

ALMACÉN TEMPORAL CENTRALIZADO ASPECTOS TÉCNICOS

José A. Gago, Juan E. Martínez, M. Isabel Rivera

Como primera fase del proyecto Almacén Temporal Centralizado (ATC) se ha desarrollado un diseño genérico (sin emplazamiento específico) de la instalación con el objetivo de demostrar la viabilidad e idoneidad del proyecto para los fines previstos y determinar, dentro de la opción tecnológica elegida, las características variables del diseño de los componentes principales que optimizan, técnica y económicamente, la instalación en su conjunto. La selección del emplazamiento específico para la instalación marcará el punto de arranque del proyecto de detalle.

The first stage in the Spanish centralized interim spent fuel and high level radioactive waste storage facility (ATC) project has resulted in the development of a generic design of the facility.

The intention has been to demonstrate the feasibility and adequacy of the project for the purposes pursued and to determine the main component features that optimize the whole installation. The selection of the specific site will be the starting point for the development of the detailed project of the overall facility.

SISTEMA DE ALMACENAMIENTO

Las opciones tecnológicas disponibles actualmente para una instalación centralizada de almacenamiento temporal de combustible gastado y residuos de alta y media actividad son diversas contando todas ellas con una probada experiencia operativa. ENRESA ha desarrollado a lo largo de los años estudios comparativos entre las distintas tecnologías, tanto en vía húmeda (piscinas) como seca (contenedores, nichos de hormigón o bóvedas). Fruto de estos estudios, se ha seleccionado la tecnología de almacenamiento en seco en bóvedas de hormigón para el combustible gastado y residuos vitrificados y la tecnología de almacenamiento en naves de hormigón para los residuos de media actividad que serán almacenados en el ATC.

Además de la preferencia clara por una tecnología con características de seguridad pasiva, entre los múltiples factores que intervienen en una decisión de este tipo, han sido parámetros determinantes, desde el punto de vista técnico, el inventario de residuos a almacenar en la instalación: su cantidad y diversidad (ver tabla 1) y la necesidad de disponer de capacidad de almacenamiento para al menos 60 años que dicta la estrategia de gestión de residuos de alta actividad del PGR. El diseño previsto cumple los ob-

jetivos al permitir la utilización, en una misma instalación, de conceptos de almacenamiento distintos adecuados a las características e inventario de cada tipo de residuos, a la vez que proporciona un grado de modularidad óptimo para los procesos y cantidad de materiales radiactivos involucrados.

Más que las características radiológicas (tasa de dosis) de los distintos tipos de residuos, son fundamentalmente las características térmicas (generación de calor) las que obligan a la utilización de sistemas de almacenamiento diferentes. El calor de decaimiento del combustible

gastado y de los residuos vitrificados exige una capacidad de evacuación de calor en las áreas de almacenamiento que no es comparable con la requerida para el resto de residuos. Así, el combustible gastado, previamente acondicionado en cápsulas, y las cápsulas de residuos vitrificados se confinan en una red de tubos de almacenamiento verticales, dentro de bóvedas de hormigón, que son enfriados exteriormente por un sistema de circulación de aire por convección natural inducido por una chimenea. Para el resto de los residuos basta con disponer de áreas de almacenamiento adecuadamente blindadas.

	Tipos
Combustible Gastado	377 elementos PWR 14x14
	9.141 elementos PWR 17x17
	1.793 elementos PWR 16x16
	8.260 elementos BWR 8x8, 10x10, ...
	Total: 19.571 elementos (unas 6.700 tU)
Residuos derivados del reprocesado en Francia del combustible gastado de la C.N. Vandellós 1	84 cápsulas de residuos vitrificados de alta actividad
	Bidones con residuos acondicionados en bitumen
	Contenedores con residuos tecnológicos
	Bidones con piezas de magnesio y grafito
Residuos que superan los límites de El Cabril (principalmente de actividades de desmantelamiento)	Unos 1.905 m ³ con diversos residuos acondicionados en matriz sólida

Tabla 1: Materiales a almacenar en la instalación ATC

Con excepción del combustible gastado, los residuos se reciben en la instalación ya acondicionados para su almacenamiento. El proceso se limita a la recepción del contenedor de transporte, descarga e inspección de los bultos, vigilancia de la contaminación superficial, sobreembalaje si fuera requerido y traslado a la zona de almacenamiento correspondiente mediante carros de transferencia y equipos específicos de manipulación remota.

El combustible gastado se recibe en la instalación en contenedores de transporte en los que los elementos combustibles se alojan en un bastidor de diseño y número de celdas variable dependiendo del tipo y características (grado de quemado, enfriamiento previo, enriquecimiento inicial, etc.) del combustible. El proceso a seguir es más complejo e incluye además la operación de encapsulado en una celda caliente. La cápsula es un recipiente cilíndrico que consta de una virola de acero inoxidable con bridas superior e inferior, una estructura interna en celdas de aleaciones metálicas que facilitan la conducción de calor y garantizan la subcriticidad del conjunto (bastidor), una tapa con una válvula de desconexión rápida y una cubierta de protección de la válvula. Para cada tipo de combustible se utiliza una cápsula, igual en diámetro (920 mm), con bastidor específico. El diseño preliminar considera de 5 a 7 elementos tipo PWR y 15 elementos tipo BWR por cápsula. Se han previsto cápsulas de tres longitudes: "largas" (5030 mm) para combustible BWR, "cortas" (3340 mm) para combustible PWR 14x14, y "normales" (4780 mm) para el resto de combustible PWR. Una vez cargada, la tapa de la cápsula se sella por soldadura, se realiza el proceso de evacuación de la humedad residual mediante vacío o recirculación de un gas inerte y se llena con helio y, una vez soldada la cubierta de protección de la válvula, se realiza la prueba de fugas de las soldaduras.

La transferencia de la cápsula hasta el tubo de almacenamiento asignado se realiza mediante un carro, denominado Contenedor de Manejo, que proporciona el blindaje y capacidad de izado necesarios. Los tubos de almacenamiento son estructuras cilíndricas de acero inoxidable ($\varnothing$ 960 mm) soportadas en su parte superior por manguitos embebidos en la losa de hormigón armado que forma el techo de la bóveda. Los tubos están articulados en su sección superior (rotación libre alrededor del eje horizontal) y anclados en su par-

te inferior con el fin de inmovilizarlos para el desplazamiento horizontal. Cada tubo proporciona alojamiento a dos cápsulas de combustible gastado. Los tubos de almacenamiento de cápsulas de residuos vitrificados tienen un diámetro menor ($\varnothing$ 488 mm) y capacidad para albergar siete cápsulas. La tapa del tubo dispone de doble sellado para garantizar la estanqueidad. La cavidad del interior de los tubos se inertiza con nitrógeno para evitar la corrosión de los materiales en el interior y para la detección de posibles fugas.

Otra característica básica del diseño de la instalación es la reversibilidad, es decir, el combustible gastado y los residuos radiactivos seguirán el camino inverso al que recorrerán para su recepción y almacenamiento, en el momento en que hayan de ser transportados desde el ATC a la siguiente etapa de gestión.

DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

El ATC se ha concebido como una estructura integral de aproximadamente 283 m de largo, 78 m de ancho y 26 m de altura, alcanzando, las chimeneas de salida de aire de los edificios de almacenamiento, cotas de hasta 45 m respecto al nivel del suelo. En la *Figura 1* se muestra un esquema dimensional en planta de la instalación completa. Se compone de los siguientes edificios.

- Área o Edificio de Recepción. Edificio de estructura metálica en el que se reciben los camiones o vagones de tren que transportan los residuos a la instalación. En este edificio se descargan los contenedores del vehículo de transporte, se voltean a la posición vertical mediante un puente grúa y se transfieren a la zona de preparación, en el Edificio de Procesos, mediante un carro de transferencia. Según el tipo de residuo de que se trate (combustible gastado o residuos de media/alta actividad) los

contenedores se colocan en carros de transferencia que los trasladan por líneas de manejo distintas.

- Edificio de Procesos. Estructura de hormigón armado, de 39 m de largo y 38 m de ancho, en la que se llevan a cabo los distintos procesos mecánicos de preparación de los contenedores (comprobación de gases en la cavidad, retirada de tapas) en las dos líneas independientes para el combustible gastado y para el resto de los residuos. En este edificio se realizan, también, las funciones de descarga de los contenedores, de almacenamiento transitorio y de encapsulado del combustible gastado en la celda caliente.
- Edificio de Servicio y Sistemas Auxiliares. De 39 m de largo, 21 m de ancho y 14 m de altura, el edificio, también de estructura de hormigón armado, es una prolongación del Edificio de Procesos y aloja los recintos e instalaciones dedicados a funciones auxiliares: accesos de personal, sala de control, equipos de ventilación y equipos de suministro de alimentación eléctrica, entre otros.
- Edificios de Almacenamiento. Cada uno está formado por dos módulos y éstos, a su vez, por dos bóvedas en las que se almacenan las cápsulas de combustible y los residuos vitrificados. Cada bóveda aloja 120 (10x12) tubos verticales de almacenamiento. Sobre las bóvedas de almacenamiento se extiende el Área de Manejo por donde transita el Contenedor de Manejo que recoge la cápsula preparada en la celda caliente y la transfiere y deposita en su lugar de almacenamiento. Las bóvedas son estructuras con paredes de hormigón armado de gran espesor con entradas y salidas de aire independientes para la refrigeración por convección natural de los residuos.
- Nave de Almacenamiento de bultos de residuos de media actividad. Es un edifi-

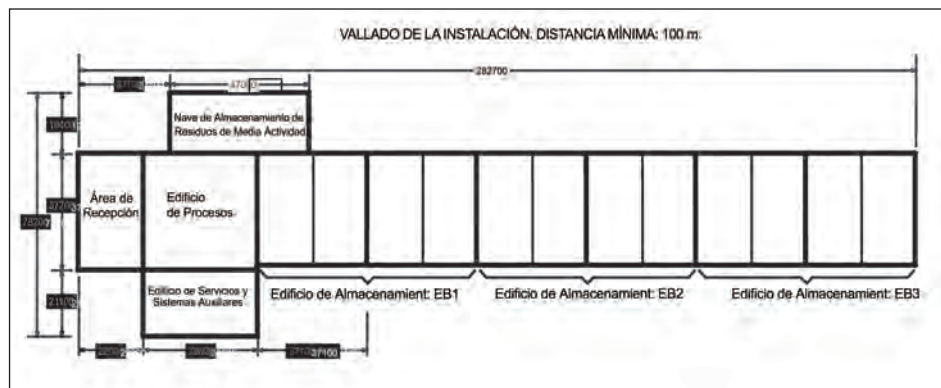


Figura 1: Configuración general de la instalación

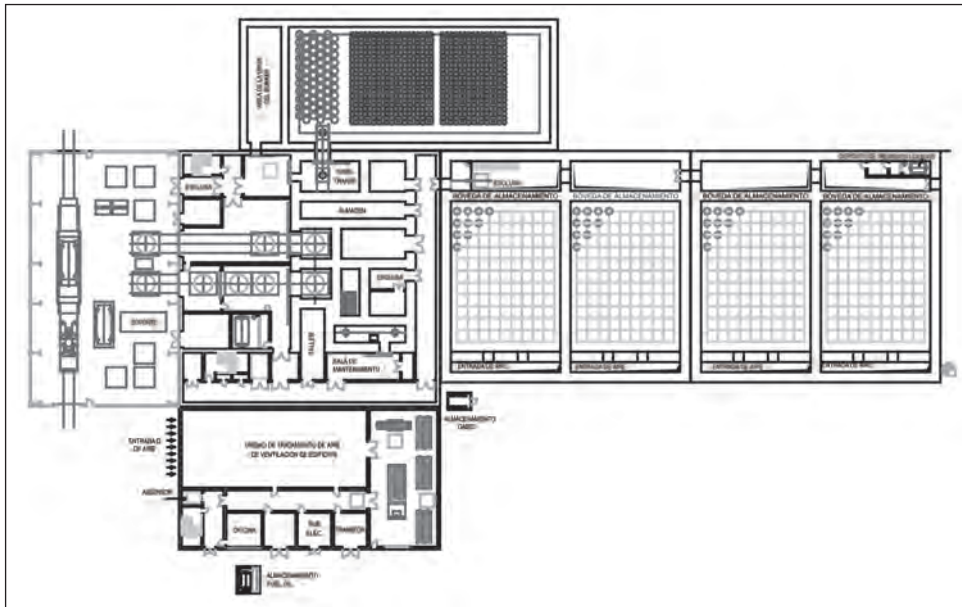


Figura 2: Disposición general en el nivel cero

cio de forma paralelepípedica de hormigón armado de gran espesor. Los bultos de residuos de media actividad son almacenados en el nivel cero, segregados por tipos y apilados de acuerdo con sus características.

Una doble valla de seguridad rodea a los edificios descritos así como a otros que darán distintos tipos de servicios.

En las Figuras 2 y 3 se muestran una vista en planta de la cota 0 y una sección de un alzado longitudinal de la instalación.

Se ha previsto que la construcción de la instalación se realice en tres fases en función de la llegada de los residuos a la instalación:

- Una etapa principal inicial que consistiría en la preparación del terreno, construcción de los edificios generales, la nave y un primer edificio de almacenamiento (4 bóvedas), que tendría una duración estimada mínima de cuatro años y medio.
- Una segunda etapa que comprendería la construcción del segundo edificio de almacenamiento (4 bóvedas), adyacente al primero. Estaría disponible 6 años después del inicio de la explotación de la instalación.
- Una tercera etapa que abarcaría la construcción del tercer edificio de almacenamiento (4 bóvedas), adyacente al segundo. Estaría disponible 14 años después del inicio de la explotación de la instalación.

SEGURIDAD DEL DISEÑO

Para garantizar la protección del público, de los trabajadores y del medio ambiente en

las condiciones normales y en las situaciones accidentales postulables, se aplican los siguientes principios de seguridad:

- La instalación utiliza las características de seguridad inherentes del proceso de almacenamiento en la máxima extensión.
- El concepto de "defensa en profundidad" se aplica en todas las actividades de la instalación relacionadas con la seguridad mediante el establecimiento de niveles de protección múltiples.
- El diseño minimiza el volumen de residuos activos y tóxicos producidos por los procesos y los riesgos asociados a su manipulación.
- Se utilizan fundamentalmente métodos deterministas que serán complementados con análisis probabilistas, en el proyecto final, si se considerara necesario en caso de riesgos residuales.
- Adicionalmente a la reglamentación y

normativas española e internacional, el diseño del ATC cumple la reglamentación y normativa americana (10 CFR 72) y los criterios y prácticas de ingeniería adoptados en Francia (país de origen de la tecnología).

De acuerdo con la reglamentación aplicable, el diseño debe considerar los sucesos base de diseño que tengan una frecuencia anual de ocurrencia mayor de 10^{-6} (una vez cada millón de años). La caracterización del emplazamiento finalmente seleccionado determinará los fenómenos naturales (terremoto, inundación, tornados,...) y sucesos externos inducidos por el hombre (explosiones, impactos externos,...) a considerar en el diseño final. En el diseño genérico se han adoptado como bases de diseño relativas al emplazamiento los fenómenos naturales y valores de los parámetros que se considera que proporcionan una garantía razonable de su validez para una gran parte de los emplazamientos potenciales.

El diseño de las estructuras, sistemas y componentes de la instalación asegura el cumplimiento de las funciones de seguridad según se indica a continuación:

Confinamiento de los materiales radiactivos

Se garantiza mediante el criterio de protección por barreras múltiples: se disponen al menos dos barreras físicas de confinamiento para las condiciones normales de operación y se mantiene al menos una barrera en las condiciones de accidente. La cápsula y el tubo de almacenamiento constituyen la primera y segunda barrera, respectivamente, para el combustible gastado y residuos vitrificados almacenados en las bóvedas. El propio bulto y la nave de almacenamiento constituyen las barreras de confinamiento para los residuos de media actividad.

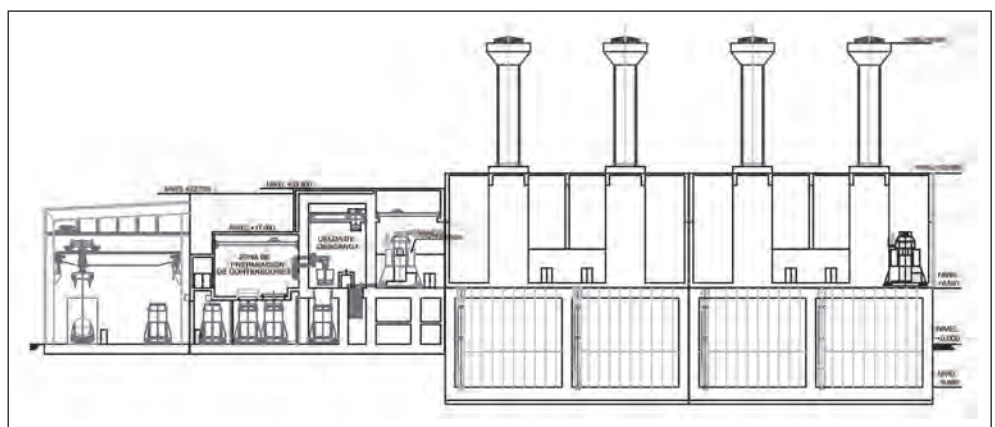


Figura 3: Sección de la instalación

En el diseño, fabricación y construcción de las estructuras de confinamiento se aplican los códigos y normas rigurosos aceptados por la reglamentación. Se prevé la vigilancia periódica de la atmósfera interior de los tubos de almacenamiento con el objetivo de determinar la condición de integridad de la cápsula y del propio tubo.

Control de la criticidad

La prevención y control de la criticidad se realiza:

- Garantizando que tendrían que producirse al menos dos cambios, independientes o secuenciales, en las condiciones esenciales para que fuera posible un suceso de criticidad. Las evaluaciones de criticidad aseguran el cumplimiento del criterio de doble contingencia.
- Garantizando una geometría favorable mediante el diseño apropiado de las áreas de manejo y almacenamiento de combustible. No se prevé la utilización de venenos neutrónicos fijos.
- Implantando medios para la vigilancia y alarma de la criticidad en las áreas en las que el combustible se manipula o almacena transitoriamente antes de su transferencia al tubo de almacenamiento.

El diseño preliminar considera el siguiente criterio conservador para el factor de multiplicación subcrítica:

$$k_{ef} + 3\sigma \leq 0,95.$$

Evacuación de calor

El diseño de los sistemas de evacuación de calor se basa en el cumplimiento de los límites de temperatura de la vaina del combustible, los límites de temperatura que garantizan el mantenimiento de las características mecánicas adecuadas de los bultos de residuos y los límites que aseguran el comportamiento apropiado de las estructuras que realizan funciones de seguridad (especialmente el hormigón).

Para el dimensionado de la instalación se ha previsto que el combustible gastado a almacenar en la instalación tendrá un tiempo medio de enfriamiento previo en piscina de 5 años. No se esperan elementos combustibles con una carga térmica superior a 1,7 kW y el calor de decaimiento máximo previsto de los residuos vitrificados es de 1,5 kW por cápsula. Con estas premisas, el sistema pasivo de evacuación de calor se diseña para una carga térmica máxima en la bóveda del orden de 1,4 MW. Para esta condición, el aire de entrada habrá experimentado un incremento de temperatura de unos 31 °C.

Aunque muy inferior al calor generado

por el combustible gastado y los residuos vitrificados, los residuos de media actividad también generan calor (9 W por bulto máx.). La evacuación de calor durante la operación normal se realiza mediante un sistema de ventilación forzada. La carga térmica de la nave estará limitada de manera que se garantice el cumplimiento de los límites de temperatura de los bultos en caso de pérdida accidental de la ventilación.

Niveles de radiación

La protección radiológica se garantiza por diseño mediante la incorporación de blindajes basados en materiales diversos, fundamentalmente hormigones y aceros. Excepto en las áreas en las que los materiales radiactivos están contenidos en el contenedor de transporte, el blindaje se basa en paredes de hormigón y puertas de acero de espesor considerable. El diseño preliminar, basado en hipótesis muy conservadoras, estima que las paredes de los túneles de transferencia, celdas de descarga y bóvedas de almacenamiento es de 150 cm. El espesor estimado para las paredes de la nave de almacenamiento de residuos de media actividad es de 110 cm.

En el límite del emplazamiento la tasa de dosis total anual estará limitada a 0,25 mSv, con una tasa de dosis anual debida a efluentes máxima de 0,1 mSv. La instalación ATC no producirá efluentes líquidos.

Los análisis de seguridad del diseño genérico concluyen en que en ningún caso las condiciones anormales o accidentes postulados producirán una descarga de material radiactivo al exterior significativa. El suceso con peores consecuencias radiológicas es la caída de una cápsula durante su colocación en el tubo de almacenamiento, que conduciría a una dosis total máxima de 77,4 µSv a una distancia de 1300 m. En la instalación ATC, toda manipulación de los bultos y componentes que contienen materiales radiactivos se realiza de acuerdo con los requisitos del NUREG-0612 y utilizando grúas diseñadas para cumplir el criterio de fallo único, por lo que la caída de la cápsula analizada no se considera un suceso creíble.

ACTUACIONES

La primera fase del proyecto ATC ha consistido en el desarrollo del diseño básico que se resume en los apartados anteriores. Con el fin de optimizar en tiempo y recursos el proceso de licencia que conducirá en su momento a la obtención de las autorizaciones administrativas requeridas,

se ha elaborado el "Estudio de Seguridad del Diseño Genérico del ATC" y se ha sometido a evaluación del CSN. El pasado mes de junio de 2006 el CSN emitió su apreciación favorable al marco normativo, a los planteamientos metodológicos y al conjunto de códigos y normas propuestos en el diseño genérico para el desarrollo del proyecto final.

El diseño detallado de la instalación se iniciará una vez que el emplazamiento designado como resultado del proceso de selección en curso sea adecuadamente caracterizado.

José Antonio Gago Badenas es Ingeniero Industrial en la especialidad de Técnicas Energéticas por la Universidad Politécnica de Madrid. Tras una etapa como Investigador y Profesor Asociado en dicha Universidad, se incorpora a ENRESA en 1988, donde desarrolla su actividad profesional en el campo de la gestión del combustible gastado y de los residuos de alta actividad. En la actualidad dirige el Departamento de Ingeniería de residuos de alta actividad, al cargo de proyectos relacionados con el almacenamiento temporal, definitivo y otras opciones de gestión del combustible gastado y otros residuos de alta actividad.

Juan Enrique Martínez Abad, ingeniero industrial especialidad Técnicas Energéticas por la Escuela Superior de Ingenieros Industriales de Madrid es Jefe de Proyecto en ENRESA desde el año 2002, donde 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 1983 en el área de seguridad y licenciamiento de centrales e instalaciones nucleares en Empresarios Agrupados. Desde 2001 colabora en distintos proyectos del Departamento de Ingeniería de Residuos de Alta Actividad de ENRESA, al que se ha incorporado recientemente.