



Pedro ORTEGO SAIZ es ingeniero industrial en la especialidad Energética por la ETSII de Bilbao en 1979 y Diplomado en el XIV Curso de Energía Nuclear en la JEN. Comienza su actividad en el Departamento de Seguridad Nuclear de Empresarios Agrupados. En 1981 se integra a ENUSA, trabajando en diseño de recargas y en análisis de criticidad hasta 1987, cuando es nombrado Jefe del Grupo de Diseño del Núcleo BWR. Desde 1988 es Jefe de Grupo de Aplicaciones Neutrónicas donde se realizan, entre otros, los Análisis de Criticidad y el Diseño Neutrónico del elemento combustible.

LA SOLUCION DEL QUEMADO

ALTERNATIVAS PARA AUMENTAR LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE EN LAS CENTRALES NUCLEARES

P. ORTEGO

INTRODUCCION

La utilización de la piscina de combustible gastado de las centrales nucleares españolas, se ha convertido en la solución real e inmediata para esos residuos de alta actividad que son los elementos combustibles gastados.

Este hecho obliga a realizar un esfuerzo especial en optimizar su disposición y sus características, para que no llegue a darse la crisis máxima que puede provocar un residuo: detener la producción.

Por sus dimensiones y su diseño, una piscina de combustible gastado no es sustituible ni duplicable, así que el objetivo a conseguir es almacenar en ella el mayor número posible de elementos combustibles.

Tres aspectos definen los límites de almacenamiento en una piscina de combustible gastado. Son la resistencia mecánica de la estructura, la capacidad de extracción del calor residual y la criticidad o, mejor dicho, la seguridad de que no se vaya a producir una excursión de reactividad. La primera es una limitación definitiva dado que poco puede hacerse por mejorar la capacidad de carga estática y dinámica de todo el Edificio de Combustible.

La segunda no debe preocupar, al menos en lo que a extracción de calor global se refiere, dado que la producción de calor residual de los elementos almacenados más antiguos es despreciable respecto a los recién llegados. Otra cosa puede ser la re-

frigeración adecuada de la vaina para prevenir el fallo de la misma. La seguridad respecto a criticidad da mucho más juego. Por supuesto que cuantos más elementos combustibles se almacenan en el mismo espacio, más nos acercamos a la constante de multiplicación crítica, pero hay muchas otras variables en juego además del espacio. Están el enriquecimiento, los venenos absorbentes de neutrones, sean fijos o móviles, la presencia del moderador y, también, la disminución del enriquecimiento residual de los elementos debido a su propio quemado.

Así pues, y mientras que el propio diseño del Edificio de Combustible lo permita, la limitación de criticidad es la básica cuando se quiere aumentar la capacidad de la piscina, por lo cual un aumento del margen respecto a criticidad significa aumento de la misma.

FACTORES CLAVE. ENRIQUECIMIENTO Y SEPARACION ENTRE ELEMENTOS

El enriquecimiento ha sido tradicionalmente la variable fundamental que limitaba el diseño, tanto de la piscina de gastado como del almacén de combustible fresco. Desde la política Carter sobre reprocesamiento, que ha ido convirtiendo a los elementos gastados en residuos, el espacio físico ha pasado a ser la variable limitante del diseño.

Incluso sucede que ambos parámetros, espacio y enriquecimiento, se unen dificultando aún más el problema de criticidad. Esto ha sucedido cuando el explotador, buscando retrasar el rediseño de la piscina de gastado, ha decidido elevar el enriquecimiento de los elementos a recargar para reducir al mismo tiempo su número. Ello sin olvidar el importante aspecto económico del volumen de residuos en el coste de la parte final del ciclo de combustible. Así se ha llegado a enriquecimientos cercanos a 4,5 % mientras que el enriquecimiento máximo permitido en el diseño original de la piscina estaba en el 3 %.

Aunque en ambos almacenamientos, combustible fresco y gastado, se hayan presentado limitaciones de criticidad en los últimos años, el problema fundamental se produce en la piscina de gastado.

Esto se debe a la existencia del agua como refrigerante y blindaje, la cual aporta al combustible la moderación imprescindible para alcanzar valores elevados de la constante de multiplicación efectiva Kef. Y esto de forma permanente, con lo cual, sin darse ninguna situación accidental, es normal tener valores de Kef del orden de 0,90, cuando el límite admisible es de 0,95. Incluso para ciertos diseños, y con apenas 4 % de enriquecimiento, se alcanza el valor de $K_{ef} = 0,93$ con un solo elemento aislado sumergido en agua. A cambio de esto, se tiene la ventaja de no tener que analizar hipótesis de accidente engorrosas como es el caso de la moderación óptima.

En cambio, el almacén de elementos frescos, por realizarse en seco, no presenta limitaciones graves de criticidad. Solamente con la introducción de los ciclos de 18 meses en la explotación de los reactores y el consiguiente aumento del tamaño de recarga se han planteado ciertos problemas de capacidad.

Sin embargo, el escaso número de elementos requerido y la nula problemática de actividad térmica o radiológica han facilitado la adopción de soluciones sencillas y baratas, como es el caso de las Estructuras Soporte o «perchas» diseñadas por ENUSA para ampliar la capacidad utilizando espacios libres del Edificio de Combustible.

En este almacén la condición limitante viene dada por el accidente de moderación óptima, aunque llegado el caso de una limitación mayor por criticidad, podrían encontrarse soluciones poco costosas (cortinas absorbentes) para mantener la disposición actual con combustible de mayor enriquecimiento.

ALTERNATIVAS PARA EL AUMENTO DE CAPACIDAD. ACERCAMIENTO ENTRE ELEMENTOS Y COMPACTACION

La reducción del espaciado entre elementos o «reracking», simultáneamente con la utilización de absorbentes de neutrones «venenos» se presenta como una solución de coste intermedio para aumentar la capacidad de la piscina de gastado. La presencia del veneno disminuye el valor de la Kef del elemento aislado, al que rodea, porque dificulta la moderación de neutrones y también impide la comunicación neutrónica entre elementos adyacentes, compensando el aumento de reactividad debido al acercamiento entre elementos.

Se consigue así una reducción importante del espacio destinado a cada elemento, aunque no hay que despreciar el espacio ocupado por el propio absorbente neutrónico. La inversión necesaria es significativa ya que hay que sustituir completamente los bastidores existentes por los nuevos con venenos y es necesario mover todos los elementos ya almacenados en la piscina.

Lo anterior se refiere a venenos fijos, situados en la propia estructura de los bastidores que alojan los elementos, e inseparables de ella. También existe la solución de los venenos móviles que puedan aplicarse mecánicamente al elemento o separarse de él a voluntad, con el imprescindible dispositivo de seguridad que evite su retirada accidental.

Es una solución muy barata para poder ampliar la capacidad de la piscina cuando el diseño de los bastidores permite el acercamiento de los elementos entre sí. No lo es tanto cuando es necesario sustituir los bastidores, aunque, aun así, supone una reducción de coste sobre los venenos fijos. Para los elementos PWR, ENUSA ha patentado un dispositivo tapón DTCC que inserta barras de acero en los tubos guía para rebajar la reactividad del elemento.

Una solución bastante más costosa que la de los venenos es la compactación, es decir el desmantelamiento de la estructura del elemento combustible para formar «paquetes» con las barras de combustible y con las restantes partes estructurales del elemento. Así se consigue duplicar prácticamente la capacidad de la piscina, aunque con una inversión considerable, dado que hay que sacar una por una las barras de combustible de los elementos y almacenarlas en los «paquetes».

Aquí se juega con otra de las variables nombradas al inicio: la presencia del moderador. En efecto, al compactar las barras de combustible en «paquetes» las mismas adquieren una disposición triangular o cuadrada, pero de cualquier manera se encuentran en contacto por lo que la cantidad de moderador (agua) existente entre las mismas se reduce mucho, con la consiguiente reducción en el valor de Kef. Es decir que, simultáneamente se ha aumentado el número de elementos almacenados y se ha reducido la Kef, todo gracias a la desaparición de la estructura del elemento, la cual, como es lógico, está diseñada para maximizar la reactividad.

No parece ésta una solución muy eficiente desde el punto de vista económico para el conjunto de la piscina. Sin embargo, puede ser muy interesante como solución marginal, para ser usada a medida que las necesidades lo exijan, dado que permite emplear la misma estructura de bastidores ya existente.

SOLUCIONES «BLANDAS». CONTROLES ADMINISTRATIVOS Y CREDITO AL QUEMADO

Hasta ahora se han planteado las soluciones posibles para controlar la criticidad de la piscina de gastado con un almacenamiento lo más compacto posible de elementos combustibles. Se trata de soluciones más o menos complejas que implican la realización de nuevos bastidores, la inserción de venenos o el desmontaje de los propios elementos pero, en todo caso, con una inversión importante.

Existen, sin embargo, soluciones «blandas» para reducir la criticidad, soluciones basadas esencialmente en el cálculo, haciéndolo más completo y más preciso, las cuales, como se decía al principio, significan aumentar la capacidad de la piscina de gastado.

La primera frontera donde ganar margen es el propio quemado de los elementos combustibles. Como es natural, casi todos los elementos almacenados en la piscina tienen un quemado muy alto por lo que su reactividad es mucho más baja que cuando son frescos. Tradicionalmente no se ha dado crédito al quemado de combustible en los análisis de criticidad debido a la dificultad de modelar con exactitud el agotamiento de los isótopos fisiles y la acumulación de los productos de fisión y de los actínidos en la matriz del combustible.

También influía la misma dificultad

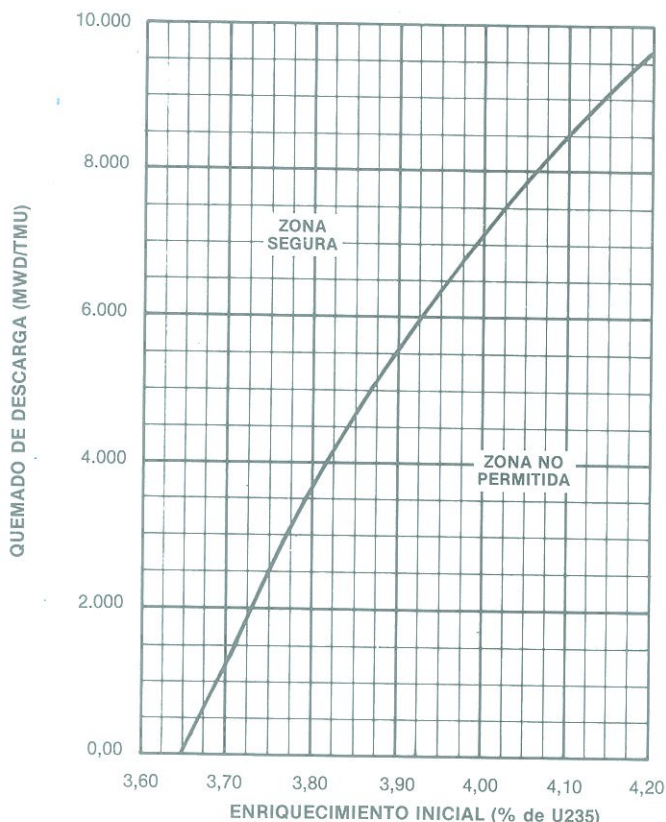
en llevar una contabilidad precisa del quemado de cada elemento combustible durante su vida activa, debido a las incertidumbres en la distribución de potencia e historias de huecos y control en los ciclos en los que se ha quemado.

Existen también otras razones prácticas para no dar crédito al quemado en los análisis de criticidad. Se trata de la necesidad de reservar en la piscina espacio suficiente para alojar un núcleo entero con el fin de poder vaciar el mismo en caso de accidente. Dado que parte de estos elementos pueden ser frescos, es necesario que al menos en una parte de la piscina no se dé crédito al quemado. Además es la práctica normal que los elementos frescos a cargar en el núcleo se alojen en la piscina de gastado previamente a la recarga.

Por otra parte, en los elementos BWR, o en general en aquellos que disponen de venenos consumibles integrados en la matriz de combustible, la máxima reactividad del elemento no se da para combustible fresco, sino para un cierto quemado. En este caso, la no consideración del quemado obliga a no dar tampoco crédito a efecto del veneno consumible, dando lugar a una doble penalización.

Todo ello lleva a la necesidad de modelar de forma más realista las condiciones de la piscina. La NRC propuso en 1981 una Revisión 2 a la RG 1.13, aceptando de forma general dar crédito al boro en los análisis de criticidad. Desde entonces, se han licenciado con crédito al boro las piscinas de una docena de centrales en EE.UU. Los problemas especiales antes nombrados de descarga de un núcleo entero y estancia temporal de los elementos frescos, se solucionan mediante la aplicación de controles administrativos como, por ejemplo, con una vigilancia continuada de la concentración de boro en la piscina, la cual se puede realizar con plenas garantías en períodos de recarga o similares. Por su parte, con los elementos BWR la presencia de combustible fresco en la piscina de gastado no supone ningún problema especial.

ENUSA, con el apoyo de CN Almaraz, ha licenciado por primera vez en España la utilización realista de dar crédito al quemado de descarga del combustible y la aplicación de controles administrativos para el almacenamiento temporal del combustible fresco en la piscina de gastado, lo que ha permitido garantizar la subcriticidad para enriquecimientos muy superiores a los previstos inicialmente en el almacén de combustible irradiado.



FI Aplicación del principio de reactividad equivalente.

La solución analítica propuesta por ENUSA para el aumento temporal de la capacidad de almacenamiento se basa en dos aspectos: la utilización del Principio de Reactividad Equivalente (Fig. 1) y el disponer de una capacidad de cálculo basada en SCALE, con su modelación tridimensional de la disposición del material fisionable.

Finalmente hay que destacar la importancia enorme de tener un sistema de cálculo exacto y confiable para ganar margen de seguridad en la realización de los análisis de seguridad.

Como antes se ha visto, el margen existente entre el valor usual de la Kef de las piscinas de gastado y el límite admisible es muy reducido, del orden de 0,05, lo cual da gran importancia a la precisión con que se conozca la desviación o sesgo entre el resultado del código de criticidad y la realidad que se representa.

Para ello es fundamental validar el sistema de cálculo de criticidad respecto a una serie amplia de experimentos críticos fiables y que cubran un amplio margen de enriquecimiento, grados de moderación, etc.

ENUSA utiliza actualmente la versión 3 de SCALE, la cual emplea KENO V.a para los análisis de criti-

cidad, con una capacidad de representación tridimensional mucho más potente que las anteriores.

Esta versión ha sido validada por ENUSA en base a 40 experimentos críticos, resultando en una reducción de aproximadamente 0,006 en las incertidumbres a añadir a la Kef mejor estimada, respecto a validaciones de versiones anteriores. Esto supone que en la misma instalación puede almacenarse un enriquecimiento 0,06 % superior, todo ello por la mejora en el conocimiento del sistema de cálculo.

CONCLUSIONES

En definitiva, el logro fundamental que ha supuesto licenciar el crédito al quemado junto con la mejora en la precisión y conocimiento del sistema de cálculo ha permitido avances muy importantes en la criticidad de las piscinas de combustible gastado. Ello ha posibilitado ya aumentos sustanciales en el enriquecimiento máximo permisible en las piscinas, dando lugar indirectamente a una reducción en la necesidad de espacio. Simultáneamente, estos avances amplían grandemente la mejora máxima en capacidad que puede conseguirse rediseñando las piscinas actuales.