

RESUMEN

El análisis del decaimiento de combustible es fundamental para comprender los cambios a largo plazo en la composición del combustible del reactor debido al quemado del mismo. A medida que se consume el combustible, su composición isotópica cambia y eso afecta significativamente la vida útil operativa del reactor, su estabilidad y sus mecanismos de control. Para abordar estas complejidades, es crucial emplear un conjunto meticulosamente seleccionado de secciones eficaces y parámetros nucleares. Este enfoque no solo garantiza predicciones precisas del comportamiento del reactor tanto en condiciones estacionarias y transitorias, sino que también optimiza el ciclo del combustible y mejora el rendimiento global del reactor.

Las librerías de secciones eficaces son la columna vertebral de cualquier código tridimensional utilizado en los cálculos del núcleo. Sin embargo, uno de los principales retos que plantea el cálculo del transporte de neutrones es la necesidad de que cada método empleado haga uso de secciones eficaces estructuradas con metodologías, formatos y contenidos distintos.

Esta tesis lleva a cabo una exploración exhaustiva de la física de reactores, centrándose en estos problemas críticos. Su objetivo es desentrañar cómo se capturan y representan los fenómenos de los reactores mediante un análisis en profundidad de las librerías de secciones eficaces. Mediante la investigación de las fuentes de secciones eficaces y datos cinéticos, y la comprensión de los requisitos detallados para resolver diversos problemas, la tesis contribuye a avanzar en las evaluaciones de seguridad robustas y garantizar una representación precisa del comportamiento del reactor.

Uno de los aspectos centrales de la tesis es la evaluación de la secuencia computacional CASMO-4/GenPMAXS/PARCS en el análisis de la operación de Reactores de Agua en Ebullición (BWR) con combustibles actuales. Esta evaluación implica una rigurosa verificación de las librerías de secciones eficaces a través de comparativas código a código, lo que garantiza consistencia y precisión en la predicción de la potencia radial y axial del reactor a lo largo del ciclo, mediante librerías de secciones eficaces colapsadas en dos grupos de energía. Además, se realiza un análisis de las predicciones del código nodal PARCS, que se compara con el simulador del núcleo de la planta, SIMULATE-3, utilizado como referencia en cada simulación.

Adicionalmente, se incluye la validación de las librerías de secciones eficaces creadas y la comparación del modelo neutrónico del código de núcleo 3D PARCS con datos reales de planta utilizando el sistema detector In-Core Traveling Probe (TIP) con detectores gamma de alta resolución. La simulación de la respuesta del TIP es de importancia crucial para los simuladores del núcleo, ya que permite el uso fiable de las mediciones proporcionadas por este sistema para validar las predicciones y evaluar la precisión de las distribuciones de potencia radiales y axiales calculadas, contrastándolas con las tasas de reacción medidas por los instrumentos in-core. Este estudio emplea las mediciones del TIP para validar la capacidad del código PARCS en la modelización de diseños avanzados de combustible BWR y en el cálculo de distribuciones de potencia tridimensionales bajo condiciones operativas reales. La utilización de datos de planta no solo incrementa la fiabilidad de los modelos, sino que también refuerza el valor práctico de esta investigación dentro del campo de la física de los reactores nucleares. El impacto de las librerías de secciones eficaces en los análisis de seguridad se examina aplicándolas a los transitorios de cierre de la válvula de aislamiento de vapor

principal (MSIVC) sin SCRAM (ATWS) mediante el código acoplado TRAC-BF1/PARCS. En un evento de MSIVC ATWS, las respuestas del núcleo se ven afectadas por la interacción entre la retroalimentación de reactividad debida al vacío, impulsada por el colapso del vacío, y la retroalimentación de reactividad Doppler negativa. Así, la severidad del transitorio depende tanto del comportamiento del sistema como de la precisión de las librerías de secciones eficaces en la predicción de los parámetros nucleares. Considerando estas variables, el escenario de MSIVC ATWS se presenta como un contexto ideal para evaluar la eficacia de las librerías de secciones eficaces en la predicción de la evolución de parámetros críticos bajo condiciones transitorias exigentes, mejorando las capacidades de modelado para tales eventos y permitiendo la simulación de fenómenos termohidráulicos y de realimentación complejos a lo largo de períodos prolongados.

Una de las contribuciones más destacables de esta tesis es la identificación de limitaciones en las recomendaciones NUREG/CR-7164 para el modelado de secciones eficaces en el análisis de BWR. Estas recomendaciones no abarcaban completamente el rango operativo de los reactores BWR/6, especialmente en lo que respecta a la historia del combustible en condiciones de Aumento de Potencia Extendida (EPU) y MELLLA+. Esta conclusión tiene una relevancia considerable para el desarrollo y la validación de herramientas necesarias para el análisis 1D/3D de transitorios operacionales y accidentes más allá de la base de diseño.

En definitiva, los resultados de esta tesis proporcionan nuevos conocimientos sobre la precisión requerida para que las simulaciones generen estimaciones más exactas, introduciendo estrategias innovadoras para mejorar la precisión en las simulaciones acopladas. Aunque el trabajo se enfoca principalmente en BWR, sus hallazgos tienen implicaciones para todos los tipos de reactores de agua ligera (LWR). Por lo tanto, este trabajo representa un avance significativo en la seguridad y confiabilidad de los reactores, contribuyendo de manera sustancial al campo de la física de los reactores nucleares.