

INFLUENCIA DE VARIACIONES EN LA ESTRATEGIA DE RECAMBIO SOBRE EL
CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN LA CENTRAL NUCLEAR DE EMBALSE

J.M.FINK* y J.I.SIDELNIK**

* C.N.E.A. CENTRAL NUCLEAR EMBALSE

** C.N.E.A. GERENCIA DE INGENIERIA

1- INTRODUCCION

En la Central de Embalse el esquema previsto de recambio de combustible es axial, bidireccional, cambiando ocho manojos por operación. Los canales se dividen en dos zonas de distinto quemado medio. La zona interna tiene un valor tal que el flujo sea aproximadamente plano en el sentido radial. El radio de esa zona y el quemado medio de la zona externa quedan determinados por la condición de criticidad y el factor de forma deseado.

Este trabajo estudia, por medio de un modelo simplificado, los efectos de aumentar el número de zonas de recambio, optimizando además las irradiaciones de salida de las mismas de manera de minimizar el consumo de combustible. Para los casos analizados se estudió también la variación del consumo con el factor de forma y el efecto de las barras ajustadoras que contribuyen al aplanamiento de la distribución de flujo.

El reactor se simula con un programa unidimensional en geometría cilíndrica a dos grupos de energía donde cada zona de recambio se representa como una región homogénea cuyas secciones eficaces son promediadas entre cero y la irradiación de salida. Las barras ajustadoras se simulan con un $\Delta \Sigma_{a2}$ calculadas de manera que la reactividad para el caso nominal sea similar a la real. No se simulan otros elementos de control.

Se programó el código OPTIM que realiza el cálculo de reactor acoplado a un método de optimización por gradientes que busca el conjunto de irradiaciones de salida para cada zona de recambio que minimiza el consumo de combustible, cumpliendo con un valor de exceso de reactividad (correspondiente a elementos de control y estructurales no representados en el modelo) y sin exceder un factor de forma prefijado.

Finalmente se presentan para el caso de la Central de Embalse los resultados obtenidos para estrategias con distintos números de zonas de recambio y casos con y sin barras ajustadoras.

2- MÉTODOS DE CÁLCULO USADOS

2.1. Cálculo de Reactor

El cálculo de reactor se realiza utilizando teoría de difusión a dos grupos de energía y en geometría cilíndrica unidimensional. El reactor se representa con un modelo simplificado con varias zonas

anulares homogéneas de combustible y la mas externa de reflector.

En algunas zonas se pueden definir secciones eficaces de absorción térmica para simular barras de control.

Cada zona homogénea de combustible representa un conjunto de canales con irradiación media de salida constante y por eso se llama también zonas de quemado. Se hace la hipótesis de carga bidireccional continua que supone que el combustible se mueve a velocidad constante dentro del canal y a cada zona de quemado se le asigna secciones eficaces promediadas entre cero y la irradiación de salida calculadas con el código POWDERPUFS-V.

Para el cálculo del reactor se programó un método de resolución analítica siguiendo las ideas de la ref.1. Dado un conjunto de irradiaciones de salida para cada zona de quemado el programa varia una prefijada de ellas hasta que el sistema tiene un k efectivo dado como dato y luego calcula las distribuciones de flujo y potencia. De ellas se obtiene el quemado medio de salida que se optimiza en la etapa siguiente.

2.2. Método de Optimización

El cálculo del reactor mencionado en 2.1. se acopló a un método para buscar las irradiaciones de salida optimas para cada zona de quemado que minimiza el consumo de combustible con las condiciones que el k efectivo sea un valor prefijado y que el factor de forma no supere un cierto valor.

$$\bar{Q}(w_i) \text{ Maximo} \quad 1 \leq i \leq n \quad 2.2.1.$$

$$k_e(w_i) = K_0 \quad 2.2.2.$$

$$F(w_i) \leq F_0 \quad 2.2.3.$$

La última desigualdad opera en la práctica como si fuera una igualdad.

Se probó un método simple de optimización por gradientes que opera de la manera siguiente:

Se parte de un conjunto inicial de w_i . Se hace el cálculo de reactor que ya fuerza $k = k_0$ variando la irradiación de salida de una zona prefijada s. Con eso puede eliminarse la condición sobre el k y reducir el numero de variables independientes a n-1 quitando w_s que es determinada por el cálculo de reactor. Luego se estiman las componentes de los gradientes de $\bar{Q}$ y F en las direcciones de los w_i independientes.

De acuerdo con el valor de F el nuevo valor de w_i se obtiene moviendo el anterior una distancia fija Δw sobre el gradiente de $\bar{Q}$ o bien sobre la proyección del mismo en la superficie $F(w_i) = F_0$ según que F sea estrictamente menor o bien igual que F_0 . La condición para este último caso conviene relajarla de manera $|F(w_i) - F_0| \leq \Delta F$ para hacer más estable la convergencia.

Si el valor de F es mayor $F + F$ se trata de volver a la superficie $F = F$ en dirección contraria al gradiente de F .

Este método, aunque relativamente simple y susceptible de mejora, produce buenos resultados regulando los valores de ΔF y Δw especialmente en la primera etapa cuando se trata de acercar los valores de $\{w_i\}$ desde un punto alejado hasta un entorno del óptimo.

3- REPRESENTACION DEL REACTOR DE EMBALSE

La configuración de referencia del reactor se representó con un modelo unidimensional en geometría cilíndrica tratando que sea lo más parecida posible con modelos de cálculo mas detallados.

Para la zona interna de quemado (52 canales) se tomó un radio de 116.25 cm. y para la zona externa (328 canales) un radio de 314.27 cm. simplemente por conservación de areas y un espesor de reflector radial de 65 cm.

La zona de barras ajustadoras fue tomado como una zona central de 201.6 cm. de radio en la cual la sección eficaz macroscópica de absorción térmica se fijo en .0001 con lo cual se reproducía aproximadamente el valor en reactividad de 15 mk obtenidos con modelos detallados.

De esa manera se obtuvo para la configuración nominal con barras insertadas valores del k efectivo de 1.00497, maxima potencia de canal de 6321.5 kw, maxima potencia de manajo de 827.4 kw que se comparan con los valores siguientes provenientes de modelos más detallados (1.00003, 6527.789). Para el caso sin barras los valores son, $k = 1.02058$, maxima potencia de canal 8079 kw y maxima potencia de manajo de 1057.6 kw que se comparan con (1.01564, 8324, 1201).

La discrepancia de unos 5mk que se obtiene en k efectivo se debe a elementos no representados en el modelo (zonas liquidas y materiales estructurales) con una reactividad de aproximadamente ese valor.

4- RESULTADOS OBTENIDOS Y CONCLUSIONES

Los principales resultados se muestran en las figuras 1 y 2 que dan la variación de los quemados medios de salida de extracción con el factor de forma para los casos con y sin barras. El primer caso tiene interés para gestión de combustible y el segundo se incluyó sólo a efectos de comparación aunque puede ser válido para reactores CANDU que operan sólo con aplanamiento por quemado diferencial como en Bruce. Dadas las limitaciones de la representación del reactor los resultados de este estudio indican fundamentalmente tendencias pero son de interés ya que no hay muchos estudios de este tipo.

Se pueden hacer las siguientes observaciones:

- a) Se observa que el quemado medio de salida aumenta con el factor de forma, como en de esperar, pero ese aumento es mucho más suave en el reactor con barras. En ambos casos, con y sin barras, se aprecia que existe un límite inferior para el factor de forma con dos zonas de quemado.
- b) En general se puede mejorar el quemado medio de extracción aumentando

do el numero de zonas de quemado. Ese aumento es, sin embargo, relativamente pequeño para el caso con barras y es mayor si el caso nominal tiene una depresión importante de flujo en el centro del reactor. En algunos casos se observa que para algunos rangos de factores de forma se obtiene un mejor quemado con menor numero de zona. Este efecto desaparece cambiando las ubicaciones de los radios, pero no se hizo el intento de optimizar los mismos.

- c) Para el factor de forma de Embalse, con barras, este modelo predice ganancias de quemado pequeñas aumentando el numero de zonas. Se debe tener en cuenta, sin embargo que, este modelo no describe bien el efecto de aplanamiento de las barras ya que estas se simulan como de la misma longitud del reactor y de la misma reactividad que las reales, cuando en realidad sólo afectan la zona central.

En el futuro se tratará de completar este estudio con un modelo tridimensional de $1/4$ de reactor que brinde una representación más cercana a la realidad.

5- REFERENCIAS

1. A PROCEDURE FOR THE ANALYTIC SOLUTION OF THE ONE-DIMENSIONAL TWO-GROUP DIFFUSION EQUATIONS IN CYLINDRICALLY SYMMETRIC MULTI-REGION REACTORS.

C.D. McKay A.E.C.L.-1307 May 1961

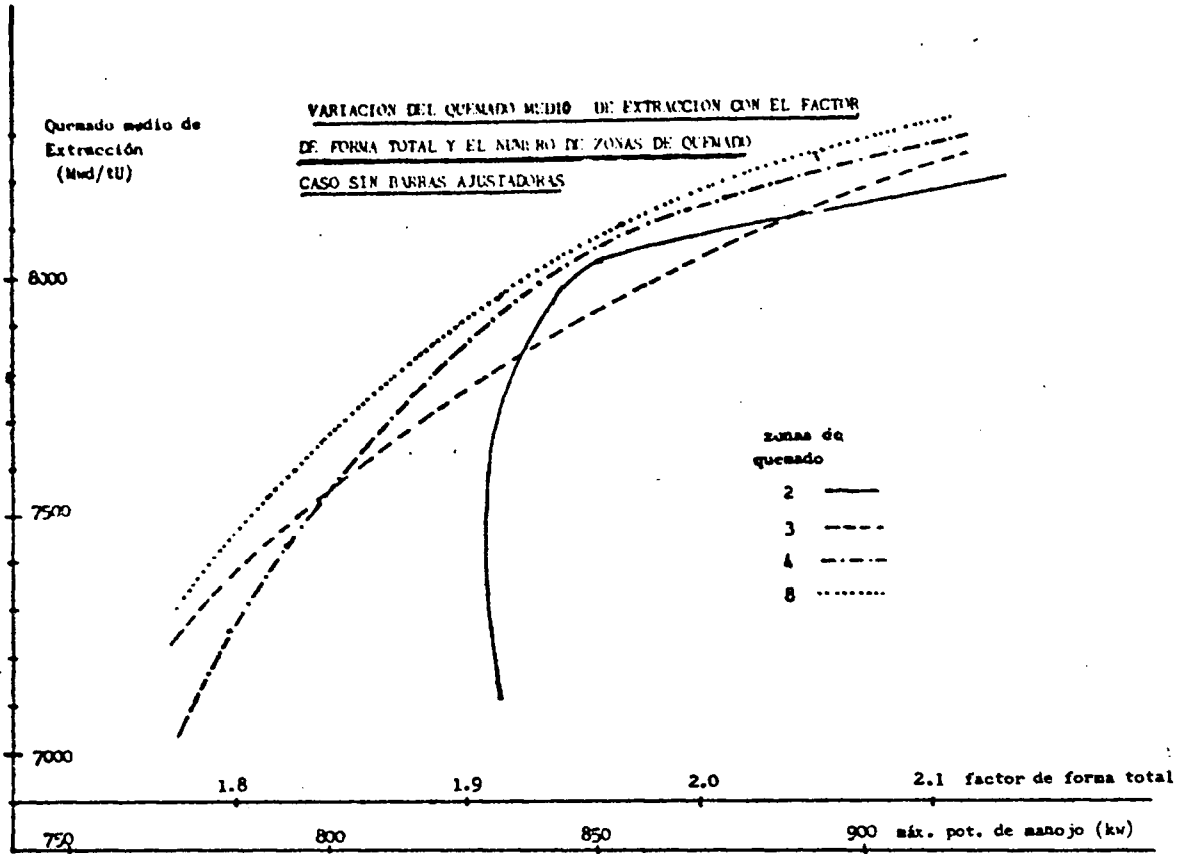


Fig. 1

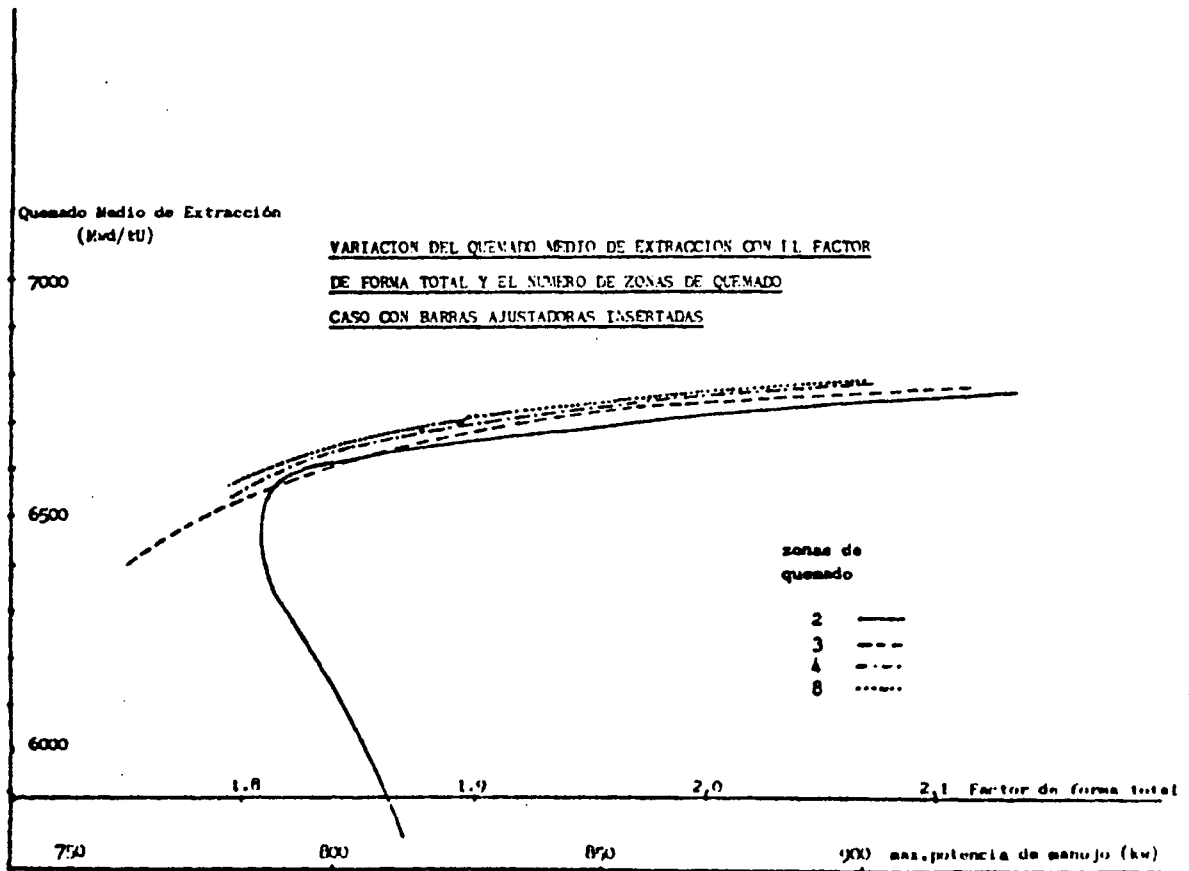


Fig. 2.