



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.

VENTAJAS QUE OFRECE UNA CAPACIDAD DE CÁLCULO NUCLEAR INDEPENDIENTE

J. MARTÍN - A. GALICIA



Andrés GALICIA SAAVEDRA es ingeniero industrial por la ETSII de Madrid y diplomado en Ingeniería Nuclear por el Instituto de Estudios Nucleares. Trabajó en la Junta de Energía Nuclear hasta 1985, año en que se incorporó a Hidroeléctrica Española. En la actualidad trabaja en el área de neutrónica de la Unidad de Combustible Nuclear de Iberdrola.

INTRODUCCIÓN

"... Yankee's experience has shown that the capability to do reload design and licensing analysis has resulted in both tangible and intangible benefits." Bruce C. Slifer "Yankee Atomic's experience in reload design and licensing"

La Unidad de Combustible Nuclear ha abanderado desde 1993 el llamado Proyecto Giralda, cuyo objetivo es conseguir que Iberdrola posea la capacidad necesaria dentro del campo de la ingeniería nuclear para llevar a cabo la evaluación técnica, rigurosa e independiente de aquellos diseños de combustible que pudieran convertirse en posibles alternativas para C.N. Cofrentes. De esta manera Iberdrola se convierte en un interlocutor del suministrador que, por estar cualificado técnicamente, puede participar en gran medida en la elección del diseño del combustible que mejor se ajuste a sus intereses económicos, de producción y de operación.

Asimismo es importante tener en cuenta la sinergia que produce el hecho de que el diseño, análisis y licenciamiento sean llevados a cabo por el propio explotador responsable de la central, que adquiere un mayor conocimiento y comprensión de aquellos comportamientos del combustible que afectan a la seguridad.

Esta capacidad de ingeniería permite además, velar por la optimización del quemado en reactores de interés para la compañía y ofertar servicios cualificados de asesoría a terceros.

Aún se está en proceso de licencia-

miento ante las autoridades reguladoras tanto del conjunto de códigos de cálculo neutrónico y termohidráulico como de su metodología de uso, cabe destacar el hecho de que a diferencia de los programas de cálculo nuclear empleados por los vendedores de combustible, que han sido diseñados para modelar convenientemente combustible y reactores PWR, ó bien combustible y reactores BWR, los programas por los que se ha decantado Iberdrola reproducen y son de aplicación tanto a centrales PWR como BWR con resultados favorables idénticos, he aquí algunos ejemplos:

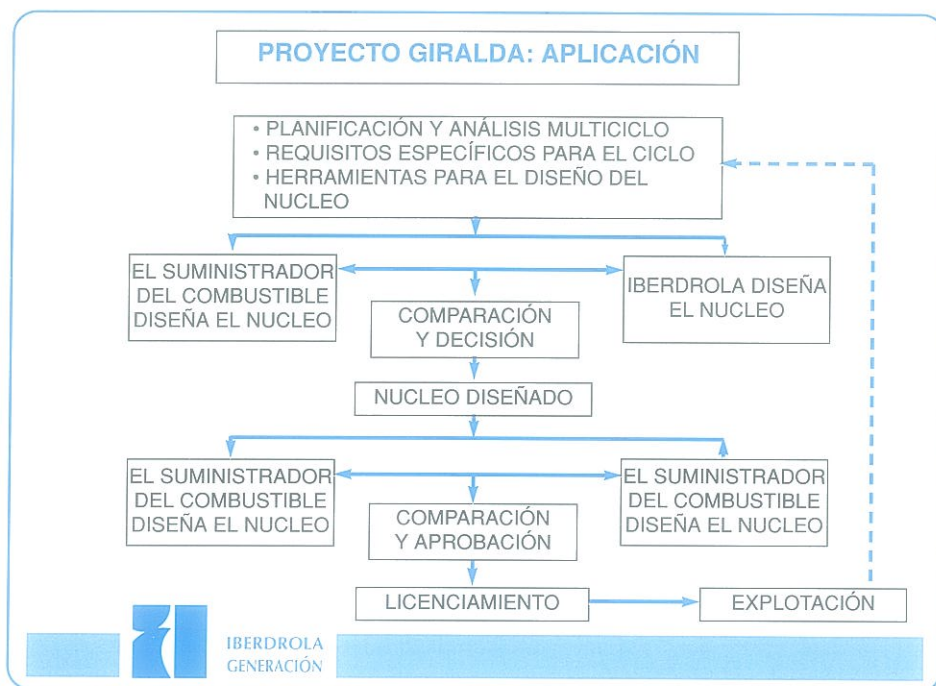
Verificación del diseño del núcleo propuesto por el suministrador.

En la actualidad Iberdrola reproduce de forma independiente el comportamiento de los ciclos de C.N. Cofrentes diseñados por el suministrador con el fin de conocer si se cumplen los requisitos de producción del ciclo previstos con las condiciones de seguridad exigidas.

Mediante la generación de las correspondientes constantes de celda asociadas a los elementos combustibles que forman el núcleo se alimenta al simulador del reactor que reproduce el Informe de Gestión del Ciclo proporcionado por el suministrador.

Se realiza un análisis en paralelo de los siguientes parámetros: Criticidades en frío, márgenes de parada, límites térmicos, evolución del quemado, gestión de barras, etc.

El poder disponer de esta capacidad de análisis ofrece la posibilidad de aportar



FI

sugerencias y debatir técnicamente la toma de decisiones para en la medida de lo posible, adoptar las más convenientes.

La realización de los análisis mediante dos metodologías diferentes es una garantía de la calidad de los mismos (Figura I).

Análisis de criticidad

El análisis de criticidad actualmente en vigor para el almacenamiento de combustible irradiado de diseño GE-10 y GE-11 en C.N. Cofrentes ha sido realizado internamente y es un claro ejemplo de capacidad de cálculo.

Se trabaja activamente en el desarrollo de una metodología propia para el análisis con el fin de que, mediante el uso de diferentes códigos, sea posible disponer de la capacidad de evaluar almacenamientos desde el punto de vista de sus condiciones para mantener subcriticidad.

La posibilidad de simular almacenamientos inundados, en seco, situaciones geométricas debidas a accidentes de manipulación, moderación óptima, contenedores,... tanto para combustible fresco como para irradiado y combustible PWR como BWR resulta muy atractiva y representa la posibilidad de gestionar la vida del combustible mientras éste permanece en la central.

Elección de diseños barrier/no barrier:

El valor de la densidad lineal de potencia que soporta el combustible determina, esencialmente, la posible interacción mecánica entre la pastilla y la vaina.

Existen dos posibilidades para tratar de prevenir esta interacción: limitar el valor de la densidad lineal de potencia del combustible (aplicación de las reglas de preconditionado) ó dotarlo de un nuevo componente que reduzca los efectos de la interacción, el llamado barrier.

El barrier consiste en una fina capa de Zirconio que recubre la superficie interna de la vaina.

El análisis del comportamiento de la densidad de potencia lineal con el quemado hizo posible tomar la decisión con respecto al uso de barrier en los elementos de diseño SVEA-96 que actualmente residen en el núcleo de C.N. Cofrentes en su primer ciclo de operación.

Mediante la simulación podemos conocer si en algún momento de la vida de los elementos combustibles, su valor de potencia lineal se acerca ó supera el considerado, para cada punto de quemado, como umbral de aplicación de las reglas de preconditionado.

Seguimiento del quemado

Es una de las actividades de la gestión del combustible nuclear que más utiliza las capacidades de cálculo internas. Se trata, en definitiva, de conseguir una óptima operación del combustible para obtener el máximo aprovechamiento de su energía.

Una de las funciones específicas del seguimiento es evaluar el progreso del quemado del núcleo de acuerdo con la gestión que se hace en el reactor de movimientos de barras de control y de los otros parámetros que se tienen en cuenta a la hora de determinar la distribución de la potencia del núcleo.

Una evaluación de los resultados obtenidos con respecto a la medida puede alertar sobre desviaciones no previstas en el diseño, analizarlas y, en su caso, corregirlas elaborando recomendaciones de operación que permitan un óptimo aprovechamiento del combustible.

Un ejemplo claro de la aplicabilidad de los métodos internos, son los transitorios operacionales, como bajadas de potencia para realizar pruebas de válvulas, disparos etc. En estas situaciones se analiza, de forma predictiva, el transitorio de Xenon debido a la variación de la potencia, permitiendo que el operador conozca de antemano cual debe ser la mejor estrategia de subida a las condiciones nominales para no superar los límites de operación. Por tanto, estas maniobras requieren que el operador disponga de la máxima información posible de estos transitorios. Actualmente se predicen estas situaciones operacionales para Cofrentes y Almaraz.

Introducción de elementos de demostración de otros suministradores

La gestión de combustible nuclear se basa en la utilización de códigos de simulación que proporcionan una gran variedad de cálculos específicos para el diseño, tanto de los elementos combustibles como del núcleo. Siguiendo la línea impuesta en Iberdrola de diversificación del combustible, se hicieron las gestiones pertinentes para introducir en el ciclo 9 de Cofrentes, elementos de demostración de nuevos diseños. Actualmente se encuentran dentro del núcleo 4 elementos del tipo SVEA-96 de ABB-Atom y 4 del tipo GE-12 de General Electric/ Enusa. El seguimiento de su evolución en el núcleo y la verificación de su comportamiento a lo largo del ciclo, tanto neutrónica como mecánicamente, nos ayudará en la elección del tipo de combustible que se introducirá en las siguientes recargas.

El ciclo 9 de C.N. Cofrentes es el primero en albergar en su núcleo elementos de diseño distinto a los de General Electric, este hecho ha implicado la necesidad de llevar a cabo numerosos análisis en cooperación con el nuevo suministrador y liderar el licenciamiento ante el Consejo de Seguridad Nuclear.

Decisiones como la ubicación en el núcleo de los elementos de demostración de ABB-Atom y el proceso global de evaluación han sido tomados conjuntamente.

Rediseños en caso de fallo

Iberdrola está comprometida con la filosofía de "reactor limpio". Por su parte, el suministrador mantiene una política de reducción de fallos con el

objetivo de llegar a suprimirlos totalmente. Sin embargo, y por desgracia, los elementos que se están quemando en el núcleo están expuestos a una serie de mecanismos de fallo que pueden romper la integridad de la vaina. Ejemplos claros pueden ser el depósito de cruídos sobre la superficie externa de la vaina, trozos de material suelto que impacte repetidamente contra la vaina provocando su rotura, defectos de fabricación etc. Cuando esto ocurre se procede a identificar lo antes posible a los elementos afectados para conocer si esta previsto cargarlos de nuevo en el ciclo o si acababan su operación comercial. En algunos casos es necesario modificar el mapa de carga del ciclo siguiente y en otros parar la planta para sacar el / los elementos dañados. La labor de rediseño suele ser parte de las tareas del suministrador pero en nuestro caso se colabora activamente dando nuestras alternativas sobre el nuevo mapa de carga basada en cálculos propios. Se ha colaborado en esta faceta en Cofrentes y Almaraz.

Estudio de opciones técnicas

El conjunto de códigos CASMO/SIMULATE ha sido aplicado también para la evaluación de diferentes opciones alternativas a los actuales diseños de combustible de Almaraz:

Utilización de Gadolinio como veneno consumible y diseño de elementos con mantos axiales.

En ambas opciones se han modelado con la suficiente precisión (3D) los elementos combustibles de forma que resulte fácil realizar cualquier estudio paramétrico necesario para evaluar las posibilidades de introducción de elementos con estas características dentro del núcleo.

Colaboración con otras empresas

La colaboración con otras empresas eléctricas que poseen una línea estratégica similar a la de Iberdrola en lo referente a combustible nuclear, hace posible el intercambio de conocimientos sobre estos temas que redundan en una mejor gestión del combustible. La potencialidad de una empresa para la gestión del combustible no debe quedarse estancada en unos conocimientos mínimos que la permitan ser autosuficiente, sino que debe existir una superación constante tanto de los métodos de cálculo que se aplican como de la formación de los especialistas que la componen. En este sentido Iberdrola ha potenciado los contactos con otras empresas de su mismo ámbito, por ejemplo, en la actualidad Iberdrola colabora con Tractebel (Bélgica) habiéndose reproducido en el último año el segui-

to del ciclo para 8 ciclos de sus Centrales Tihange-2 y Doel-4.

Sistemas de monitorización

Entendemos como sistemas de monitorización el conjunto de programas de ordenador empleados para la vigilancia de los parámetros importantes de la operación del reactor.

En la actualidad, Iberdrola está desarrollando, en colaboración con Studsvik, un sistema de monitorización independiente basado en el código Simulate-3 y dotado de capacidades de predicción. El desarrollo de este sistema es consecuencia de la política de diversificación de combustibles.

Conclusión

Disponer de una metodología de cálculo nuclear independiente, permite a una empresa eléctrica mejorar su gestión del combustible, lo que conlleva una reducción de costes que supone un claro incentivo para las empresas eléctricas que explotan reactores nucleares. Asimismo, la tendencia actual de ir a diseños de combustibles avanzados y a ciclos largos a la medida de cada reactor, hace interesante ligar los conocimientos del diseñador con la experiencia del explotador complementándose las capacidades de ambos.

Viene de la página 25.

T II

Resultados obtenidos en un Convex C3440 en algunos casos de validación usados habitualmente en el CSN

Casos de piscinas de almacenamiento de combustible

CASO	tiempo CPU (min:seg)	tiempo sistema (min:seg)	tiempo real (min:seg)	uso CPU 4cpu=100%	factor de concurancia	Aceleración
Conc.boro=0.0 Paso=1.89	90:02.36	0:58.20	25:57.05	87.7%	3.63	3.51
Conc.boro=0.49 Paso=1.89	71:47.67	0:48.33	20:51.90	87.0%	3.61	3.48
Conc.boro=1.25 Paso=1.89	60:22.36	0:41.33	17:48.26	85.7%	3.56	3.43
Conc.boro=2.15 Paso=1.89	49:39.17	0:35.44	14:39.43	85.7%	3.56	3.43
Conc.boro=2.55 Paso=1.89	45:17.87	0:33.09	13:28.51	85.1%	3.54	3.40
Conc.boro=0.0 Paso=1.715	89:57.38	0:57.63	26:24.82	86.1%	3.56	3.44
Conc.boro=1.03 Paso=1.715	63:48.02	0:43.75	18:25.46	87.6%	3.63	3.50
Conc.boro=1.83 Paso=1.715	57:44.37	0:41.64	16:51.63	86.6%	3.60	3.46
Conc.boro=2.55 Paso=1.715	53:02.51	0:37.33	15:37.98	85.8%	3.57	3.43

Caso de contenedor

Contenedor real	134:05.46	1:22.44	37:40.60	89.9%	3.74	3.60
-----------------	-----------	---------	----------	-------	------	-------------

El tiempo requerido para desarrollar ambas versiones ha sido de siete me-

ellos. En los sistemas distribuidos no existe este problema, porque cada

ses-hombre. Si no se considera el esfuerzo requerido para adquirir el conocimiento de las técnicas de comunicación entre procesos mediante paso de mensajes (que por otra parte no ha sido excesivo), el tiempo invertido en el desarrollo del sistema de memoria distribuida ha sido ligeramente menor que el de memoria compartida.

Cuando se programa un sistema compuesto de varios procesos concurrentes, se ha de tener la seguridad de que no se van a producir invasiones de memoria entre

procesos se ejecuta en un procesador diferente, que tiene su memoria física propia. En los sistemas de memoria compartida, la comunicación se basa en la compartición entre procesos (*threads*) de un espacio de memoria virtual. En estos sistemas existe la posibilidad de que se produzca una invasión de memoria y, por lo tanto, los desarrollos requieren una atención adicional.

REFERENCIAS

- [1] L.M. Petrie, N.F. Landers. KENO V.a: An Improved Monte Carlo Criticality Program with Supergrouping. ORNL/NUREG/CSD-2/V2/R4. 1992.
- [2] J. Ramón. Paralelización en memoria compartida de KENO-Va. Informe interno CSN. Octubre 1994.
- [3] Al Geist et al. PVM 3 User's Guide and Reference Manual. ORNL/TM-12187. May 1993.
- [4] F.B. Brown. Random Number Generation with Arbitrary Strides. Trans. Am. Nucl. Soc., 71, p. 202. (1994).