



José MARTÍN PICAPIEDRA es licenciado en Ciencias Físicas por la Universidad Autónoma de Madrid en la especialidad de Física Aplicada (1989) y Master en Energía Nuclear por la UAM/CIEMAT (1991). En 1992 se incorpora a la Unidad de Combustible Nuclear de Iberdrola en el área de cálculo neutrónico. En la actualidad es el responsable del licenciamiento de los códigos y métodos de cálculo nuclear.

EFFECTO DEL BORO EN LA SECCIÓN EFICAZ DE ABSORCIÓN. APLICACIÓN AL ATWS DE C.N. COFRENTES

J. MARTÍN

...We encourage utilities to perform their own safety analyses since it significantly improves their understanding of plant behavior..." NRC Generic Letter 83-11.

INTRODUCCIÓN

Dentro del grupo de reactores conocidos como de agua ligera, aquellos que aprovechan las propiedades del agua ordinaria para la evacuación de calor y moderación neutrónica, se encuentran los llamados de agua en ebullición.

Un reactor de agua en ebullición (BWR, siguiendo la nomenclatura anglosajona) viene caracterizado entre otras, y en lo que a su núcleo respecta, por dos circunstancias.

1) El agua hierve en las zonas superiores de los elementos combustibles.

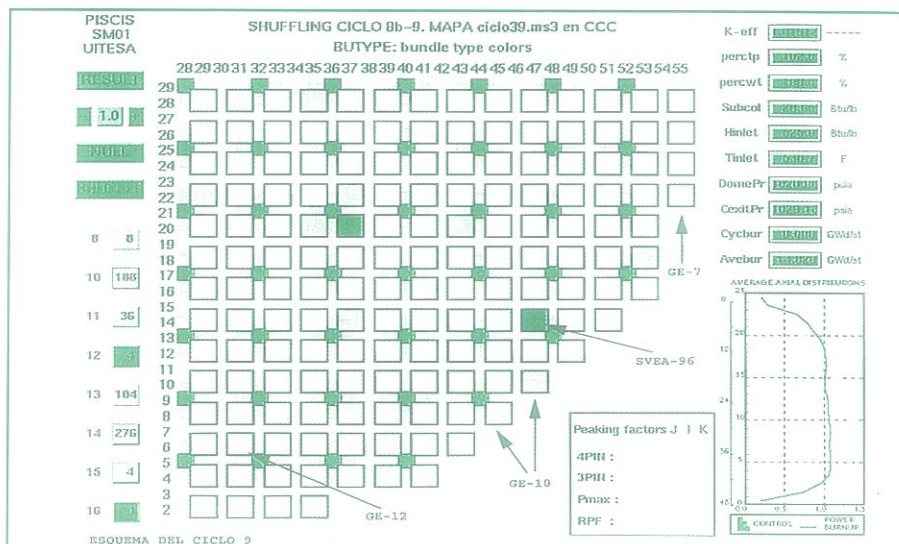
2) La reacción en cadena puede ser detenida, en caso de necesidad, mediante la inserción de barras de control por la parte inferior del núcleo.

El punto 1 aprovecha el hecho de que el vapor presenta mejores propiedades de evacuación de calor que el agua líquida, y el punto 2 que al encontrarse la potencia del reactor "picada" hacia las zonas inferiores del núcleo, la inserción de antireactividad de las barras es más efectiva.

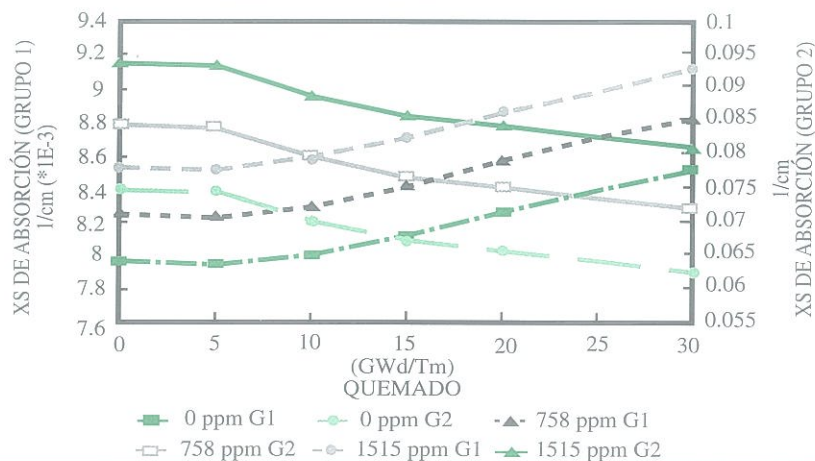
El reactor de la Central Nuclear de Cofrentes es un ejemplo de reactor de agua en ebullición.

El comportamiento del núcleo de un reactor no siempre es de tipo estacionario,

Esquema del ciclo 9. PISCIS



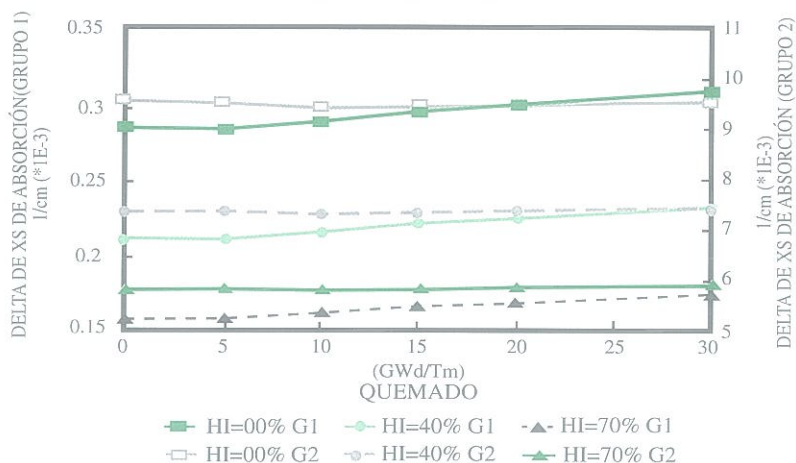
EVOLUCIÓN DE LA SECCIÓN EFICAZ DE ABSORCIÓN CON EL QUEMADO
CELDA: U39011 GZB HH=40% HI=00%



F I

F II

EVOLUCIÓN DE LA DELTA DE XS DE ABSORCIÓN (BORO 758 ppm-BORO 0ppm)
CELDA: U39011GZB HH= 40% HI= 40%



es decir, sus características pueden no mantenerse en el tiempo de una forma constante.

En ciertas ocasiones, se producen situaciones que hacen evolucionar los parámetros del núcleo, su potencia por ejemplo, de unos valores a otros en un determinado espacio de tiempo, hay por tanto una transición entre un estado inicial conocido y otro final.

Esta evolución entre estados es lo que se da en llamar un transitorio. El transitorio puede ser provocado (y por tanto esperado), tal puede ser el caso de un movimiento de barras que realiza el operador, ó inesperado como sería el originado por un mal funcionamiento inadvertido de los controladores de temperatura del agua de alimentación (que conduciría a alterar las características de reactividad del núcleo).

Hay gran variedad de circunstancias que pueden provocar un transitorio en el núcleo. Los cierres ó aperturas

inadvertidas de ciertas válvulas, la caída de una barra de control que se encontraba insertada, el rechazo de la admisión de vapor por parte de la turbina,... son ejemplos de situaciones que pueden alterar el comportamiento de un núcleo.

Los transitorios que traen consigo excursiones de reactividad pueden hacer que la potencia crezca de forma peligrosa dañando los elementos combustibles (un ejemplo, bajo ciertas condiciones pudiera llegar a producirse un secado localizado de las varillas de combustible, no evacuándose el calor producido en su interior y dando lugar a daños en los elementos por incrementos de temperatura), en estos transitorios puede ser imprescindible la inserción total e inmediata de cuantas barras de control existan, esto es, un SCRAM.

Imaginemos un transitorio que por su severidad haga necesario provocar un SCRAM, e imaginemos también que

el SCRAM no puede producirse por un mal funcionamiento de los dispositivos encargados de llevarlo a cabo.

Esta grave situación puede aún ser controlada gracias a la existencia de un tanque de agua borada cuyo contenido es inyectado en el núcleo (el boro es un fuerte absorbente neutrónico de uso habitual en los reactores de agua a presión). La inundación del núcleo con agua borada hace que caiga la potencia y la situación se encuentre de nuevo bajo control.

Por cuestiones de seguridad se exige que esta situación accidental, narrada de forma muy esquemática, sea analizada mediante herramientas de simulación de calidad reconocida, los llamados códigos de cálculo nuclear. Este artículo intenta dar una visión general de una secuencia de cálculo con la que puede ser analizado este accidente y se detiene en la forma de modelar y definir, dentro de esta secuencia, el efecto que el boro tiene en las secciones eficaces de absorción.

EL PLANTEAMIENTO

La evolución de la potencia de un reactor durante un transitorio puede determinarse mediante el programa RETRAN-03, empleando cinética unidimensional.

Con el fin de resolver la ecuación de difusión en 1-D se precisa disponer de información sobre el comportamiento de las secciones eficaces en función de ciertas variables, de ésta forma es posible considerar las realimentaciones que se producen durante el transitorio.

Las variables para las que se funcionalizan las secciones eficaces son tradicionalmente el cambio fraccional en la densidad del refrigerante y el cambio en la temperatura del combustible.

Los programas que Iberdrola emplea para conseguir esas funcionalizaciones (de tipo polinómico) son SIMULATE-3 y SLICK, dichos programas forman parte del "Studsvik Core Management System" (SCMS), paquete de códigos de amplia implantación internacional con los que se han analizado más de 300 ciclos BWR y 400 PWR en todo el mundo.

En la actualidad este sistema de códigos está siendo licenciado ante el Consejo de Seguridad Nuclear en el marco del proyecto, que bajo el nombre de GIRALDA (revista S.N.E. Mayo 1994) ha emprendido Iberdrola con el fin de disponer de una metodología de análisis neutrónico y termohidráulico independiente del suministrador del combustible.

SLICK es el código que alimentado por los resultados del simulador nodal 3-D del reactor proporciona los datos de cinética 1-D que RETRAN precisa. En el transitorio conocido como ATWS (Anticipated Transient Without

Scram), se asumen inoperables las barras de control para producir un scram, por lo cual la parada del reactor se consigue mediante la inyección de agua borada con una concentración tal que provoque subcriticidad en el reactor.

EL PROBLEMA

En la actualidad el programa SLICK no contempla perturbaciones de boro. ¿Cómo hacer entonces que las secciones (Σ_a) sean sensibles a la perturbación que supone la introducción de boro en el sistema?

LA SOLUCIÓN

La respuesta está en las tarjetas de RETRAN que bajo el nombre de "tarjetas de modificación de las secciones eficaces de absorción" (tarjetas 36000Y), permiten introducir al cálculo ciertos datos numéricos que puedan actuar como términos aditivos sobre las secciones eficaces de absorción.

La idea, en suma, es disponer de una serie de valores que añadidos a las secciones eficaces de absorción calculadas en ausencia de boro nos proporcionen las secciones eficaces de absorción cuando hay boro presente.

¿Cómo conseguir esos "sumadores", que transforman unas secciones eficaces en otras?

Con un código de celda.

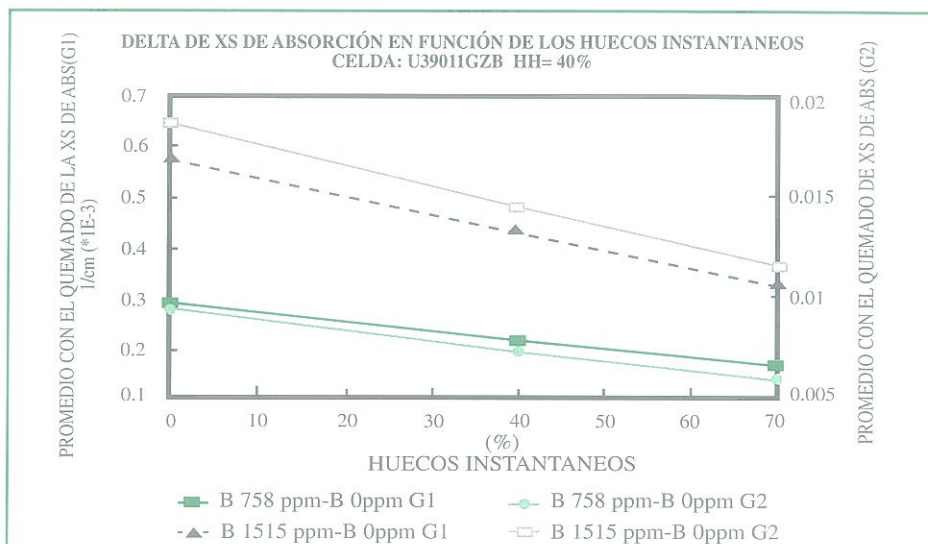
CASMO-3, que ha sido licenciado ante las autoridades reguladoras, será el programa a emplear.

Al igual que los anteriormente mencionados forma parte del SCMS, se trata de un código bidimensional de transporte en multigrupos empleado para la generación de secciones eficaces y cálculo de la evolución isotópica del combustible, entre otros fines.

Dado el comportamiento de las secciones eficaces de absorción con el quemado, el boro y el porcentaje de huecos en refrigerante el resultado final del estudio será tan simple como una tabla que para tres densidades de refrigerante distintas nos proporcione los sumadores asociados a dos grupos energéticos de neutrones, es decir estamos buscando 6 valores. Esta simplicidad en la solución viene dada por el buen comportamiento de las secciones eficaces, que hace que se puedan despreciar ciertas dependencias (con el quemado) y que otras sean de carácter lineal en muy buena aproximación.

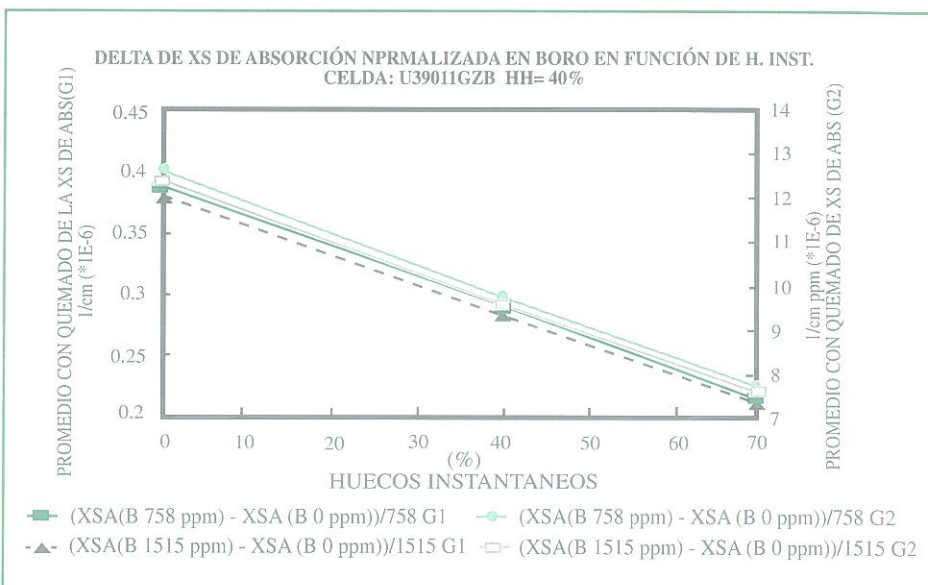
MÉTODO A SEGUIR

Esos 6 valores numéricos mencionados deben ser tales que pueda decir-



F III

F IV



se que representan aceptablemente bien el núcleo de C.N. Cofrentes

El núcleo del reactor de C.N.C. contiene un total de 624 elementos combustibles, el ciclo 9 resulta de particular interés por el elevado número de elementos GE-11 que alberga, un total de 384 elementos de 3 diseños neutrónicos diferentes, el núcleo se completa con 224 elementos GE-10 correspondientes a dos diseños y 8 GE-7s.

Acompañando a estos 616 elementos existen 4 elementos de demostración de diseño GE-12 y otros 4 de diseño SVEA-96 procedentes de ABB Atom, tal y como se muestra en el esquema adjunto, que procedente del programa PISCIS (desarrollado por UITE-SA) hace las veces de interfaz gráfica del simulador del reactor.

En el presente estudio y con fines de modelización los 8 elementos de de-

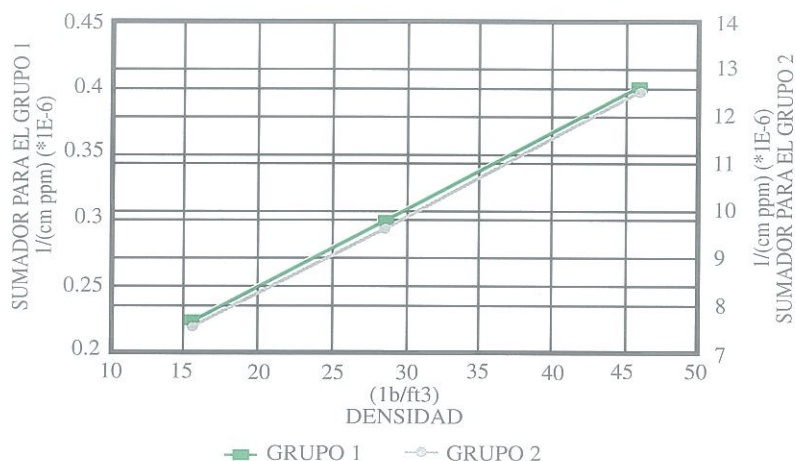
mostración aludidos han sido sustituidos por el GE-11 al cual ambos tipos emulan en su diseño neutrónico y termohidráulico.

Cada elemento se haya compuesto axialmente por una serie de celdas con particulares características de enriquecimiento, número de varillas con veneno, etc. Haciendo un balance de celdas pueden identificarse un total de 22 diferentes, se ha decidido no tomar en consideración para éste estudio aquellas que no superan en abundancia el 2 %, es decir, 8.

Las 14 celdas empleadas en el análisis representan el 94.5% del núcleo, con lo que el resultado puede considerarse como suficientemente representativo de la totalidad del mismo.

Se han quemado las celdas a un porcentaje de huecos históricos del 40 % en ausencia de boro, seguidamente, y para cada una de ellas, se han

SUMADORES PARA LA OBTENCIÓN DE XS DE ABSORCIÓN CON PRESENCIA DE BORO C.N.COFRENTES CICLO 9



FV

considerado casos instantáneos del 00, 40 y 70% de huecos con 0, 758 y 1515 ppms de boro (para los porcentajes indicados), todo ello a distintos valores de quemado y abarcando un rango entre 0 y 30 GWd/Tm.

El resultado de este espectro de casos analizados proporciona toda la información precisa para la determinación de los sumadores.

Estos cálculos han sido realizados, como ya se ha indicado, con CASMO-3 empleando dos librerías, una neutrónica en 40 grupos energéticos y otra de gadolinio, el uso de CASMO-3 implica que el quemado microscópico del gadolinio debe realizarse con el código MICBURN-3, el quemado del Gd_2O_3 se ha realizado subdividiendo las pastillas que lo contienen en 20 regiones concéntricas y equidistantes (El código CASMO-4 elimina la necesidad de un programa auxiliar para determinar la isotopía de las varillas con veneno absorbente).

En lo que sigue y al hablar de grupos energéticos consideraremos la energía de 0.625 eV como la frontera entre el grupo rápido, denominado aquí grupo 1, y el térmico ó grupo 2.

13 de las 14 celdas consideradas contienen, en una u otra cuantía y disposición Gd_2O_3 , en todas se observa un comportamiento análogo de la sección eficaz de absorción con el quemado, en el gráfico I comprobamos la evolución creciente de $\Sigma_{a,1}$ y decreciente de $\Sigma_{a,2}$.

Los gráficos para cada concentración de boro asociadas a un grupo energético dado evolucionan paralelamente, éste comportamiento indica que en buena medida los sumadores que buscamos tendrán un comportamiento notablemente constante con el quemado, pues por así decir, el origen de coordenadas (Σ_a a boro 0) evoluciona como Σ_a a boro distinto de 0.

El gráfico II muestra, para la celda

más abundante (14.56 %) empleada en el diseño del núcleo del ciclo 9 de C.N. Cofrentes el comportamiento del sumador con el quemado, dicho comportamiento corrobora lo previsible en vista de el gráfico I, la pendiente es extremadamente pequeña, en particular para el segundo grupo energético, en cifras podemos decir que la desviación estandar de los valores tomados es 35 veces menor que el valor medio para el grupo rápido y unas 200 veces para el grupo térmico.

En vista de lo expuesto, y haciendo notar que estos comportamientos son generalizados para el resto de las celdas puede asumirse aceptablemente la independencia del sumador con el quemado.

El gráfico III muestra el comportamiento típico, que resulta ser lineal, de los sumadores promediados con el quemado según el porcentaje de huecos instantáneos.

El gráfico IV, a modo de ejemplo, nos ilustra el siguiente paso en nuestro razonamiento, que es normalizar a la concentración de boro (sumador en unidades de $cm^{-1} ppm^{-1}$).

El gráfico V muestra el aspecto gráfico de los sumadores una vez promediados los valores que figuran en el gráfico IV.

Los cálculos de celda aquí descritos han sido realizados para diseños de combustible General Electric, tal y como se ha indicado más arriba. No obstante y dada la flexibilidad, en cuanto a modelización geométrica respecta, de los códigos de la serie CASMO, es posible repetirlos para cualquier otro diseño de los existentes en el mercado, de hecho en el seguimiento de la operación que realiza la Unidad de Combustible Nuclear de Iberdrola se hace modelando exactamente el combustible introducido en el núcleo sin necesidad de realizar aproximación alguna.

En vista de esta característica de CASMO se han reproducido los cálculos aquí descritos aplicándolos al combustible SVEA-96 de ABB (de diseño muy diferente a los de tipo GE). El resultado ha sido análogo al aquí expuesto habiéndose observado el mismo comportamiento en las secciones eficaces de absorción con respecto al boro y porcentaje de huecos en el refrigerante.

CONCLUSIÓN

Mediante el proceso descrito conseguimos de una forma sencilla modelar el efecto del boro en las secciones eficaces de absorción según la presencia de huecos en refrigerante, lo cual hace posible el análisis de ATWS a través de la siguiente secuencia de cálculo:

