

El transporte de los materiales radiactivos

por G.E. Swindell

Los materiales radiactivos son transportados en todo el mundo en cantidades cada vez mayores. Forman una gran variedad, desde los radiofármacos y compuestos marcados utilizados en medicina nuclear para diagnóstico hasta los desechos y el combustible agotado de muy alta actividad procedentes de las centrales nucleares y las plantas de reelaboración del combustible.

Todos estos materiales se transportan por vía terrestre, marítima o aérea conforme a reglamentos que hoy día están basados universalmente en el Reglamento del OIEA para el transporte sin riesgos de materiales radiactivos [1]. Esos reglamentos tienen la finalidad de garantizar la protección adecuada del personal transportista, del público y del medio ambiente contra los riesgos de irradiación externa, dispersión de la contaminación radiactiva, y, en el caso de materiales fisionables, de criticidad.

En la medida de lo posible, los embalajes en que estos materiales se transportan van provistos de los dispositivos de seguridad necesarios. En la mayoría de los casos, los bultos pueden ser manipulados por el transportista igual que otros bultos de mercancías potencialmente peligrosas. El personal de transporte, que en general carecerá de capacitación especial, ha de observar algunas reglas relativamente sencillas referentes al apilamiento de los bultos y a la distancia que ha de separarlos de las personas y las películas fotográficas no reveladas.

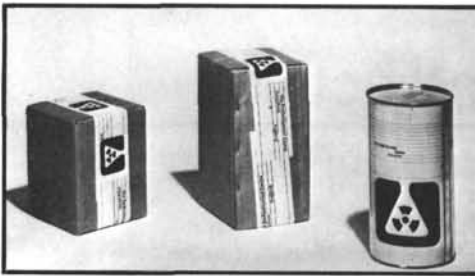
DISEÑO Y ENSAYO DE LOS EMBALAJES

Las cantidades muy pequeñas de materiales radiactivos, ya sea solos o formando parte de otros artículos, pueden ser transportadas en embalajes exentos de los requisitos especiales de diseño.

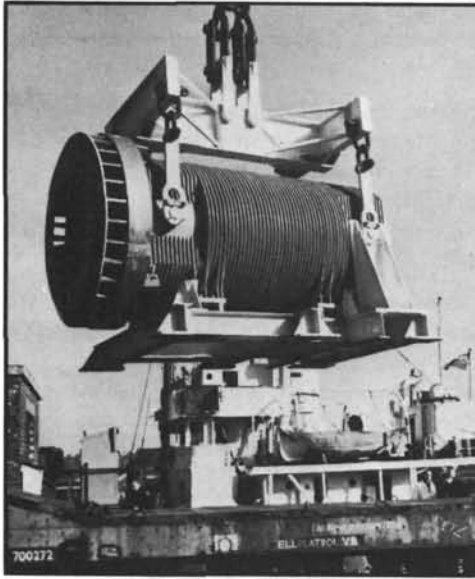
Las cantidades mayores, por ejemplo, las utilizadas en medicina nuclear para diagnóstico y en investigación se transportan en embalajes del Tipo A que han de resistir las condiciones normales de transporte, inclusive la manipulación algo ruda que cabe esperar. En caso de accidente grave, es posible que la contención de un bulto del Tipo A falle y que parte del contenido se disperse en el medio ambiente. Por tanto, se prescriben en los reglamentos límites máximos de la actividad que para cada radionucleido puede transportarse en estos bultos. Para ser aceptados como embalajes del Tipo A los respectivos modelos han de superar una serie de ensayos concebidos de forma que produzcan daños como los que resultarían de pequeños incidentes en las condiciones normales de transporte.

Las cantidades todavía mayores de materiales radiactivos, en particular las fuentes radiactivas encapsuladas para usos médicos o industriales, el combustible nuclear agotado, los desechos de alta actividad y los materiales altamente radiotóxicos, han de transportarse en embalajes del Tipo B que estén diseñados para resistir accidentes muy graves en todos los medios de transporte sin fallo inaceptable de la contención o del blindaje. Los embalajes del Tipo B deben someterse a una serie adicional de ensayos concebidos para producir daños como los que resultarían de accidentes que entrañasen choques muy violentos, incendios o inmersión en el agua.

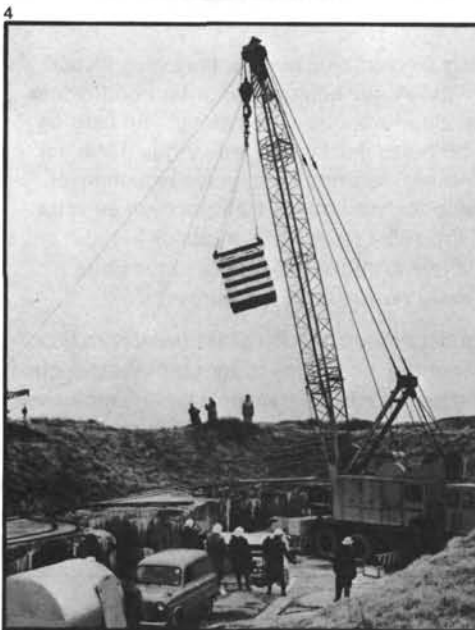
El Sr. Swindell es Jefe de la Sección de Protección Radiológica, División de Seguridad Nuclear y Protección del Medio Ambiente, OIEA.



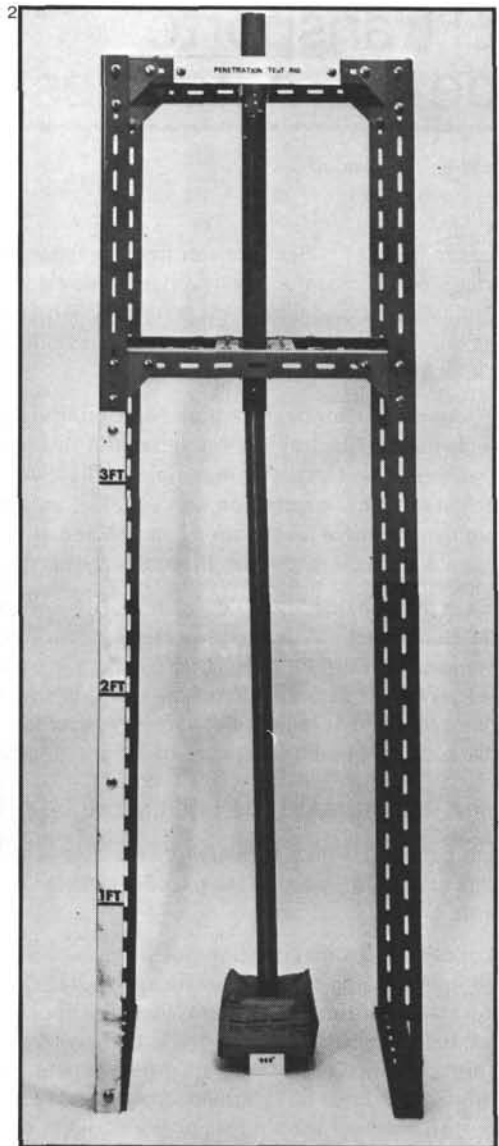
1



3



4



2

Figura 1. Los reglamentos prescriben dos tipos de embalajes para el transporte, embalajes del Tipo A y del Tipo B. En la ilustración, ejemplos típicos de los primeros. Ref. [2].

Figura 2. Los ensayos de penetración de los embalajes del Tipo A se realizan con equipo como el aquí mostrado. Ref. [3].

Figura 3. Los materiales altamente radiactivos tales como el combustible agotado son transportados en embalajes del Tipo B, de los cuales este cofre Excellon es un ejemplo típico. Ref. [4].

Figura 4. Los embalajes del Tipo B deben resistir varios ensayos, uno de los cuales es el ensayo de caída que aquí se muestra. Ref. [5].

El diseño de un embalaje del Tipo B debe ser aprobado independientemente por una autoridad nacional competente tras examinar el correspondiente estudio de seguridad. No existen límites máximos reglamentarios de la actividad de los radionucleidos que pueden ser transportados en embalajes del Tipo B, pero desde luego se fijan límites en el certificado de aprobación de un embalaje determinado.

VOLUMEN DEL TRAFICO Y DOSIS DE RADIACION ESTIMADAS

Se ha reunido amplia información en varios países, en particular en los Estados Unidos, sobre el número de expediciones de los distintos tipos de materiales radiactivos que se transportan anualmente, y sobre las dosis colectivas y las dosis individuales máximas recibidas en condiciones normales de transporte por el personal transportista y por determinados grupos del público.

En los Cuadros I, II y III se exponen algunos de esos datos.

CUADRO I. Ref. [6]

Resumen de las expediciones de materiales radiactivos en los Estados Unidos

Tipo de expedición	1975		1985 (previsión)	
	Bultos por año	Curios por año	Bultos por año	Curios por año
limitado	$7,03 \times 10^5$	$2,14 \times 10^3$	$1,83 \times 10^6$	$5,50 \times 10^3$
médico	$9,10 \times 10^5$	$5,78 \times 10^6$	$1,71 \times 10^6$	$1,50 \times 10^7$
Industrial	$2,15 \times 10^5$	$9,39 \times 10^6$	$5,63 \times 10^5$	$2,47 \times 10^7$
Ciclo del combustible	$2,04 \times 10^5$	$5,32 \times 10^5$	$8,36 \times 10^6$	$8,41 \times 10^9$
Desechos	$1,52 \times 10^5$	$2,68 \times 10^5$	$6,27 \times 10^5$	$1,11 \times 10^6$
Total	$2,19 \times 10^6$	$5,48 \times 10^8$	$5,57 \times 10^6$	$8,45 \times 10^9$

CUADRO II. Ref. [7]

Dosis colectiva anual total estimada y dosis individual media para miembros del público en los Estados Unidos

	1975	1985
Dosis anual total para la población (rem-hombre)	9 790	25 400

$$\text{Dosis individual media en 1975} = \frac{9\,790}{20 \times 10^6} = 0.5 \text{ mrem}$$

CUADRO III. Ref. [8]**Resumen de las dosis individuales anuales máximas resultantes del transporte de materiales radiactivos en los Estados Unidos**

Subgrupo de población	Dosis probable (media) máxima en 1975 (mrem)
Pasajeros de líneas aéreas	108 (0,34)
Personal auxiliar de a bordo	13 (2,9)
Tripulaciones de vuelo de aeronaves de pasajeros	2,5 (0,53)
Tripulaciones de vuelo de aeronaves de carga	61 (12)
Tripulaciones de vuelo (otras modalidades de transporte aéreo)	5
Dotaciones de camiones	870
Dotaciones de furgones	70
Dotaciones de trenes	1,2
Tripulaciones de embarcaciones	3,7
Manipuladores de carga	500
Personas casualmente presentes (aeronaves de pasajeros)	85
Personas casualmente presentes (aeronaves de carga)	106
Personas casualmente presentes (otras modalidades de transporte aéreo)	60
Personas casualmente presentes (camiones)	1,3
Personas casualmente presentes (ferrocarril)	1,65
Personas que habiten cerca de la carretera (camión/furgón)	0,009
Personas que habiten cerca del ferrocarril (tren)	0,017
Personas que habiten junto a la carretera (camión/furgón)	1,9
Almacenamiento (ferrocarril)	25

ACCIDENTES DE TRANSPORTE

En todos los medios de transporte ocurren accidentes, en algunos de los cuales inevitablemente resultan afectados bultos de materiales radiactivos. En los Estados Unidos, hay que presentar informes sobre los incidentes que afectan a materiales peligrosos, en conformidad con el reglamento del Departamento de Transporte. En el período de 1971 a 1975 se

CUADRO IV. Ref. [10]

Probabilidad estimada de accidente grave (clase VIII) y compromisos de dosis colectiva resultantes en zonas de elevada densidad de población de los Estados Unidos

Expedición	Probabilidad de accidente grave		Compromiso de dosis colectiva, en rem-hombre	Organo
	1975	1985		
⁶⁰ Co 315 000 Ci	$1,02 \times 10^{-10}$	$2,55 \times 10^{-10}$	284	Todo el cuerpo
Pu 1,23 $\times 10^6$ Ci	$1,06 \times 10^{-11}$	$1,06 \times 10^{-11}$	$3,15 \times 10^6$	Pulmón
			$1,11 \times 10^7$	Esqueleto
Combustible agotado (cofre para ferrocarril)	$1,8 \times 10^{-10}$	$6,91 \times 10^{-9}$	1400	Todo el cuerpo
			$2,85 \times 10^4$	Pulmón
Combustible agotado (cofre para camión)	$2,99 \times 10^{-9}$	$1,8 \times 10^{-8}$	215	Todo el cuerpo
			4450	Pulmón

presentaron alrededor de 32 000 informes de esta índole. De éstos, 144 se referían a incidentes que habían afectado a bultos de materiales radiactivos y en 36 casos se comunicó un escape del contenido. No se ha observado ningún caso de escape en bultos del Tipo B como resultado de un accidente Ref. [9]. Sin embargo, han ocurrido pequeños escapes debidos al montaje incorrecto de algunos embalajes del Tipo B. Estos casos se evitarán en el futuro aplicando mejores programas de garantía de calidad.

Estos resultados son prueba de la idoneidad de las normas vigentes de diseño de embalajes de transporte. De todos modos, como es muy conveniente acopiar estadísticas de accidentes sobre una base mundial, el Organismo ha preparado planes para reunir la información necesaria sobre el número de accidentes en relación con el volumen total de tráfico de materiales radiactivos.

A pesar de que el historial de seguridad mantenido es satisfactorio, se están efectuando estudios en varios países sobre los riesgos derivados del transporte de materiales nucleares en el futuro.

El Cuadro IV indica la probabilidad estimada de accidente grave en áreas de elevada densidad de población de los Estados Unidos, así como los compromisos de dosis colectiva resultantes. En el Cuadro V se compara el riesgo de muerte prematura por accidente de transporte con el riesgo derivado de otros accidentes.

CUADRO V. Ref. [11]**Riesgo individual de muerte prematura por varias causas [USNRC-WASH-1400]**

Tipo de accidente	Número anual	Riesgo individual por año
De automóvil	$5,5 \times 10^4$	1 en 4 000
Caídas	$1,8 \times 10^4$	1 en 10 000
Incendios	$7,5 \times 10^3$	1 en 25 000
Ahogamientos	$6,2 \times 10^3$	1 en 30 000
Viajes aéreos	$1,8 \times 10^3$	1 en 100 000
Caída de objetos	$1,3 \times 10^3$	1 en 160 000
Electrocución	$1,1 \times 10^3$	1 en 160 000
Rayos	160	1 en 2 000 000
Tornados	91	1 en 2 500 000
Huracanes	93	1 en 2 500 000
100 Reactores Nucleares	3×10^{-3} *	1 en 5 000 000 000
Transporte de materiales radiactivos (riesgo derivado de la radiactividad)	$3,5 \times 10^{-4}$ **	1 en 200 000 000 000***

* Estimación estadística.

** Estimación estadística para 1975.

*** Considerando una población de 75 000 000 de personas expuesta al riesgo.

EL TRANSPORTE DE PLUTONIO POR VIA AEREA

En cierto número de países se ha hecho sentir cierta inquietud acerca de la seguridad del transporte de plutonio por vía aérea y, en los Estados Unidos, la Ley Pública de 94-79, promulgada en agosto de 1975, impone la siguiente restricción a la Comisión de Reglamentación Nuclear:

“La Comisión de Reglamentación Nuclear no autorizará ninguna expedición por vía aérea de plutonio sea cual fuere su forma, ya se trate de exportaciones, importaciones o envíos dentro del país; sin embargo, no está sometido a esta restricción el plutonio en cualquier forma contenido en un dispositivo médico destinado a su aplicación individual en el hombre. Esta restricción permanecerá en vigor hasta que la Comisión de Reglamentación Nuclear certifique al Comité Mixto de Energía Atómica del Congreso que se ha construido y ensayado un contenedor seguro que no se rompa en ensayos de choque y de explosión equivalentes al choque y explosión propios de una aeronave que vuela a gran altura”.

Los Laboratorios Sandia han realizado ahora un embalaje para el transporte de plutonio por vía aérea, modelo PAT-1, que satisface los criterios pertinentes establecidos por la CRN. Ref. [12]. Estos criterios incluyen los límites fijados en el Reglamento de transporte del OIEA para los escapes consecutivos a un accidente. Para este embalaje, cuyo estudio de seguridad se ha publicado recientemente Ref. [13], se ha expedido ahora un certificado asegurando que es capaz de resistir accidentes graves de aviación.

EXPERIENCIA ADQUIRIDA EN EL TRANSPORTE DE COMBUSTIBLE NUCLEAR AGOTADO

En la Conferencia internacional sobre la energía nucleoelectrica y su ciclo del combustible, celebrada en Salzburgo en mayo de 1977, se dio a conocer un considerable caudal de experiencia adquirida en el transporte internacional de combustible nuclear agotado. La memoria de H.W. Curtis, Ref. [14], reviste particular interés, pues describe la constitución de una empresa internacional, la Nuclear Transport Limited, por Transnuclear GmbH, Transnucléaire S.A. y British Nuclear Fuels Ltd., con la misión de prestar a la sociedad United Reprocessors el servicio de transporte del combustible agotado procedente de los reactores europeos de agua ligera. Se han transportado más de 400 toneladas de combustible de uranio agotado de 15 reactores de potencia. Se ha creado un fondo común de cofres de transporte por carretera, ferrocarril y vía marítima. La selección del medio de transporte se hace principalmente en función del lugar de emplazamiento de los reactores y de las plantas de reelaboración. Este servicio viene funcionando de manera satisfactoria habiéndose superado los problemas surgidos. Tales problemas son, en particular, la acumulación en los cofres de materias desprendidas de la superficie del combustible descargado, lo que aumenta la radioexposición de los trabajadores, la exudación de la contaminación radiactiva por las superficies de los cofres después de haber sido limpiados, las dificultades de acceso al emplazamiento de los reactores y a los estanques de almacenamiento del combustible, y el mantenimiento puntual de los vehículos de transporte.

Se mantiene un impecable historial de seguridad, pues no ha ocurrido ningún accidente en ocho años.

En el futuro se tenderá a usar cofres mayores, de un peso comprendido entre 75 y 100 toneladas, con una capacidad de 1,2 a 5 toneladas de combustible de uranio. Estos cofres pesados habrán de transportarse por ferrocarril o vía marítima. Igualmente se tenderá a estandarizar el diseño de los cofres y a usar determinados cofres para determinados países y, en último término, para determinados reactores y plantas de reelaboración.

PROTECCION FISICA DURANTE EL TRANSPORTE DEL COMBUSTIBLE AGOTADO

El combustible agotado es probablemente el más susceptible de sabotaje o robo durante el transporte y, por tanto, hay que aplicar ciertas medidas para protegerlo. Estas medidas son en general complementarias de las necesarias para la protección de las personas y del medio ambiente contra los daños resultantes del contenido radiactivo de los bultos. El Organismo ha tomado la iniciativa de preparar recomendaciones aprobadas internacionalmente para la protección física durante el transporte. Ref. [15]. Las medidas recomendadas incluyen:

Reducir al mínimo la duración total del transporte de los materiales nucleares;

Reducir al mínimo el número de transbordos de los materiales nucleares y su duración;

Evitar toda regularidad en los movimientos de materiales nucleares;

Comprobar la probidad de todas las personas que intervengan en el transporte;

Efectuar una notificación previa al destinatario;

Limitar el uso de marcas especiales en los vehículos y el empleo de canales de libre acceso para la transmisión de mensajes relativos a las expediciones;

Seleccionar las modalidades de transporte y las rutas;

Asignar en ciertas circunstancias personal de escolta o personal de guardia para que dé la alarma, cuando sea necesario, acelere la manipulación de la carga y ayude a evitar desvíos de la ruta fijada.

Referencias

- [1] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA, Reglamento para el transporte sin riesgos de materiales radiactivos (Edición revisada en 1973), Colección Seguridad N°6, OIEA, Viena (1973).
- [2] DIXON, F.E., COHEN, L.R., "Testing Type A Packagings", (Proc. Int., Seminar on Test Requirements for Packaging for the Transport of Radioactive Materials, Viena, 1971), OIEA, Viena (1971) 94.
- [3] Ibid, página 101.
- [4] WILLIAMSON, S., "Application of Import Irradiated Fuel Flasks", Ibid., página 565.
- [5] DIXON, F.E., DAVIES, A.J., COHEN, L.R., "Furnace and Drop Testing of Type B Packagings". Ibid., Página 179
- [6] Basado en el Cuadro 1-2, COMISION DE REGLAMENTACION NUCLEAR DE LOS ESTADOS UNIDOS, "Final Environmental Statement on the Transportation of Radioactive Material by Air and Other Modes", NUREG-0170, USNTC, Docket No. PR-71, 73 (40FR23768) (diciembre de 1977).
- [7] Basado en el Cuadro 4-20, Ibid.
- [8] Cuadro 4-19, Ibid.
- [9] PLATT, A.M., et al., "Experiencia de los Estados Unidos en el Transporte de materiales radiactivos", (Actas de la Conferencia internacional sobre la energía nucleoelectrica y su ciclo del combustible, Salzburgo, 2 a 13 de mayo de 1977), 4, OIEA, Viena (1977) 781.
- [10] Basado en el Cuadro 5-12, COMISION DE REGLAMENTACION NUCLEAR DE LOS ESTADOS UNIDOS, "Final Environmental Statement on the Transportation of Radioactive Material by Air and Other Modes", NUREG-0170, USNRC, Docket No. PR-71, 73 (40 FR 23768) (diciembre de 1977)
- [11] Cuadro 5-16, Ibid.
- [12] COMISION DE REGLAMENTACION NUCLEAR DE LOS ESTADOS UNIDOS, "Qualification Criteria to Certify a Package for Air Transport of Plutonium", NUREG-0360 (enero de 1978)
- [13] COMISION DE REGLAMENTACION NUCLEAR DE LOS ESTADOS UNIDOS, "Plutonium Air Transportable Package Model PAT-1", NUREG-0361 (Junio de 1978).
- [14] CURTIS, H.W., "Experiencia en el transporte de combustible irradiado en Europa. Las primeras 400 toneladas", (Actas de la Conferencia internacional sobre la energía nucleoelectrica y su ciclo del combustible, Salzburgo, 2 a 13 de mayo de 1977) 4, OIEA, Viena (1977) 767.
- [15] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA, Protección Física de los Materiales Nucleares, INFICIRC/225/Rev.1, OIEA, Viena (1977).