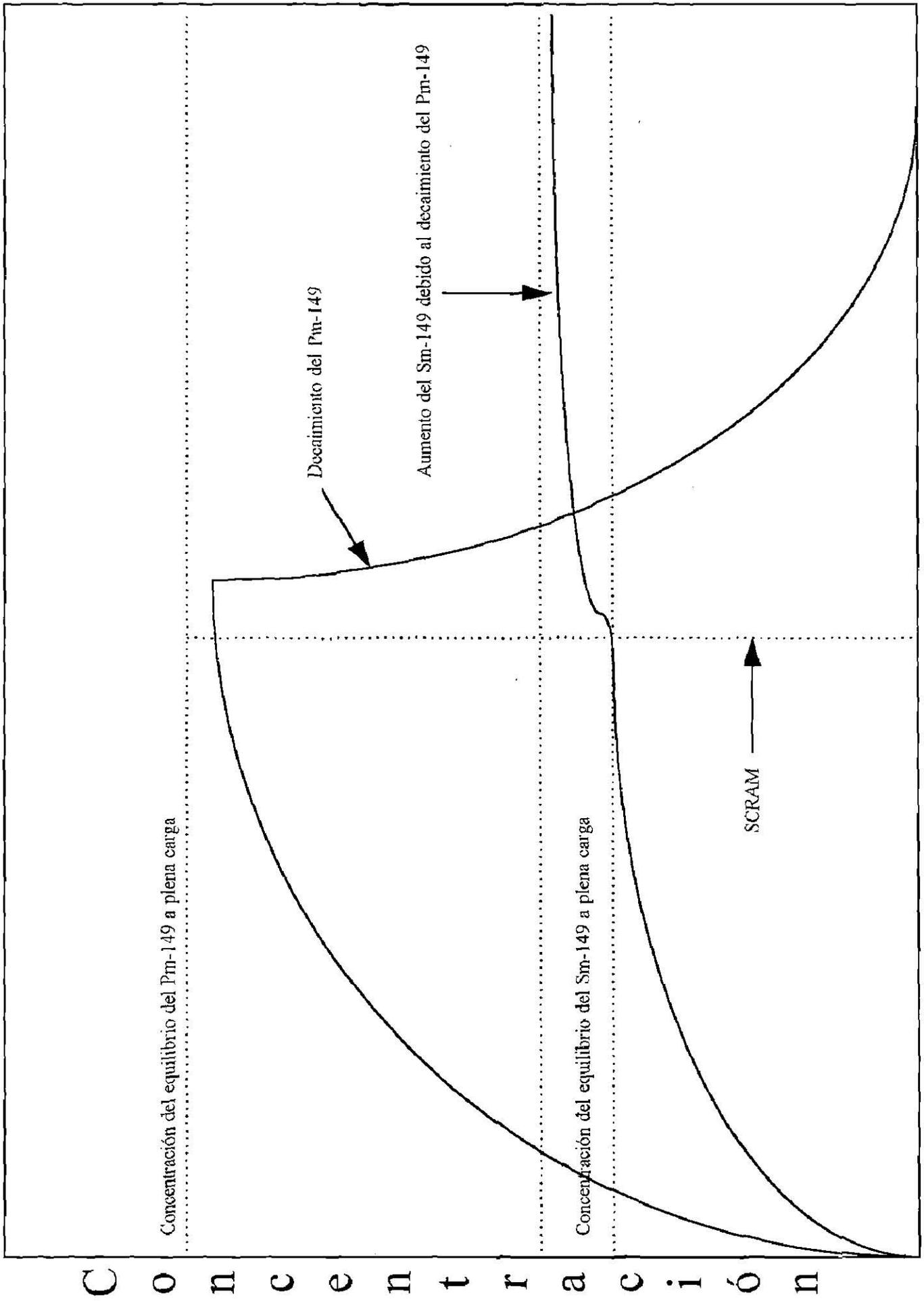
$$P \text{ equilibrio} = \frac{\gamma_p \Sigma f \phi}{\lambda_p}$$

$$S \text{ equilibrio} = \frac{(\gamma_p + \gamma_{sm}) \Sigma f}{\sigma a^{sm}}$$

La concentración de equilibrio del Sm^{149} se logra después de un tiempo aproximado de 3 semanas de operación.

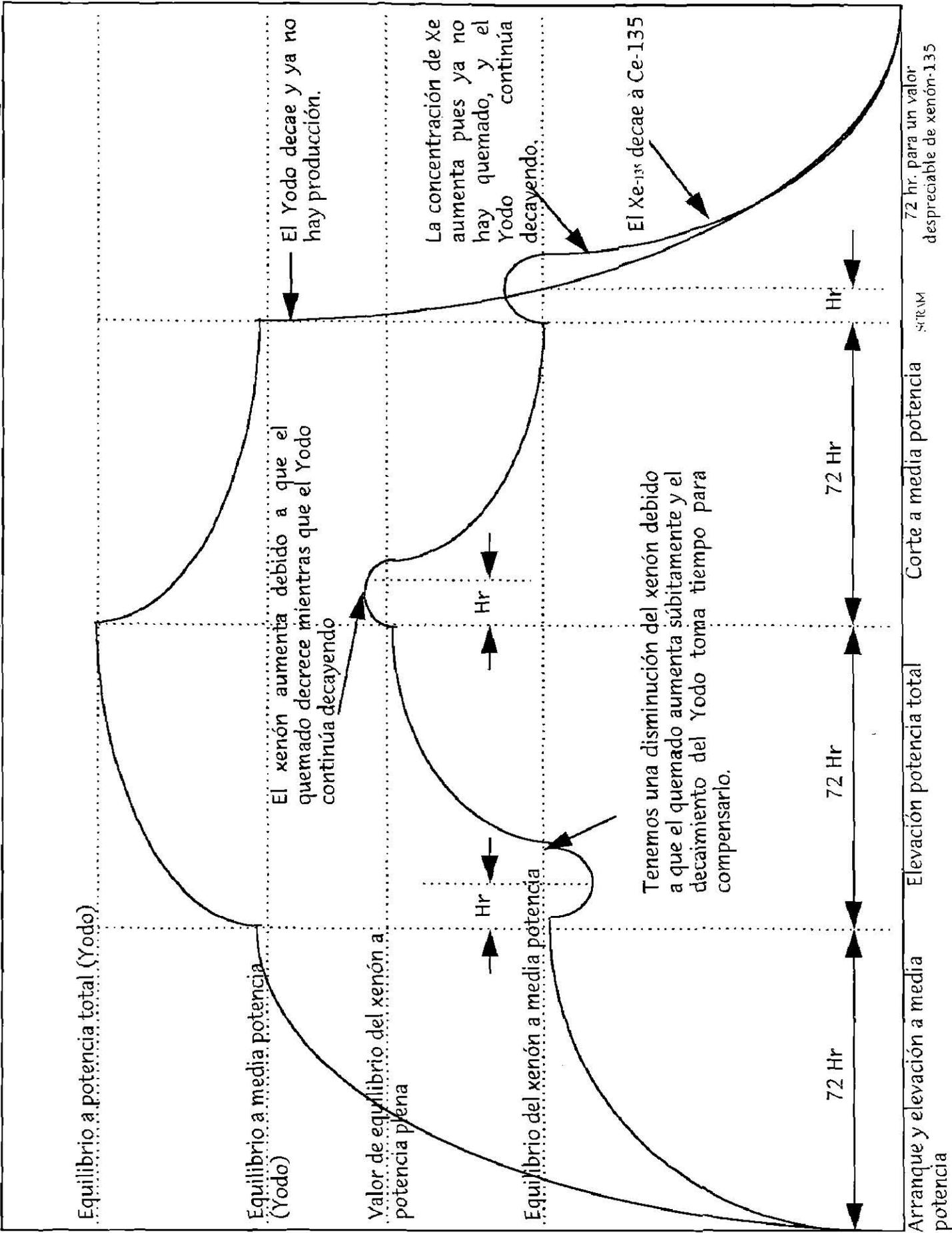
Después de apagado el reactor y de esperar a que decaiga el Xe^{135} únicamente quedara la reactividad negativa proporcionada por el samario.

Comportamiento del Prometio-149 y Samario-149 a plena carga



Comportamiento del Yodo-135 y Xenón-135 a cambios de potencia

Concentración



T
T
.
C
C