

La experiencia europea en materia de transporte de combustible irradiado de reactores de agua ligera

por H.W. Curtis

Los servicios de transporte de combustible irradiado deben resolver los de esos problemas que se les plantean a las compañías de producción de nucleoelectricidad en relación con el combustible. Entre ellos se encuentran el suministro de cofres (modelos autorizados en conformidad con la reglamentación internacional y nacional), la asistencia técnica para los detalles, la preparación de dichos cofres, así como durante todas las operaciones subsiguientes de manipulación y de carga, el establecimiento de seguros y el cumplimiento de las obligaciones resultantes en caso de accidente nuclear, la preparación de la documentación completa y el despacho de aduanas y el transporte de los cofres, tanto llenos como vacíos, entre el reactor y la planta de reelaboración, de conformidad con los programas convenidos. En el presente artículo se describen diversos aspectos de estas operaciones relacionadas con el transporte.

DISEÑO DE LOS COFRES

En toda discusión relativa al diseño de los cofres, se pueden defender las relativas ventajas de los diferentes modelos de cofres: de aquellos en que el medio interno de transferencia térmica es el aire (a una presión igual o ligeramente inferior a la atmosférica) (denominados cofres secos), o el agua (cofres de agua); de los cofres ligeros diseñados para el transporte por carretera, o de los cofres pesados, especiales para el transporte por ferrocarril o por barco, que solo deben recorrer cortos tramos por carretera, cuando el ferrocarril no llega directamente hasta la central nucleoelectrónica o de la planta de reelaboración. Existen diversos tipos de cofres pesados: los que pesan unas 75 toneladas y los llamados "Jumbo", que llegan hasta 100 toneladas. Según la experiencia recogida en los últimos once años en materia de transporte de combustible irradiado procedente de reactores de agua ligera ninguna de estas alternativas ha resultado ser la solución perfecta para todas las situaciones. El parque europeo actual de cofres comprende todas estas variantes.

MÉTODOS DE TRANSPORTE UTILIZADOS EN WINDSCALE

El combustible irradiado se ha transportado por carretera, ferrocarril y por barco. El método de transporte escogido depende en gran medida de la ubicación geográfica de la planta de reelaboración y del reactor. Para el envío de los cofres desde los reactores a Windscale se emplean diferentes métodos: el combustible se carga directamente en una embarcación contratada por la propia Central, o bien se transporta por carretera hasta el puerto más próximo para ser cargado en una embarcación; también se puede cargar el cofre en un vagón de ferrocarril, que se encamina directamente hasta Windscale, o en un camión remolque que

El Sr. Curtis es Gerente General de Nuclear Transport Limited, Risley, Warrington (Reino Unido)

se dirige a Windscale. La posibilidad de reducir al mínimo los cambios entre los diversos modos de transporte presenta considerables ventajas técnicas y económicas. La transferencia de carga de un medio de transporte a otro requiere el empleo de grúas de gran potencia y cuidadosa vigilancia de los dispositivos de fijación después de efectuado el trasbordo. En el caso de los envíos de Europa continental a Windscale, solo se puede emplear un medio único de transporte si se trata de cofres pesados, siempre que la central de origen cuente con un empalme ferroviario, o bien con cofres ligeros montados en remolques. En lo que se refiere a las operaciones de transporte por carretera se recurre, en la mayor medida posible, a contratistas locales que facilitan el tractor para acoplar el semirremolque. A fines de 1978, la proporción en el uso de los métodos de transporte era la siguiente:

Transporte de cofres en embarcaciones:	53
Transporte de cofres por ferrocarril:	36
Transporte por autotransbordo (sistema "roll-on, roll-off"):	60

La mayor parte de las entregas recibidas en Windscale se han hecho en cofres pesados (véase la figura 1). Del total de 267 toneladas de combustible europeo transportado a Windscale a fines de 1978, 209 toneladas llegaron en cofres que pesaban unas 65 toneladas; de la cifra total de 149 entregas, 60 corresponden a cofres ligeros de menos de 40 toneladas. En el futuro, todas las expediciones llegarán a Windscale por ferrocarril desde el puerto de desembarco.

MÉTODOS DE TRANSPORTE EMPLEADOS EN LA HAGUE

Hasta dentro de cierto tiempo, todos los cofres deberán llegar a La Hague por carretera, al menos en la última parte del viaje. De 350 cofres de combustible LWR recibidos en La Hague, 312 se transportaron enteramente por carretera utilizando cofres ligeros (véase la figura 2).

El transporte de combustible irradiado se orienta hacia el empleo de cofres pesados por ferrocarril. El transporte terrestre en cofres ligeros para la totalidad de la ruta quedará reservado para aquellos casos en que las condiciones geográficas favorezcan marcadamente este modo de transporte. No obstante, si el emplazamiento de un reactor no tiene conexión directa con la red ferroviaria, el transporte de cofres pesados por carretera hasta el empalme ferroviario más cercano presentaría grandes problemas, ya que sería preciso construir o alquilar una grúa especial en dicho empalme. En la mayoría de los casos y teniendo en cuenta el coste que representa el alquiler de una grúa móvil para grandes cargas y su traslado desde el depósito más cercano, posiblemente a considerable distancia del reactor, se justificaría la construcción de una grúa fija. Otra solución técnicamente posible sería el uso de vagones ferroviarios con ejes convertibles para el rodado por carretera, aunque la longitud mínima de 21 metros de los vagones ferroviarios hace extremadamente difícil su utilización en carretera, pudiendo resultar imposible su paso por los caminos de entrada al emplazamiento del reactor. Además, un vagón concebido para rodar sobre las vías férreas a una velocidad de 100 km por hora responde a un concepto técnico muy diferente del de los pesados y robustos vehículos utilizados normalmente en esos transportes combinados de ferrocarril/carretera. Es de lamentar que todavía se contruyan tantas centrales nucleoelectricas sin enlace ferroviario para el transporte del combustible irradiado.

ALGUNOS PROBLEMAS QUE PRESENTA EL TRANSPORTE DE COMBUSTIBLE IRRADIADO

El transporte del combustible irradiado es una actividad que la industria nuclear europea, en su mayoría, considera corriente y sin graves problemas. Tal vez una razón para ello sea que dicho servicio ha funcionado satisfactoriamente. Sin embargo, a veces se da por sentado, erróneamente, que el servicio se lleva a cabo sin dificultad debido a que no entraña problemas.

Cierto es que muchos de los problemas que se plantearon primeramente en materia de la responsabilidad por daños nucleares, seguros, despachos de aduana, disponibilidad de MB10, aprobación reglamentaria por parte de numerosas y diferentes autoridades (en algunos casos, más de veinte para cada transporte) desaparecen cuando crecen la experiencia y los conocimientos sobre tales cuestiones. Continúan, sin embargo, presentes numerosos problemas y aparecen otros nuevos a medida que se van resolviendo los anteriores. A continuación presentamos algunos de los más frecuentes.

Impurezas

El diseño de los cofres se ha basado en la hipótesis de que el combustible de óxido de uranio en vainas de zircaloy se extraería del reactor con una superficie razonablemente limpia. En la práctica, la superficie de las vainas de combustible de casi todos los reactores BWR y de algunos PWR está incrustada en alto grado con impurezas que se desprenden durante las operaciones de carga, transporte y descarga en la planta de reelaboración. Las impurezas se acumulan entre las dos paredes de los cofres de pared doble, así como dentro y alrededor de los orificios del cofre, lo cual aumenta la dosis de radiación a la que está expuesto el personal encargado de la manipulación del mismo. En Windscale se ha solucionado este problema encapsulando el combustible dentro de "recipientes" contenidos en el cofre, recipientes que se pueden descontaminar en la piscina para eliminar las impurezas antes de destaparlo para descargar el combustible. Sin embargo, el empleo de "recipientes" reduce la capacidad del cofre en un 30%. En La Hague se utilizan menos los cofres de pared compuesta, y el combustible entregado procede predominantemente de PWR. Por lo tanto, el lavado intensivo de los cofres antes de la descarga se considera una medida aceptada. Después de la carga y antes de la expedición se comprueba la radiactividad del agua para cerciorarse de que el combustible se encuentra en condiciones aceptables para su recepción en La Hague.

Roturas de vainas de combustible

Las plantas de reelaboración no aceptan normalmente combustible en vainas rotas. Anteriormente, en los casos en que se aceptaba combustible en tales condiciones, el mismo había sido transportado en cápsulas selladas que no era necesario abrir antes del almacenamiento en la piscina de la planta de reelaboración. La mayor sección eficaz de esas cápsulas exige por lo común el uso de una nueva bandeja interna del cofre, por lo que la capacidad de este último puede quedar reducida hasta un 40%.

Criterios de criticidad

El Reglamento del OIEA para el transporte sin riesgo de materiales radiactivos estipula las bases permisibles para el transporte de cofres de combustible irradiado desde el punto de vista de su criticidad. Debido a la gran cantidad y variedad de cofres y combustibles recibidos en una planta de reelaboración, se manifiesta una tendencia a la aplicación de criterios más rigurosos. Dichos criterios de las plantas de reelaboración requieren que no se tengan en cuenta las condiciones de irradiación del combustible, en tanto que el K_{eff} no exceda del valor de 0,95 en más de tres desviaciones cuadráticas medias. En ciertos casos, de continuarse esta tendencia, se limitará la capacidad de los cofres a la cantidad de combustible que pueda admitir físicamente.

Contaminación del cofre

La contaminación externa de los cofres ha causado problemas debidos a la "exudación" de las superficies, tanto pintadas como de acero inoxidable, muchas horas después de que se hayan limpiado y admitido como limpias. Si bien se resuelve el problema limpiando el cofre



Figura 1. Cofre NTL 11 de 75 toneladas montado en un transporte de carretera.



61 Figura 2. Cofre NTL 8 de 36 toneladas montado en un remolque.

inicialmente a una décima del límite admisible, de manera que la "exudación" subsiguiente sea todavía inferior al límite, la mejor solución consiste en proteger la superficie del cofre del contacto con el agua contaminada de la piscina utilizando "faldas" de material plástico o de metal o bien capas eliminables de adhesivo. Se ha ideado una "falda" rígida de metal que cubre toda la parte provista de aletas del cofre, la cual se utiliza en la planta de reelaboración de La Hague y en algunos reactores.

Acceso a los reactores

Ya se han mencionado las dificultades de acceso, a los fines de transporte, a las instalaciones donde se hallan los reactores, pero se pueden encontrar problemas de igual gravedad dentro del edificio mismo del reactor. En la etapa del diseño de la primera generación de reactores se prestó escasa atención al problema del transporte del combustible irradiado y la ruta que ha de seguir el cofre a través del edificio. Estos reactores presentan obstáculos insalvables en lo que se refiere a cuestiones tan importantes como la longitud y el peso de los cofres. La ruta que ha de seguir el vehículo de transporte es tortuosa y a veces no se encuentra bajo el radio de acción de la grúa, lo cual obliga a arrastrar el cofre. Aún hoy se pueden citar ejemplos de reactores de construcción reciente en los cuales la esclusa neumática no admite vagones ferroviarios de la longitud mínima para el transporte de cofres pesados, a pesar de haberse previsto las vías de empalme. En otros casos, el vagón puede entrar en la esclusa, pero no se puede maniobrar con él de manera que la pluma de la grúa pueda bascular el cofre de la posición vertical a la horizontal.

Mantenimiento de los vehículos

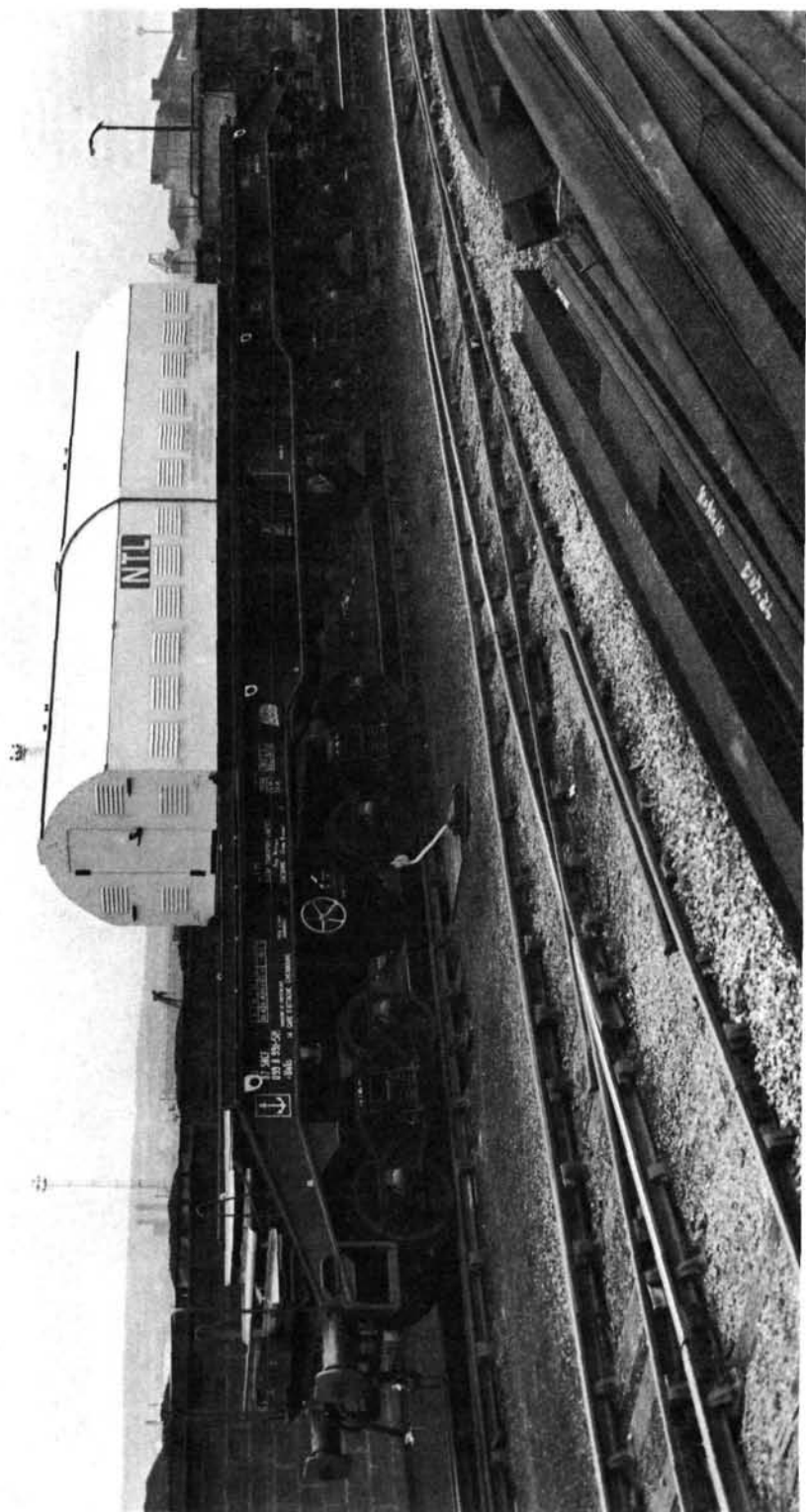
Teniendo en cuenta que cuando el mero hecho de detenerse en la ruta para cambiar un neumático pinchado constituye para los medios de información un "incidente nuclear", es indispensable que los vehículos se mantengan en óptima condición posible para evitar todo tipo de avería. Aunque todo lo que se requiere es un buen sistema de mantenimiento del transporte, es indispensable aplicarlo de manera rigurosa a todos los vehículos y al equipo auxiliar.

Control operacional

Además de los problemas técnicos y operacionales, el carácter internacional de transporte de combustible irradiado ocasiona problemas de organización. Ese servicio está a cargo de una compañía internacional (Nuclear Transport Limited) inscrita en el Registro Comercial del Reino Unido, país en el que se encuentra su sede. La empresa no puede, sin embargo, cumplir sus funciones a partir de una base del Reino Unido sin el apoyo del personal que se encuentra en París y Hanau. Junto con la sede del Reino Unido, estas oficinas mantienen estrecho contacto con aquellos reactores con los que han contratado tales servicios, obtienen las aprobaciones necesarias y tienen a su cargo el control cotidiano de las operaciones de transporte. Asimismo, los tres centros citados pueden facilitar rápidamente la asistencia técnica necesaria.

El transportista sirve de puente entre la planta de reelaboración y el reactor y por lo tanto debe esforzarse en satisfacer las necesidades de ambas partes. Ciertamente, no sería práctico intentar la realización satisfactoria del transporte del combustible irradiado sin contar con la estrecha colaboración entre la planta de reelaboración y el transportista, desde el punto de

Figura 3. Vagón especialmente concebido para el transporte de cofres de combustible irradiado.





vista técnico, operacional y de programación. Por esta razón, se deben ofrecer como un solo servicio la reelaboración y el transporte y no sería prudente separar esas dos actividades.

La programación de la serie de operaciones y tareas necesarias para prestar servicios a veintidós reactores también da lugar a problemas considerables. Las necesidades en materia de cofres se calculan con dos años de antelación por lo menos, lo que sirve de indicación de la capacidad de transporte disponible. Las operaciones de transporte se planifican de acuerdo con las necesidades de cada reactor de modo que se pueda retirar cada descarga de combustible después de la parada del reactor. La capacidad total de los cofres se calcula con un margen de reserva del orden del 40% para prever contingencias tales como la necesidad de reparaciones, la coincidencia de la descarga de combustible de reactores que utilicen los mismos cofres y otras dificultades de diversa naturaleza. El sistema funciona satisfactoriamente en la medida en que no se produzcan interrupciones serias, resultado, por ejemplo, de la inutilización total de las instalaciones de descarga de la planta de reelaboración ya sea por causas técnicas o de otra índole. Solucionado el problema, se produce evidentemente una insuficiencia de cofres hasta el momento en que se recobra el atraso y se vuelve a una situación de equilibrio. Durante estos períodos difíciles se comprueba que el parque de cofres disponibles es insuficiente.

SEGURIDAD

El transporte de combustible irradiado se hace en conformidad con las disposiciones del Reglamento del OIEA para el transporte sin riesgo de materiales radiactivos, que es objeto de estudio en otro artículo de este Boletín. El transporte de combustible irradiado goza de un excelente historial de seguridad dado que no se han producido accidentes, lo que se debe en parte considerable a las previsiones del citado Reglamento del OIEA. La versión de 1973 del mismo ha reducido las tasas admisibles de liberación de radiactividad a un valor próximo a lo que es técnicamente practicable, exigiendo una aplicación más rigurosa de los procedimientos y aumentando los factores de seguridad.

TENDENCIAS FUTURAS

De 350 envíos de combustible de óxidos a La Hague, 312 iban contenidos en cofres ligeros transportados por carretera, con una carga de aproximadamente 1,2 toneladas de uranio. Este sistema de transporte es eficaz y económico, pero se están produciendo rápidos cambios como consecuencia de la tendencia de las plantas de reelaboración y de los reactores hacia la reducción a un mínimo del número de operaciones de manipulación por descarga. Para ello se han puesto en servicio de cofres pesados de la gama de 75 a 100 toneladas, con una capacidad de 1,2 a 5 toneladas de uranio (figura 4). Estos cofres pesados solo pueden viajar por ferrocarril o por barco y los factores limitantes de la carga son las dimensiones y la forma del perfil o del gálibo del ferrocarril. La puesta en servicio de cofres pesados ha hecho necesario igualmente la construcción de un vagón de ferrocarril especial de ocho ejes, que puede transportar cargas de ese tipo a la velocidad normal de los trenes de carga (figura 3).

Con frecuencia se plantea la pregunta de por qué el parque europeo de cofres es tan diversificado, sin que se haya logrado uniformizarlo. Los transportistas preferirían utilizar únicamente un tipo de cofre, pero esto es técnicamente imposible aun en el caso de los reactores más modernos. Un cofre de características óptimas para adaptarse a las necesidades de los cinco reactores PWR de la Kraftwerk Union tendría una longitud y un peso que impedirían su uso en los reactores alemanes BWR. Un cofre adecuado para otros PWR y

◀ **Figura 4. Cofre NTL 12 de 100 toneladas basculado para su carga en un vagón de ferrocarril.**

BWR no podría servir para ninguno de los reactores de modelos anteriores, tales como los de Gundremmingen, Obrigheim, Sena, Zorita, Garigliano y Trino.

Sin embargo, actualmente se tiende a utilizar un tipo de cofre pesado para cada planta de reelaboración, complementado con un corto número de cofres ligeros para casos especiales. No obstante, todavía serán necesarios los cofres antiguos o tipos similares de sustitución para la descarga de muchos de los reactores existentes.

En sus comienzos, el transporte de combustible irradiado debía disponer de un pequeño parque de cofres adaptados a muy diversas aplicaciones, los cuales podían enviarse rápidamente de un reactor a otro. Sin embargo, la asignación de un cofre único o de un par de cofres a determinados reactores hubiera hecho sumamente antieconómico el transporte, necesitándose un parque total de cofres mucho mayor. La tendencia de la uniformidad conducirá a la asignación de cofres marcados para su envío a determinados países y, finalmente, a empresas de electricidad o reactores específicos. Esta tendencia es una consecuencia natural del hecho de que el tonelaje de combustible que se descarga anualmente de un reactor moderno es hasta cinco veces superior al procedente de un pequeño reactor de la primera generación, lo que justificará que se reserve uno o dos cofres por reactor. A medida que aumenta el parque de cofres, la reserva de un 40% representa una capacidad muy superior a la disponible cuando el parque consistía en un limitado número de cofres, lo que permitirá una mayor flexibilidad para hacer frente a las situaciones anormales que perturben los planes programados.

A reserva de la existencia de instalaciones de descarga en las plantas de reelaboración, el transporte internacional de combustible irradiado de óxidos procedente de Europa se ha desarrollado satisfactoriamente en los últimos once años. La escala de operaciones aumentará en el futuro a medida que entren en servicio más reactores. El consiguiente aumento del parque de cofres, su capacidad de reserva y la tendencia al empleo de cofres más grandes y a la normalización de los mismos ayudará a mejorar la flexibilidad y la eficacia del servicio.