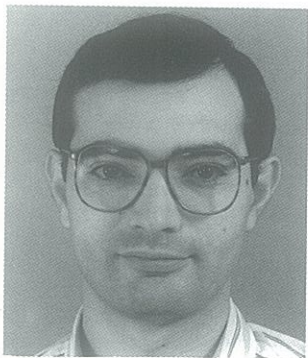
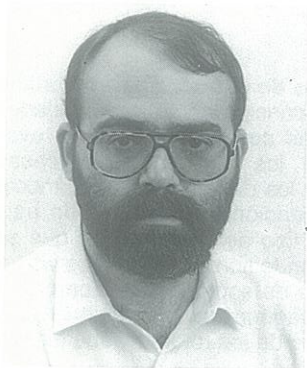




Félix CASTRILLO PORRES es Ingeniero Naval (promoción 1974). Ha desarrollado su actividad profesional en el campo de la Dinámica de estructuras y medición de vibraciones hasta el año 1983, en que ingresó en Hidroeléctrica Española, incorporándose al Servicio de Ingeniería y Análisis Nucleares en el área de Termohidráulica.



Diego MOLINA ORERO es Licenciado en Ciencias Físicas por la Universidad de Granada (1979). Inició su actividad profesional en el Instituto Tecnológico para Posgraduados (ITP) donde participó en distintos proyectos dentro del campo de la Física de Reactores y Planificación Energética. Desde 1983 trabaja en Hidroeléctrica Española en aspectos relacionados con el Diseño Nuclear y la Gestión de Combustible de C. N. Cofrentes, dentro del Departamento de Ingeniería y Análisis Nucleares. Es miembro de la Sociedad Nuclear Española desde 1981.



Juan Carlos MANCHOBAS GOZALO es Ingeniero Industrial, rama Técnicas Energéticas, por la ETSII de Bilbao (1973). En 1975 ingresó en SENER, participando en los proyectos de las C.N. de Lemóniz, Valdecaballeros y Chashma (Pakistán), en las áreas de análisis radiológico de sistemas, blindajes y estudios medio-ambientales. En 1987 se incorporó a Nuclenor, en donde trabaja en el campo de gestión del combustible.

PROYECTO DEL GPE-BWR

METODOLOGIA DE ANALISIS DE LOCA

F. CASTRILLO - D. MOLINA - J. C. MANCHOBAS - J. M. CALLEJA



José María CALLEJA MAESTE es licenciado en Ciencias Físicas por la Universidad de Sevilla (1973), Diplomado en Ingeniería Nuclear en la JEN (1975) y Master of Science in Nuclear Engineering por Carnegie University (Pitt., USA). En 1974 se incorporó a la Compañía Sevillana de Electricidad, desde donde pasó en 1977 a la sección de combustible de Central Nuclear de Valdecaballeros. Ha participado en la puesta en marcha y pruebas nucleares de las CC.NN. de Almaraz I y Vandellós II, habiendo, asimismo, colaborado en el Análisis Probabilista de Riesgo de C.N. Cofrentes, como responsable del grupo de apoyo de CNV. En 1990 se ha reincorporado al grupo nuclear de la Compañía Sevillana de Electricidad.

comerciales deben disponer de unos Sistemas de Refrigeración de Emergencia (ECCS). La norma 10CFR50.46, publicada en el año 1974, requiere la realización de unos análisis de los accidentes LOCA postulables y establece los criterios de aceptación para demostrar que los sistemas ECCS son capaces de mantener la integridad y refrigeración del núcleo. En el Apéndice K a la citada norma se indican los métodos de cálculo considerados aceptables para realizar los análisis. Los criterios de aceptación como los métodos de cálculo fueron establecidos de acuerdo con los conocimientos y el estado de la tecnología existente en aquel momento, tanto en relación con los datos experimentales disponibles como con la capacidad y desarrollo de los programas de cálculo existentes. En consecuencia la 10CFR50.46 y su Apéndice K contienen un grado de conservadurismo considerable que suplía las incertidumbres existentes en ese momento.

En la década posterior a la publicación de la 10CFR50.46 se realizó un enorme esfuerzo de investigación experimental (efectos separados e integrales) en paralelo con el desarrollo de códigos "best estimate", con lo que en la actualidad se dispone de un mejor conocimiento de los fenómenos físicos que se producen en este tipo de accidentes y unas herramientas de cálculo contrastadas y realistas. Se ha comprobado que existen amplios márgenes entre los resultados obtenidos con métodos realistas y conservadores que pueden penalizar innecesariamente la operación, sobre todo en los nuevos diseños avanzados de combustibles y, por otra parte, la adición de conservadurismos puede resultar en

INTRODUCCION

Con el fin de asegurar la refrigeración del núcleo en caso de accidentes de pérdida de refrigerante, los reactores

una predicción de la evolución de los accidentes divergente de la realidad. Como consecuencia de lo anterior, la NRC ha realizado una revisión de la 10CFR50.46 (vigente desde noviembre de 1988) en la que, manteniendo los criterios de aceptación, se permite el empleo de cálculos realistas siempre que se cuantifiquen las incertidumbres de los cálculos y se incluyan al comparar resultados con valores admisibles.

PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO

Teniendo en cuenta las nuevas tendencias reguladoras, la disponibilidad de las herramientas de cálculo avanzadas y los beneficios previsibles en la seguridad y explotación de las plantas, el Grupo Español de Propietarios de Centrales BWR (GPE-BWR) ha decidido desarrollar una "Metodología para el análisis de accidentes de pérdida de refrigerante en reactores BWR", desde el punto de vista de verificación del funcionamiento de los Sistemas de Refrigeración de Emergencia con arreglo a la nueva revisión de la norma 10CFR50.46. El alcance del Proyecto incluye el licenciamiento de la metodología ante el Organismo Regulador, lo que permitirá la realización independiente de este tipo de cálculos y un mejor concimiento y aprovechamiento de los márgenes reales existentes respecto a los límites establecidos. Los elementos básicos del Proyecto son:

- Herramientas de cálculo.
- Metodología de aplicación.

Las herramientas de cálculo constituyen el entramado matemático que permite calcular la evolución y respuesta del sistema ante el accidente postulado, para lo que se han seleccionado los códigos termohidráulicos y de combustible que disponen de las mejores capacidades de simulación de los fenómenos físicos que se producen en reactores BWR en este tipo de transitorios. El código TRAC-BF1, desarrollado en un esfuerzo conjunto por parte de la NRC, EPRI y General Electric, con características y modelos específicos para reactores BWR, se presenta como la herramienta de cálculo más completa y adecuada para análisis de LOCA. El escenario planteado supone roturas grandes y pequeñas en tuberías del Sistema Nuclear de Suministro de Vapor en reactores BWR/3 y BWR/6. Se han

revisado, por una parte, los fenómenos físicos que se producen en las distintas fases del desarrollo del accidente postulado, y, por otra, las capacidades de cálculo y simulación del código TRAC-BF1, comprobando su idoneidad para análisis de LOCA y cálculo de la evolución de la máxima temperatura en las vainas de los elementos combustibles (PCT).

TRAC-BF1 incluye los modelos necesarios para predecir de forma realista los fenómenos observados en instalaciones experimentales y está aceptado (RG 1.157) como herramienta de cálculo realista. Este código está disponible en virtud de la participación de los miembros de GPE-BWR en el Programa ICAP, para lo que ha sido preciso desarrollar modelos de las correspondientes plantas.

BASES PARA EL ESTABLECIMIENTO DE UNA METODOLOGIA

La 10CFR50.46 requiere el análisis de los posibles accidentes de pérdida de refrigerante considerando todo el espectro posible de roturas, en cuanto a tamaño y situación, además del fallo simple más limitativo en los ECCS.

Se establecen también los criterios de aceptación para el funcionamiento de los ECCS, en términos de la temperatura máxima (PCT) calculada en las vainas de los elementos combustibles (no debe exceder de 2.200 F), y otros límites para la máxima oxidación de las vainas y generación de hidrógeno por su reacción con vapor, así como el mantenimiento, a largo plazo, de la refrigeración del núcleo.

El criterio más restrictivo, pues los demás generalmente se cumplen al cumplirse éste, es el relativo a la máxima temperatura en vainas, para cuyo cálculo la 10CFR50.46 prescribe, en su reciente revisión, dos posibles caminos:

Por una parte, permanece vigente el antiguo Apéndice K, en el que se establecían ciertas características conservadoras que deben tener los "Modelos de Evaluación", algunas de las cuales lo son excesivamente y penalizan innecesariamente los resultados como las relativas a:

- Fuentes de calor, en cuanto nivel inicial de potencia y calor de decaimiento.
- Transferencia de calor después de CHF (critical heat flux), no dando

crédito al retorno a ebullición nucleada.

La consideración de que los requisitos del Apéndice K pueden dividirse entre requeridos y aceptables permitió, utilizando alternativas menos conservadoras para estos últimos, elaborar metodologías de análisis que, aun cumpliendo con el citado Apéndice, proporcionan unos resultados con un amplio margen respecto a los límites admisibles. La aceptación de esta alternativa se recoge en el documento SECY-83-472.

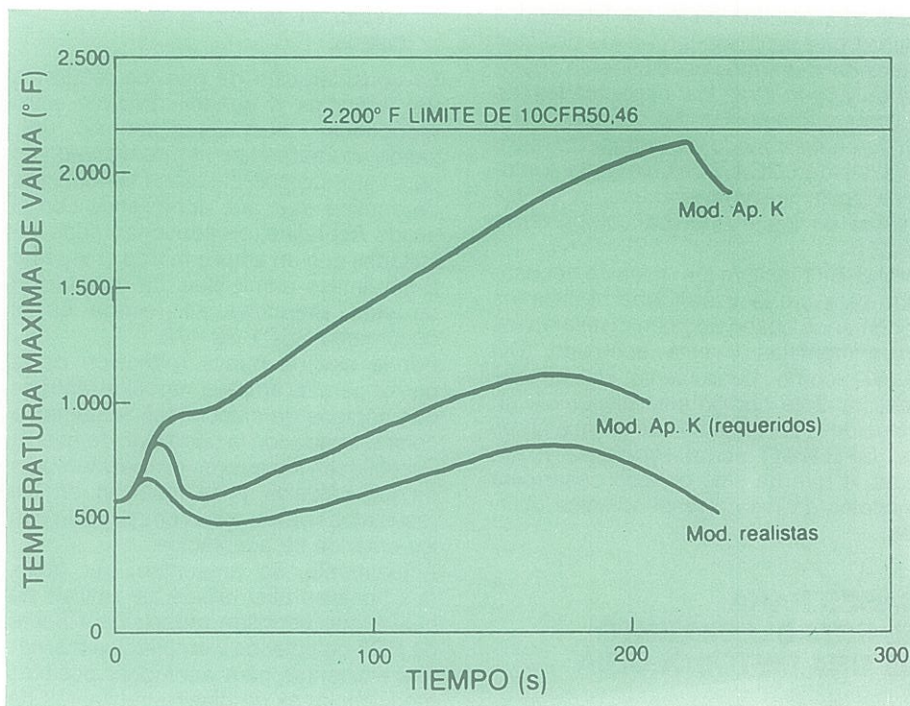
Por la otra, la nueva redacción de la norma permite emplear modelos realistas con códigos de cálculo suficientemente contrastados, con la condición de que se cuantifiquen los errores e incertidumbres de los cálculos y se incluyan en los resultados finales, para comparación con los criterios de aceptación.

Actualmente, se presentan, por tanto, dos posibles alternativas de análisis de LOCA que permitan reducir los valores de PCT calculados y ampliar los márgenes existentes para acomodar posibles modificaciones de diseño, relajación de especificaciones o flexibilización de la operación.

La primera consistiría en emplear un "modelo de evaluación" que incluya conservadurismos sólo para las características "requeridas" por el Apéndice K con opciones realistas, debidamente justificadas, para las características "aceptables". Dado que los códigos de cálculo disponibles han sido desarrollados con modelos y correlaciones realistas (best estimated), esta alternativa supondría modificar dichos códigos para que utilicen los modelos "requeridos" por el Apéndice K.

La segunda alternativa estaría basada en el empleo de los códigos realistas, suficientemente validados y contrastados con modelos de las plantas en condiciones nominales más probables y realizar un análisis de todos los posibles errores e incertidumbres, debidas tanto al código como a los datos que definen el modelo, para determinar en último extremo el grado de error en los resultados finales (PCT) y asegurar que el valor a comparar con los límites admisibles contiene un grado de conservadurismo consistente con la incertidumbre de los cálculos (típicamente un nivel de probabilidad del 95%).

En la figura 1 se ha representado la evolución de la PCT, para el Accidente Base de Diseño (rotura en guillotina de la línea de succión de Recirculación) con resultados típicos empleando distintos modelos de cálculo.



FI Evolución típica PCT.

METODOLOGIA DEL GPE-BWR

La metodología diseñada por el GPE-BWR está en la línea de los cálculos realistas, recogiendo las ventajas operativas que supone el empleo de un modelo de evaluación para la aplicación práctica y sistemática en cálculos de seguridad y licencia.

La 10CFR50.46 requiere el cálculo de la PCT para la Condición Límite, que se define como la peor rotura, en cuanto a situación, tamaño y fallo simple más desfavorable.

Dicha Condición Límite se determinará analizando todo el espectro de roturas con el Modelo Realista: hipótesis realistas y condiciones nominales de la planta.

Una vez definida la Condición Límite se trata de calcular en esas condiciones el Límite Superior de la PCT: aquel que es superior al que se alcanzaría en el 95% de los LOCA que se produjesen en dicha Condición Límite.

El Límite Superior se calcula considerando las incertidumbres de los cálculos con un nivel de confianza del 95% o superior. Dichas incertidumbres se han dividido en dos clases:

- Las consideradas como errores sistemáticos del código debido a las

simplificaciones, modelos, correlaciones, etc., que se determinan comparando las predicciones del código en experimentos con las mediciones realizadas, teniendo en cuenta las incertidumbres en las propias medidas.

- Las que se deben a la aleatoriedad de los datos de entrada que definen las condiciones de análisis y fenómenos/modelos no tenidos en cuenta en las instalaciones experimentales (comportamiento del combustible).

Estas incertidumbres se calcularán de forma genérica y se combinarán para definir el Límite Superior.

En base a análisis de sensibilidad se determinarán las variables y parámetros de los modelos que tienen mayor influencia en los resultados, en términos de PCT. Esto permitirá definir un "Modelo de Evaluación" que asegure que el valor de PCT obtenido con él está por encima del Límite Superior. Los resultados del Modelo de Evaluación serán los que se compararán con los límites admisibles.

ORGANIZACION DE PROYECTO

El Proyecto LOCA se ha programado con una duración de 3 años, organizándose un "Grupo estable de trabajo" en el

que participan los miembros del GPE-BWR, contando con el apoyo de UITESA como ingeniería de soporte en la realización de todos los cálculos genéricos y establecimiento de métodos de cálculo. Existe además un seguimiento directo del Organismo Regulador con participación activa en el Grupo de trabajo. Se cuenta también con la asesoría y apoyo de Yankee Atomic Co. que dispone de la experiencia reciente de haber desarrollado y licenciado ante la NRC una metodología similar.

En una primera fase se han recopilado datos de una serie de experimentos realizados, tanto de efectos separados (instalación THTF) como integrales (TLTA y FIST), habiendo reproducido hasta la fecha cinco de estos experimentos con excelente grado de acuerdo entre mediciones y cálculos. De los resultados de estos cálculos se han obtenido conclusiones en cuanto a criterios de modelización y correlaciones más apropiadas que se aplicarán en los modelos de las plantas. Una vez se finalice la simulación de los experimentos planteados se procederá a la adaptación de los modelos de plantas, desarrollados en el marco del Proyecto ICAP, y generación de la base de datos para códigos auxiliares de análisis de combustibles (FRAP-T6). En la segunda fase se han programado los cálculos básicos con modelos realistas de las plantas que abarquen todos el espectro de roturas, para posteriormente categorizar los parámetros que tienen mayor influencia en la PCT, y que será la base de los análisis de sensibilidad. Asimismo, se cuantificarán los errores sistemáticos del código, utilizando la contrastación de cálculos y experimentos y considerando las posibles incertidumbres debidas a la instrumentación.

Finalmente, en la tercera fase del Proyecto se realizarán los análisis de sensibilidad que permitirán seleccionar los parámetros que, establecida su distribución probabilística, servirán para acotar la incertidumbre aleatoria de los cálculos, y definir, por otra parte, el Modelo de Evaluación. Se realizarán en esta fase todos los cálculos genéricos que permitan justificar la reducción del espectro de roturas y cumplimiento de otros límites en la utilización práctica de la Metodología, que quedará recogida en los correspondientes Procedimientos de Aplicación.

Nota de los autores: Nuestro agradecimiento a D. José Antonio Díez de Cos y D. Juan Antonio Jiménez Sánchez, por sus aportaciones y comentarios para la realización de este trabajo.