

Estrategia y soluciones en la gestión temporal del combustible gastado en España

J. E. Martínez Abad y M^a I. Rivera

La estrategia básica contemplada en el Sexto PGRR para la gestión del combustible gastado y los residuos de alta actividad es el almacenamiento temporal centralizado en seco basado en técnicas comprobadas y aptas para períodos de tiempo prolongados, que permita abordar con tiempo las posibles alternativas a la gestión final. Aunque el Plan prevé la construcción de un Almacén Temporal Centralizado (ATC) como la solución idónea para el caso español, hasta el momento en que esta instalación esté operativa, el almacenamiento temporal del combustible gastado se seguirá abordando de manera segura en las piscinas con capacidad ampliada de las centrales nucleares y mediante la construcción de Almacenes Temporales Individualizados (ATI) basados en la técnica de almacenamiento en seco en contenedores metálicos o de hormigón en los emplazamientos de las centrales con necesidad de capacidad adicional.

The basic strategy for the spent fuel and HLW management contemplated in the Sixth General Radioactive Waste Plan focused on the centralised interim storage of spent fuel, based on proved dry storage system technologies, over the time periods required until their definitive or very long term management. Specifically, the solution proposed as the most suitable for the Spanish case is the construction of a centralised interim spent fuel and HLW storage facility (ATC) for which a site is being searched. Until it becomes in operation, the interim spent fuel storage will be safely performed in the NPP reracked spent fuel pools or in individual ISFSI constructed in the NPP site, in those cases additional storage capacity is required.

EL PLAN GENERAL DE RESIDUOS RADIATIVOS

En el Sexto Plan General de Residuos Radiactivos, actualmente en vigor, se establece que "la estrategia básica española está centrada en el almacenamiento temporal del combustible gastado (CG) y de los residuos de alta actividad (RAA) en base a un sistema en seco que garantice su seguridad y la protección de las personas y del medio ambiente durante los períodos de tiempo necesarios para proceder a su gestión definitiva o a muy largo plazo"

La solución que ENRESA propone a la sociedad como sistema más racional y económico para llevar a cabo la gestión del inventario español del CG, y asumir el retorno de los RAA que desde Francia se devolverán en el plazo negociado, es la construcción de un Almacén Temporal Centralizado (ATC) del tipo de bóvedas al que se transportaría todo el CG desde las distintas centrales una vez las piscinas de las mismas estuvieran próximas a su saturación. Las características técnicas del diseño básico de esta instalación se describieron en el no 268 de esta revista en noviembre de 2006. El ATC se construiría en el em-

plazamiento designado, en el entorno de un parque empresarial dotado de un centro tecnológico para desarrollo de la investigación industrial general y de la nuclear en particular. En la figura 1 se muestra un boceto de lo que pudiera ser el parque tecnológico del ATC.

La idoneidad de esta propuesta se basa en que una gestión centralizada de todo el CG del país:

- Unifica y, por tanto, facilita la gestión de todo el CG, RAA y otros residuos de media actividad no susceptibles de ser almacenados en El Cabril, al tiempo que independiza la gestión temporal de la definitiva.
- Dota al sistema de gestión español de capacidad de maniobra ante posibles imprevistos (desmantelamientos prematuros).
- Reduce el número de instalaciones nucleares para almacenamiento.
- Permite liberar completamente los emplazamientos nucleares para otros usos.
- Permite racionalizar y optimizar la operación
- Desde el punto de vista económico, es claramente ventajosa frente a la



JUAN ENRIQUE MARTÍNEZ ABAD, es ingeniero industrial especialidad Técnicas Energéticas por la Escuela Superior de Ingenieros Industriales de Madrid, es Jefe de Proyectos de ENRESA desde el año 2002, dónde se incorporó procedente de Empresarios Agrupados en donde desarrolló su carrera como ingeniero de equipos mecánicos. Desde 1976 lleva trabajando en el campo nuclear y desde 1989 en trabajos relacionados con los sistemas de almacenamiento y transporte de combustible gastado y residuos de alta actividad.



MARÍA ISABEL RIVERA VACAS es licenciada en Ciencias Químicas por la Universidad de Granada y Diplomada en Ingeniería Nuclear por el CIEMAT. Lleva trabajando en el campo nuclear desde el año 1983 en el área de seguridad y licenciamiento de centrales e instalaciones nucleares en Empresarios Agrupados. Desde el año 2001 colabora en distintos proyectos del Departamento de Ingeniería de Residuos de Alta Actividad de ENRESA, al que se incorporó en el año 2006.

opción de almacenamiento en cada central.

Desde un punto de vista exclusivamente técnico, la tecnología prevista para el ATC se eligió por la seguridad que, desde distintos aspectos, proporciona para una larga vida de diseño (60 años), el carácter pasivo de la refrigeración del combustible y el blindaje que proporciona un edificio de hormigón. El diseño genérico de esta instalación fue evaluado y valorado positivamente por



Figura 1. Instalación ATC.

el CSN durante el año 2006.

La designación de la ubicación del ATC compete al Gobierno de la nación. La selección del emplazamiento se está llevando a cabo mediante un proceso que se rige por principios de transparencia y voluntariedad. Actualmente el proceso se encuentra pendiente de la publicación en el Boletín Oficial del Estado de la convocatoria para solicitar municipios voluntarios.

EL INVENTARIO DEL COMBUSTIBLE GASTADO EN ESPAÑA

Aparte de las razones anteriormente expuestas en cuanto a las ventajas de la construcción de un ATC en España, el sistema de almacenamiento elegido (bóvedas modulares) es el más adecuado para un inventario de tipo medio, en cuanto a cantidad se refiere, y tan diverso en cuanto a tipos distintos de combustible PWR y BWR. Por otra parte, este modelo de instalación permite almacenar de forma compacta otras formas de RAA y de residuos media actividad, como los que van a ser recibidos de Francia y los que pudieran generarse durante el desmantelamiento de las centrales nucleares.

En la figura 2 se muestra la gráfica de generación temporal acumulada del combustible gastado, desde 1995 hasta el año 2040, comparándola con la capacidad útil de las piscinas de las centrales y las necesidades de almacenamiento adicional. Considerando una vida de operación de 40 años para las centrales, hacia el año 2030 el inventario sería de unas 6.700 tU (equivalente a 19.571 elementos) que es la base de diseño del ATC. La capacidad útil de las piscinas se mantiene constante hasta que se va reduciendo por efecto de los desmantelamientos.

De la gráfica se deduce que el año 2015 marcaría el momento de necesidad global de almacenamiento suplementario al de las piscinas. No obstante, aunque la capacidad útil total de las piscinas de todos los emplazamientos es superior a

la producción acumulada hasta la fecha indicada, las curvas muestran la necesidad anticipada de mayor capacidad para casos específicos. Esta circunstancia se presentó en primer lugar en la CN Trillo en la que, debido a un diseño original de su piscina de poca capacidad, en 2003 se requería ya capacidad adicional para la continuación de la operación.

Por lo tanto, la posibilidad de disponer de un ATC, que se construyera modularmente, para el entorno del año 2015 se considera la solución más idónea y racional para el almacenamiento temporal del combustible gastado en España.

ALTERNATIVAS AL ATC. LAS NECESIDADES EN EL TIEMPO

Aunque la solución ATC es considerada la solución más adecuada, la producción de combustible gastado se incrementa año a año. Las piscinas, con capacidades muy diferentes, se van saturando o aparecen circunstancias sobrevenidas (cierres prematuros de las centrales) a las que hay que buscar solución hasta la disponibilidad de la instalación centralizada.

Desde la década de los años 90, ENRESA, en estrecha colaboración con las compañías eléctricas que explo-

tan las centrales, viene implantando soluciones en este área para aumentar la capacidad de almacenamiento en los emplazamientos. Así, se han desarrollado distintos proyectos que corroboran que existen múltiples soluciones seguras y probadas para el almacenamiento temporal del CG alternativas a la instalación ATC.

Incremento de la capacidad de almacenamiento de las piscinas de las centrales

Durante la década de los 90 se realizó la ampliación de la capacidad de casi todas las piscinas del parque nuclear español. La solución del cambio de los bastidores de las piscinas de las centrales ("re-racking") se acometió como alternativa más rápida, viable y económica para el aumento de capacidad.

Los diseños de los bastidores, como los de otras estructuras, sistemas y componentes de las instalaciones industriales, y en especial en la industria nuclear por ser un sector de tecnología punta, se quedan obsoletos con el paso del tiempo. La aparición de nuevos materiales empleados como venenos neutrónicos, el desarrollo de códigos de análisis más fiables que permiten la reducción o eliminación de factores exageradamente conservadores y la aceptación del "crédito al quemado" para los análisis de criticidad, favoreció el diseño de nuevos bastidores que permitían una mayor densidad de almacenamiento. Cabe destacar que los nuevos bastidores de las centrales españolas, diseñados por distintas empresas nacionales (ENSA) y extranjeras (SIEMENS, SULZER), han utilizado en todos los casos acero inoxidable borado como material principal. Indicar que este material aún a la capacidad estructural requerida a las características de absorción neutrónica necesarias para el control de la criticidad. En cuanto a su construcción y montaje, se han instalado desde diseños

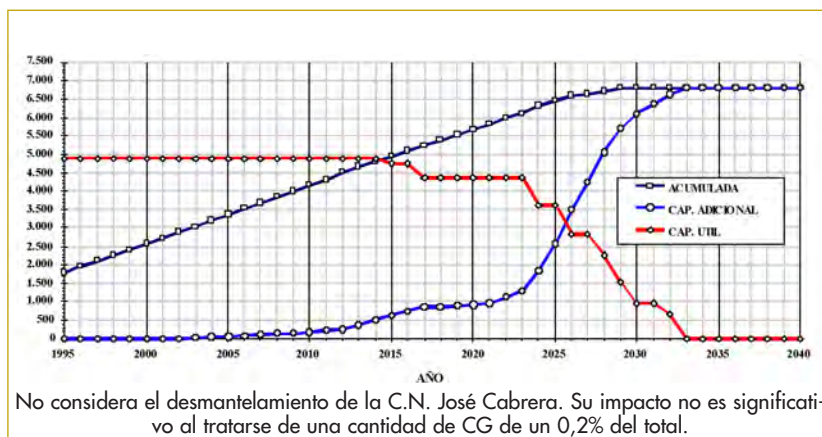


Figura 2.

Central Nuclear	Capacidad total util ¹		Año de saturación después del cambio de bastidores ²
	Antes del cambio de bastidores	Después del cambio de bastidores	
José Cabrera	241	479	-
GAROÑA	1327	2209	2015
ALMARAZ I	455	1647	2020
ALMARAZ II	455	1647	2021
ASCÓ I	431	1264	2013
ASCÓ II	431	1264	2014
COFRENTES	2400	47632	2019
VANDELLÓS 2	415	1437	2022
TRILLO	415	628	2003

¹Considerando una reserva de capacidad igual a un núcleo

²Incluye la segunda fase de cambio de bastidores completada en este año

Tabla 1. Aumento de capacidad en las piscinas de las centrales nucleares españolas.

con uniones soldadas a los más actuales con diseños "sin soldadura" de estructuras encastradas, en todos los casos autoportantes, facilitando enormemente los montajes en las piscinas en operación.

En la tabla 1 se muestran los datos específicos del aumento de la capacidad de las piscinas de las centrales y la fecha de saturación de las mismas que determina la necesidad de actuaciones adicionales. Cabe mencionar que el único cambio de bastidores realizado en la presente década ha sido realizado en la CN Cofrentes. El aumento de posiciones llevado a cabo a finales de los 90 en la Piscina de Almacenamiento de Combustible Oeste, que permitía la continuación de la operación hasta el 2009, se ha completado con un aumento de 1201 posiciones adicionales en la Piscina de Almacenamiento de Combustible Este, en un proyecto iniciado en el 2006 y completado recientemente.

Los contenedores metálicos de almacenamiento en seco y el ATI de CN Trillo

Siguiendo la línea implantada ya en otros países, para resolver la necesidad de la CN Trillo, tras el cambio de bastidores de su piscina, se optó por la construcción en el emplazamiento de una instalación de almacenamiento del CG en seco en contenedores independiente del reactor.

ENRESA inició en 1989 el proyecto de diseño de un contenedor de doble propósito para almacenamiento y transporte en seco del combustible KWU 16x16-20 de Trillo. Inicialmente se contrató con la empresa norteamericana NAC, tecnólogo destacado entonces en el diseño de contenedores metálicos, el desarrollo de un contenedor metálico

que pudiera licenciarse en EEUU para almacenamiento y transporte. El contenedor STC (Storage & Transport Cask) se diseñó para combustible Westinghouse 17x17, ya que, para licenciarlo en EEUU, debía poder aplicarse a combustible que existiera en ese país. Este proyecto consistió no sólo en el diseño del contenedor, sino que se contrató un proyecto más amplio para que se realizara una transferencia de tecnología a distintas ingenierías españolas que, bajo la supervisión de ENRESA, siguieron el proceso de desarrollo del diseño y la licencia en EEUU del primer contenedor que se autorizaba allí para ambas modalidades (almacenamiento y transporte). Con la experiencia obtenida, ENSA, siguiendo las pautas marcadas por NAC diseñó el contenedor DPT (Doble Propósito Trillo) durante los años 90.

ENRESA se decantó por este sistema de almacenamiento para Trillo fundamentalmente por ser:

- El más probado de los existentes en el momento.

- El más modular, permitiendo diferir la inversión hasta el momento de necesidad (con previsiones de fabricación de 2,5 años).

- De doble propósito y, por tanto, transportable a cualquier otra instalación en el momento elegido.

- El tipo de contenedor que presenta una operación de carga más sencilla.

El contenedor DPT fue aprobado por el Ministerio de Industria en 1997 y, tras ser fabricadas y probadas las dos primeras unidades, obtuvo la autorización definitiva para almacenamiento de combustible de hasta 40.000 MWd/tU y enfriamiento de 5 años en 2001 y un año después para transporte. Posteriormente ENRESA obtuvo aprobación para un aumento del grado de quemado hasta 45.000 MWd/tU con 6 años de enfriamiento. La aprobación de una segunda ampliación para almacenar combustible de hasta 49.000 MWd/tU y 9 años de enfriamiento se espera a muy corto plazo.

Por otra parte, el proyecto de diseño, licenciamiento y construcción de la instalación que albergaría los contenedores DPT, responsabilidad de la compañía eléctrica propietaria de la central, se llevó a cabo entre los años 2000 y 2002. Consiste en un edificio, diseñado siguiendo los criterios de los almacenes alemanes de Gorleben y Ahaus, con las siguientes características técnicas:

- Edificio diseñado para soportar el SSE de la central.
- Evacuación de calor pasiva por convección natural.
- Muros y techos de hormigón armado para blindaje por radiación directa y difusa. Tasa de dosis máxima permitida en el exterior del muro de 1µSv/h.
- Grúa de manejo de los contenedores a prueba de fallo único.
- Capacidad ampliable para 80 contenedores y dimensiones adecuadas para poder mover cada uno de los contenedores sin tener que mover ningún otro.
- Posibilidad de mantenimiento de los contenedores en el interior del propio edificio.



Figura 3. Almacén Temporal Individualizado de la central nuclear de Trillo.

El Almacén Temporal Individualizado (ATI) de Trillo, operativo desde el año 2002, alberga en la actualidad 16 contenedores DPT (figura 3) con un total de 336 elementos combustibles. A finales de 2009 serán 378 los elementos almacenados en seco en 18 contenedores.

Los contenedores de hormigón de almacenamiento en seco y el ATI de la CN José Cabrera

El proyecto del sistema HI-STORM 100 basado en el almacenamiento en seco en contenedores de hormigón surge de la necesidad de gestión del combustible gastado de la CN José Cabrera. El nivel y planificación temporal planteados para el desmantelamiento de la central requería la retirada previa del CG de la piscina. Entre las distintas alternativas para la gestión del combustible, la solución adoptada, en consistencia con las líneas de actuación establecidas en el PGR, ha sido también la construcción de una instalación de almacenamiento en seco en el propio emplazamiento, el ATI de la CN José Cabrera.

Igual que en el caso de Trillo, ENRESA ha financiado el proyecto asumiendo además las tareas de selección, licenciamiento y fabricación del sistema de contenedores, al tiempo que UFG llevaba a cabo la tramitación y construcción de una instalación diseñada para acomodar el contenedor de almacenamiento elegido.

En la selección del sistema de almacenamiento, en el año 2004, no se estableció a priori una tecnología preferente siendo evaluados tanto los contenedores metálicos de doble propósito (similares conceptualmente al DPT) como los sistemas de almacenamiento basados en cápsulas soldadas, que se cargan en la piscina utilizando un contenedor de transferencia desde el que posteriormente se trasvasan a unos módulos de hormigón-metal para la opción de almacenamiento o a un contenedor metálico para la opción de transporte. La evaluación concluyó a favor de ésta última tecnología fundamentalmente por las ventajas del confinamiento en cápsulas soldadas frente a los sistemas empernados ante posibles contingencias en una central en desmantelamiento (sin capacidad para el retorno del combustible a la piscina en caso de fallo de los sellos), por las menores dimensiones requeridas para la instalación sin edificio de cobertura prevista para el ATI y por el coste, significativamente menor a pesar de requerir más equipo auxiliar y más operaciones de manipulación que los contenedores metálicos.

Por otra parte, el almacenamiento temporal en contenedores de hormigón apoyados en una losa de hormigón armado a la intemperie era ya una tecnología muy



Figura 3. ATI de la central nuclear José Cabrera.

probada (con más de 1100 contenedores cargados en 44 instalaciones distintas en EE.UU. en la actualidad).

De entre los sistemas de contenedores de hormigón evaluados se eligió el sistema HI-STORM 100, entre otras razones, por tratarse de la tecnología más moderna, que no requería modificaciones significativas en las instalaciones de interfase con la central.

El sistema HI-STORM 100Z diseñado por Holtec para el CG de la CN José Cabrera constituye una adaptación del sistema HI-STORM 100 certificado por la NRC a las características de dicho combustible (menor longitud) y a las características de las instalaciones de carga en la central (capacidad de la grúa, limitaciones estructurales y de espacio en la piscina y en la ruta de traslado al exterior), así como al restrictivo tiempo de enfriamiento de los elementos combustibles del último ciclo. Además de combustible intacto de hasta 45.000 MWd/tU y 2,5 años de enfriamiento, el sistema está diseñado para almacenar el combustible dañado y los distintos tipos de aditamentos insertables en el CG de la CN José Cabrera. El proceso de licenciamiento del diseño del sistema HI-STORM 100Z duró dos años, obteniéndose la aprobación en agosto de 2006.

La carga de los 12 contenedores HI-STORM que albergarán la totalidad del combustible de la central se ha realizado en una única campaña iniciada en febrero y concluida a principios de septiembre de este año. El ATI de la CN José Cabrera (ver figura 4) almacenará 377 elementos combustibles, con 99 dispositivos tapón, 32 barras de control y 6 fuentes neutrónicas hasta el año 2015 en el que se trasladarían al ATC utilizando el contenedor de transporte HI-STAR 100, cuya aprobación del diseño se espera en breve. Adicionalmente, está previsto alojar en la instalación 4 contenedores similares cargados con los residuos especiales procedentes del desmantelamiento.

El ATI de la CN Ascó

El grado de ocupación de las piscinas de la CN Ascó ha hecho necesario empen-

der un nuevo proyecto de aumento de capacidad de almacenamiento en seco en el emplazamiento. A principios del 2009 ENRESA y ANAV han firmado un Acuerdo de Colaboración para la construcción del ATI que mantiene el alcance de las responsabilidades de los casos previos.

La evaluación realizada por ENRESA ha concluido de nuevo en el sistema HI-STORM 100 de contenedores de hormigón dispuestos en una losa a la intemperie como sistema de almacenamiento más conveniente para el ATI de la CN Ascó que, además, aprovechará gran parte de los equipos auxiliares y el contenedor de transporte HI-STAR, así como la experiencia acumulada en el ATI de José Cabrera. Los componentes principales (cápsula, contenedor de transferencia y contenedores de hormigón), adaptados a las características específicas del combustible e instalaciones de carga en Ascó, ya han sido diseñados por Holtec International. El diseño considera el almacenamiento de CG intacto y dañado de hasta 55.000 MWd/tU con tiempo de enfriamiento de 5 años y todos los tipos de aditamentos insertables en el CG. ENRESA prevé disponer de la aprobación del diseño a finales del año 2010.

La capacidad prevista para la nueva instalación considera la generación de CG de las dos Unidades hasta el año 2017, momento en el que se prevé que el ATC podría recibir este CG después de haber acomodado el CG de centrales con necesidades más urgentes. Una losa con capacidad para 16 contenedores (512 elementos combustibles) cubrirá tal objetivo. Asimismo, como previsión ante contingencias, el proyecto contempla la posibilidad de una segunda fase de construcción, que duplicaría dicha capacidad para permitir que todo el CG generado en la vida de diseño de las dos Unidades pudiera mantenerse almacenado en el emplazamiento.

La puesta en marcha está prevista para la primavera del año 2012, en la que se llevaría a cabo la primera campaña de carga, de dos contenedores, con combustible de la Unidad I. ■