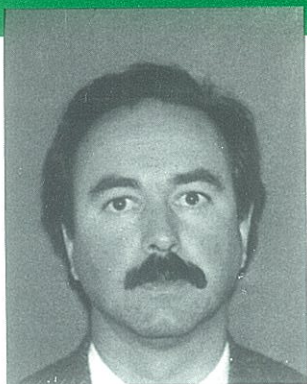




Eduardo GONZALEZ MESONES es Ingeniero Industrial por la ESTSI de Madrid. Ingresó en EQUIPOS NUCLEARES, S. A., en 1975, desarrollando labores de Garantía de Calidad y Dirección de Proyectos de Sistemistas (General Electric, KWU y Westinghouse). En la actualidad es responsable de la División de Ingeniería y Administración de Proyectos.

## FABRICADOS EN ESPAÑA PARA LOS EE UU CONTENEDORES PARA ALMACENAMIENTO EN SECO DEL COMBUSTIBLE NUCLEAR IRRADIADO

E. GONZALEZ-MESONES Y J. TOVAR



Francisco Javier TOVAR ALBILLOS es Ingeniero Técnico Industrial especializado en materiales, tratamientos térmicos y soldadura. Ingresó en ENSA en 1976, habiendo actuado como ingeniero responsable de varios contratos, entre los que se encuentran los contenedores del presente artículo. Es, asimismo, responsable de la sección de documentación de Ingeniería.

### INTRODUCCION

Dentro de los diferentes programas que se están desarrollando en los EE. UU. para solucionar el problema del almacenamiento del combustible nuclear irradiado fuera de las piscinas, Equipos Nucleares ha participado en el sistema denominado NUHOMS como fabricante de los contenedores para el almacenamiento en seco.

El diseño básico ha sido realizado por la empresa americana NUTECH. Los contenedores fabricados han sido objeto de un pedido de la empresa Carolina Power and Light y se van a emplear, tras la autorización ya concedida por la NRC, para almacenar combustibles irradiados en la central Robinson-2 y demostrar la viabilidad de concepto. El programa está patrocinado por el diseñador y la empresa eléctrica, más el Department of Energy de los EE. UU. (DOE) y el Electric Power Research Institute (EPRI).

El diseño final de los contenedores ha sido desarrollado mediante una colaboración entre la ingeniería responsable del sistema (NUTECH), el cliente (CP+L) y ENSA, que ha aportado su experiencia como fabricante y diseñador de equipo nuclear.

En la fase preliminar, el programa establecido comprende la fabricación de tres contenedores y sus correspondientes módulos de almacenamiento. De estos tres primeros contenedores, dos se han fabricado completamente instrumentados, de forma que se puedan obtener lecturas de la evolución de

las distintas variables (principalmente temperaturas y nivel de actividad del combustible) durante el periodo de almacenamiento previsto. Estos datos se utilizarán para optimizar el diseño actual de los equipos.

Dentro de este programa se ha construido un *mock-up*, consistente en una reproducción a escala real de todo el sistema de cierre y sellado del contenedor. Este *mock-up* ha servido para comprobar la idoneidad del diseño de los sistemas de cierre, válvulas, tapas, etc., para cualificar el procedimiento y los soldadores que se utilizarán en la doble soldadura de sello, que debe hacerse en el contenedor, una vez cargado el combustible.

### DESCRIPCION DEL SISTEMA

Los contenedores para almacenamiento en seco del combustible nuclear irradiado son los equipos esenciales dentro de este sistema de almacenamiento, formado principalmente por:

- Contenedor de almacenamiento (*canner*).
- Contenedor de transporte (*cask*).
- Módulo de almacenamiento.

Este sistema de almacenamiento consiste en términos generales en lo siguiente:

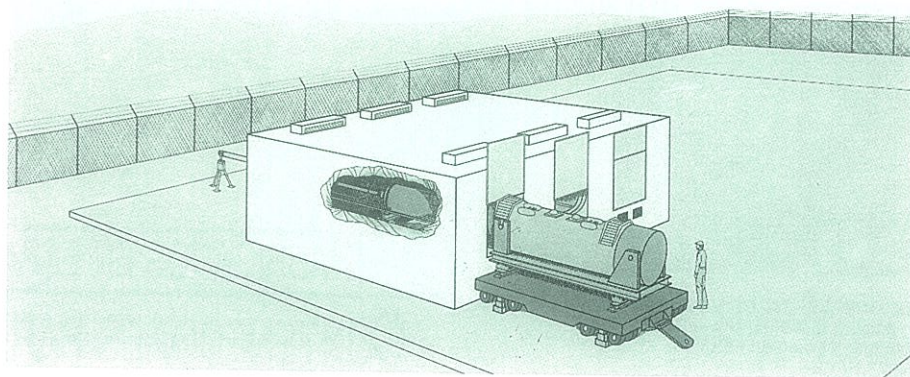
El contenedor de almacenamiento se introduce en el de transporte, y todo el conjunto pasa a la piscina, donde se encuentra el combustible nuclear irradiado. Una vez introducido en la piscina se carga con los elementos com-

bustibles irradiados en posición vertical, sacándose de la piscina. Por un sistema interno de vaciado mediante aire a presión, se extrae el agua del interior del *canister*, se tapa, se sella cuidadosamente por soldadura, realizando una doble barrera, y finalmente se transporta en posición horizontal hasta el lugar donde se encuentra el módulo de almacenamiento, consistente en un recinto a modo de nicho fabricado en hormigón armado de gran resistencia y espesor, en donde es introducido el contenedor en posición horizontal, mediante un sistema hidráulico para su conservación definitiva. Este módulo tiene un sistema de renovación de aire interior, por convección natural, que sirve para regular la temperatura del contenedor sin que sobrepase los 200-250 °C en su superficie exterior. Todo el sistema ha sido diseñado para soportar cualquier eventualidad durante un período mínimo de cincuenta años.

## DESCRIPCION DEL CONTENEDOR DE ALMACENAMIENTO

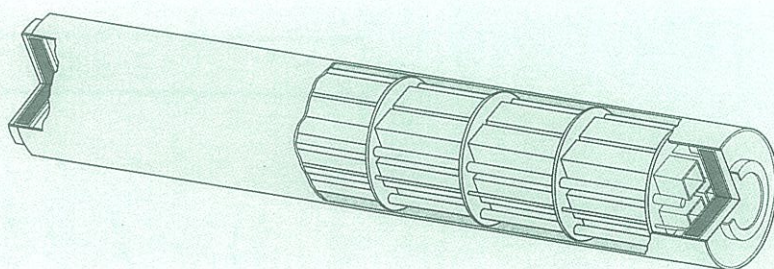
El contenedor de almacenamiento (*canister*), que como ya se ha dicho es la parte esencial de este sistema, está compuesto a su vez de cinco partes:

- Una carcasa cilíndrica o virola, consistente en un cilindro de aproximadamente 4 m de longitud por 1 m de diámetro.
- Un fondo con protección radiológica, formado básicamente por un disco hueco de unos 200 mm de altura, cuyo interior se rellena con plomo a modo de blindaje.
- El conjunto de las partes internas. Esta es la parte fundamental del contenedor, pues es donde va alojado el combustible, y consiste en una serie de discos, unidos entre sí por unas barras rigidizadoras, los cuales llevan mecanizadas unas ventanas, a través de las que pasan unas camisas que son fijadas a ellos. Estas camisas llevan incorporada una sustancia de aleación boro-aluminio que actúa como veneno neutrónico para así controlar la actividad del combustible que, una vez terminado el contenedor, pasará y reposará a través de ellas.
- Un tapón superior de protección radiológica, de similares características al fondo antes descrito.
- Una tapa exterior, básicamente formada por una chapa circular para realizar el sellado final, la cual lleva unida una serie de piezas para permitir enganchar el sistema hidráulico ya mencionado, con el que se realiza la extracción del contenedor de transporte e introducción en el módulo de almacenamiento.



**F I** Introducción del "CANISTER" en el módulo de almacenamiento.

**F II** Detalle del "CANISTER".



## FABRICACION DEL CONTENEDOR DE ALMACENAMIENTO

Tratándose de un contenedor para combustible nuclear, se comprende fácilmente que las condiciones de fabricación son de lo más riguroso, siendo obligado el cumplimiento con el Código ASME Sección III-NB, lo cual quiere decir suministradores de materiales homologados, procedimientos de fabricación, soldadores y operarios de ensayos no destructivos cualificados y, en definitiva, cumplir con todos los requisitos de Garantía de Calidad que esta Sección del Código ASME requiere. Es igualmente obligado cumplir con las exigencias de las regulaciones federales 10 CFR 50 y 10 CFR 21.

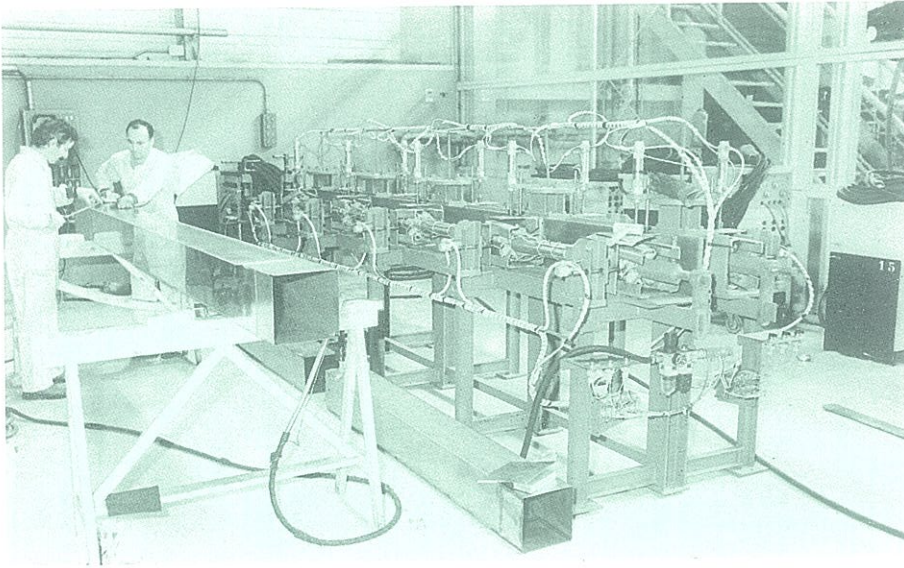
Además del punto anterior hay que destacar también que, por tratarse de componentes que tienen que introducirse en la piscina de la central, los requisitos de limpieza durante toda la fabricación, fundamentalmente en el montaje final, son sumamente exigentes, debiéndose realizar todo el montaje en zonas denominadas "áreas limpias", siendo éstas zonas limpias y segregadas del resto del taller, en las que los operarios deben utilizar calzas y guantes. No obstante esto, las piezas listas para ensamblar, y una vez ensambladas deben pasar varias pruebas que demuestren la ausencia de sucie-

dad y de contaminación, fundamentalmente ferrítica.

Las fases fundamentales de la fabricación de estos contenedores y los rasgos más sobresalientes de cada una de ellas son los siguientes:

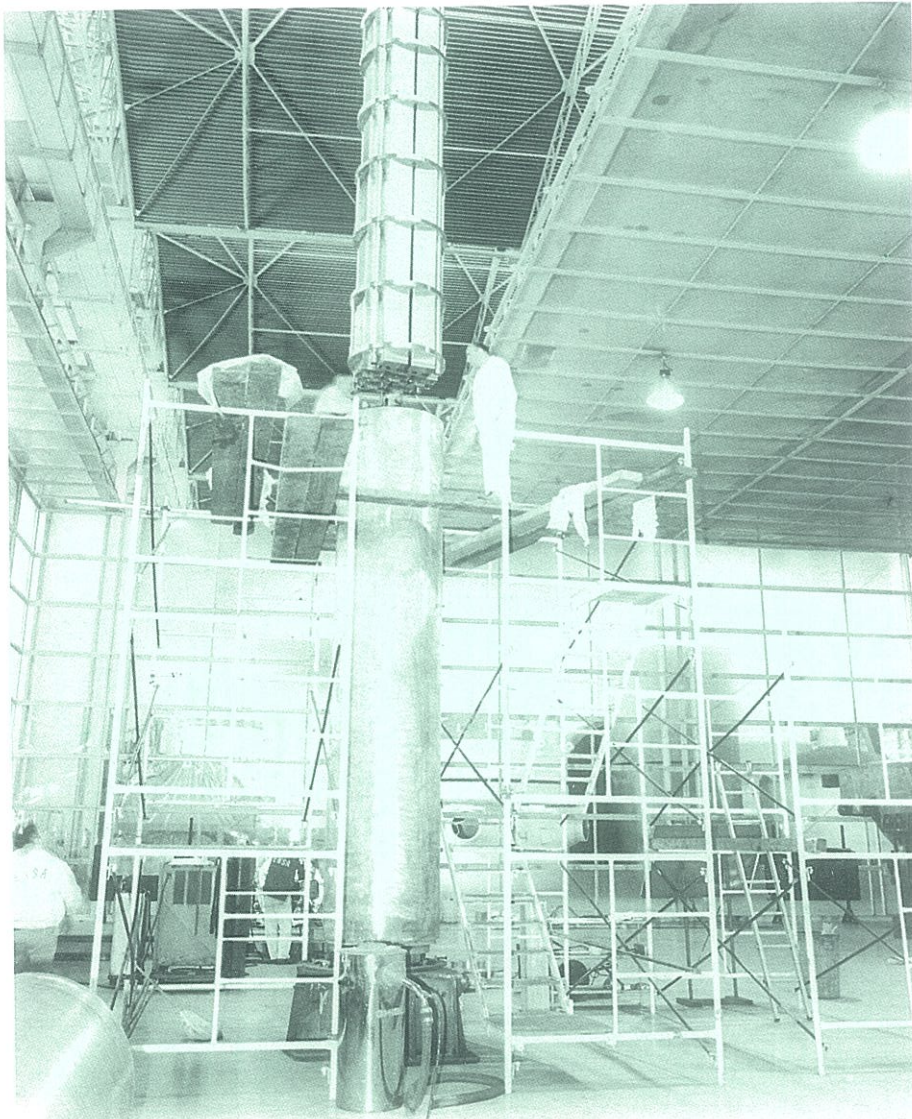
Todos los materiales utilizados, excepto el plomo y la aleación boro-aluminio, mencionados con anterioridad, son aceros inoxidable, en su mayoría del tipo 304, aunque también existen otros inoxidables no tan comunes, como el acero de alto límite elástico XM-19. Una vez fabricada la carcasa, mediante el curvado de la chapa y su soldadura longitudinal, se la acopla el fondo inferior, el cual se suelda circunferencialmente con la carcasa. Este fondo ha sido previamente relleno con plomo fundido y examinado para comprobar la ausencia de defectos y rechupes.

En paralelo se han ido fabricando las partes internas, para lo cual y tras un mecanizado de gran exactitud de los discos espaciadores se procede al ensamblaje de éstos con las barras de rigidización. Como resulta esencial un perfecto alineamiento de los discos para no tener problemas con la introducción de las camisas, se procede a una alineación sumamente meticulosa de los discos, mediante un sistema de alineación óptica, inmovilizando los discos a continuación con un utillaje especialmente diseñado a este efecto,



**F III** "Fabricación camisas en utillaje especialmente diseñado por ENSA."

**F IV** "Montaje de partes internas en envoltente."



que evite el desplazamiento de estos discos durante la etapa siguiente de soldadura, de éstos a las barras. Con el utillaje indicado y cuidando el aporte térmico y la secuencia de soldadura se consigue mantener la alineación de los discos.

A continuación se procede a la introducción de las camisas-guía, llamadas así porque servirán de guía a los elementos de combustible cuando posteriormente éstos se introduzcan en los contenedores. Estas camisas pueden fabricarse mediante tubo extruido de sección cuadrada, y a modo de sandwich, conteniendo la aleación boro-aluminio en su interior, o bien de chapa de acero inoxidable a la que posteriormente, mediante unos forros, se le acopla en sus cuatro caras, en toda su longitud de cuatro metros, la aleación boro-aluminio.

Hay que destacar que las camisas guía deben pasar una prueba sumamente exigente antes y después de su montaje en los discos espaciadores, consistente en hacer pasar, a través de toda su longitud, por su interior, una galga ligeramente mayor que el elemento combustible final, lo cual con las escasísimas creces existentes resulta muy restrictivo.

Una vez introducidas las camisas guía y fijadas éstas a los discos, se coloca otra serie de piezas de menor entidad, y tras una limpieza cuidadosa se prepara todo el conjunto para ser introducido en la carcasa.

Para poder realizar esta operación sin problemas ha sido preciso cumplir con anterioridad una serie de requisitos muy duros de rectitud, ovalidad, circularidad, tolerancias en diámetro, etc. en la carcasa, y otras de alineación, cilindridad, etc. en el paquete de partes internas (Fig. IV).

Realizada esta operación se comprueba la facilidad de introducción del tapón relleno de plomo, el cual ha sido construido de forma similar a la tapa inferior, y se posiciona igualmente la tapa exterior.

Una vez finalizado el montaje se limpia la superficie exterior y se pinta en su mitad inferior con una pintura especial para facilitar el deslizamiento durante su extracción e introducción en el módulo de almacenamiento. Tras el secado en horno de esta pintura, la limpieza y ensamblaje final, queda listo para el transporte.

Los componentes deben entregarse completamente certificados y con los correspondientes "Data Packages" que acrediten el cumplimiento de los requisitos inicialmente expuestos.

Todas las fases anteriormente descritas han sido desarrolladas por Equipos Nucleares, S. A., en su factoría de Santander, durante la última parte del año 1986 y primera de 1987, entregándose los componentes en el verano de 1987.