

## MÉTODOS "BEST ESTIMATE" PARA ANÁLISIS DE SEGURIDAD

COMISIÓN TÉCNICA DE LA SNE (\*)

Una de las principales lecciones aprendidas del accidente de la Central Nuclear de Three-Mile Island (TMI-2) en los Estados Unidos fue la conveniencia de realizar análisis realistas de seguridad. Hasta esa fecha, se utilizaban modelos de evaluación muy conservadores hasta el punto que, en algunos casos, no representaban con suficiente claridad el verdadero comportamiento de la planta ante transitorios de accidentes postulados.

Ya en el año 1974, la Comisión Reguladora Nuclear americana (NRC), el Instituto de Investigación EPRI, varios organismos de regulación e investigación europeos, así como los suministradores de reactores habían iniciado un esfuerzo significativo de investigación en el área de reactores de agua ligera que resultó en el desarrollo tecnológico de métodos computacionales avanzados en mecánica de fluidos. En 1988, la NRC revisó las bases que gobiernan los análisis del accidente de pérdida de refrigerante (LOCA) contenidas en el Apéndice K y la sección 50.46 del 10CFR50, permitiendo la utilización de modelos realistas. El objetivo de dichos métodos es proporcionar una evaluación más ajustada a la realidad del comportamiento de la planta ante una gran variedad de accidentes postulados, permitiendo un mejor conocimiento del transitorio real así como de los márgenes de seguridad disponibles y que podrían ser utilizados sin perjudicar la seguridad e la planta. Estos métodos se denominan códigos termohidráulicos de estimación óptima ("best estimate").

Hasta la fecha se ha desarrollado un cierto número de estos códigos. En los Estados Unidos se han desarrollado el TRAC-PF1 y TRAC-BF1 para centrales de agua a presión y ebullición respectivamente, el RELAP-5 para ambos diseños de centrales, el COBRA/TRAC y la versión de WESTINGHOUSE del mismo W COBRA/TRAC, entre otros. En Francia, se ha desarrollado el CATHARE para las centrales de agua a presión francesas. Todos estos códigos modelan los transitorios hidráulicos en dos o tres dimensiones y consideran regímenes independientes para las dos fases (vapor/líquido). Se han desarrollado también otros códigos unidimensionales con una modelización en algunos casos más realista de caudales bifásicos pero que actualmente no son considerados como códigos de estimación óptima.

Las características principales requeridas en un código "best estimate" son el describir completamente las ecuaciones de estado, modelar los desequilibrios térmicos y mecánicos entre las fases, representar mecanísticamente las transferencias, entre las fases, de calor, masa y momento en regímenes de caudal diferentes, representar todos los componentes principales, modelar caudales transitorios multidimensionales en diferentes geometrías y finalmente, debe verificarse con datos experimentales que cubran el rango de aplicación. Por su parte y según la tendencia de aceptación actual, los resultados de los análisis deben cubrir el 95% de confianza, teniendo en cuenta no solo las incertidumbres

del código utilizado sino también las de la planta y las condiciones accidentales analizadas.

Para valorar la fiabilidad de estos métodos computacionales de estimación óptima, se llevó a cabo un programa de cooperación internacional para su validación, patrocinado por la NRC en participación conjunta con la mayoría de los países europeos y asiáticos. Este programa denominado ICAP "International Code Assessment Program" tenía como objetivo verificar los códigos "best estimate" comparándolos con el mayor número posible de bases de datos disponibles.

La validación de estos códigos de estimación óptima es uno de los requisitos claves para su licenciamiento. La NRC patrocinó un programa de ajuste, aplicación y análisis de incertidumbres denominado CSAU "Code Scaling, Application and Uncertainty Analysis", con el fin de desarrollar las bases de licenciamiento para su utilización. Dicho programa ha sido revisado por varios expertos internacionales. El CSAU proporciona una metodología disciplinada que requiere una documentación completa del código y sus modelos, una valoración rigurosa con datos experimentales, una determinación de todas las incertidumbres, y una evaluación de la escalabilidad de los resultados y de sus modelos. Adicionalmente, esta disciplina requiere análisis detallados de la central en cuestión y estudios de sensibilidad para determinar la temperatura pico de vaina resultante con todas las incertidumbres identificadas y contempladas. Este enfoque ha determinado el estándar de licenciamiento que tanto estos códigos de estimación óptima como sus remisiones de aprobación deben cumplir.

El único código licenciado por la NRC hasta el momento para análisis de estimación óptima es el W COBRA/TRAC para plantas de agua a presión con inyección de seguridad en el plenum superior de la vasija. Actualmente, este código está en su última fase de licenciamiento para su aplicación a centrales de tres y cuatro lazlos; la Comisión de Seguridad (ACRS) ha recomendado ya su utilización para los análisis de roturas grandes y próximamente la NRC emitirá la evaluación de seguridad (SER). Los análisis realizados ya mediante el citado código, en proyectos específicos para varias centrales americanas, han permitido un aumento de sus márgenes operativos y una reducción en sus costes. Para las centrales de Point Beach, la identificación del incremento en los márgenes disponibles sirvió como paso previo para el estudio de extensión de vida. Mientras que dicho incremento se utilizó en la optimización de ciclos de combustible, para la central de Haddan Neck permitió la conversión de su combustible con vainas de acero a combustible en Zircaloy, resultando para ambas plantas en un beneficio económico bastante considerable.

En Europa, la metodología "best estimate" se ha utilizado para verificar las mejoras incorporadas con el nuevo sistema de seguridad realizado en las centrales suizas de Beznau. Asimismo, se analizó con este método la mo-

dificación efectuada en las centrales belgas de Doel 1 y 2 para poder inyectar el caudal de seguridad desde el anillo de bajada al plenum superior de la vasija. La conversión de este sistema de seguridad permitirá disminuir la preocupación por el choque térmico bajo presión existente en ambas unidades; además, los análisis de estimación óptima realizados han proporcionado un margen adicional en los factores de pico nucleares.

Estos son solo algunos de los ejemplos de utilización de los márgenes adicionales que se identifican con los análisis de estimación óptima. Existen otras varias áreas donde los márgenes identificados pueden aplicarse para mejorar el funcionamiento y la operación de una central, y que tienen su impacto en la gestión económica de su explotación. Entre ellas caben destacar:

- Aumento del grado de quemado de descarga del combustible - Se obtiene un mayor rendimiento del combustible y por tanto más potencia térmica del mismo.

- Absorbentes axiales en el núcleo - Se reduce la dispersión neutrónica y en consecuencia, el coste del ciclo de combustible y de su fabricación.

- Diseños de carga de bajas fugas - No solo se optimiza la dispersión neutrónica con el consiguiente beneficio económico del ciclo de combustible sino que además, se reduce la fluencia neutrónica en la vasija del reactor extendiendo su vida operativa y por lo tanto, aumentando el número de años de recuperación del coste capital de la planta.

- Extensión del ciclo de combustible - Los ciclos anuales pueden incrementarse a ciclos de 18 e incluso 24 meses, aumentando la disponibilidad de la planta.

- Diseños avanzados de combustible - Además de incorporar algunas de las características anteriormente mencionadas, estos diseños incrementan el margen del flujo calorífico crítico, aumentando el margen térmico del núcleo.

- Aumento de la potencia térmica - Directamente se incrementa la potencia eléctrica generada.

- Intervalo de extensión del grado de quemado - Proporciona la posibilidad de prolongar el tiempo de operación del reactor con el fin de acomodar posibles cambios de gestión en la generación de energía eléctrica. Asimismo, la flexibilidad que proporciona la extensión del grado de quemado reduce la necesidad de rediseñar los ciclos de combustible y de comprometerse con antelación a un diseño nuclear específico.

- Relajación de las especificaciones técnicas de equipos - El margen adicional identificado puede o bien justificar la operación con equipos fuera de servicio, o admitir su degradación, o permitir la reducción de su rendimiento.

- Disminución de la capacidad operativa de los sistemas - El desgaste y corrosión de los tubos de los generadores de vapor es la principal degradación en las centrales de agua a presión. El margen disponible puede justificar el taponado de una fracción significativa de los tubos (25% o más), sin pérdida de la potencia eléctrica de la planta.

- Distribución de potencia reducida y vigilancia en las especificaciones técnicas - Disminuye el número y coste de las vigilancias establecidas, así como las posibilidades e parada de la planta, o disminución de su potencia.

Los márgenes operativos que se identifican mediante la metodología "best estimate" de análisis de seguridad, proporcionan un gran número de alternativas para optimizar tanto la operación de las plantas nucleares como la gestión de los costes asociados a su explotación.

(\*) La Comisión Técnica de la SNE agradece la colaboración del Dr. Lawrence E. Hochreiter, ingeniero consultor de la División de Tecnología Nuclear de Westinghouse.