

MODELO DE CALCULO PARA LA GESTION DEL COMBUSTIBLE DE UN PWR

Enrique PELAYO FOLGUERA

Lorenzo DORESTE SUAREZ

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales

Universidad Politécnica de Canarias

INTRODUCCION

El programa CICLON (1) es probablemente conocido por los que trabajan en el área de gestión del combustible de un PWR. Dicho programa estudia la gestión de la etapa de recarga del combustible. Decidimos estudiarlo y tratar de complementarlo con nuevos cálculos, como el de la cantidad de elementos frescos a introducir en cada ciclo y su enriquecimiento.

Se optimiza la recarga del combustible en ciclos de transición y de equilibrio, analizando cuantitativamente los efectos económicos de tomar diferentes decisiones, tales como duración de los ciclos, número de elementos frescos de la recarga, su disposición en el núcleo, forma de confeccionar las estrategias de recarga en los ciclos de transición, alargamiento o acortamiento del período de transición. Se interpretan a continuación los resultados y se sacan conclusiones que puedan servir para la toma de decisiones en otros casos prácticos.

En la optimización se busca un coste de la energía mínimo, ateniéndose a las restricciones propias de las características técnicas del reactor considerado y de sus informes de seguridad. El cálculo de la etapa de recargas sucesivas debe hacerse con antelación suficiente para prever la contratación de los servicios de fabricación, enriquecimiento y aprovisionamiento antes de tener datos del quemado del combustible obtenidos de la operación del reactor.

METODO SEGUIDO PARA EL ANALISIS

Se ha realizado en cuatro etapas:

Primera etapa: Definición de parámetros previos en función de las características del reactor, del combustible según datos del fabricante, de la definición de fin de vida y del plan de generación de energía en la que se han elegido estas dos opciones: ciclos de equilibrio de doce meses y ciclos de equilibrio de dieciocho meses.

Segunda etapa: Planteo de estrategias de recarga, para decidir: tamaño de los lotes de recarga, su enriquecimiento, la permanencia y disposición por regiones de cada sublote en ciclos de transición y de equilibrio. Se ha comparado la eficacia de dos métodos de confección de estrategias de recarga de transición. Se ha estudiado qué es más importante: ir pronto a ciclos de equilibrio aún a costa de desperdiciar algo de combustible no totalmente quemado o hacer una transición más larga y no desaprovechar casi nada del combustible del ciclo previo.

Tercera etapa: Cálculo neutrónico en ciclos sucesivos de cada estrategia planteada con ciclos de transición y equilibrio. Utilizando el programa CICLON con los datos planteados, obtenemos resultados del quemado de descarga de cada sublote y duración de los ciclos en días efectivos. Con esos resultados reajustamos en cada estrategia las variables propuestas en la segunda etapa para obtener la duración de los ciclos deseada y el quemado de descarga de los sublotes lo más uniforme posible.

Cuarta etapa: Para cada caso planteado se ha hecho el cálculo económico del coste de la energía. Se ha calculado la energía producida en cada ciclo y durante un período de diez años para poder comparar globalmente los resultados.

ALCANCE DEL MODELO DE CALCULO

El programa CICLON permite realizar el proyecto de gestión del combustible con antelación suficiente para prever la contratación de los servicios de extracción, enriquecimiento y fabricación del combustible para las sucesivas recargas. Aun desconociendo las condiciones reales de quemado del combustible que se obtiene durante la operación del reactor, nos permite un cálculo con suficiente aproximación para encargar el combustible, y tiene la suficiente rapidez de cálculo y facilidad de modificación de datos de entrada al programa como para permitir la corrección de datos a la vista de los resultados del cálculo. Este programa nos dará también

una orientación sobre la colocación de los elementos combustibles en la recarga, dejando el diseño de la configuración detallada de la carga en el núcleo para el momento en que tengamos suficientes datos de quemado de los elementos obtenidos del reactor durante el ciclo anterior a cada recarga.

PLANTEO DE LA VENTANA DE CALCULO

Hemos planteado el estudio comparativo de:

- ciclos de 12 meses con ciclos de 18 meses
- factores de utilización de 0,69 y 0,76
- dos métodos diferentes de confección de estrategias de transición
- configuración de recarga in-out con configuración de bajas fugas (L³P)
- período de transición corto en comparación con período de transición necesario para el mejor aprovechamiento del combustible del ciclo previo

Casos planteados:

Caso A: duración 12 meses

factor de utilización: 0,688

lotes de equilibrio: 56 + 56 + 56 + 25

(F) (1) (2) (3)

configuración de recarga: in-out

Caso B: duración 12 meses

factor de utilización: 0,763

lotes de equilibrio: 64 + 64 + 64 + 1

(F) (1) (2) (3)

configuración de recarga: in-out

Caso C: duración 18 meses

factor de utilización: 0,763

lotes de equilibrio: 92 + 92 + 9

(F) (1) (2)

configuración de recarga: in-out

Caso D: idéntico al caso C, pero con configuración de recarga de bajas fugas (L³P)

Caso E: duración 18 meses

factor de utilización: 0,763

lotes de equilibrio: 92 + 92 + 9

configuración de recarga de bajas fugas

es un caso idéntico al D, pero la estrategia de recargas de transición ha sido hecha por otro método

Caso F: difiere del caso D en que no va rápido a ciclos de equilibrio con transiciones cortas, lo cual haría que descargáramos combustible medio quemado del ciclo previo, sino que se recarga ese combustible hasta quemarlo totalmente a costa de que el combustible fresco sea de mayor enriquecimiento y el período transitorio sea más bajo. Así este caso se comparará con el D.

Caso G: difiere del caso E en que no va rápido a ciclos de equilibrio, sino que se recarga el combustible medio quemado del ciclo previo para su total aprovechamiento haciendo así la transición más larga. Este caso se compara con el E.

EJECUCION DEL CALCULO

A cada caso planteado se le ha calculado el quemado de descarga de los sublotes y duración de cada ciclo, reajustando su disposición para el máximo aprovechamiento del combustible y ajustado el enriquecimiento para conseguir la duración de los ciclos deseada.

A continuación se ha hecho el cálculo económico para cada caso evaluando en cada ciclo el coste de la energía, la cantidad de energía producida, el precio del kwh producido y la duración del ciclo, y también para cada caso la energía producida en 10 años, su coste en 10 años y el precio del kwh promedio.

El cálculo del coste de la energía incluye:

A) Costes directos del combustible: extracción de uranio, enriquecimiento, fabricación de barras y almacenamiento de residuos.

B) Costes indirectos del combustible: intereses del inmovilizado en combustible para los tiempos de cada fase de elaboración del mismo con interés $i = 10\%$.

C) Amortización del capital invertido en la central, considerado éste de 500.000 millones de pesetas, amortizable en 20 años al interés $i = 10\%$. Del análisis económico de cada ciclo se obtiene el coste total, energía producida, precio del kwh y duración del ciclo. Del análisis económico global a diez años, coste total, energía y precio del kwh.

Los resultados económicos comparados de cada caso a diez años están reflejados a continuación:

Caso	Período	Coste En $\times 10^6$ pts	En producida $\times 10^6$ kwh	pts/kwh	duración meses
A	Ciclo equil.	69554,3	7081,1	9,823	12,2
	10 años	684148,6	68906,2	10,023	120
B	Ciclo equil.	72554,8	8062,8	8,999	12,5
	10 años	696416,3	76226,5	9,231	120
C	Ciclo equil.	104511,1	11351,3	9,210	17,7
	10 años	702755,1	75782,5	9,366	120
D	Ciclo equil.	105200,3	11478,3	9,165	17,9
	10 años	708778,2	76489,7	9,280	120
E	Ciclo equil.	103695,9	11300,8	9,176	17,7
	10 años	703060,3	76467,6	9,197	120
F	Ciclo equil.	103703,7	11301	9,176	17,7
	10 años	701127,6	76048,2	9,240	120
G	Ciclo equil.	104015,8	11346,1	9,167	17,7
	10 años	701529,5	76489,7	9,240	120

INTERPRETACION DE RESULTADOS

Al comparar los casos A y B de 12 meses se ve el interés de llevar a la central al máximo factor de utilización posible.

Al comparar los casos C y D de 18 meses se ve como ha mejorado claramente la producción de energía y el coste al pasar de configuración del núcleo in-out en el caso C a configuración de bajas fugas en el caso D.

Al comparar los casos D y E realizados a partir de diferentes criterios de confección de estrategias de recarga, preferimos la confección de estrategia utilizada en el caso E, porque nos da un menor coste de la energía, ya que el enriquecimiento necesario de los elementos frescos ha podido ser menor en este caso E. Finalmente, al comparar los caso F y G con el caso E vemos que es preferible el pasar rápidamente a ciclos de e

equilibrio en el caso E aun teniendo que descargar combustible medio quemado del ciclo previo, en vez de hacer transiciones de más ciclos como en los casos F y G, donde se aprovecha totalmente el combustible del ciclo previo.

Comparando los casos B de 12 meses y E de 18 para poder evaluar el posible interés de alargar el ciclo a 18 meses, vemos que sí aumenta la producción de energía para 18 meses. El coste del caso B es menor, debido a que el número de elementos frescos de recarga en B es un submúltiplo (o muy cercano a él) del número total de elementos del núcleo, lo cual proporciona un quemado mucho más uniforme del combustible.

CONCLUSIONES

De las anteriores comparaciones cuantitativas puede deducirse:

1. Al aumentar el factor de utilización de la central aumenta la producción y disminuye el coste.
2. El número de elementos frescos de la recarga debe ser un número lo más aproximado posible a un submúltiplo del número total de elementos del núcleo.
3. Se deben alargar los ciclos de 12 a 18 meses, e incluso a 24 meses si es posible.
4. Disponer de elementos de recarga del núcleo en configuración de bajas fugas es preferible a configuraciones in-out.
5. Confeccionar estrategias de recarga que vayan rápido a ciclos de equilibrio es preferible aunque para ello tengamos que despreciar algo de combustible parcialmente quemado del ciclo previo.
6. Los dos métodos de confección de estrategias de recarga son igualmente válidos, aunque es preferible la utilizada para el caso E.

Estas conclusiones, algunas de ellas originales por la forma cuantitativa en que se han estudiado, nos animan a proseguir el estudio de optimización para ciclos de 24 meses con lotes de tamaño 1/2 del total del núcleo. Este método pensamos incluirlo en nuestros programas docentes de 2º y 3º ciclo. Nos abre muchas puertas a aspectos novedosos de la práctica actual de la gestión del combustible.

REFERENCIAS

- (1) J. M. Aragonés, M. R. Corella y J. M. Martínez Val. Métodos y programas de cálculo para gestión del combustible en PWR. J.E.N., MaDIRD, 1976.
- (2) Manson Benedict. Nuclear Chemical Engineering. Ed. Mac Graw-Hill, 1981.
- (3) American Nuclear Society Reports, Vol. 4 nº 1.