

KARL WASINGER

ALMACENAMIENTO DE ELEMENTOS COMBUSTIBLES GASTADOS EN HÚMEDO, UNA ALTERNATIVA ACTUAL

El autor analiza en el presente artículo que el almacenamiento de elementos combustibles en piscinas, teniendo en cuenta aspectos técnicos y económicos, constituye en muchos casos una alternativa atractiva y competitiva frente a otras soluciones propuestas.

INTRODUCCIÓN

En los comienzos del desarrollo de la energía nuclear, el almacenamiento de los elementos combustibles gastados se realizaba en piscinas con agua. Este tipo de almacenamiento para elementos combustibles altamente radiactivos ofrecía unas ventajas muy obvias. Dado que los elementos combustibles gastados aún producen una energía de desintegración considerables, el agua sirve perfectamente para su enfriamiento. La baja temperatura del agua, que suele estar por debajo de 40 °C, impide que se produzcan cargas que puedan poner en peligro la integridad de los elementos combustibles. Está demostrado en la práctica que los elementos combustibles pueden ser almacenados durante décadas, bajo las condiciones existentes en las piscinas de almacenamiento. Los elementos combustibles quedan almacenados durante varias décadas en piscinas con agua sin que se produzca ningún tipo de modificación en las vainas o en su estructura. Otra ventaja importante del almacenamiento de elementos combustibles en agua consiste en que su manejo y supervisión pueden realizarse con medios relativamente sencillos. El agua ofrece, aparte de una evacuación eficaz del calor residual, un blindaje excelente frente a la fuerte radiación que emiten los elementos combustibles gastados. Además, el operario puede observar, directamente y sin medios auxiliares, las maniobras que se llevan a cabo

dentro la piscina lo que supone una gran ventaja, sobre todo, comparándolo con el elevado volumen de trabajo que se produce con otros medios, p.ej. las celdas calientes.

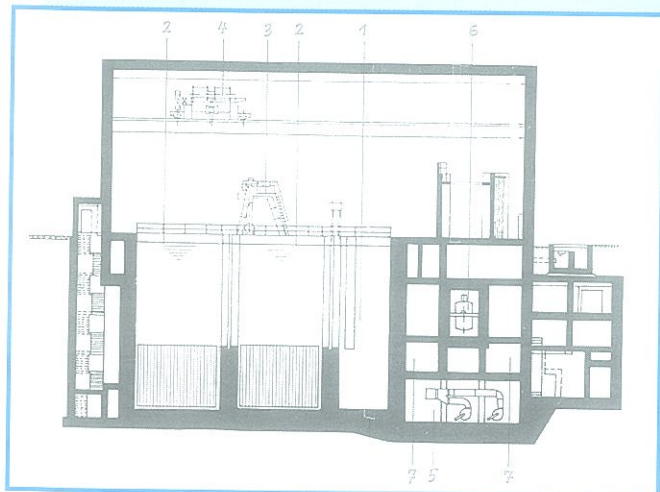
Sin embargo, el almacenamiento húmedo también producía costes operativos adicionales,

aunque insignificantes, y la limpieza del agua de la piscina de almacenamiento también producía algunos residuos radiactivos, aunque pocos. Además, para conseguir un enfriamiento fiable de los elementos combustibles almacenados - uno de los objetivos principales de protección - había que prever la implantación de componentes activos de operación, como bombas, válvulas y sus componentes mecánicos y eléctricos. El riesgo de su posible fallo debía mantenerse dentro de un orden aceptable para el público a base de una disposición redundante y una vigilancia constante. Estos aspectos adquieren un significado especial si se trata de un almacén de elementos combustibles fuera de una central nuclear, con una infraestructura propia. Para facilitar esto y también para evitar los costes

F. I.



F II.



do. No solo en las centrales nucleares, sino también fuera de ellas, como p.ej., en Francia, Gran Bretaña, Suecia, Finlandia y Bélgica y otros países, se ha dado preferencia al almacenamiento húmedo frente a cualquier otro tipo de almacenamiento.

ESTRUCTURA DE UN ALMACÉN HÚMEDO

de inversión en sistemas de operación, a finales de los años setenta, se comenzó con el desarrollo de lo que hoy en día se conoce como concepto de almacenamiento en seco. Mediante la convección natural del aire de refrigeración, que se forma debido al calor residual de desintegración de los elementos combustibles, la evacuación fiable del calor residual se realiza sola, sin la ayuda de sistemas y componentes activos. Hoy en día, se dispone de diversos sistemas de almacenamiento en seco. Algunos ya están en servicio. El comportamiento de los elementos combustibles se ha investigado a fondo y se ha detectado que los elementos combustibles que se utilizaban normalmente en el momento del desarrollo de estos almacenes seco, resultaban al cien por cien almacenables por el método seco siempre que la temperatura de su vaina al comienzo del tiempo de almacenaje, y después de 5 años de prealmacenamiento, no superase los 400 °C.

Desde entonces, los objetivos de desarrollo de elementos combustibles modernos han cambiado drásticamente. Se puede alcanzar grados de irradiación de hasta 60 GWd/kgU, gracias a nuevos materiales de vaina. Aparte de la consiguiente mayor carga previa de las vainas, unos elementos combustibles tan irradiados producen un calor residual de desintegración bastante mayor. Un camino seguro para garantizar su integridad durante un almacenamiento a largo plazo, es mantener lo más baja posible la temperatura de la vaina, bajo condiciones de almacenamiento. Como alternativa, se considera la posibilidad de renunciar a la garantía de una estanqueidad a largo plazo de las vainas y compensarla con un encapsulado adicional permitiendo luego su manipulación más sencilla.

Aunque actualmente se está hablando casi exclusivamente del almacenamiento en seco de los elementos combustibles gastados, el almacenamiento en piscinas de agua sigue siendo el método más difundido.

Un almacén húmedo, independiente de una central nuclear, consta principalmente del correspondiente edificio, los dispositivos para la recepción y almacenaje de los elementos combustibles así como los sistemas necesarios para el funcionamiento seguro de la refrigeración y la limpieza del agua de la piscina. La figura I muestra una fotografía del almacén húmedo para elementos combustibles de la Central Nuclear de Atucha 1, en Argentina, que entró en funcionamiento en el año 1981.

La estructura básica de tal almacén queda reflejada en la figura II. A través de la piscina de recepción (1), los elementos combustibles llegan a los racks en la piscina de almacenamiento, que está dimensionada de acuerdo con la capacidad de almacenamiento deseada. Por encima de la piscina se encuentran el puente de maniobra de los elementos combustibles (3) y, por encima de éste, la grúa interior (4). Los re-

cintos contiguos a la piscina contienen las instalaciones de ventilación necesarias (5), los sistemas de refrigeración y limpieza del agua de la piscina (6) y las salas de operación para la alimentación eléctrica y la instrumentación (7).

El diseño específico del edificio da protección frente a influencias exteriores. La refrigeración segura de los elementos combustibles almacenados queda garantizada por los correspondientes sistemas de refrigeración. Gracias al almacenamiento de los elementos combustibles en una piscina abierta, a bajas temperaturas, se dispone, en caso de posibles perturbaciones de operación, de un período de tiempo suficiente para poder intervenir. Por consiguiente, los requisitos en cuanto a la fiabilidad de los sistemas operativos y su vigilancia son menores.

En cuanto a las zonas exteriores, los requisitos son parecidos a los que se dan para almacenes en seco. Hay poca necesidad de agua de refrigeración. Durante el servicio normal de los sistemas de refrigeración descritos a continuación, solo hay que compensar las pérdidas producidas por la evaporación. La limpieza del agua de la piscina tampoco arroja muchos residuos en comparación con los embalajes del almacenamiento en seco, como son los cofres de almacenamiento, que también deben ser gestionados como residuos radiactivos.

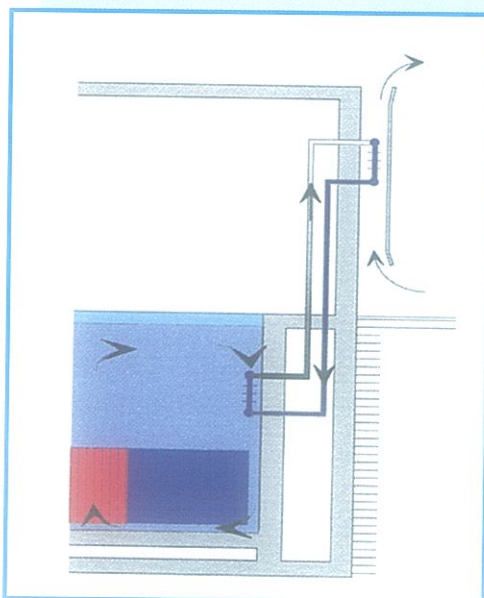
SISTEMA PASIVO DE REFRIGERACIÓN DE PISCINA

El calor de desintegración producido por los elementos combustibles produce una marcada circulación natural dentro de las piscinas de almacenamiento. El agua se ca-

lienta en los elementos combustibles ubicados en las celdas de los racks y asciende hacia arriba, como en una chimenea. El agua más fría cerca de los racks es aspirada por la abertura inferior de las celdas de almacenamiento. De este modo, se forma una convección natural cuya velocidad de circulación alcanza unos valores muy superiores a las velocidades de caudal que suelen alcanzar hoy en día los sistemas de refrigeración de piscina, en las piscinas de centrales nucleares. Así se consigue una fuerte mezcla del agua de la piscina, con poca variación de temperatura.

Esta convección natural se autorregula dado que la velocidad de flujo del agua de refrigeración de abajo hacia arriba, a través de los elementos combustibles, depende exclusivamente del calor producido por los elementos combustibles y su resistencia hidráulica. Elementos combustibles más calientes producen una mayor velocidad

F III.



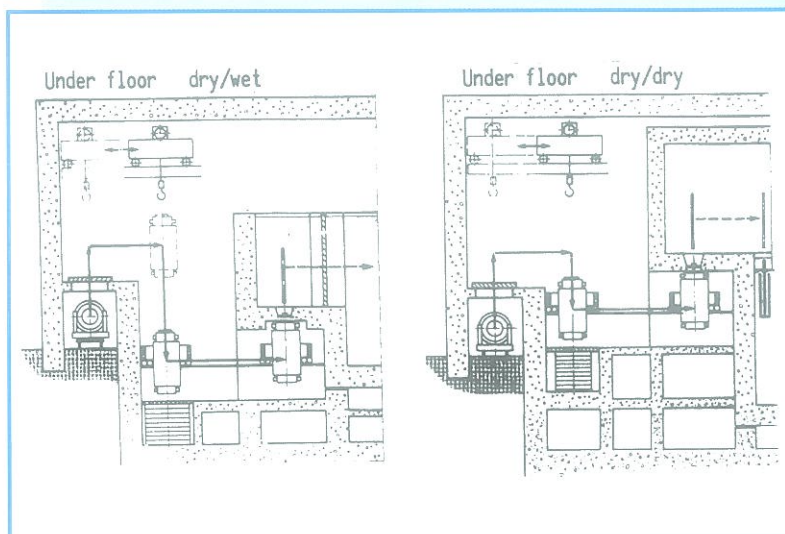
de circulación que elementos combustibles fríos. Este efecto da una gran garantía a la hora de evacuar el calor de desintegración de los elementos combustibles almacenados, siempre que el calor producido por el conjunto de los elementos combustibles se extraiga en algún lugar de la piscina del agua. Si la refrigeración del agua de la piscina se efectúa en un lugar lo más alto posible de la piscinas de almacenamiento, la posición exacta de entrada y salida del dispositivo de refrigeración repercute poco en su eficacia. El calor sube en el agua de la piscina y, por consiguiente, hay que evacuarlo desde allí. El agua enfriada vuelve a descender y será aspirada por los elementos combustibles calientes. Esto sigue funcionando incluso cuando se da el caso teórico de tener toda la superficie de la piscina cubierta con elementos combustibles almacenados, sin ningún espacio entre los racks y las paredes de la piscina. El agua más fría bajaría a través de los elementos combustibles más viejos y, por consiguiente, más fríos, ya que es aspirada por los elementos combustibles más calientes.

Siempre que se evacue del agua de la piscina todo el calor producido, incluso bajo estas condiciones extremas, se da una refrigeración segura de los elementos combustibles, basada en la convección natural autorregulada.

Los sistemas de refrigeración utilizados hasta ahora, aspiran el agua de la piscina calentado con ayuda de bombas en la zona superior de la piscina y vuelven a inyectar este agua en la piscina después de su enfriamiento mediante los cambiadores de calor. Dado que la posición de entrada del agua refrigerada no tiene repercusión sobre una refrigeración segura, como ya se ha descrito anteriormente, en las plantas modernas, la inyección también se realiza en la zona superior de la piscina. Los colectores de distribución, de construcción antigua, que debían llevar el agua refrigerada hasta cerca de la parte inferior del lugar de almacenamiento, incluso se van eliminando hoy en día, con el fin de conseguir más espacio para almacenar elementos combustibles.

El planteamiento arriba descrito de que es suficiente evacuar el calor de desintegración producido por el conjunto de los elementos combustibles, en algún lugar en la zona superior de la piscina de almacenamiento, llevó a la idea de colocar el cambiador de calor necesario para ello en

F IV.



este mismo lugar y dejar de extraer el agua de la piscina. Con ello, se suprime la primera parte de los componentes activos, como son bombas y válvulas. Para el secundario del sistema de refrigeración, se desarrolló un sistema de refrigeración pasivo. El calor extraído de la piscina de almacenamiento, a través del cambiador de calor, puede pasar al aire del entorno, como se puede ver en la figura III. Se puede aumentar la capacidad de refrigeración de los cambiadores de calor del lado aire, durante los breves periodos de temperaturas extremadamente altas en verano, mediante aspersión con agua. Para ello, se necesita poca cantidad de agua y puede ser almacenado fácilmente en la zona del tejado del edificio.

El volumen de trabajo de mantenimiento y vigilancia de este tipo de sistema es bajo. Manteniendo la estanqueidad y limpieza, este volumen se encuentra dentro de unos límites parecidos a los de los almacenes en seco.

ALMACENAMIENTO DE LOS ELEMENTOS COMBUSTIBLES EN LA PISCINA

En los últimos años, el desarrollo de los racks para elementos combustibles ha sido marcado principalmente por el objetivo de colocar el mayor número de elementos combustibles en las piscinas de almacenamiento disponibles. Por ello, en muchas de las centrales nucleares que actualmente están en operación, se han sustituido los racks originales por unos racks nuevos, los llamados racks super compactos. Siguiendo el desarrollo de la tecnología, en algunas centrales nucleares incluso varias veces.

Estos racks super compactos están diseñados exclusivamente para elementos combustibles gastados. En su diseño, se considera que los elementos combustibles a

almacenar han alcanzado su grado de quemado normal. Teniendo en cuenta que los elementos combustibles a almacenar resultan bastante menos reactivos debido a su irradiación durante la operación del reactor, los racks diseñados para ello necesitan bastante menos material absorbente de neutrones y la distancia entre elementos combustibles puede reducirse considerablemente. De esta forma, la piscinas de al-

macenamiento puede contener un mayor número de racks.

Hoy en día, existen racks para el almacenamiento de "canisters" de elementos combustibles consolidados. En estos "canisters" consolidados se pueden colocar las varillas correspondientes a dos elementos combustibles, en una celda de almacenamiento. Otros desarrollos apuntan a la posibilidad de colocar elementos combustibles en dos alturas, dentro de la piscina de almacenamiento.

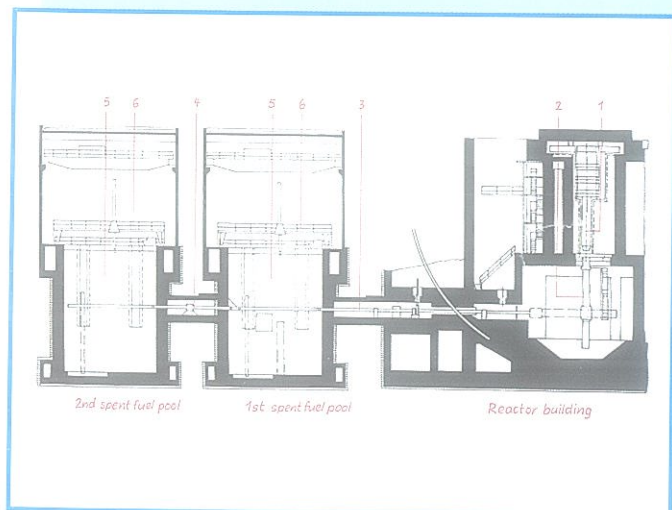
Estos nuevos tipos de racks también están disponibles para una nueva generación de almacenes húmedos. De este modo, se pueden colocar más elementos combustibles en piscinas más pequeñas, y también el edificio de almacenamiento puede tener unas dimensiones más compactas. La construcción de este tipo de edificios resulta económica y, a la vez, tiene un alto grado de eficacia en el blindaje contra la radiación que emiten los elementos combustibles y dan protección suficiente, sobre todo, frente a cualquier influencia externa, considerada como caso de avería, como p.ej. tornados, caídas de avión, etc.

TRANSPORTE Y MANEJO DE LOS ELEMENTOS COMBUSTIBLES

El transporte de los elementos combustibles para su almacenamiento en un almacén húmedo suele efectuarse mediante los conocidos contenedores de transporte. Estos transportes se están llevando a cabo sin problemas desde hace años, por lo que su seguridad queda suficientemente demostrada.

En las centrales nucleares se carga, cierra y seca los contenedores bajo agua. Este procedimiento también lo emplean muchos de los conceptos de almacén en seco disponibles hoy en día. Vía tren o camión,

F.V.



tibles. Como demuestra el ejemplo de la figura V, siempre que exista un lugar adecuado en el emplazamiento, se puede prever un sistema de transferencia para el transporte de elementos combustibles hacia el nuevo almacén húmedo. A través de un canal de transferencia, parecido al sistema de transporte entre el edificio de reactor y el edificio de combustible, se puede

transferir los elementos combustibles al nuevo almacén húmedo. En este caso, se suprime la gestión de los contenedores de transporte y la consiguiente tasa de dosis para el personal de operación. Con el sistema demostrado en la figura V, se lleva transfiriendo sin problemas, desde el año 1981, elementos combustibles gastados desde el reactor de la Central Nuclear de Atucha 1, en Argentina, a través del correspondiente edificio de combustible, hacia el nuevo almacén húmedo. Según los requisitos, el sistema puede transportar elementos combustibles desde el edificio del reactor directamente al almacén húmedo o solamente al edificio de combustible. Como también existe la posibilidad de transporte entre ambos edificios de almacenamiento, hay una enorme flexibilidad en el almacenamiento de los elementos combustibles gastados.

RESUMEN

Los almacenes húmedos constituyen, hoy en día, la tecnología más difundida de almacenar a largo plazo elementos combustibles gastados. Desde el punto de vista económico, y con capacidades de almacenaje de aprox. 1000 MTU, son perfectamente equiparables al almacenamiento en seco, en el así llamado sistema Dual-Purpose Cask. Hasta puede resultar más económico el almacén húmedo, cuanto más capacidad de almacenamiento ofrece, en dependencia de los requisitos del emplazamiento elegido y las exigencias al confort, en cuanto a su operación y vigilancia. Debido a su técnica conocida y demostrada desde hace décadas, resulta fácil conseguir la autorización para este concepto. Gracias a su técnica muy desarrollada y probada, se puede garantizar unos plazos de planificación y construcción cortos.

Las discusiones durante largos años en torno al desarrollo de un almacenamiento en seco a largo plazo, han dado lugar a que la probada técnica de almacenar elementos combustibles en piscinas de agua haya adquirido una imagen de vieja, fuera de moda, antieconómica y además insegura, por depender de sistemas de refrigeración. Sometidos a una investigación detallada, ninguno de estos prejuicios resulta cierto. No hay ninguna otra técnica de almacenamiento que pueda asegurar tanto el mantenimiento a largo plazo de la integridad de los elementos combustibles gastados. La baja temperatura de almacenamiento en la piscina garantiza que se mantienen las condiciones de almacenamiento, que permite también el almacenamiento a largo plazo de elementos combustibles altamente irradiados o MOX, con una considerable generación de calor de desintegración, sin poner en peligro su integridad.

Una evaluación, libre de prejuicios, bajo la consideración de los aspectos técnicos y económicos, llega a la conclusión de que el almacenamiento húmedo constituye, en muchos casos, y también para almacenes adicionales en el emplazamiento de la central nuclear, una alternativa muy atractiva.



Karl WASINGER es jefe del departamento de "Gestión de Combustible Gastado - Venta y Marketing", de Siemens AG Grupo de Generación de Energía KKW. Ingresó en la empresa en el año 1969. Al principio, fue encargado del diseño y compra del equipo de manejo y almacenamiento de combustible para centrales nucleares. En el año 1976, pasó a la venta y proyectos de sistemas y componentes de gestión de combustible gastado. En 1978, fue nombrado jefe de proyecto de la construcción del almacén húmedo de 1100 MTU, en la central Nuclear de Atucha 1 que se encuentra en Argentina y que entró en servicio en el año 1981. Desde 1982 hasta 1985, formó parte del equipo de dirección de proyecto de la Central Nuclear de Atucha 2, en Argentina, como Asesor del Jefe de Proyecto. Volvió a Alemania en el año 1985 cuando asumió la responsabilidad de venta y marketing para sistemas de residuos radiactivos y gestión de combustible gastado. En el año 1987 fue nombrado jefe del departamento de "Gestión de Combustible Gastado - Venta y Proyectos". Ha presentado numerosas ponencias en seminarios y conferencias internacionales y muchas revistas internacionales han publicado sus artículos sobre aspectos importantes de la gestión de residuos radiactivos y combustible gastado.