

FICHA TÉCNICA

# Transporte del Ciclo de Combustible Nuclear

## Materiales de la Fase Final

Dedicado al transporte seguro, eficiente y confiable de materiales radiactivos



# Transporte del Ciclo de Combustible Nuclear - Materiales de la Fase Final



## Introducción

Hoy en día, la energía nuclear provee aproximadamente el 14% de la electricidad a nivel mundial, logrando que millones de personas tengan acceso a energía limpia, libre de carbón y asequible. El uso de reactores nucleares para producir electricidad ha requerido un intenso transporte de materiales a lo largo de varias décadas. Estos transportes han apoyado todas las fases del ciclo de combustible nuclear, desde la minería de uranio, pasando por el procesamiento de combustible, hasta el emplazamiento del reactor y el almacenamiento del combustible gastado.



El transporte de materiales radiactivos es estrictamente gobernado por un sistema establecido de reglamentos internacionales y su adopción ha resultado en un historial de seguridad impresionante. En más de medio siglo, nunca ha ocurrido un solo incidente de transporte.

Los transportes para el ciclo de combustible nuclear son comúnmente designados como aquellos de la fase inicial o los de la fase final. El transporte de la fase inicial cubre todas las operaciones desde la minería de uranio, hasta



la manufactura de nuevos tubos de combustible para cargarlas a los reactores, es decir, el transporte de mineral de uranio concentrado a instalaciones de conversión de hexafluoruro de uranio, de instalaciones de conversión a plantas de enriquecimiento, de plantas de enriquecimiento a los fabricantes de combustibles y de éstos a las diversas plantas de energía nuclear. El transporte de la fase final cubre todas las operaciones relacionadas con el combustible gastado que se descarga de los reactores, incluyendo el transporte de elementos de combustible gastado de plantas de energía nuclear a instalaciones de reprocesamiento para reciclaje, y el transporte subsiguiente de los productos reprocesados. Alternativamente, si se escoge la opción de un solo uso, el combustible gastado es transportado a instalaciones provisionales para su almacenamiento hasta su eliminación final.

Esta ficha técnica cubre el transporte de materiales de la fase final.

## ¿Cuáles son los materiales de la fase final?

El combustible usado en una planta de energía nuclear genera electricidad por un período de tres a cinco años, después de este período, se vuelve menos eficiente y necesita ser reemplazado. Este combustible gastado aún contiene 96% del uranio original, pero también cerca de 3% de productos residuales, y 1% de plutonio. A estas alturas, el combustible gastado puede ser enviado para su almacenamiento hasta su eliminación final o reprocesado para recuperar el uranio y plutonio.

El uranio residual puede ser reciclado. El plutonio que se produce en el reactor es fisible, es decir, puede mantener una reacción nuclear en cadena. Puede ser combinado con uranio para producir un combustible de Mezcla de Óxidos (MOX, por sus siglas en inglés). Los productos residuales son transformados en sólidos insolubles cristalizados mediante un proceso de vitrificación y luego almacenados hasta su eliminación final, por ejemplo, en un depósito geológico profundo.

## ¿Por qué hay que transportar los materiales de la fase final?

Una vez que el combustible gastado es removido del reactor nuclear, el mismo puede ser almacenado temporalmente en el emplazamiento de la planta de energía, transportado y almacenado en un lugar fuera del emplazamiento o transportado a plantas de reprocesamiento. El transporte hacia instalaciones para el almacenamiento provisional es normalmente doméstico, mientras que el transporte hacia las plantas de reprocesamiento es también internacional.

Una serie de países que incluyen a Japón, Alemania, Suiza, Bélgica, los Países Bajos, Francia, Rusia, India y Reino Unido reprocesan una porción de su combustible gastado. Las principales instalaciones comerciales de reprocesamiento/reciclado se localizan en Francia y Reino Unido. Los países que envían su combustible gastado a Francia o a Reino Unido para su reprocesamiento, retienen la propiedad de todos los productos, incluyendo el producto residual, los cuales se les debe devolver. Después del transporte hacia su país de origen, el residuo es almacenado para su eventual eliminación. El plutonio devuelto en forma de combustible MOX, es cargado a los reactores para la producción de electricidad.

El transporte de materiales de la fase final a escala industrial, comenzó a principios de la década del 60 cuando la energía nuclear comenzaba a convertirse en una importante fuente de electricidad en muchos países alrededor del mundo. El combustible gastado fue el primero de los productos de la fase final que se transportó. Más tarde, el plutonio era devuelto a su país de origen inicialmente como polvo y posteriormente como combustible MOX. El primer cargamento de residuo vitrificado de alto nivel tuvo lugar en 1995 y muchos cargamentos de este tipo se han llevado a cabo por vía marítima y por ferrocarril.



## ¿Cómo se transporta este material?

### Reglamentos reconocidos, estrictos, comprensivos y universales

El transporte de material de la fase final, al igual que con el transporte de otros materiales radiactivos, está cuidadosamente regulado para proteger a las personas, la propiedad y al medio ambiente. El Reglamento de la Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) para el Transporte Seguro de Material Radiactivo fue

publicado por primera vez en 1961 y ha sido revisado regularmente para mantenerlo al día con los desarrollos científicos y tecnológicos. Hoy en día, el Reglamento de la OIEA ha sido adoptado o usado como base para los reglamentos de más de 60 Estados Miembros. Más aún, las principales organizaciones responsables del transporte por carretera, vía marítima, aire y vías fluviales navegables, han incorporado el Reglamento de la OIEA a su propio Reglamento. Adicionalmente, el Reglamento Modelo de las Naciones Unidas para el Transporte de Mercancías Peligrosas siempre se ha referido al Reglamento de la OIEA. Como resultado, el Reglamento aplica al transporte de material radiactivo en casi cualquier lugar del mundo.

### Los materiales de la fase final son esencialmente productos sólidos

La naturaleza sólida de los productos, combustible gastado, combustible MOX y residuos vitrificados de alto nivel, es uno de los factores de seguridad más importantes. Los materiales se caracterizan por su larga estabilidad a largo plazo y baja solubilidad en el agua y porque pueden permanecer contenidos en forma sólida

después de cualquier accidente. Tanto el combustible gastado como el combustible MOX están hechos de bolitas cerámicas duras que están contenidas en tubos metálicos con aleación de circonio (tubos de combustible). La diferencia radica en el contenido, el combustible gastado contiene uranio (96%), plutonio (1%) y productos fisionables (3%) y es altamente radiactivo, mientras que el combustible MOX esta hecho de óxidos de uranio y plutonio y tiene un bajo nivel de radiactividad. En el caso de los residuos vitrificados de alto nivel, el proceso de vitrificación permite que los productos fisibles se incorporen en un vidrio fundido que luego es vertido en un recipiente de acero inoxidable donde se solidifica. Como resultado, los productos fisibles son inmovilizados y el producto vitrificado de alto nivel radiactivo queda protegido por el recipiente de acero inoxidable.

### Los materiales de la fase final son transportados en embalajes especializados

De acuerdo con el Reglamento de la OIEA, el combustible gastado, el combustible MOX y los residuos vitrificados de alto nivel son transportados en embalajes especialmente diseñados para el transporte conocidos

como frascos o cascos (calificados como Embalaje Tipo B según el Reglamento). Ellos han sido diseñados especialmente para el material radiactivo en particular que ellos contienen, proporcionando así, protección a las personas, la propiedad y el ambiente contra la radiación y están diseñados para resistir accidentes severos. Los embalajes Tipo B tienen dimensiones que van de tamaño tanque a tamaño vagón, pero son siempre muy resistentes y ofrecen una fuerte protección.

### Los embalajes tienen que pasar estrictas pruebas

La filosofía del Reglamento de la OIEA es que la seguridad sea garantizada por el embalaje, independientemente del modo de transporte utilizado. Bajo este Reglamento, el diseño del embalaje tiene que cumplir con una serie de rigurosas pruebas de impacto, incendio e inmersión en agua, las cuales son:

- dos pruebas de caída libre – una caída de 9 metros sobre una superficie rígida y una caída de 1 metro sobre una barra de acero para perforar; repetido posiblemente para los ángulos de caída en el peor de los casos;





- una prueba subsiguiente de incendio en donde el embalaje se somete a un fuego de 800°C y las llamas lo envuelven completamente durante 30 minutos;



- una prueba de inmersión en agua donde el casco es sometido a condiciones equivalentes a 15 metros de inmersión durante 8 horas. Para aquellos cascos diseñados para materiales de mayor radiactividad, hay una prueba de inmersión mejorada de 200 metros durante 1 hora.



Estas pruebas garantizan que los embalajes puedan resistir accidentes de transportes que involucren colisiones, incendios o inmersiones en agua, que pueden preverse en forma realista y, en el caso de materiales fisibles, garantizar que nunca ocurra una reacción en cadena. Las autoridades nacionales competentes deben certificar los embalajes Tipo B. Una vez que el diseño del embalaje haya sido aprobado, este puede ser usado para el transporte sobre superficie en camión, tren o buque.

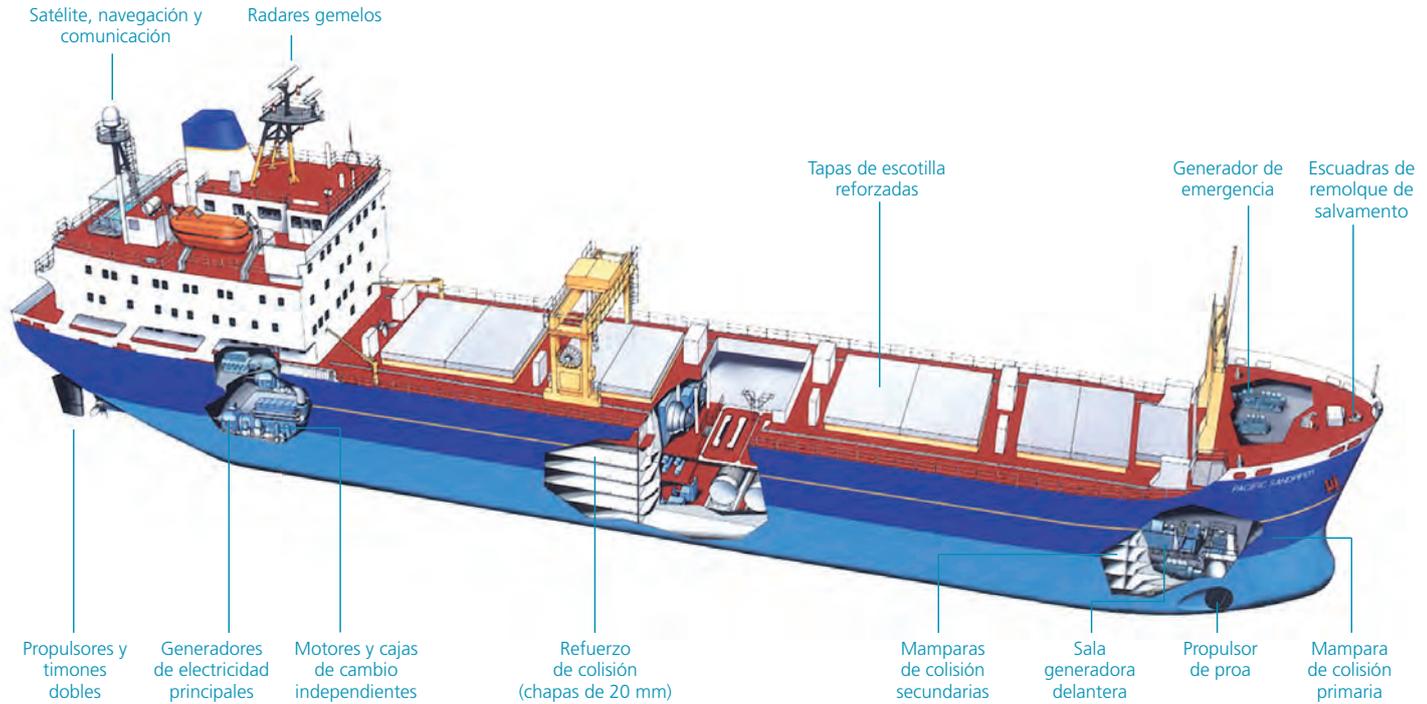
También han sido introducidos reglamentos para el transporte de materiales de la fase final por vía aérea en

embalajes designados como Tipo C. Los requisitos para un embalaje Tipo C incluyen pruebas adicionales para asegurar que pueda mantener su integridad bajo condiciones accidentales en el transcurso del transporte aéreo. Este tipo de embalaje aún no ha sido desarrollado.

## Demostraciones de seguridad

Varias pruebas de demostración se han llevado a cabo para mostrar el gran margen de seguridad y lo robusto que son los embalajes Tipo B. Por ejemplo, ingenieros y científicos de los Laboratorios Nacionales de Sandia<sup>1</sup> llevaron a cabo una amplia gama de pruebas para los embalajes Tipo B en las décadas de 1970 y 1980. Estas pruebas incluyeron la prueba de impacto del camión a una velocidad de 98 y 138 km/h en donde camiones tráileres que cargaban embalajes fueron impactados contra gruesas paredes de concreto de 3 metros, y en donde una locomotora diesel colisionaba contra un embalaje Tipo B a una velocidad de 131 km/h sobre un cruce de ferrocarril simulado.<sup>2</sup> En forma similar, la Junta Central de Generación de Electricidad del RU condujo una demostración pública en 1984 en donde un tren de 140 toneladas, viajando a 164 km/h colisionaba

## Características de seguridad de un buque construido con un propósito



con un embalaje Tipo B.<sup>3</sup> La evaluación posterior a la prueba mostró que los embalajes sufrieron sólo daños superficiales y no dejaban escapar su contenido. Aunque espectaculares, estas pruebas de demostración no fueron tan severas como la serie de pruebas de la OIEA que se resumen arriba. Esto demuestra que la serie de pruebas de la OIEA son conservadoramente representativas de accidentes en el mundo real.

### Transporte marítimo: buques construidos con un propósito

En el caso del transporte marítimo de materiales de la fase final, el diseño del buque aumenta la seguridad ya proporcionada por los embalajes para el transporte. En 1993, la OMI introdujo el Código Voluntario para el Transporte Seguro de Combustible Nuclear Irradiado, Plutonio y Residuos de Alto Nivel Radiactivo en Embalajes a Bordo de Buques (Código CNI) complementando así el Reglamento de la OIEA. Estas disposiciones complementarias, principalmente cubren el diseño, construcción y equipamiento de buques. El Código CNI fue adoptado en 1999 y designado de carácter obligatorio en Enero del 2001. El mismo ha incorporado características

avanzadas de seguridad para buques que transportan combustible gastado, combustible MOX o residuos vitrificados de alto nivel. El diseño básico de buques, cumple con la más alta clasificación de seguridad del Código CNI (conocido como CNI3), la cual trata de la construcción de un casco alrededor de las áreas de carga, con estructuras entre los cascos que sean resistentes al impacto, y la duplicación y separación de todos los sistemas importantes para proveer una alta confiabilidad y supervivencia en caso de accidente. Durante las tres últimas décadas, los buques tipo CNI3 han sido usados para transportar materiales de la fase final entre Europa y Japón.

### Compañías de transporte especializadas

Las compañías de transporte especializadas y experimentadas han transportado en forma segura y rutinaria y a escala industrial materiales de la fase final desde la década de 1960. Estas compañías tienen sistemas de transporte bien desarrollados y administran cuidadosamente los transportes de materiales de la fase final alrededor del mundo, siguiendo los procedimientos de seguridad exigidos. Como ejemplo, existen planes de respuesta de emergencia efectivos y comprensivos que

incorporan planes de emergencia para todos los modos de transporte. Los mismos son probados rutinariamente para asegurar que la salud pública y el medio ambiente estén bien protegidos en el evento poco probable de un accidente.

## Los hechos hablan por sí mismos

El transporte internacional de materiales del ciclo de combustible nuclear ha jugado un papel esencial en llevar los beneficios de la energía nuclear a las personas de todo el mundo. Estos transportes han apoyado todas las fases del ciclo de combustible nuclear, incluyendo la minería de uranio, la manufactura de combustible, el reprocesamiento de combustible, la gestión del combustible gastado y el almacenamiento de residuos. El transporte de materiales del ciclo de combustible esta estrictamente regulado para asegurar que el transporte del ciclo de combustible nuclear se lleve a cabo en forma segura, no sólo bajo condiciones normales, sino también bajo cualquier condición accidental de transporte que pueda preverse en forma realista. En más de medio siglo, nunca se ha registrado un sólo incidente significativo de transporte que involucre una emisión de material radiactivo.

## Referencias

- 1 Los Laboratorios Nacionales de Sandía son laboratorios de seguridad nacional operados por la Corporación Sandía para el Departamento de Energía de los EE.UU., una Compañía de Lockheed Martin (responsable del desempeño de una amplia gama de investigaciones y desarrollo de proyectos sobre energía)
- 2 “We Crash, Burn and Crush”; A History of Packaging at Sandia National Laboratories 1978 – 1997, C.J. Mora y P.McConnell, La 12a Conferencia Internacional sobre Embalaje y Transporte de Material Radiactivo (PATRAM 98, por sus siglas en inglés), p1616
- 3 “Transporting Spent Nuclear Fuel: An Overview”, Departamento de Energía de los EE.UU., Oficina de Control de Residuos Radiactivos de la Ciudadanía, Marzo 1986, p.14

## Fotografías

- 1 Transporte por ferrocarril de combustible gastado en RU
- 2 Transporte por carretera de combustible gastado en Japón
- 3 Buque construido con un propósito, Puerto Mutsu-Ogawara, Japón
- 4 Bolita de combustible MOX
- 5 Barra de combustible MOX
- 6 Operación de descarga de un casco de combustible MOX
- 7 Métodos computacionales avanzados son usados para diseñar los cascos para el transporte
- 8 Prueba de caída de la OIEA
- 9 Prueba de incendio de la OIEA
- 10 Operaciones de carga
- 11 Buque construido con un propósito
- 12 Carga del casco de residuos vitrificados de alto nivel a la bodega del buque



WNTI

WORLD NUCLEAR TRANSPORT INSTITUTE

Remo House

310-312 Regent Street

London W1B 3AX

United Kingdom

Tel: +44 (0)20 7580 1144

Fax: +44 (0)20 7580 5365

Web: [www.wnti.co.uk](http://www.wnti.co.uk)

Email: [wnti@wnti.co.uk](mailto:wnti@wnti.co.uk)

