

## Análisis mediante el método de Monte Carlo de las dosis alrededor de la piscina de almacenamiento de las barras de control irradiadas en un reactor BWR

RÓDENAS, J.\*; GALLARDO, S.

Departamento de Ingeniería Química y Nuclear Universidad Politécnica de Valencia.

\*Correspondencia – C-e: jrodenas@iqn.upv.es

**Palabras clave:** barras de control, BWR, Monte Carlo, reducción de dosis.

### Introducción

Las barras de control de un reactor de agua en ebullición (BWR) están sometidas a un flujo neutrónico y por tanto, resultan activadas durante su permanencia en el núcleo del reactor. La activación se produce especialmente en los componentes del acero inoxidable y en las impurezas. La actividad generada da lugar a una dosis alrededor de la barra, sin importancia mientras está en el reactor, pero que debe tenerse en cuenta cuando se extrae del mismo. Las barras extraídas se almacenan en colgadores situados en las piscinas de almacenamiento del combustible irradiado de la central. Cada colgador aloja 12 barras de control y se disponen de modo que haya al menos tres metros de agua por encima de los cabezales de las barras de control. La dosis potencialmente recibida por los trabajadores profesionalmente expuestos que se encuentren en las inmediaciones de la piscina de almacenamiento debe calcularse para asegurar la adecuada protección de los mismos. Esta dosis puede disminuirse de modo importante si se cambia la disposición de las barras en los colgadores.

### Material y métodos

Se ha simulado con el programa MCNP5, basado en el método de Monte Carlo (MC) la activación de una barra de control en el interior del reactor. MCNP5 permite determinar la tasa de reacciones por cada neutrón emitido por la fuente. Para ello, se ha simulado una fuente volumétrica de neutrones rodeando una típica barra de control BWR. El espectro neutrónico utilizado en los cálculos está basado en el valor medio del flujo neutrónico en el núcleo, modificado por una probabilidad para tener en cuenta la historia de la barra de control. El flujo se ha obtenido mediante el programa CASMO para un elemento combustible GE14 con un quemado de 20 GWd/t, un 40% de fracción de huecos y en condiciones de “no controlado”. Se ha simulado con detalle la barra de control incluido el cabezal y el soporte de acero inoxidable, el material absorbente de carburo de boro y los tubos de acero, reproduciendo fielmente las características geométricas de cada componente. En los cálculos se ha hecho uso de la biblioteca de secciones eficaces Evaluated Nuclear Data File (ENDF-VII), ampliamente utilizada y validada por los usuarios de Monte Carlo. Las reacciones de activación consideradas en este trabajo son las siguientes: N14 (n, p) C14; Fe54 (n, p) Mn54; Co59 (n,  $\gamma$ ) Co60; Zn64 (n,  $\gamma$ ) Zn65; Ag109 (n,  $\gamma$ ) Ag110m; Al27 (n,  $\gamma$ ) Al28; Fe54 (n,  $\gamma$ ) Fe55; Ni60 (n, p) Co60; Mo92 (n,  $\gamma$ ) Mo93; Eu151 (n,  $\gamma$ ) Eu152; Cl35 (n, p) Cl36; Ni58 (n,  $\alpha$ ) Fe55; Cu63 (n,  $\alpha$ ) Co60; Nb93 (n,  $\gamma$ ) Nb94; Eu153 (n,  $\gamma$ ) Eu154; Cl37 (n, 2n) Cl36; Ni58 (n,  $\gamma$ ) Ni59; Ni62 (n,  $\gamma$ ) Ni63; Ag107 (n,  $\gamma$ ) Ag108m; Hf177 (n,  $\gamma$ ) Hf178; Ti46 (n, p) Sc46. Una vez calculada la actividad, se ha modelado la piscina de almacenamiento para calcular la dosis recibida en los alrededores de la misma a causa de las barras de control allí almacenadas. La principal dificultad de este modelo es lograr que alcancen la superficie libre del agua un número suficiente de fotones para que la estadística de la simulación sea aceptable. Para ello, se divide el volumen de agua en capas de importancia creciente, con lo que se aumenta el número de partículas simuladas, si bien se reduce el peso de las mismas.

### Resultados y discusión

Los modelos MC desarrollados para la activación de las barras en el reactor y para la piscina de almacenamiento fueron validados en anteriores trabajos mediante la medida de la dosis en el interior de la piscina de almacenamiento. Los productos de activación generados que tienen mayor actividad y, en consecuencia, contribuyen en mayor medida a la dosis producida son Mn-54 y Co-60. La zona de la barra que presenta una mayor activación es el cabezal, lo cual es lógico por estar siempre introducido en el núcleo del reactor, lo que no ocurre para la barra propiamente dicha. Con el modelo de piscina se han obtenido las curvas isodosis alrededor de la misma y a un metro por encima de su superficie libre, posición para la que se obtiene el valor máximo de la tasa de dosis, 50  $\mu$ Sv/h. No obstante, si se invierte la colocación de las barras en los colgadores, situando el cabezal en la posición más profunda, la dosis descende hasta 0,0161  $\mu$ Sv/h, es decir, se consigue una reducción del orden de 3000.

### Conclusiones

Con los modelos MC desarrollados se ha constatado que la parte estructural de la barra de control que experimenta una mayor activación es el cabezal. Los radionucleidos con máxima actividad y por tanto, mayor contribución a la dosis son Co-60 y Mn-54. Las curvas isodosis obtenidas alrededor de la piscina de almacenamiento muestran un valor máximo de la dosis, no despreciable, a un metro sobre la superficie de la piscina, donde puede haber operadores en una plataforma para el manejo de barras y elementos combustibles u otras operaciones. Esta dosis puede dividirse hasta un factor de 3000 si se invierte la posición de las barras de control en los colgadores, aumentando el blindaje de agua para la parte más activa, que es el cabezal.