



CALCULOS NEUTRONICOS PARA LA INTRODUCCION DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES
CON PLUTONIO EN LA CNA.

CARLA NOTARI DE PERL

C. Notari

Departamento de Reactores

Comisión Nacional de Energía Atómica

I. INTRODUCCION.

El estudio de la factibilidad, desde el punto de vista neutrónico, de introducir elementos combustibles enriquecidos con plutonio en la CNA, se inició tomando como referencia un análisis preliminar realizado en 1975 en KWU(1).

Dado que el elemento enriquecido con plutonio conduce a la consideración de densidades de potencia mayores que en el caso de uranio natural, se debería en principio, proceder a la modificación de las toberas de estrangulamiento de los canales refrigerantes que habrán de alojar a dichos elementos. Sin embargo se decidió que el primer análisis tomara en cuenta la posibilidad de no modificar las toberas y restringir el rango de enriquecimientos considerado. Esta condición es, como se verá, sumamente restrictiva, pero permitiría pasar del núcleo actual al enriquecido sin parar la central por un período largo.

El tipo de enriquecimiento del que se habla aquí es el que se menciona en la literatura como "spiking", lo cual significa concentrar el plutonio en algunos elementos en lugar de enriquecer uniformemente el núcleo. Se trata de que estos elementos enriquecidos permitan aumentar el tiempo de residencia de todos los elementos en el reactor, aumentando el quemado medio de extracción.

En definitiva el análisis económico dirá si el mayor costo de fabricación del combustible con plutonio se ve compensado por la mejor utilización del combustible en conjunto.

II. CALCULOS DE CELDA.

En los cálculos de celda se han utilizado los códigos COCAP(2) y WIMS(3). Con ambos programas se está llevando a cabo en forma paralela una contrastación con resultados experimentales y cálculos alternativos de celdas enriquecidas con plutonio. La comparación incluye parámetros de celda, laplacianas y composiciones isotópicas de combustible irradiado. Los resultados obtenidos hasta el presente en este análisis, muestran un

mayor acuerdo de WIMS con los resultados experimentales, ya sea en el cálculo de las concentraciones isotópicas durante la irradiación del combustible NPD(4), como en la predicción de laplacianas en redes con contenido de plutonio.

Sin embargo los resultados de COCAP pueden considerarse satisfactorios y en general se conoce el efecto en los resultados de las principales aproximaciones del modelo. A título de ejemplo puede verse en la Fig.1 el cálculo con ambos códigos de la sección eficaz del Pu-240 en el rango de energía que va entre 0.625ev. y 6.42ev. y que incluye la resonancia de este isótopo en lev.(celda de BRUCE-A). Los valores de WIMS, que se consideran mejores, entre otras razones porque esta resonancia se incluye en el cálculo térmico detallado, son apreciablemente mayores lo cual justifica la sobreestimación de Pu-240 y subestimación de Pu-241 que se observa en COCAP.

Introduciendo esta corrección en un caso tipo de los analizados para el estudio de redes con plutonio se ve que la discrepancia de COCAP con el valor de laplaciana medido se reduce de 7% a 4% por exceso. La discrepancia de WIMS es en este mismo caso de 3% por defecto.

Para los cálculos de celda se consideró una composición isotópica del plutonio igual a: $239/240/241/242 = 67.1/26.7/4.9/1.3$ (porcentajes en peso). Esto corresponde al combustible de Atucha irradiado a 6000 Mw día/ton. En el estudio alemán, se muestran curvas de distribución de densidades de potencia en función del quemado para un enriquecimiento de 3.2% y con una distribución de enriquecimiento en los anillos igual a 1.37/ 1.24/ 0.68, (enriquecimiento del anillo respecto del valor medio, de adentro hacia afuera). El autor descarta enriquecimientos mayores para no superar el máximo valor admitido de factor de forma (1.12) en ningún punto de la evolución.

Estos cálculos se repitieron con los códigos WIMS y COCAP, con los resultados que se muestran en la Fig. 2. Nuestros códigos predicen valores superiores de factor de forma; en particular el valor 1.12 considerado como cota superior es sobrepasado en un rango apreciable de quemados. En líneas generales, las curvas de COCAP y WIMS se asemejan más entre sí que con las del informe de KWU.

Para enriquecimientos menores a 2% todos los valores se mantienen por debajo de la cota 1.12 a lo largo de la evolución.

Sin embargo en nuestro caso no es el factor de forma el que determina el

enriquecimiento máximo ya que al no reemplazar las toberas, el comportamiento termohidráulico del elemento con plutonio impone condiciones mucho más restrictivas.

III. CALCULOS DE REACTOR.

Se representó el reactor de la CNA en geometría cilíndrica utilizando el código EQUIPOISE(5). Se supuso un quemado promedio del núcleo de 3000 Mw día/ton. Se calcularon los perfiles de flujo en el plano medio del reactor en estas condiciones y también reemplazando una corona externa del núcleo por una zona enriquecida con plutonio al 1%, 2% y 3.2%. El ancho de la corona corresponde a reemplazar los 42 elementos más periféricos del núcleo. En la Fig. 3 se muestra como varían los perfiles mencionados. En la misma figura se da la curva obtenida con el código PUMA(6), para el caso sin plutonio. Este código permite una representación tridimensional del reactor, canal por canal. En el círculo se han incluido las barras de control.

Los resultados de EQUIPOISE indican que los factores de aumento de la densidad de potencia en la corona exterior son: 2.9(1%), 3.9(2%), 4.5(3.2%). Los elementos considerados tienen toberas de estrangulamiento del tipo 1 y 2, es decir de los caudales menores. En este caso los cálculos termohidráulicos indican(7), que un aumento de la potencia en un factor 3 conduce a tenores de vapor a la salida del canal entre 20 y 30% lo cual es inadmisibles. Esto significa que para salvar los riesgos termohidráulicos hay que considerar bajos enriquecimientos que conduzcan a tenores de vapor del orden de 10% y luego pasar a analizar el comportamiento neutrónico del elemento con este tenor de vapor.

Dada la simplicidad del modelo de reactor utilizado, estos resultados considerados solo indicativos, se verificaron con el código PUMA, que como se dijo arriba, permite un tratamiento más realista del núcleo. En particular es posible reemplazar canales aislados por elementos con plutonio.

Se hizo un primer cálculo representando 1/3 del núcleo de la CNA (Fig.4), con un quemado uniforme y se reemplazó un elemento periférico (el n° 69) por otro conteniendo 1% de plutonio. Se obtuvo de esta manera un aumento de la potencia total generada por el canal en un factor 2.4 y de los elementos próximos más afectados en un factor 1.2. Este resultado es coherente con el ya obtenido con EQUIPOISE. La potencia específica lineal aumenta de

190 w/cm a 450 w/cm.

El paso siguiente consistió en simular el núcleo de Atucha, asignando a cada combustible un quemado típico de la situación de equilibrio y reemplazando algunos elementos periféricos por otros con 1% de plutonio. Primeramente se reemplazó el elemento n° 66, obteniéndose en aumento de la potencia lineal de 196 w/cm a 526 w/cm. Luego se agregó el elemento n° 72 cuya potencia aumentó de 150 w/cm a 415 w/cm. Finalmente se ubicaron 39 elementos con plutonio en la zona periférica con toberas del tipo 1,2,3 y 4 resultando en muchos casos densidades lineales de potencia superiores al límite de diseño (600 w/cm).

Estos resultados confirman las predicciones del modelo simple, centrando el problema en el hecho de que aún a bajos enriquecimientos se trabajaría muy cerca y en algunos casos por encima de la potencia lineal máxima que se admite para el diseño actual del elemento combustible, hecho este que no se menciona en el informe alemán.

REFERENCIAS.

- (1). H. RAUM, "PU SPIKES IN CNA", KWU1975.
- (2). COCAP, INFORME TECNICO CNEA-Re-CA76-1
- (3). WIMS-D, AEEW-R538, 1967.
- (4). INFORME TECNICO CNEA-Re-CA80-10
- (5). EQUIPOISE ORNL-3199, TID-4500, 1962.
- (6). A. GALIA, COMUNICACION PERSONAL
- (7). C. GRANT, CNEA-Re 163, 1980.

