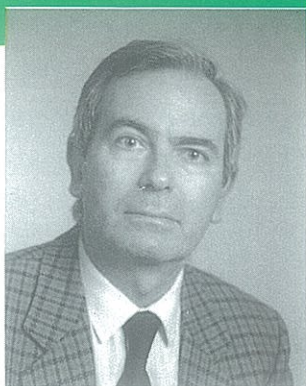




José Antonio ESPALLARDO MAURANDI
(ENSA)
Director de Tecnología y Servicios

TECNICAS DE ALMACENAMIENTO

GESTION DEL COMBUSTIBLE IRRADIADO

J. A. ESPALLARDO - E. RAMIREZ



Eduardo RAMIREZ ONTALBA (ENSA)
Dirección de Tecnología y Servicios

ANTECEDENTES

La necesidad de almacenar combustible irradiado, fuera de las piscinas de los reactores nucleares, surge por motivaciones económicas y estratégicas a finales de la década de los 70. En ese tiempo, la política USA (Nuclear non Proliferation Act 1978) prácticamente desechaba la reelaboración de combustible irradiado en dicho país y ponía grandes impedimentos a que otros países con programas nucleares de tecnología americana, reprocesaran su combustible irradiado; en el caso de España hubo grandes dificultades y demoras en la concesión del permiso MB-10 americano para los últimos transportes del combustible para reelaborar en BNFL.

Por otra parte, las compañías que ofrecían servicios de reelaboración en Europa, asociadas en United Reprocessors: COGEMA, BNFL y KEWA, cambiaron drásticamente sus condiciones de contratación, tanto desde el punto de vista económico, como en el de gestión de los residuos radiactivos.

Las Empresas eléctricas propietarias de centrales nucleares, y las distintas Administraciones, tomaron medidas encaminadas a incrementar la capacidad de almacenamiento de combustible irradiado.

La primera medida consistió en incrementar la capacidad de las piscinas de los reactores nucleares, ampliando los bastidores de almacenamiento, esta solución permitió pasar de la capacidad inicialmente prevista de un núcleo y una recarga en los reactores PWR, y un núcleo y dos recargas en los reactores BWR, a un núcleo y diez recargas como media, con lo que se ganaba tiempo para ver cómo evolucionaba la situación. La situación en la década de los 80 ha variado poco, los Estados Unidos flexibilizaron un poco su política con la entrada

en vigor el 7 de enero de 1983 de la Nuclear Waste Policy Act, en la cual se toman acciones para el almacenamiento definitivo del combustible irradiado, con lo que en ese país se genera una nueva estrategia, tanto desde el punto de vista de gestión económica (se genera una tasa de una milésima de dólar por Kw-h de origen nuclear) como de gestión técnica y estratégica; el DOE es propietario del combustible a partir de 1998, y se compromete a disponer de un emplazamiento y las instalaciones necesarias en 1998 (actualmente en el 2013). Hasta esa fecha, las Centrales Nucleares deberán almacenar el combustible irradiado en su emplazamiento.

En Europa la estrategia para el combustible irradiado siguió siendo la de reelaboración, continuando, no sin dificultades, la construcción de plantas en Francia, Inglaterra y Alemania.

En Japón, la decisión también fue la de reelaborar el combustible, bien a través de los contratos con URG, bien en la planta de Tokai Mura y la construcción de una nueva planta de reelaboración.

Suecia ha optado por el almacenamiento temporal y definitivo de combustible irradiado, en 1979 publicó la Stipulation Act, en la cual se fijaba como condición antes de ponerse en servicio las centrales nucleares, la necesidad de disponer de un contrato de reelaboración y un método seguro de almacenamiento de los residuos de alta actividad procedentes de esta operación, o bien un método seguro de almacenamiento directo de combustible irradiado. La Financing Act responsabilizaba de la gestión técnica y financiera a las Empresas Eléctricas bajo el control Gubernamental.

La acción en consecuencia tomada en Suecia fue la construcción de grandes piscinas de almacenamiento, única técnica licenciada en 1978, fecha origen del diseño de la piscina de CLAB de 3.000 tU de capacidad que entró en servicio en 1985. En 1987 hubo un

cambio legislativo de la Stipulation Act optando Suecia por el ciclo abierto definitivamente.

En España el Plan Energético Nacional aprobado por las Cortes Generales en 1983, y para el período que contempla el mismo, 1983-1992, considera al combustible irradiado como un residuo radiactivo. En 1984 se constituye la empresa ENRESA que tiene la responsabilidad de la gestión de los residuos radiactivos en España (incluyendo obviamente los de alta).

El cambio de estrategia en la segunda parte del ciclo de combustible nuclear, o la decisión de distintos países de, una vez incrementada la capacidad propia de las piscinas de los reactores nucleares, esperar e invertir en investigación y desarrollo con el objeto de encontrar las soluciones tecnológicas más adecuadas, provoca obviamente con el paso del tiempo que la capacidad de almacena-

miento disponible vaya disminuyendo paulatinamente, generando la necesidad de aplicar nuevas técnicas de almacenamiento de combustible irradiado, sobre todo en aquellos países en los que las Administraciones han impuesto condiciones como son Suecia, Estados Unidos y España.

TECNICAS DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE IRRADIADO, SITUACION ACTUAL

Podemos distinguir dos sistemas de almacenamiento de combustible irradiado en húmedo y en seco, según que el medio refrigerante sea un líquido o un gas.

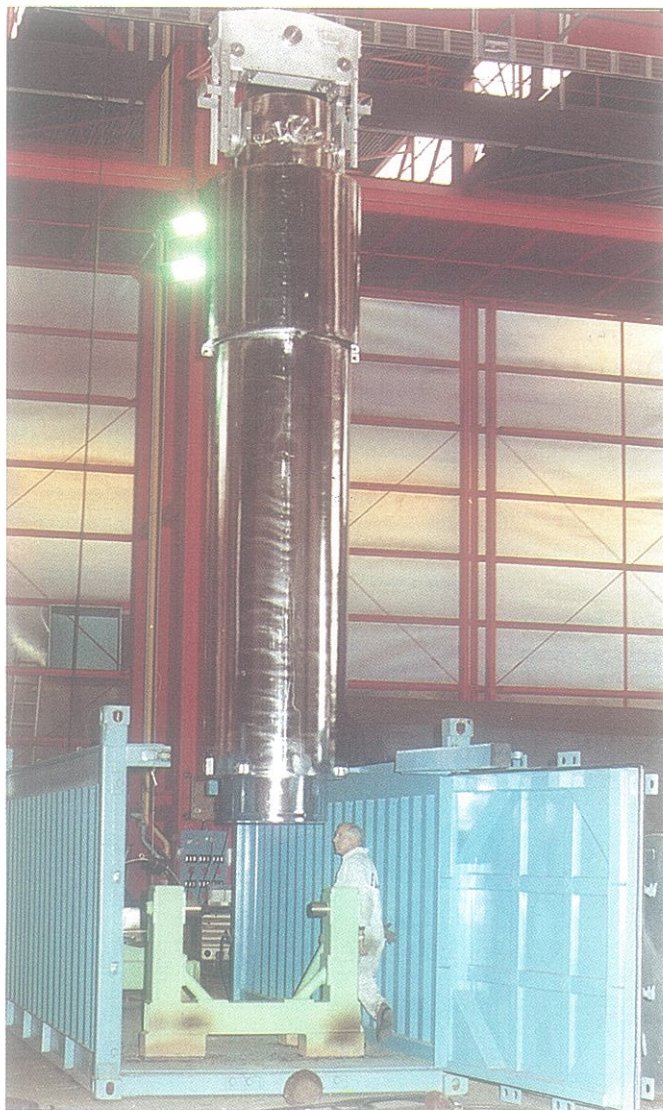
ALMACENAMIENTO EN HUMEDO O EN PISCINAS

Este sistema consiste en el almacenamiento de combustible irradiado bajo agua, que actúa como medio refrigerante y como blindaje, en piscinas de hormigón. Los elementos combustibles se colocan introducidos en bastidores metálicos, que se construyen con la adecuada separación, geometría y materiales, para evitar problemas de criticidad.

Los muros y el suelo de la piscina de almacenamiento son de hormigón armado y revestidos de acero inoxidable. El nivel del agua se mantiene a una altura suficiente para proporcionar un blindaje adecuado durante el manejo del combustible.

Las instalaciones de almacenamiento en húmedo están equipadas con sistemas de tratamiento de agua, refrigeración, ventilación y aire acondicionado.

F I Contenedor de transporte para 2 elementos combustibles. Fabricado por ENSA.



F II Módulo NUHOMS para 7 elementos PWR. Fabricado por ENSA.



El sistema de tratamiento tiene por objeto mantener una calidad del agua especificada, una buena visibilidad, eliminar los productos de fisión presentes en el agua, debidos a la difusión a través de la vaina del elemento combustible y los procedentes de los elementos de combustibles dañados y del "crud", manteniendo la dosis por debajo de un determinado valor. Estos productos de fisión pasan por las resinas de intercambio iónico del sistema de purificación, que cada cierto tiempo deberán ser tratadas en el sistema de procesado y de tratamiento de residuos. El sistema de refrigeración evacua el calor desprendido de los elementos combustibles, manteniendo la temperatura del agua por debajo de un valor establecido.

El almacenamiento en piscina es el método más usado en la actualidad, porque tanto, en los reactores como en las plantas de reelaboración, son imprescindibles. Existe experiencia de más de 25 años en piscinas de reactores y en plantas de reelaboración. Existen instalaciones autorizadas de este tipo en todos los países con reactores nucleares. Instalaciones de gran capacidad se encuentran asociadas a plantas de reelaboración en la Hague (Francia) y centrales nucleares CLAB (Suecia) y Ulkiluoto (Finlandia).

Los diferentes criterios nacionales de normativa y diseño, tales como normas de protección de impactos externos, caída de aviones, explosiones, nivel de redundancia en el sistema de refrigeración, temperatura máxima permitida en el agua, tanto en condiciones normales como anormales, hace que las previsiones de inversiones y costes de almacenamiento en piscinas varíen sustancialmente de unos países a otros.

ALMACENAMIENTO EN SECO

Este sistema utiliza como medio refrigerante de los elementos combustibles un gas que puede ser aire o un gas inerte. Se requiere siempre un almacenamiento previo, en una instalación de tipo húmedo (piscina de los reactores), durante un cierto período de tiempo, que oscila entre dos y cinco años según la técnica de almacenamiento.

Los diferentes tipos de almacenamiento en seco se encuentran en distintos grados de desarrollo, estando autorizados en la actualidad los contenedores metálicos (NAC, W, GNS, TN) y las cápsulas metálicas en módulos de hormigón tipo NUHOMS y NUPAC. Para combustible Magnox se encuentra autorizado en la CN de Wylfa (Inglaterra) un almacén en cámaras y para PWR la NRC ha autorizado un sistema modular para 85 PWR a Foster Wheeler. La técnica más desarrollada en la actualidad es la de contenedores que se describe a continuación.

Almacenamiento en módulos tipo NUHOMS y contenedores de hormigón

Las opciones de almacenamiento tipo NUHOMS y NUPAC están autorizadas por la NRC de acuerdo con el 10 CFR 72, y el tipo NUHOMS se está poniendo en práctica en las CN de Robinson de CPL. Consiste en una cápsula metálica en la que se introducen 7 elementos tipo PWR; las operaciones de llenado y cierre estanco de la cápsula se realizan en el interior del agua de la piscina del reactor, introduciéndose posteriormente en un contenedor metálico de transporte en donde se traslada hasta la zona de almacenamiento de la central (consistente en unos módulos de hormigón situados en posición horizontal). La cápsula se compone de una pared de acero inoxidable delgada, sin función de blindaje, de un bastidor para alojamiento de los combustibles y de un fondo y una tapa de acero inoxidable y plomo con función de blindaje.

Con el objeto de mejorar la eficacia de este sistema NUTECH, creador del mismo, ha solicitado autorización y la ha

obtenido para una cápsula de 24 elementos PWR (CN Oconee, Duke Power). Desde el punto de vista de inversiones, al sustituir como medio de blindaje el hierro por hormigón, la inversión inicial es menor que en el caso de contenedores metálicos.

El contenedor de hormigón clásico consiste en un cilindro hueco de hormigón armado situado en una plataforma, en posición vertical. En la parte superior tiene una tapa por donde se introducen los elementos combustibles encapsulados en acero inoxidable y en atmósferas de helio. La tapa de la cápsula se sella para dotar al contenedor de la estanqueidad requerida. El contenedor puede tener orificios en su parte inferior y superior para la circulación de aire o puede estar cerrado, siendo la refrigeración únicamente exterior.

Almacenamiento en contenedores metálicos

El almacenamiento en contenedores tiene su origen en el concepto canadiense de



F III Contenedor de Almacenamiento tipo NAC fabricado por ENSA

T I
LICENCIAS DE ALMACENAMIENTO CONCEDIDAS
HASTA DICIEMBRE 1990

Tipo	Diseñador	Modelo	Capacidad Elementos Combustibles	Fecha de Aprobación Por la NRC
Contenedor Metálico	GNS	CASTOR V/21	21 PWR	Sept-85
Módulo de Hormigón	NUTECH	NUHOMS	7 PWR	Marzo-86
Contenedor Metálico	W	MC-10	24 PWR	Sept-87
Contenedor Metálico	NAC	S/T	26 PWR	Marzo-88
Contenedor Metálico	NAC	28 S/T	28 Canister Comb. consolidado	Sept-88
Cámara de Hormigón	FW	Cámara modular almacenamiento en seco (MVDS)	83 PWR 150 BWR	Sept-88
Módulo Hormigón	NUTECH	NUHOMS-24 P	24 PWR	Abril-89
Contenedor Metálico	T.N. Inc.	TN-24	24 PWR	Julio-89
Contenedor Metálico	NAC	I28 S/T	28 PWR	Febr-90

T II
LICENCIAS DE ALMACENAMIENTO EN REVISION
(Topical Safety Analysis Report 10 CFR-72)

Tipo	Diseñador	Modelo	Capacidad
Contenedor Metálico	CE	Dry Cap.	24 PWR 60 BWR
Módulo de Hormigón	Pacific Sierra	VSC	24 PWR
Contenedor Metálico	GNS	CASTOR X	28-33 PWR
Contenedor Metálico	NAC	NAC-31 S/T	31 PWR
Contenedor (*) Metálico	NAC	STC	26 PWR

(*) Transporte y almacenamiento.

almacenar el combustible irradiado tipo CANDU en contenedores de hormigón, concebidos únicamente para la función de almacenamiento.

En los últimos años se han optimizado los contenedores metálicos, tanto para la función de transporte como para almacenamiento temporal de combustible LWR. Uno de los parámetros que más influye en el coste de fabricación del contenedor, es el tiempo de enfriamiento del combustible, previo a la carga del mismo. Los contenedores de transporte actualmente en el mercado están diseñados para combustible con 120 días

de enfriamiento, lo que supone una potencia térmica de entre 15 y 20 Kw/tU, que ha de disiparse a través de numerosas aletas. Tiempos de enfriamiento más largos (de 1,5 a 5 años) permiten simplificar extraordinariamente las aletas y reducir su número.

Se han empleado nuevos materiales y métodos de fabricación, tanto del vaso, como del bastidor, y se han optimizado los diseños e incluso en algunos países se ha desarrollado normativa específica para la función de almacenamiento. Lo anterior ha permitido disminuir considerablemente la inversión unitaria.

En la República Federal Alemana, DWK la empresa encargada de la parte final del ciclo de combustible patrocinó el desarrollo de dos diseños de contenedores de transporte y almacenamiento a las empresas GNS y TN. Los modelos tipos CASTOR y TN que se desarrollaron eran de fundición nodular y de escasa capacidad, esto se producía a finales de la década de los 70.

En diciembre de 1990, la situación en el área de contenedores de transporte y almacenamiento es la que sigue:

CONTENEDORES DE TRANSPORTE

Existen gran cantidad de contenedores de transporte en el mundo, habiéndose transportado unas tres mil toneladas de U (LWR). Las empresas más conocidas en transporte son: Transnuclear en Europa y NAC en Estados Unidos.

Los contenedores más grandes son TN 12 (12 PWR TN) y el NTL 10/24 (10 PWR de NAC). En diciembre de 1988, la Autoridad competente francesa ha autorizado como contenedor de transporte el TN 24, capaz de transportar 24 elementos PWR.

CONTENEDORES DE ALMACENAMIENTO

En Estados Unidos se han presentado de acuerdo con el 10 CFR 72 distintos Topical Safety Analysis Report (TSAR) ante la NRC, estando algunos en proceso de evaluación y otros aprobados.

Los contenedores que cuentan con la aprobación de la NRC son el CASTOR V, con capacidad para 21 elementos PWR, el Westinghouse MC-10 para 24 elementos PWR, el NAC ST-26 con capacidad para 26 elementos PWR, el TN-24 y NAC-ST para combustible consolidado.

Recientemente (agosto 1990) la NRC ha enmendado sus normas para poder conceder autorizaciones a las CC.NN. —sin necesidad de presentar aplicaciones para licencia en un emplazamiento específico—, para el almacenamiento en contenedores metálicos (NRC-Certified Storage Cask).

Los contenedores que han recibido el certificado, hasta la fecha, son el GNSI, CASTOR V/21, W MC10, NAC S/T y NAC C 28 S/T.

En el futuro la NRC podría enmendar sus normas para nuevos modelos de contenedores y otras técnicas de almacenamiento (NUHOMS, FW, etc.).

En las tablas I y II quedan recogidas las distintas aplicaciones presentadas a la NRC de acuerdo con el 10CFR 72 para obtener licencia de almacenamiento indicando la fecha de aprobación en su caso.

CONTENEDORES DE TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO

En la actualidad no existe ningún contenedor de doble propósito autorizado en un único país. Existen distintos desarrollos, en uno de los cuales participa ENRESA y una empresa americana basado en un diseño NAC con la contribución de diversas empresas españolas y que está en la fase final del proceso de autorización en la NRC.

PRESENCIA DE ENSA EN EL AREA DE ALMACENAMIENTO EN SECO

ENSA ha participado activamente en desarrollos de técnicas de almacenamiento de combustible irradiado en seco.

Desde el punto de vista de fabricación, la empresa ha fabricado distintos tipos de productos para el almacenamiento y para el transporte de combustible irradiado.

En el área de almacenamiento ha fabricado trece canister para la técnica tipo NUHOMS usados en la central nuclear de Robinson CPL., tanto para 7 elementos como para 24 PWR.

Ha fabricado asimismo el contenedor de trasvase para el canister de 24 elementos.

En colaboración con NAC ha fabricado el contenedor de almacenamiento ST 28 para la central nuclear de Surry Vepco. Se encuentra en período de fabricación, por encargo de ENRESA, un contenedor ST 26 para combustible 17 x 17 Westinghouse.

En el área de transporte ha fabricado para NAC, 5 contenedores del tipo LWT. Se puede decir, sin lugar a duda, que

ENSA es una de las empresas de más experiencia en el mundo, en el área de fabricación de contenedores tanto de almacenamiento como de transporte.

En el área de diseño de contenedores, ENSA ha recibido el encargo de ENRESA para el desarrollo de un contenedor de doble propósito para combustible KWU y tiene en cartera la idea de nuevos diseños de contenedores para distintos tipos de combustible y misiones.

TENDENCIAS FUTURAS

En el área del combustible irradiado, la política de no reelaboración de países como EE.UU, Suecia y España continuará aplicándose e incluso algunos países, que han optado por el ciclo cerrado, analiza la posibilidad de adoptar un ciclo mixto, parte del combustible se reelaborará y parte se almacenará definitivamente.

El almacenamiento definitivo de combustible irradiado necesita grandes períodos de tiempo para su implantación, selección de emplazamiento, desarrollo de técnicas y equipos, autorizaciones administrativas y construcción. Las primeras instalaciones a nivel industrial comenzarán a funcionar en la primera década del siglo venidero.

Es necesario, por tanto, continuar almacenando el combustible irradiado, bien en las centrales nucleares, bien en instalaciones intermedias hasta su reelaboración o almacenamiento definitivo.

Las técnicas para incrementar la capacidad de las piscinas de los reactores nucleares, "reracking" con bastidores con venenos neutrónicos (acero borado, ss con boral, etc.) permiten, si es posible su realización por condicionantes normativos o tecnológicos, prácticamente

multiplicar por dos la capacidad de las piscinas existentes. Esta técnica se está aplicando en USA y está prevista su realización en España.

Otra técnica, en desarrollo avanzado, es la consolidación del combustible, es decir, separar las varillas del mismo de los cabezales y rejillas y apilarlas en el equivalente de dos elementos combustibles por hueco de almacenamiento con lo que se multiplicaría la capacidad existente en las piscinas prácticamente por un factor de dos.

No obstante, lo anterior sigue siendo imprescindible disponer de una capacidad de almacenamiento para el combustible irradiado fuera de las piscinas de los reactores nucleares, por lo que en la década de los 90 se construirán y comenzarán su operación, a gran escala, instalaciones de almacenamiento, en las centrales nucleares o independientes, donde se almacenará temporalmente el combustible irradiado.

Las técnicas de almacenamiento serán las actualmente autorizadas: contenedores de almacenamiento, módulos NUHOMS, cámaras y en un futuro próximo, los contenedores de transporte y almacenamiento para combustible irradiado sin encapsular y encapsulado, lo que permitirá flexibilizar la operación de la instalación y los transportes.

Lo que parece claro es la tendencia hacia soluciones, para el almacenamiento intermedio de combustible irradiado, modulares y en seco.

En las tablas IV y V se recogen las licencias concedidas por la USNRC para instalaciones de almacenamiento de acuerdo con el 10CFR 72 en distintas centrales nucleares hasta diciembre de 1990, así como las licencias en estudio y las que esperan recibir a lo largo de 1991.

T III

LICENCIAS CONCEDIDAS POR LA NRC

Empresa Eléctrica	Emplazamiento del reactor	Docket y número de licencia	Fecha Aprobación	Modalidad
Virginia Electric Power Co. VEPSCO	Surry (Virginia)	72-2; SNM-2501	Julio 86	CASTOR V 21 WMC-10 NAC-128 S/T CASTOR X
Carolina Power and Light CPL	H-B Robinson (Carolina del Sur)	72-3; SNM-2502	Agosto 86	NUHOMS 7 PWR
Duke Power Co.	Oconee (Carolina del Sur)	72-4; SNM-2503	Enero 90	NUHOMS 24 PWR

T IV

LICENCIAS EN ESTUDIO POR LA NRC

Empresa Eléctrica	Emplazamiento del reactor	Docket n.º	Fecha Presentación	Modalidad
Carolina Power	CN Brunswick	72-6	Mayo 89	NUHOMS 7 PWR
Consumer Power	CN Palisades	72-7	Marzo 90	NCS
Baltimore Gas Electric Co	CN Calvert Cliffs	72-8	Dic. 89	NUHOMS 24 PWR
Public Service	CN Fort St Brain (HTGR)	72-9	Junio 90	MUDS
Northwest States Power	CN Prairie Island	72-10	Sept. 90	CONTENEDOR TN-40
Pacific Nuclear Fuel inc.		72-1004	Enero 91	NUHOMS 24 PWR