

# Transporte del Ciclo de Combustible Nuclear

Materiales de la Fase Inicial



ficha técnica  
no. 3

Dedicado al transporte seguro, eficiente  
y confiable de materiales radiactivos

## Transporte del Ciclo de Combustible Nuclear

### Materiales de la Fase Inicial

#### Introducción

La energía nuclear actualmente suministra cerca del 16% de la demanda mundial de electricidad, logrando que personas de todo el mundo, tengan acceso a energía limpia, libre de carbón y a precios razonables. La mayoría de estos reactores pueden ser, ya sea de agua presurizada o de agua hirviendo y, en ambos casos, el combustible primario es óxido de uranio enriquecido. El núcleo de combustible de estos reactores de agua ligera contienen típicamente muchos ensamblajes que consisten en tubos de combustible sellados, cada uno lleno de bolitas de dióxido de uranio.

Para mantener esta importante fuente de energía, es esencial que los materiales del ciclo de combustible nuclear continúen siendo transportados internacionalmente en forma segura y eficiente. El transporte de materiales nucleares está estrictamente regulado y tiene un historial destacado a lo largo de varias décadas.

Los transportes del ciclo de combustible nuclear son designados comúnmente como aquellos de la fase inicial o de la fase final. El de la fase inicial cubre todas las operaciones desde la minería del uranio, hasta la manufactura de nuevos ensamblajes de combustible para cargar los reactores, es decir, el transporte de mineral de uranio concentrado hacia instalaciones para la conversión de hexafluoruro de uranio, de instalaciones para la conversión hacia plantas de enriquecimiento, de plantas de enriquecimiento a fabricantes de combustible y de fabricantes de combustible a la diversas plantas de energía nuclear. El de la fase final cubre todas las operaciones relacionadas con el combustible gastado que se descarga de los reactores, es decir, el transporte de elementos de combustible gastado desde plantas de energía nuclear, hasta 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 inicial; el transporte de materiales de la fase final es el tema de la Ficha Técnica No. 4 del WNTI.



## ¿Cuáles son los materiales de la fase inicial y cómo son transportados?

### Minería para producir mineral de uranio concentrado

La materia prima para fabricar combustible nuclear es el mineral de uranio, cuyas principales fuentes se encuentran en América del Norte, Australia, Sudáfrica y Europa Oriental. El mineral típicamente contiene cerca de 1.5% de uranio pero algunos depósitos poseen un mayor porcentaje. El mineral primero es molido y purificado usando procesos químicos y físicos que dan lugar a un polvo seco de óxido de uranio conocido como mineral de uranio concentrado, o UOC (por sus siglas en inglés). El nombre histórico para UOC era "torta amarilla" porque los concentrados iniciales eran generalmente color amarillo.

El UOC es un material de baja actividad específica y el riesgo radiológico que plantea es muy bajo. Normalmente es transportado en bidones de 200 litros sellados (un Embalaje Industrial) en contenedores estándares (ISO) por vía marítima. Estos pueden ser transportados por carretera, ferrocarril o por vía marítima, y en muchos casos, se usa una combinación de modos de transporte. El UOC es transportado hacia plantas de conversión para su manufactura en forma de hexafluoruro de uranio (Hex).

### La conversión del mineral de uranio concentrado en hexafluoruro de uranio

El UOC es transportado a nivel mundial desde las áreas de minería, hasta plantas de conversión que están localizadas en América del Norte, Europa y Rusia. Este es primeramente purificado químicamente y luego convertido, por medio de una serie de procesos químicos, en hexafluoruro de uranio natural, el cual es la forma requerida para la próxima fase de enriquecimiento. El hexafluoruro de uranio que resulta de la conversión de UOC es un intermediario muy importante en la manufactura de nuevo combustible para el reactor. Hay una gran comercialización de éste que involucra transporte internacional.

En el proceso de producción, grandes cilindros de acero transportan cilindros de unos 1.25m (48") de diámetro, cada uno cargando hasta 12.5 toneladas de materiales que están llenos de hexafluoruro de uranio, el cual puede estar en forma líquida o gaseosa, dependiendo del proceso de manufactura. Luego el hexafluoruro de uranio se solidifica dentro del cilindro al refrescarse hasta una temperatura ambiente. Durante el almacenamiento y el transporte, el material de hexafluoruro de uranio dentro de los cilindros se encuentra en forma sólida. El hexafluoruro de uranio natural también es almacenado en estos cilindros antes de ser transportado a una planta enriquecedora. El hexafluoruro de uranio es transportado rutinariamente por carretera, ferrocarril o vía marítima, o más frecuentemente, usando una combinación de estos modos.



Los cilindros de hexafluoruro de uranio son transportados usando remolques, vagones de ferrocarril o contenedores de plataforma estándar ISO.

Aunque el hexafluoruro de uranio es un material de baja actividad específica, existe un riesgo químico en el caso poco probable de que ocurriera un escape, ya que este material produce subproductos tóxicos al reaccionar con el aire húmedo.

### Enriquecimiento de hexafluoruro de uranio

El valioso isótopo de uranio que se fisiona en un reactor nuclear es el U-235. Este es incrementado al nivel requerido, cerca de 3-5% para reactores de agua ligera, ya sea por un proceso de difusión gaseosa o por medio del centrifugado de gas.

Las plantas de enriquecimiento comerciales en funcionamiento están localizadas en los EE.UU., Europa Occidental y en Rusia, lo que incrementa el transporte internacional de hexafluoruro de uranio entre las plantas de conversión y las de enriquecimiento.

El hexafluoruro de uranio enriquecido es transportado en cilindros universales más pequeños. Estos cilindros tienen unos 76cm (30") de diámetro y están cargados en sobreembalajes de manera que sean resistentes a las colisiones, incendio, inmersión y prevenga las reacciones en cadenas. Los sobreembalajes cargados generalmente son transportados a las plantas de fabricación de combustible usando contenedores de plataforma ISO.

El hexafluoruro de uranio reducido, o producto residual del proceso de enriquecimiento, tiene las mismas propiedades físicas y químicas que el hexafluoruro de uranio natural y es transportado usando el mismo tipo de cilindros.

### Fabricación de combustible

El polvo de dióxido de uranio derivado del hexafluoruro de uranio enriquecido menos del 5%, también es un material de baja actividad específica. El hexafluoruro de uranio enriquecido primero es convertido en polvo de dióxido de uranio, el cual luego es procesado en forma de bolitas por medio de la sinterización y el prensado. Las bolitas son apiladas en tubos con aleación de circonio, conocidos como tubos de combustible,

que posteriormente son ensamblados para su transporte desde la planta de fabricación hacia el emplazamiento del reactor. Las plantas de fabricación de combustible están localizadas en muchos países por todo el mundo.

Los tubos tienen generalmente 4m (12') de longitud. Estos son transportados en robustos recipientes de acero especialmente diseñados para tal propósito. El diseño y la configuración de los embalajes durante el transporte, garantizan que no ocurra una reacción en cadena.

## Reglamento del transporte para el ciclo de combustible nuclear

El Reglamento de la Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) para el Transporte Seguro de Material Radiactivo establece las bases del transporte para los materiales del ciclo de combustible nuclear. El concepto básico es que la seguridad depende principalmente del embalaje, el cual debe proporcionar un escudo para proteger a los trabajadores, el público y el medio ambiente contra los efectos de la radiación, para prevenir una reacción en cadena no deseada, daños causados por el calor y la dispersión de los contenidos. Además es importante reducir las dosis de radiación, dentro de lo razonablemente posible, para los trabajadores y el público, por medio de la adopción de la mejor práctica a nivel operativo.

El Reglamento estipula cinco embalajes fundamentales distintos; denominados como Exceptuado, Industrial, Tipo A, Tipo B y Tipo C, así como criterios para el diseño basado en la naturaleza de los materiales radiactivos que ellos contendrán (ver Ficha Técnica No. 2 del WNTI). El Reglamento determina criterios adicionales para los embalajes que contienen material fisible, es decir, material que puede mantener una reacción nuclear en cadena. El Reglamento también determina los procedimientos apropiados para la aplicación de pruebas. Este enfoque clasificatorio del embalaje, en donde la integridad del mismo está relacionada al peligro potencial, a mayor peligro, mayor resistencia del embalaje, es importante para la operación eficiente del transporte comercial de materiales del ciclo de combustible nuclear. El transporte por carretera, ferrocarril y por vía marítima son comúnmente usados para los materiales del ciclo de combustible nuclear.

## Prueba de la OIEA para los embalajes de la primera fase

El UOC es un material benigno y su peligro potencial es bajo. Los embalajes para UOC requieren mantener su integridad durante condiciones normales de transporte y están diseñados para resistir una serie de pruebas que simulan estas condiciones, p. ej. aspersión con agua, caída libre, apilamiento y prueba de penetración, para reproducir el tipo de tratamiento a los que los embalajes podrían estar sujetos durante condiciones normales de transporte.

El hexafluoruro de uranio es distinto en la medida en que éste es un sólido que puede emitir vapores tóxicos. Los cilindros de acero usados como embalajes para hexafluoruro de uranio natural y reducido, están estandarizados internacionalmente y están sujetos a una prueba de presión, la cual deben resistir sin que ocurra alguna emisión. Además, ellos deben ser evaluados de acuerdo a los requisitos de la prueba térmica.

Los materiales de la primera fase enriquecidos, es decir, hexafluoruro de uranio enriquecido, polvo de dióxido de uranio y los nuevos tubos de combustible, son fisibles. El riesgo potencial asociado con estos materiales es una reacción en cadena no deseada. Por esta razón, los embalajes están sujetos a pruebas para garantizar que no ocurra una crisis bajo ninguna de las condiciones accidentales que puedan preverse en forma realista durante el transporte, incluyendo colisiones, incendios y pruebas de inmersión en agua.

## Experiencia en el transporte de materiales nucleares

El Reglamento de la Organismo Internacional de Energía Atómica ha proporcionado bases sólidas para el diseño de equipos y procedimientos para el transporte seguro y eficiente de material radiactivo. Ningún otro sector de la industria del transporte es tan regulado y, a propósito, ningún sector de la industria del transporte tiene un mejor historial de seguridad. En más de 45 años, nunca ha ocurrido algún accidente que haya resultado en daños radiológicos significativos al hombre o al medio ambiente. Esto se debe en parte al estricto régimen regulatorio, sin olvidarnos del profesionalismo de aquellas entidades que desempeñan las funciones de embalaje y transporte.

### Fotografías

- 1 Mineral de uranio
- 2 Mineral de uranio procesado y convertido en polvo – "torta amarilla"
- 3 Bidones de mineral de uranio concentrado
- 4 Cilindros de Hex de 48"
- 5 Cilindros de Hex de 30" con sobreembalajes
- 6 Ensamblaje de combustible de uranio
- 7 Preparación de bidones de mineral de uranio concentrado para el transporte
- 8 Sujeción para el transporte de combustible fresco
- 9 Transporte por carretera de materiales de la fase inicial



