

I+D COMBUSTIBLE

Alberto PÉREZ NAVAS
José M^a FILELLA FARGAS



INTRODUCCIÓN EN ANA DE GADOLÍNIO COMO VENENO INTEGRADO

En 1992 se planteó la conveniencia de buscar una alternativa a los venenos consumibles hasta entonces utilizados: Wet Annular Burnable Absorbers (WABA).

Alberto PÉREZ NAVAS es Ingeniero Industrial (Técnicas Energéticas) por la Universidad Politécnica de Cataluña. Master Nuclear Engineering, por el MIT y Diplomado en Ingeniería Nuclear por la JEN. Ha sido Jefe de Gestión del Combustible de C.N. Ascó y actualmente es el Jefe de Combustible de la Asociación Nuclear Ascó y la C.N. Vandellós II.

José M^a FILELLA FARGAS es Ingeniero Industrial (Técnicas Energéticas) por la Universidad Politécnica de Cataluña. Ingeniero Genie Atomique por Saclay. Ha sido Jefe de Gestión de Combustible de la C. N. Vandellós II y actualmente, está adscrito al equipo de combustible nuclear de ANA-CNV II

Fueron varios los motivos para ello:

- Las maniobras para retirar de los EC irradiados los WABA ya usados no son sencillas y consumen tiempo y recursos durante la recarga además de incrementar la dosis de los operarios.
- Por otra parte, la optimización del diseño de los núcleos estaba limitada, como mínimo, por tres motivos: primero, por la obligada ubicación de los WABA en elementos de combustible frescos que impedía utilizar estos elementos en posiciones de barra de control; segundo, por la distribución preestablecida de las barras de los WABA en los elementos impidiendo utilizar las posiciones óptimas para venenos en el Elemento, en cada ciclo y tercero, por la dificultad de utilizar WABA con distribución asimétrica en los EC.
- La creciente utilización en todo el mundo del veneno consumible integrado en la barra de combustible hacía prever un encarecimiento de los WABA o, al menos, una reducción del mercado lo que implicaría mayo-

res plazos para sus suministro o la necesidad de creación de stocks.

- No menos importante resulta, de cara al futuro, la generación de residuos radiactivos cuya gestión es independiente del EC irradiado en sí.

De los dos productos que en su momento se ofrecían en los mercados para los reactores PWR, óxido de Gd incluido en la matriz de las pastillas cerámicas de óxido de uranio enriquecido y Boro depositado en una fina capa sobre las pastillas de uranio (IFBA), el de uso más extendido era el Gd mientras que el IFBA se utilizaba exclusivamente en EEUU.

Tras los primeros contactos habidos con Enusa quedó patente el interés que tenía para su fábrica desarrollar un procedimiento de fabricación de barras con GD, que era fácilmente implantable en sus instalaciones y de uso tanto para reactores tipo PWR como BWR. Por otra parte disponían de herramientas de cálculo contrastadas así como resultados de ensayos internacionales de barras irradiadas

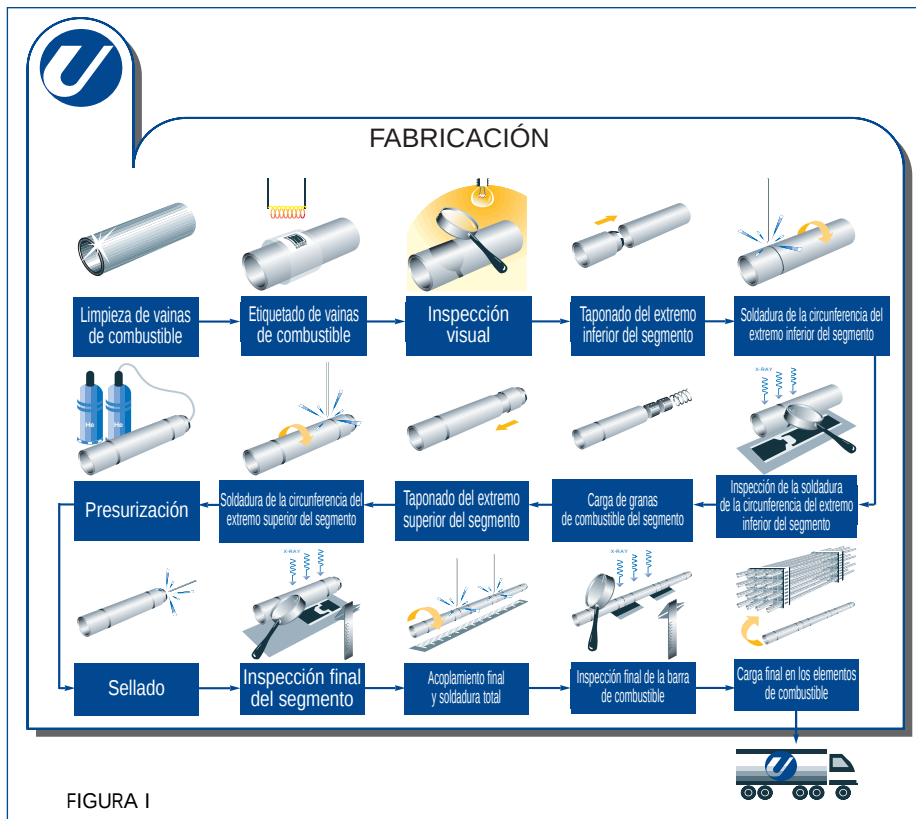


FIGURA I

(HALDEN, entre otros) que con un esfuerzo razonable permitirían desarrollar una metodología de cálculo licenciable ante el CSN.

También surgió el interés por desarrollar una metodología propia en ANA con las herramientas informáticas por nuestra parte disponibles (SEANAP), que nos permitiera seguir elaborando alternativas válidas de

esquemas de recarga para los diseños de núcleo al tiempo que se controlaba los de Enusa y se apoyaba a la explotación de las centrales.

Por todo ello se acordó en 1993 un protocolo entre ANA y Enusa para analizar de forma coordinada diferentes alternativas de diseño de EC y de esquemas de ciclo así como la

carga en el ciclo 9 de C.N. Ascó II un total de 8 elementos de combustible con Gd enriquecido al 6%.

Se contemplaba un programa de irradiación de dos ciclos para cuatro de los EC y de hasta tres ciclos para los 4 restantes, en el que se incluyeron diferentes campañas de inspección:

- Espesor de la capa de corrosión, mediante el SICOM
- Integridad de la vaina, por Ultrasonidos.
- Estabilidad dimensional, mediante el SICOM
- Visual.

Estas tuvieron lugar en abril de 1995 y noviembre de 1997 y el resultado de las mismas fue enteramente satisfactorio

Enusa emitió el ITEC-377 "Metodología de diseño y evaluación de la seguridad de la introducción de Gd en centrales PWR" para soportar la carga de los EC en el núcleo de Ascó II, y los ITEC-469 / 486 tras la finalización de la primera y segunda campaña de inspección.

El hecho de que se comenzaran transiciones a ciclos de 18 meses en 1994, hizo aconsejable analizar el impacto de la introducción de barras con Gd al 8%, necesario para el control de los futuros ciclos dada la mayor capacidad energética de los mismos.

A tal fin Enusa emitió el Apéndice 1 al ITEC-377 así como el ITEC-446 en el que se analizó el impacto específico de combustible con esta concentración de Gd en el ciclo 10 de Ascó II.

La experiencia ha sido positiva desde todos los puntos de vista y se utiliza Gd como veneno consumible integrado desde el año 1997 en Ascó y Vandellós II. Un beneficio no previsto pero no por ello menos importante, fue que durante la época de análisis de la situación creada por algunas inserciones incompletas de barras de control (IRI), se pudo disponer de EC con Gd y diseñar núcleos con barras de control sobre EC nuevos, no susceptibles de presentar problemas de IRI, de manera que el impacto en producción eléctrica de los ciclos así diseñados fue prácticamente nulo.

Recientemente se ha introducido la utilización de Gd de baja concentración (2%) para optimizar los esquemas de ciclos y disminuir en lo posible las necesidades de Boro (y por consiguiente, Litio) al inicio de los ciclos, lo que redundará en un mejor comportamiento del combustible frente a la corrosión

PROGRAMA DE IRRADIACIÓN DE BARRAS SEGMENTADAS EN CNV II

Se acordó en 1992 entre ENDESA/ENUSA/ MHI/KANSAI/NUPEC realizar en CNV II un proyecto de investigación sobre el comportamiento de diferentes tipos de combustible a altos quemados, denominado "Programa de Irradiación de Barras Segmentadas".

Este programa contemplaba la irradiación desde 1994 de cuatro elementos combustibles con un enriquecimiento inicial del 4,5%, cada uno de ellos con 8 barras segmentadas en la periferia del elemento. Cada uno de los

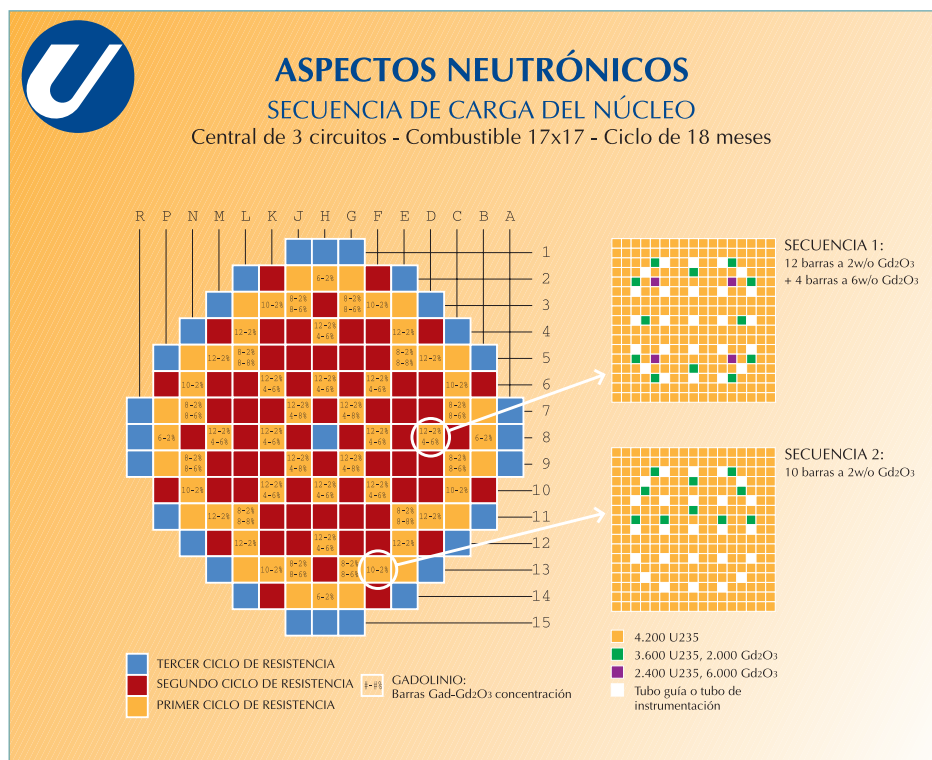


Figura II

segmentos, independientes entre sí y estancos, representaba uno de los diferentes materiales de vaina de W y MHI y tenían también distintos tipos de pastillas así como algunas pastillas anulares.

En el programa de Barras Segmentadas se incluyeron asimismo varias barras de referencia de longitud total, es decir, sin segmentar, de cada combinación de materiales. Estas barras, perfectamente caracterizadas, han sido revisadas en los programas de inspección llevados a cabo en las tres últimas recargas. El resto de barras de los cuatro elementos del proyecto dispusieron de vainas de Zirloy, dado que se esperaba alcanzar quemados elevados y además permitía ampliar la base de datos sobre este material.

En la recarga 7 se procedió a la inspección de perfilometría de las vainas de las barras segmentadas para analizar su crecimiento y deformación durante la irradiación.

Durante las recargas 7, 8 y 9 y 10 se llevaron

a cabo asimismo campañas de inspección visual, dimensional y de corrosión con el SICOM de los elementos de barras segmentadas, con resultados completamente satisfactorios, de acuerdo con las previsiones más optimistas.

Asimismo se procedió a la inspección por ultrasonidos a la altura de cada uno de los segmentos de los elementos de barras segmentadas, durante las recargas 7, 8 y 9, para detectar la posible existencia de fallos, con resultado de la inexistencia de defectos detectables.

En la recarga 10, en Marzo de 1999 se extrajeron las últimas barras segmentadas tras cuatro ciclos de operación, con un quemado medio superior a 52 GwD/TMU. Estas barras, junto a las extraídas en pasadas recargas, serán sometidas a rampas de potencia y otras pruebas en Studsvik para obtener un mejor conocimiento del comportamiento de los materiales avanzados (tanto de vaina como de tipo de pastilla sinterizada de óxido de

uranio) a altos quemados, para comprobar el comportamiento en transitorios del combustible al final de su vida útil.

La primera fase de este programa (irradiación de los EC de demostración) ha quedado finalizada y, como queda dicho, todas las barras han sido enviadas a sufrir las últimas vicisitudes previas al ensayo destructivo final en las celdas calientes. Aunque el cierre y conclusiones definitivas del programa va a necesitar cierto tiempo, las consecuencias positivas inmediatas para la central podrían resumirse en las siguientes:

- Conocimiento del comportamiento de los materiales frente a la corrosión y crecimiento dimensional.
- Acumulación de experiencia operativa en las diferentes disciplinas de inspección de EC, esqueletos y varillas.
- Acumulación de experiencia operativa en la reparación (reconstitución y reconstrucción de EC).
- Ampliación de la base de datos para el licenciamiento del uso de enriquecimientos del 4,5% y de materiales avanzados de vaina y esqueleto.

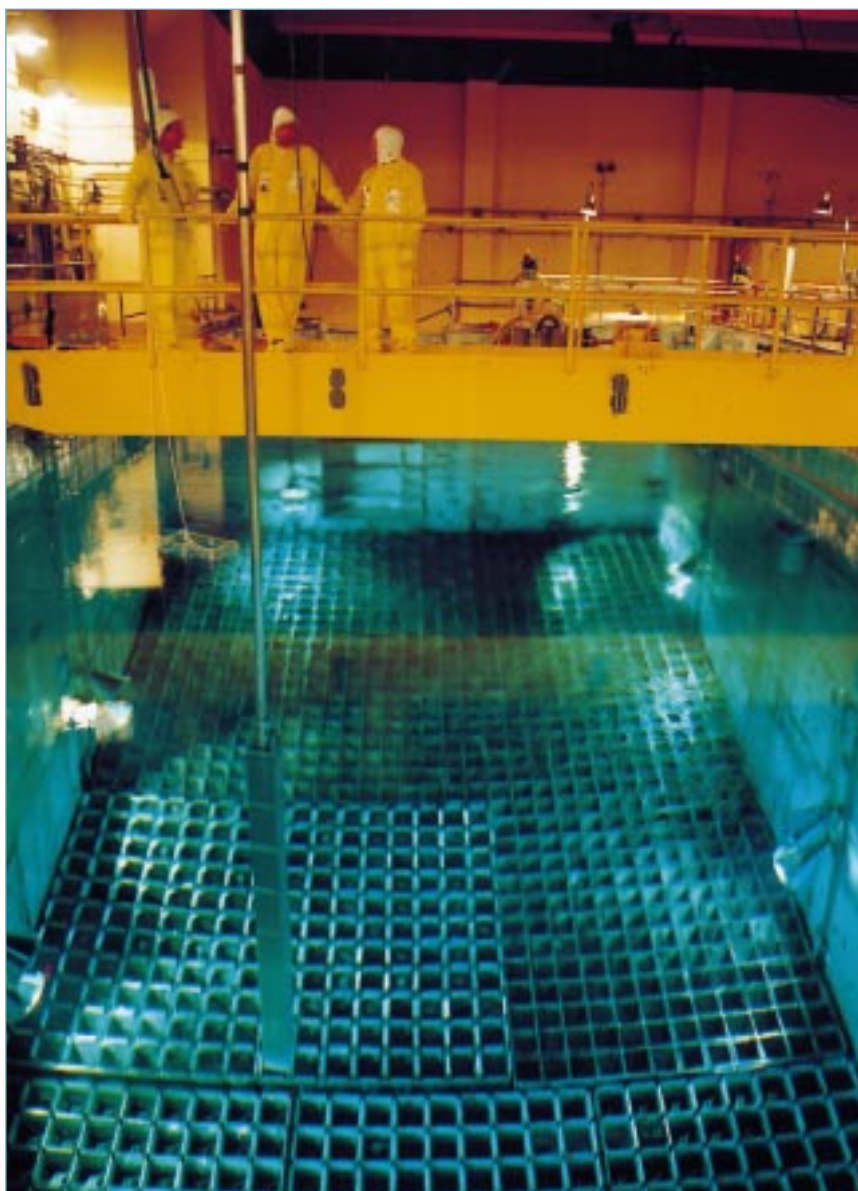
PROGRAMA DE EXTENSIÓN DE LA IRRADIACIÓN DE BARRAS EN CNV II

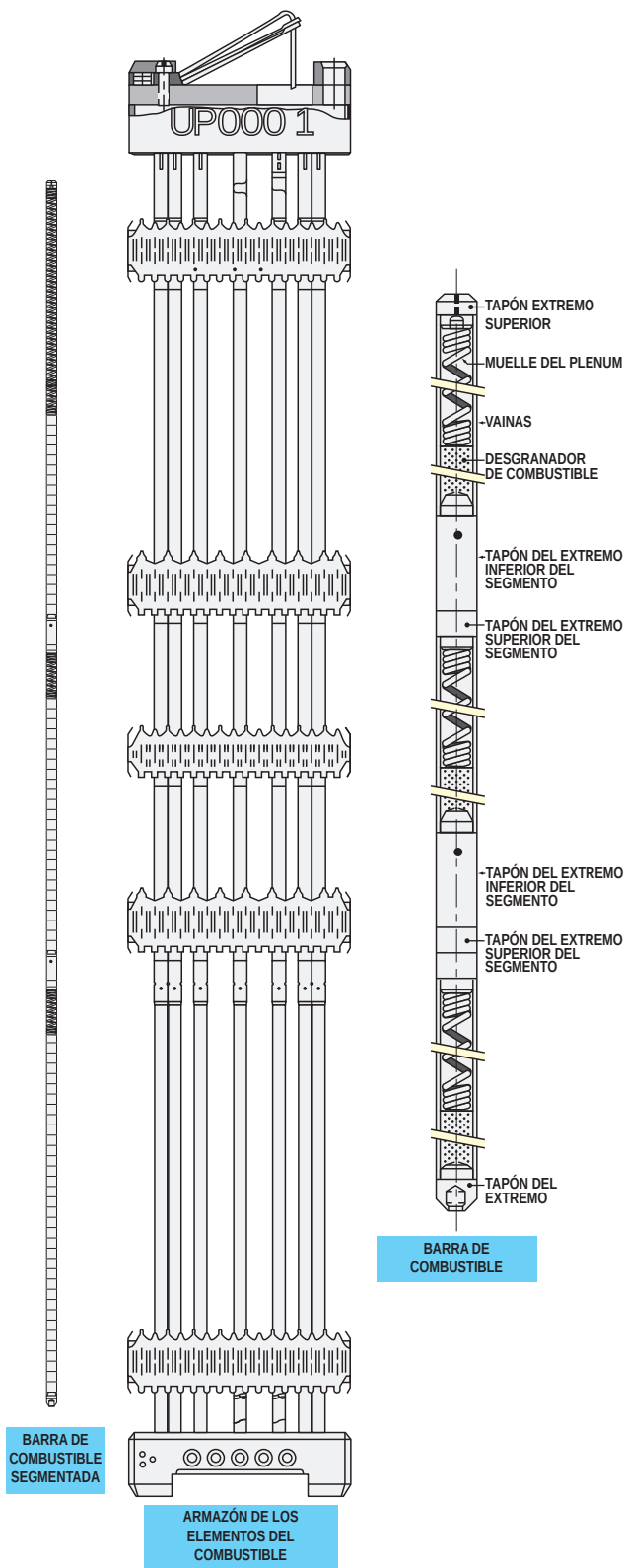
Según se ha indicado en el Programa de Barras Segmentadas, se dispusieron un cierto número de barras de longitud total con material de vaina de los fabricantes implicados. Actualmente y como resultado adicional de dicho Programa, se dispone de aquellas barras de Zirloy, Zirloy y MDA (Aleación avanzada de MHI) con quemados elevados, bien caracterizadas y con datos de inspecciones a lo largo de su vida útil.

Este hecho nos ofrece la posibilidad de ampliar nuestro conocimiento del comportamiento de los materiales avanzados a muy altos quemados, por encima de 62 GwD/TMU (quemado de varilla), mediante la irradiación de algunas barras de referencia durante un ciclo adicional.

En consecuencia y tras un proceso de evaluación conjunta, se acordó entre Enusa, MHI, Endesa y Kansai, un programa de extensión de la irradiación en C. N. Vandellós II durante un ciclo adicional de 18 meses de 10 barras de referencia (más 2 que serían cedidas al CSN para seguir una línea de investigación propia), previamente irradiadas hasta 52,3 GwD/TMU, contemplando únicamente barras de combustible con vaina de material avanzado (Zirloy y MDA).

La irradiación correspondiente a este programa ha dado comienzo en Marzo de 1999. Durante la parada para recarga se llevaron a cabo las tareas de reconstitución de los 5 EC implicados, lo que supuso extraer de los cuatro EC objeto del programa de Barras Segmentadas hasta 12 varillas gastadas (entre las que están incluidas dos que serán cedidas al CSN) e insertarlas en un elemento gastado o "portador" con reserva energética suficiente





como para permitir alcanzar a las varillas el quemado previsto.

Previo a estas operaciones, y para aplicación durante las mismas, se desarrollaron e instrumentaron planes de contingencia en previsión de incidentes que pudieran poner en entredicho el programa de producción del ciclo 11.

Para minimizar el impacto nuclear las barras fueron insertadas en un elemento parcial-

mente quemado, que va a ser descargado al final del ciclo 11. El elemento fue elegido con el objetivo de alcanzar en las barras un quemado de 70 a 75 GWD/TMU. Estos quemados elevados están avalados por los modelos de Westinghouse del WCAP-12610, y por la experiencia.

Las 12 barras objeto del programa de Extensión de la Irradiación se extraerán durante la parada para recarga de octubre del año 2000, siendo expedidas, tras un período de enfriamiento, a Studsvik para realizar las medidas y ensayos que forman parte del programa.

Este programa, al afectar a elementos con baja potencia y por lo tanto no limitantes, no ha tenido impacto en los análisis de accidentes, a excepción de los afectados por alto quemado: expulsión de un haz de barras de control y agarrotamiento del rotor de una bomba y fue necesario licenciar la operación, ya que se supera el límite de quemado de diseño. Los análisis de accidentes necesarios relacionados con el quemado están contemplados en el ESR del Ciclo 11.

PROGRAMAS DE ALTO QUEMADO

A la vista de los resultados y expectativas citados, se está analizando la posibilidad de iniciar un programa de irradiación de EC de demostración a altos quemados.

Las líneas principales de este proyecto, actualmente en fase de desarrollo, son las siguientes:

- Se introducirían esqueletos tipo MAEF y vainas de Zirlo, en cuatro elementos combustibles y el uranio tendría un enriquecimiento elevado (entre 4,5% y 5%)

- La carga de los EC de demostración podría tener lugar a partir del ciclo 12 de CNV II en Octubre del año 2000. Se quemarían durante tres ciclos previéndose alcanzar 75 GWD/TMU (quemado de elemento o esqueleto), para determinar el comportamiento de las vainas y de los esqueletos de los elementos combustibles a altos quemados.

- Los elementos se inspeccionarían con el equipo SICOM en las recargas durante su vida útil para obtener datos de la evolución dimensional, haciéndose asimismo inspección visual y de corrosión obteniendo datos hasta quemados elevados, superiores a 70 GWD/TMU.

- De forma similar a lo ya realizado en el programa actual de Extensión de Quemado, podría llevarse a cabo la irradiación de cierto número de varillas en un EC portador con lo que podrían alcanzar unos quemados del orden de 90 Gwd/TMU.

- Tras cada ciclo de irradiación se lleva a cabo una completa inspección de uno o varios de los EC de demostración: Visual, Integridad de vaina, Corrosión y estabilidad dimensional (elongación, torsión, arqueo,...). En función de los resultados, se decidiría el programa.

- Por otra parte, y a diferencia de programas anteriores, se pretende que el ritmo de quemado de estos elementos sea representativo de un núcleo de alto quemado en un ciclo de 18 meses.

