

DISEÑO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA PARA EL ALMACENAMIENTO INTERINO EN SECO DEL COMBUSTIBLE GASTADO DE LA CNAI

Fuenzalida Troyano C.S.⁽¹⁾, Bergallo J.E.⁽²⁾, Nassini H.E.P.⁽³⁾, Blanco A.⁽⁴⁾, Delmastro D.⁽⁵⁾.

⁽¹⁾ Programa Nacional de Gestión de Residuos Radiactivos (PNGRR), ⁽²⁾ Grupo Diseños de Elementos Combustibles, ⁽³⁾ U.A. Tecnología de Materiales y Dispositivos (TeMaDi), ⁽⁴⁾ DiFRA, ⁽⁵⁾ Grupo Termohidráulica.
CNEA., Centro Atómico Bariloche

Abstract. -CONCEPTUAL DESIGN OF INTERIM STORAGE FACILITY FOR CNAI- The reduced storage capacity available in the two spent fuel pools of Argentine PHWR Atucha-1 power plant, the current plans for extending the reactor operation beyond its design lifetime, and the government decision on Atucha-2 NPP construction ending, have motivated the evaluation of a dry storage option for the interim management of spent fuel assemblies. Two different designs are presently being analyzed by an expert working group, from both technical and economical points of views. Authors are proposing a modular system consisting of an arrangement of reinforced concrete structures into which welded metallic canisters loaded with 37 spent fuel assemblies each stored in horizontal position. The reinforced concrete module is designed to provide the necessary physical protection and biological shielding to the loaded canisters during long-term storage, as well as passive means to remove the spent fuel decay heat by a combination of radiation, conduction and natural air convection. In this work are presented advances in the conceptual designs for a spent nuclear fuel system to Atucha I nuclear power plant.

Resumen

La Central Nuclear Atucha 1 (CNA 1), luego de completar el reacondicionamiento de los combustibles gastados (CG) en un arreglo compacto en las dos casas de piletas, dispondrá de posiciones para almacenar en pileta los CG que se descarguen del reactor hasta diciembre de 2014. Tanto para el caso de prolongar su operación a partir de 2015, como para el cese de operación de la misma a partir de esa fecha, será necesario vaciar las piletas de almacenamiento interino en húmedo transfiriendo los CG a un sistema de almacenamiento interino. En función de que es un tema de interés de NASA, por el impacto en la extensión de vida de la planta y la responsabilidad de hacerse cargo de las instalaciones en operación, y al producirse el cierre de la planta recae en el PNGRR, se ha decidido hacer un desarrollo conjunto entre las partes, del sistema a emplear.

En este trabajo se presentan los avances en el diseño conceptual de un sistema para el almacenamiento interino en seco de los CCGG de la CNA I. En esta primera etapa el desarrollo se realiza en colaboración con personal de la CNA I. El sistema está siendo concebido bajo las premisas acordadas oportunamente entre personal de CNEA y NASA. Los temas descriptos para las alternativas existentes se basan en Cálculos Estructurales (dimensionamiento), Cálculos Neutrónicos y Criticidad y Cálculos Termo hidráulicos [1].

Se han evaluado dos alternativas para el almacenamiento interino en seco, una de ellas es presentada por CNEA, la otra por NASA, las cuales serán descriptas a continuación.

Propuesta CNEA: Esta propuesta se halla compuesta por; Contenedor de acero inoxidable, de geometría cilíndrica, en cuyo interior se halla una grilla (canasto portante) con 37 tubos guías donde serán alojados, en una atmósfera de gas helio, los elementos combustibles gastados, Casco de transferencia (figura 1), se constituye por dos cilindros concéntricos de acero inoxidable y un relleno de plomo que permite el

blindaje radiológico, este dispositivo tiene una tapa en el extremo superior y cumple la función de traslado del contenedor al sitio de almacenamiento, las dimensiones aproximadas se hallan en la Tabla 1, Trailer, su objetivo es transportar el casco de transferencia hacia el sitio de almacenamiento (figura 3), Módulo de almacenamiento, constituido en hormigón armado en forma modular, en su interior se halla el contenedor en disposición interina.

Propuesta NASA: Contenedor con geometría de octágono, constituido en su exterior por acero al carbono y un revestimiento interior en acero inoxidable, relleno con hormigón armado, tanto para el cuerpo del contenedor como para su tapa. En el interior se halla una grilla de tubos de acero inoxidable los cuales alojarán los CCGG en su interior, y serán confinados en una atmósfera inerte (figura 2). Este conjunto permitirá el blindaje biológico operacional, y será desplazado por medio de un trailer (figura 4), hasta el sitio de disposición final. En la misma forma en que es retirado de la pileta de almacenamiento, previo su acondicionamiento, se colocará en el sitio de disposición interina. Sus principales características se hallan descriptas en la Tabla 2

CÁLCULOS REALIZADOS

EVALUACIÓN TÉRMICA REALIZADA AL MODELO PROPUESTO POR CNEA.

Se calcula la temperatura exterior del contenedor necesaria para eliminar el calor de los 37 CG, sabiendo que la vaina central del CG central, que es la más solicitada térmicamente, se encuentra a lo sumo en su temperatura admisible $T_{0v} = T_{adm} \approx 200^{\circ}\text{C}$ (esta temperatura proviene de cálculos realizados con el código BACO para EECCG, con el objetivo de hallar las presiones aceptables en el interior de las barras combustible, sin perder la integridad de las mismas).

Para el flujo de calor se utilizó una carga térmica de 2,14 KW por contenedor, lo que se supone distribuido en los 37 CG y a su vez uniformemente distribuido en las 36 vainas del CG. Teniendo en cuenta un largo $L = 5,3$ m y los diámetros externos de las vainas $d_{ov} = 11,9$ mm y los diámetros externos de los tubos guías que contiene a cada CG, $d_{ot} = 120$ mm, esto arroja un termino fuente de $8,11$ W/m² para cada cara externa de las vainas, y $28,95$ W/m² para cada cara exterior del tubo guía que contiene al CG. Los resultados mostrados por el modelo más realista arroja valores de temperatura del contenedor de alrededor de 105°C . Lo que hace presuponer que es posible la extracción del calor de los combustibles con un adecuado diseño de la chimenea de refrigeración por convección natural sin que las vainas superen los 200°C .

Los resultados para la refrigeración por convección del contenedor demostraron que suponiendo una temperatura en la superficie del contenedor de 100°C , una temperatura de 40°C en el aire ambiente, y una potencia calórica de 2,14 KW se obtuvieron los siguientes resultados:

- Temperatura en el interior del módulo de almacenamiento: 71°C .
- Temperatura del aire a la salida: 83°C
- Caudal de aire circulante: 664 kg/hr.
- Tiraje en la chimenea: 1052 Pa.
- Tiraje en la zona del contenedor: 1212 Pa
- Perdida de carga a la entrada: 0.204 Pa.
- Perdida de carga por la fricción contra las paredes del contenedor: 0.171 Pa.
- Pérdida de carga a la salida: 0.092 Pa.

De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que el tiraje producido es mayor a las pérdidas de carga. Esto significa que el sistema alcanzará una posición de equilibrio a una temperatura superficial del contenedor menor a 100°C.

CRITICIDAD

Con los resultados se demostró que el diseño conceptual propuesto para el almacenamiento en seco de los CG de la CNA-I no presenta riesgos de criticidad aún bajo la suposición extrema de que dicho sistema esté completamente cargado con 37 elementos combustibles frescos (EECC) de uranio levemente enriquecido (ULE).

Aún en el extremo en que todos los tubos guía estén en contacto (una supuesta situación accidental) el factor de multiplicación efectivo con 37 EECC de ULE se mantiene muy alejado del máximo establecido por los reglamentos, siendo $k_{eff} = 0,5901 \pm 0,0005$.

Blindaje

Las estimaciones de dosis realizadas para las direcciones radial y axial del casco de transferencia demuestran que a partir de un espesor de plomo de 12 cm el término debido a neutrones es dominante y mandatorio en la elección del espesor de blindaje.

Para el espesor sugerido por los diseñadores igual a 10 cm de plomo entre dos cáscaras de 1cm de acero inoxidable como material estructural, se obtienen tasas de dosis equivalente ambiental en contacto $H(10) = (850 \pm 50) \mu\text{Sv/h}$ y a un metro $H(10) = (280 \pm 10) \mu\text{Sv/h}$, para el contenedor lleno de elementos combustibles de uranio natural quemados hasta 12490 MWd/tU. Estos valores cumplen con la reglamentación NUREG-1617 que impone un máximo de 2 mSv/h en contacto con el casco. Sin embargo, si se analiza en el marco de la reglamentación que la Autoridad Regulatoria Nuclear Argentina impone para centrales nucleares de potencia, estos valores están muy por encima. Para cumplir con los requerimientos se debería aumentar el espesor a 14 cm y además incluir un blindaje adicional para radiación neutrónica.

En la dirección axial, los valores obtenidos indican que con un espesor de 15 cm de plomo además de las cáscaras de acero inoxidable se cumple con los requerimientos.

Blindajes para los módulos de almacenamiento

Las estimaciones de dosis realizadas demuestran que en el caso de blindaje con hormigón, la tasa de dosis debida a neutrones es despreciable. Se sugiere utilizar espesores de blindaje de hormigón mayores a 80 cm tanto en la dirección radial como en la axial para cumplir con las limitaciones de dosis.

Si bien no se realizan las estimaciones de dosis para espesores mayores que el sugerido, es posible realizar extrapolación de las curvas presentadas por medio de ajustes exponenciales con buen acuerdo.

DISPONIBILIDAD DE CARGA

Para el modelo conceptual propuesto por CNEA, se tuvo en cuenta el potencial de carga del puente grúa de maniobras existente en la Casa de Piletas II de la CNA-I. Debido a los componentes existentes, y sumado a ello el contenido de líquido refrigerante de las piletas alojado en el interior del dispositivo, podemos decir que se halla el conjunto dentro de la capacidad de carga del puente grúa según el plano. Con motivo la etapa en la que se encuentra el proyecto, podemos decir que existen parámetros que deben ser ajustados en función de los cálculos de criticidad y blindaje, los cuales por su importancia en la operatividad, son mandatarios.

EVALUACIÓN TÉRMICA REALIZADA AL MODELO PROPUESTO POR NASA

El sistema diseñado está constituido por un contenedor de hormigón que permite alojar 45 CG en posición vertical y es refrigerado en forma pasiva por una corriente de aire

circulando por convección natural. El espesor de pared de hormigón es de 80 cm y la separación entre centros de CG es de 17,5 cm.

Por un lado se concluye que con el interior de la configuración circular de 37 CG con una potencia total de 2,14 KW y con una envuelta cilíndrica de acero al carbono rodeado de un espesor de 80 cm de hormigón, en forma vertical es viable la remoción del calor por convección natural en el exterior.

Por otra parte, el modelo desarrollado no permite garantizar que la configuración de 45 CG permita extraer los 2,6 KW de potencia sin sobrepasar los 200°C en la vaina mas exigida térmicamente. Se debería mejorar el modelo para definir la viabilidad o no de la configuración de 45 EECCG, los que no se considero en esta etapa de la ingeniería.

CRITICIDAD Y BLINDAJE MODELO PROPUESTO POR N.A.-S.A

En este caso, y dada las similitudes entre esta propuesta y la presentada por CNEA, no se han realizado cálculos detallados sobre la misma, y se han extrapolado los resultados antes descriptos. Esto fue realizado en función de disminuir el tiempo requerido para la realización del informe. Por ello que en las condiciones propuestas se entiende que los márgenes de criticidad son lo suficientemente grandes como para postergar los cálculos de detalle en caso que se decida seguir con la ingeniería básica de este diseño, sin poner en riesgo la continuidad del concepto.

En lo referente al blindaje, se tiene que hacer las mismas consideraciones, en este caso, de acuerdo con los resultados obtenidos se observa la necesidad de espesores de blindaje de 80 cm aproximadamente. Estos resultados permiten estimar que cuando se realizan los cálculos de ingeniería básica, si se decide continuar con este concepto, esos resultados podrían variar ligeramente, pero dentro de los valores esperados en ambos conceptos.

DISPONIBILIDAD DE POTENCIAL DE CARGA

Si tomamos la configuración original, expuesta por los diseñadores, podemos apreciar que el contenedor tiene un peso de 48 toneladas. Esto es con una cantidad de 45 CCGG en su interior. Para esta tipo de configuración, y en base a los datos declarados por el diseñador, se puede apreciar que existe un resto positivo importante para poder elevar el contenedor con el potencial existente de carga.

Aún así, será necesario contemplar el diseño nuevamente desde los aspectos que fueron señalados en el análisis **termohidráulico**, proponiendo una nueva configuración que permita disipar la energía contenida por los elementos activos contenido en los CCGG. Por otra parte deberá conjugarse también lo expuesto desde el análisis de **blindaje** biológico, ya que para obtener valores aceptables, desde el punto de vista de las normativas sugeridas para la radio protección, demandan un blindaje de 80 cm para el hormigón, que según los cálculos preliminares arrojan un valor estimado de 120 Tn, con los EECCG en su interior.

En base a lo expuesto podemos decir que esta nueva configuración, considerando los aspectos anteriormente señalados arrojan nuevos valores de carga, los que deberán ajustarse a los límites del potencial de carga del puente de maniobras.

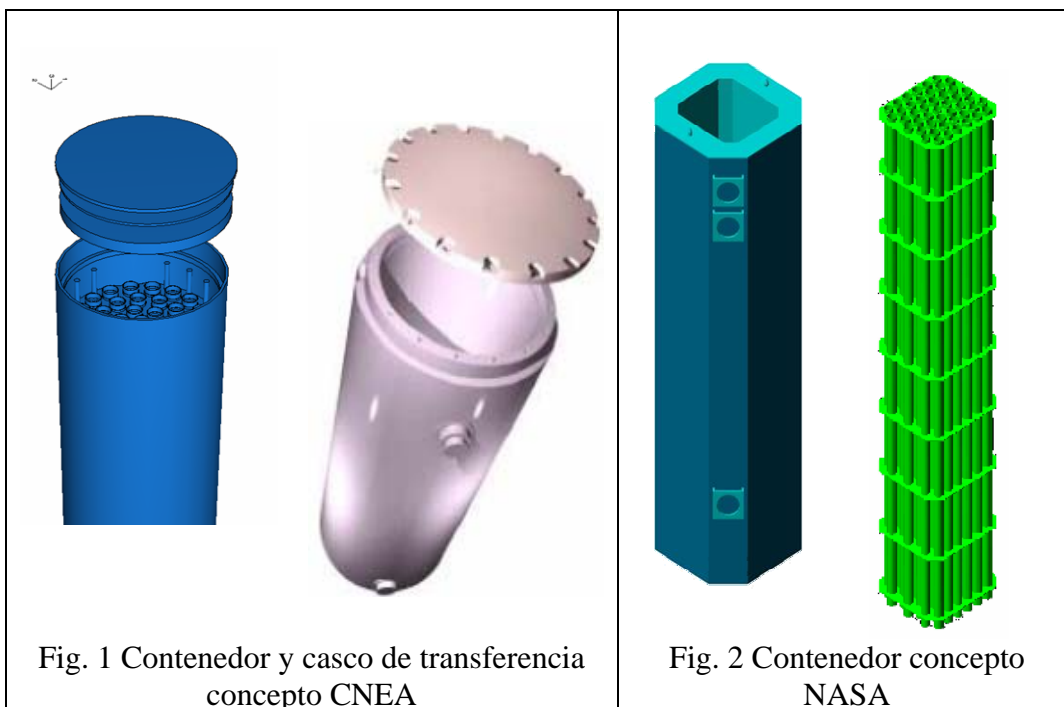
RESULTADOS OBTENIDOS

Del análisis comparativo de los diseños conceptuales propuestos por NASA y por CNEA se pueden obtener las siguientes conclusiones principales:

- De acuerdo a las estrategias operativas propuestas en cada diseño, los procedimientos y las instalaciones requeridas son similares para ambos casos.
- Los dos diseños conceptuales analizados presentan amplios márgenes de seguridad en lo que respecta al riesgo de criticidad.

- Ambos diseños permiten garantizar la integridad de los CCGG durante los tiempos de almacenamiento propuestos (50 años), dentro del rango de temperaturas recomendables para las vainas más exigidas (200 – 250 °C).
- Respecto de la capacidad de extracción de calor mediante convección natural, el sistema propuesto originalmente por CNEA debió ser modificado llegándose a una nueva configuración que permite disipar el calor en forma aceptable.
- En cambio en el sistema propuesto por NASA, está garantizada la extracción de calor en forma segura sólo para 37 CCGG de acuerdo a los modelos usados. En caso de almacenarse los 45 CCGG propuesto originalmente por NASA los modelos no permiten garantizar esta condición con certeza.
- Con respecto al blindaje biológico con hormigón pesado, los dos diseños analizados (con 37 CCGG cada uno) requieren un espesor de pared de aproximadamente 80 cm; en el diseño de NASA esto corresponde al contenedor y en el diseño de CNEA corresponde al silo.
- En el caso del diseño propuesto por NASA, suponiendo una carga de 37 CCGG, el espesor de hormigón requerido para el blindaje biológico presenta dos implicancias restrictivas:
 - El peso total del contenedor cargado sería de aproximadamente 120 toneladas, cifra que excede ampliamente la capacidad del puente grúa disponible y es un factor limitante para el carretón de transporte.
 - La dimensión de la sección transversal del contenedor de hormigón excede el tamaño del octógono disponible para las maniobras en la casa de piletas.
- Por las características del contenedor propuesto por NASA, difícilmente pueda ser licenciado para el transporte de los CCGG fuera del predio de la central, lo cual complicaría su futuro retiro por parte de la CNEA.

Anexo



--	--

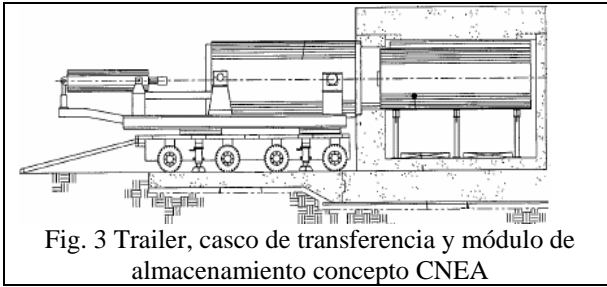


Fig. 3 Trailer, casco de transferencia y módulo de almacenamiento concepto CNEA

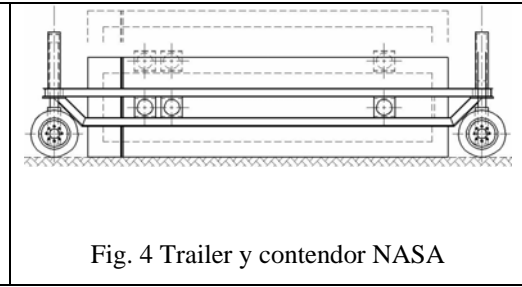


Fig. 4 Trailer y contenedor NASA

Dimensiones	Contenedor (mm)	Casco de transferencia (mm)
Diámetro exterior	1260	1710
Diámetro interior	1240	1330
Espesor pared	10	300
Longitud total del contenedor	6640	6840
Longitud de la cavidad	6150	6700

Tabla 1 Dimensiones del concepto CNEA

- Revestimiento interior en Ac. Inox. AISI 309, esp. 2mm
- Revestimiento exterior en Ac. C. SAE 1020 esp. 6mm
- Armadura de Acero diam. ¾" espaciado 150mm
- Placa para soldadura estanqueidad tapa en Ac. Inox. Aisi 309, esp. 20mm
- Tapones de conductos de secado con blindaje y material Ac. Inox. Aisi 309, con labio soldable de estanqueidad.
- Revestimiento exterior cubierto con pintura epoxi para facilitar su descontaminación.
- Hormigón de alta densidad para blindaje esp. 300mm
- Grilla interior de tubos de Ac. Inox. AISI 304 diam. 4" esp. 2mm, disposición en tres bolillos paso 150mm.
- Separadores de tubos en Ac. Inox. AISI 304 esp. 5mm espaciados 750mm
- Peso estimado del contenedor con 45 E.C. 48Ton.

Tabla 2 Dimensiones del concepto NASA

Referencias

[1] INFORME TECNICO CNEA-CAB 49014-2007