

TERCER EJERCICIO.

GRUPO A. SEGURIDAD NUCLEAR

Tema 33: Seguridad en el transporte de sustancias nucleares y materiales radiactivos.

Índice

1. FUNDAMENTOS DE LOS REQUISITOS PARA EL TRANSPORTE DE MATERIAL RADIATIVO ...	3
2. REQUISITOS DE MATERIALES Y BULTOS.....	4
2.1. Límites en el contenido de los tipos de bulto: los valores A_1/ A_2	5
2.2. Bultos Exceptuados	5
2.3. Bultos Industriales.....	6
2.4. Bultos de Tipo A	8
2.5. Bultos Tipo B.....	8
2.6. Bultos tipo C	10
2.7. Bultos para sustancias fisionables.....	10
2.8. Bultos para Hexafluoruro de uranio.....	11
3. SEGURIDAD NUCLEAR EN EL TRANSPORTE DE SUSTANCIAS FISIONABLES.....	12
4. RESPONSABILIDADES DEL EXPEDIDOR.....	13
5. AUTORIZACIONES Y NOTIFICACIONES.....	16
5.1. Aprobaciones de bultos y de materiales.....	17
5.2. Aprobación de expediciones	18
5.3. Notificación a las autoridades competentes.....	19
5.4. Disposiciones transitorias en la aprobación de bultos y materiales.....	19

Resumen ejecutivo

El tema tiene como objetivo explicar los principales requisitos relacionados con la seguridad en el transporte de material radiactivo, aquellos relativos a los diferentes tipos de bultos y materiales y los aplicables al principal responsable de la actividad: el expedidor¹ de las remesas.

Además, se indican los principales aspectos a tener en cuenta para la seguridad nuclear en el transporte de bultos con sustancias fisionables y se describe el régimen de autorizaciones y de notificaciones previas aplicables en la actividad.

Temas relacionados

Del tercer ejercicio,

- SN 32. Gestión del combustible nuclear irradiado. Métodos de almacenamiento a corto, medio y largo plazo. Estudios de seguridad asociados
- PR 16 Protección radiológica en el transporte de materiales nucleares y radiactivos

Bibliografía

- OIEA, Reglamento para el transporte seguro de materiales radiactivos. Edición de 2018. SSR-6 rev.1. Colección de *Safety Standards*. Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Viena.
- OIEA, Manual explicativo para la aplicación del Reglamento del OIEA para el transporte seguro de material radiactivo (ed. 2018), SSG-26. Colección *Specific Safety Guides*.
- UNECE, Acuerdo europeo relativo al transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera (ADR). BOE núm. 65, de 17 de marzo de 2023.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Radiation Protection — Sealed Radioactive Sources — Leakage Test Methods, ISO 9978:1992, ISO, Geneva (1992).
- Reglamentos modales (descritos con enlace en el propio texto).

¹ En la reglamentación del OIEA, al expedidor se le denomina remitente.

1. FUNDAMENTOS DE LOS REQUISITOS PARA EL TRANSPORTE DE MATERIAL RADIATIVO

Los requisitos para el transporte de material radiactivo emanan del Reglamento para el transporte seguro de materiales radiactivos del OIEA, que se trasladan a la reglamentación internacional y nacional aplicable al transporte de mercancías peligrosas. En España, estos requisitos se recogen en diferentes reglamentos en función del modo de transporte (reglamentos modales):

- [Acuerdo Europeo para el transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera, ADR](#)
- [Reglamento relativo al transporte internacional de mercancías peligrosas por ferrocarril, RID](#)
- [Instrucciones técnicas para el transporte sin riesgo de mercancías peligrosas por vía aérea, de la Organización de Aviación Civil Internacional, OACI](#)
- [Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas IMDG](#)

El desarrollo de los requisitos incluidos en la citada reglamentación se fundamenta en lo siguiente:

- La seguridad en el transporte debe basarse fundamentalmente en el bulto y no en los controles operacionales durante las expediciones;
- Considerando el punto anterior, las responsabilidades básicas en la seguridad del transporte radican en el expedidor, que prepara el bulto para su expedición y no en los transportistas.

Por tanto, es fundamental que el material radiactivo sea embalado adecuadamente para proporcionar protección contra sus riesgos en las condiciones de transporte, incluidos los accidentes previsibles. Así se evitará, en todo lo posible, depender de las medidas a adoptar por el transportista.

El objetivo básico de seguridad en el transporte es la protección del público, de los trabajadores del transporte, de los bienes y del medio ambiente de los efectos directos e indirectos de la radiación durante el desarrollo de esa actividad. Esa protección se consigue limitando la naturaleza y la actividad del material radiactivo que se transporte en un determinado diseño de bulto, especificando los criterios de diseño para cada tipo de bulto y aplicando reglas sencillas de manipulación, estiba y almacenamiento en tránsito.

Los objetivos concretos que persiguen los requisitos son:

- La contención de los materiales por los embalajes, protegiendo contra su dispersión y su posible incorporación por las personas. Esto se conseguirá a través de un adecuado diseño del embalaje, cuyas exigencias serán función del riesgo del contenido.
- El control de la radiación emitida por los bultos. Esto se conseguirá a través del diseño del embalaje, utilizando el adecuado blindaje, advirtiendo sobre ese riesgo mediante la señalización externa del bulto y a través de procedimientos de estiba, transporte y almacenamiento en tránsito.
- La prevención de la criticidad nuclear cuando se transporten materiales fisiónables. Se conseguirá actuando sobre la configuración de los embalajes y su contenido, limitando el

número de bultos que se transporten o almacenen conjuntamente y controlando la distancia entre grupos de bultos.

- La protección contra los daños derivados del calor generado por los bultos, lo que se conseguirá considerando en el diseño de los embalajes sistemas de evacuación del calor interno y definiendo procedimientos para el transporte y almacenamiento, que eviten el daño a las personas que participen en esas actividades y a otras mercancías que se transporten junto a los bultos radiactivos.

En resumen, la consecución de los objetivos derivará de un adecuado diseño del bulto (fundamentalmente) y del seguimiento de procedimientos operacionales durante el transporte y el almacenamiento en tránsito.

2. REQUISITOS DE MATERIALES Y BULTOS

De acuerdo a la definición contenida en el reglamento del OIEA se entiende por bulto el embalaje con su contenido radiactivo, tal como se presenta para el transporte.

Se definen una serie de tipos de bultos cuyos requisitos de embalaje se establecen de forma graduada, en función del riesgo del contenido. De manera que, según aumenta ese riesgo, el diseño ha de tener unas características tales que sea capaz de soportar condiciones de transporte cada vez más exigentes. Al respecto se consideran tres tipos de condiciones de transporte:

- **Rutinarias:** las achacables al transporte en sí mismo: aceleraciones, vibraciones o tensiones derivadas de la manipulación o el transporte, sin considerar incidencias.
- **Normales:** incluyen pequeñas incidencias como caídas de bultos, golpes, apilamientos de bultos, lluvia, etc., que pueden darse en el transporte.
- **Accidente:** situaciones con incidencias graves de tipo mecánico y térmico.

Los bultos que han de soportar sólo las condiciones rutinarias contienen actividades muy bajas de material radiactivo de manera que, si se dispersara en un accidente, las consecuencias radiológicas serían insignificantes.

Los bultos que han de ser adecuados para las condiciones normales de transporte contienen más actividad, pero en una cantidad tal que, en el caso de dispersión por la rotura del bulto, sería improbable que las consecuencias radiológicas dieran lugar a efectos biológicos detectables.

Sin embargo, aquellos bultos que han de soportar las condiciones de accidente sí tienen un contenido de alto riesgo que podría dar lugar a graves consecuencias en caso de la rotura o destrucción del embalaje.

Se definen los siguientes tipos de bulto: Exceptuados, Industriales (tipo BI-1, tipo BI-2, tipo BI-3), tipo A, tipo B y tipo C, que han de soportar las siguientes condiciones de transporte:

- Exceptuados y tipo BI-1, las condiciones rutinarias
- Tipo, BI-2, tipo BI-3 y tipo A, las rutinarias y las normales.
- Tipo B y tipo C, las rutinarias, las normales y las de accidente.

Considerando el enfoque graduado requisitos/riesgo del contenido antes citado, cada uno de estos tipos tendrá una limitación para el contenido.

2.1. Límites en el contenido de los tipos de bulto: los valores A_1 / A_2

Muchos de los criterios de limitación del contenido en los bultos se fundamentan en dos valores de actividad que se han definido para cada radionucléido, los valores A_1 y A_2 . Estos valores son fundamentales pues definen la barrera de actividad que si se supera ya es preciso utilizar un embalaje capaz de soportar las condiciones de accidente.

El valor A_1 aplica cuando el material radiactivo se transporta encapsulado en forma especial, de manera que es difícilmente dispersable o disgregable; mientras que el valor A_2 aplica cuando el material no está encapsulado en forma especial.

Por material encapsulado en forma especial debe entenderse un material radiactivo sólido no dispersable o bien una cápsula sellada que contenga al material radiactivo. Esto supone que el material radiactivo posee una alta integridad física y si saliera fuera del embalaje en un accidente, aunque provocaría un riesgo de irradiación externa, el riesgo de contaminación sería muy bajo.

La condición de material encapsulado en forma especial ha de ser demostrada a través de la superación de los siguientes ensayos sobre una muestra representativa:

- Impacto (caída libre desde 9m).
- Percusión (la muestra se golpea con una barra de acero).
- Flexión (sólo se aplica para fuentes largas y delgadas con longitud mínima de 10 cm)
- Térmico (calentamiento a 800°C durante 10 min).
- Lixiviación o fugas volumétricas (dependiendo si son materiales sólidos no dispersables o estén encerrados en una cápsula sellada).

Tras ellos ha de cumplirse que la muestra no se rompa ni fracture tras el de impacto, percusión o flexión: que no se funda ni disperse tras el térmico; y que la actividad en el agua en el ensayo de lixiviación no supere 2 kBq. En el caso de que se empleen ensayos de fugas volumétricas, el criterio de aceptación de la tasa de fugas será el que marque la autoridad competente

Los valores A_1 y A_2 han sido calculados para cada radionucléido aplicando el procedimiento denominado Sistema Q, que considera una serie de vías de exposición: irradiación por fotones, irradiación por partículas beta, inhalación, contaminación en piel e ingestión e inmersión en nube radiactiva. Asimismo, considera unas condiciones de accidente que, aún no siendo las más graves que podrían darse, son suficientemente restrictivas para la mayoría de los posibles accidentes.

Tras referirnos a los valores básicos de referencia para el contenido de los bultos se irá describiendo las principales características de cada uno de los tipos de bulto antes mencionados.

2.2. Bultos Exceptuados

Contienen cantidades tan pequeñas de materiales radiactivos que se diseñan para soportar sólo las condiciones rutinarias de transporte. Están exceptuados de la mayoría de los requisitos y sólo han de cumplir unas condiciones generales de diseño.

Contenido

Los límites de actividad en los bultos exceptuados vienen expresados en forma de fracciones de los valores de A_1 y A_2 y en función de si el material está en forma sólida, líquida o gaseosa. En general la máxima cantidad de material radiactivo que se permite para un contenido sólido o gaseoso es 10^{-3} de A_1 ó A_2 , según el material esté en forma especial o no; mientras que para los líquidos se reduce a 10^{-4} A_2 .

Cuando el material radiactivo es parte de un componente de un instrumento o artículo manufacturado, tal como un detector de humo o un aparato electrónico, esos límites se incrementan al confiar en la mayor resistencia estructural que aportarán esos dispositivos. La reglamentación define unos límites máximos por instrumento y por bulto.

No obstante, lo anterior queda a su vez restringido por la condición de que en la superficie exterior del bulto nunca puede darse una intensidad de dosis superior a 5m Sv/h. Además en el caso de los artículos o instrumentos manufacturados no puede existir un nivel de radiación superior a 0,1 mSv/h en ningún punto a 10 cm de la superficie del artículo.

Requisitos

Los bultos exceptuados sólo han de cumplir una serie de requisitos de carácter general, tales como: que sean de fácil manipulación y sujeción en los medios de transporte, que no fallen sus medios de enganche al utilizar sistemas de elevación, que sean fácilmente descontaminables, que en la medida de lo posible su superficie no retenga agua o que sus materiales sean física y químicamente compatibles entre sí y con el contenido.

Además, si los bultos se transportaran por vía aérea deberán ser capaces de soportar unos rangos de temperatura ambiente más severos, así como reducciones de presión externa, que tratan de reproducir las condiciones ambientales que pueden darse en el transporte rutinario por esta vía.

2.3. Bultos Industriales

Se utilizan para transportar materiales radiactivos que están distribuidos en una gran masa, volumen o en la superficie de otros materiales inactivos y se diseñan, según el tipo, para soportar las condiciones rutinarias de transporte o las condiciones normales.

Contenido

Su contenido será los materiales definidos en el reglamento como de Baja Actividad Específica (BAE) o como Objetos Contaminados Superficialmente (OCS).

Independientemente del tipo de material, el contenido de un solo bulto queda limitado a que el nivel de radiación a 3 metros de distancia de los materiales u objetos sin blindaje no exceda 10mSv/h, y estará sujeto a unos límites de actividad específicos (cuadro 6 del Reglamento para el transporte seguro de materiales radiactivos, SSR-6 y equivalente en los reglamentos modales).

Se entiende por material de baja actividad específica (BAE) aquel que por su naturaleza tiene una actividad específica limitada por unidad de masa. Se les divide en tres grupos:

- BAE-I. Son intrínsecamente seguros desde el punto de vista radiológico porque su concentración radiactiva es tal que una persona no puede ingerir o inhalar bastante material como para producir dosis significativas. Son los minerales y compuestos de uranio y de torio naturales o empobrecidos no irradiados y otros radionucléidos para los que el valor de A_2 se especifica como “sin límite”.
- BAE-II. Material con una actividad específica no superior a $10^{-4} A_2/g$ para sólidos y gases y a $10^{-5} A_2/g$ para los líquidos, salvo para las soluciones acuosas de Tritio, cuyo límite es TBq/l.
- BAE-III. Se trata de sólidos en los que el material radiactivo se encuentra distribuido en el seno de un agente ligante, como el hormigón, que debe ser relativamente insoluble (han de superar un ensayo de lixiviación) y en los que la actividad específica no supera $2 \times 10^{-3} A_2/g$.

En cuanto a los Objetos Contaminados Superficialmente (OCS), son objetos sólidos, que no son en sí mismo radiactivos, pero que tienen el material radiactivo distribuido por sus superficies. Se dividen en tres grupos, OCS I, OCS II y OCS III. La clasificación como OCS I o OCS II depende de los valores de contaminación superficial fija y desprendible, siendo los OCS II los que tendrían mayores valores de contaminación superficial. Un OCS III es un objeto sólido grande que, por sus dimensiones, no puede transportarse en un bulto del tipo de los descritos en la reglamentación.

Considerando esas características y limitaciones, los materiales que más usualmente se transportan como OCS I o OCS II son residuos radiactivos sólidos y líquidos de bajo y medio nivel procedentes de operaciones en instalaciones radiactivas y nucleares y del desmantelamiento de las mismas, mientras que los OCS III son grandes componentes (intercambiadores de calor, generadores de vapor) procedentes del proceso de desmantelamiento.

Según el contenido en BAEs (I, II ó III) u OCSs (I, II), los bultos Industriales se dividen en tres tipos: tipo BI-1, tipo BI-2, tipo BI-3, aumentando del primero al tercero el nivel de exigencia porque aumenta el riesgo de su contenido. Por otra parte los objetos definidos como OCS III se transportan sin embalar, cumpliendo condiciones específicas de valores de contaminación y estableciendo medidas que persiguen evitar la liberación de materiales radiactivos.

Requisitos

Todos los bultos Industriales han de cumplir los mismos requisitos que los bultos exceptuados, es decir los denominados requisitos generales, más otros adicionales, que para cada tipo de bulto son:

- Tipo BI-1. Como los exceptuados se diseñan para soportar sólo las condiciones rutinarias de transporte, pero a diferencia de aquellos han de ser señalizados exteriormente con las etiquetas características del transporte de material radiactivo. En ellos se transportan minerales, uranio natural, torio natural y materiales de muy baja actividad específica.
- Tipo BI-2. Además de cumplir todos los requisitos de BI-1 deben superar dos ensayos que simulan las condiciones normales de transporte:
 - Caída libre desde una altura máxima de 1,2 m., dependiendo del peso del bulto.
 - Apilamiento sobre el bulto de un peso cinco veces el suyo durante 24 horas.

Tras los ensayos no debe producirse pérdida alguna del contenido y el nivel de radiación máximo en el exterior no debe aumentar más del 20% del nivel antes de las pruebas.

- Tipo BI-3. Cumplirán los requisitos del tipo anterior y además tendrán que superar dos ensayos más que simulan también condiciones normales de transporte:
 - Aspersión con agua durante una hora.
 - Penetración: caída sobre el bulto de una barra de 6 kg desde 1 m.

Los criterios de aceptación son los antes citados para los otros dos ensayos de condiciones normales

En el caso de materiales BAE o OCS de los grupos BAE-I, OCS-I y OCS-III podrán transportarse sin embalar siempre que cumplan una serie de condiciones adicionales. En el caso del OCS-III se requiere, además, que dicho transporte se realice en modo exclusivo y que la expedición esté sujeta a aprobación multilateral.

2.4. Bultos de Tipo A

Están previstos para transportar actividades relativamente pequeñas de materiales radiactivos que se utilizan en la industria, la medicina y la investigación y que, a diferencia con los bultos Industriales, no está distribuida en una gran cantidad de otros materiales inactivos. Se diseñan para soportar condiciones normales de transporte.

Contenido

Como la situación de accidente no se considera en el diseño de los embalajes tipo A, el contenido de material radiactivo que puede transportarse en ellos está limitado a los valores de actividad A_1 y A_2 , que varían para cada radionucléido en función de su radiotoxicidad.

La limitación a estos valores en el contenido de un bulto tipo A implica que, en el caso de una liberación del contenido de estos bultos en un accidente grave, los riesgos de contaminación o irradiación externa serán bajos (en hipótesis restrictivas, alrededor de la dosis anual de un trabajador expuesto).

Requisitos

Deben cumplir todos los requisitos de diseño de los tipos de bultos antes señalados y algunos adicionales. Así, si transportan líquidos, los embalajes han de contener suficiente material absorbente como para absorber hasta el doble del volumen de líquido o bien un sistema de contención secundario que lo recoja si falla el sistema de contención más interno.

En cuanto a ensayos han de soportar los mismos que los bultos BI-3, que simulan condiciones normales de transporte. Además en el caso de contenido líquido o gaseoso las condiciones de los ensayos de caída y de penetración son más estrictas, pues requieren una caída del bulto desde 9 m y de la barra sobre aquél desde 1,7 m, respectivamente, si bien sólo han de cumplir el criterio de aceptación de que no ocurra pérdida del contenido tras los ensayos.

2.5. Bultos Tipo B

Son los utilizados para transportar grandes actividades de materiales radiactivos y en consecuencia han de ser capaces de soportar condiciones de accidente grave.

Contenido

El límite para el contenido de estos bultos no lo define la reglamentación sino el certificado de aprobación que precisan, que recogerá un valor máximo de actividad en función del diseño del bulto. Únicamente en el caso de que los bultos se transporten por vía aérea se limita su contenido a:

- El valor más bajo de entre $3000 A_1$ ó $100.000 A_2$, si el material está en forma especial o,
- $3000 A_2$ para el resto de materiales.

No obstante, podrían transportarse por vía aérea actividades superiores a las citadas si el material radiactivo hubiera sido aprobado como material de baja dispersión. Este tipo de material ha de superar una serie de ensayos sin que se produzca una determinada dispersión del mismo:

- Un ensayo térmico correspondiente al accidente aéreo (bulto tipo C).
- Uno impacto a alta velocidad en accidente aéreo (bulto de tipo C).
- Uno de lixiviación

Los contenidos más clásicos en este tipo de bultos son fuentes de alta actividad utilizadas en radioterapia y en irradiadores industriales y las usadas en la gammagrafía industrial.

Requisitos

Han de cumplir los requisitos ya descritos para los bultos anteriores y algunos adicionales. Entre estos son destacables los relativos a la capacidad de soportar rangos de temperaturas ambientales extremas, considerando la irradiación solar directa y la generación interna de calor del material radiactivo, si fuera el caso.

Además estos bultos deben ser capaces de soportar tanto las condiciones normales de transporte como las de accidente, por lo que han de superar los ensayos que las simulan.

Para las condiciones normales, son los mismos ensayos que para los bultos tipo A, pero sólo con el criterio de aceptación de que la pérdida de contenido no sea superior a $10^{-6} A_2$ por hora.

En cuanto a las de accidente, deben superar los siguientes ensayos:

- Caída libre desde 9 m sobre una superficie indeformable.
- Perforación: caída del bulto desde 1 m sobre una barra.
- Aplastamiento: caída sobre el bulto de una plancha de 500 kg desde 9m (sólo para bultos de peso y densidad bajos).
- Térmico: $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 30 minutos.
- Inmersión en agua entre 15 m a 200m, dependiendo del tipo de contenido.

Tras los ensayos no debe producirse una salida de material superior a A_2 por semana y el nivel de radiación máximo a un metro de la superficie del bulto no debe ser mayor de 10mSv/h .

Los diseños de estos embalajes son muy diversos, pero, en general, el material radiactivo va en un sistema de contención con estructura de acero y provisto de blindaje (plomo o uranio empobrecido). Además suelen disponer de materiales de aislamiento térmico y de sistemas pasivos de evacuación de calor en el caso de que el contenido radiactivo lo emita. Sus sistemas de cierre suelen ser complejos, en muchos casos dobles para reducir al máximo la posibilidad de apertura en el caso de un accidente grave.

Existen dos tipos de bultos B:

- El B(U), que se ajusta plenamente a los requisitos definidos para el tipo B y que sólo precisa de la aprobación de la autoridad competente del país donde se haya diseñado el bulto (aprobación unilateral), y
- El B(M), que se desvía de ciertos requisitos, tales como los relativos a la temperatura ambiente, la irradiación solar, la temperatura externa máxima o la ausencia de venteo. Estos precisan de la aprobación de las autoridades competentes de todos los países por los que circulen (aprobación multilateral).

2.6. Bultos tipo C

Han de utilizarse para el transporte por vía aérea de altas actividades de material radiactivo y, en consecuencia, deben de ser capaces de resistir las condiciones de un accidente grave en ese medio.

Contenido

Estos bultos están destinados a contener actividades comprendidas entre los límites definidos para los bultos tipo B para vía aérea y las especificadas para cada diseño bulto en su respectivo certificado de aprobación.

Materiales que normalmente podrían ser transportados en este tipo de bultos son el plutonio procedente del reprocesado del combustible irradiado, los combustibles con óxidos mixtos y fuentes de muy alta actividad utilizadas en irradiación industrial.

Requisitos

Han de cumplir los mismos requisitos que los bultos tipo B, más ensayos adicionales que representan no sólo las condiciones de accidente, sino además las de un accidente aéreo grave.

En consecuencia aumenta la dureza en los ensayos, con respecto a los de los bultos tipo B, incluyendo:

- El ensayo de caída de 9 m como en los tipo B.
- Un ensayo de aplastamiento dinámico por caída sobre el bulto de una masa de 500 kg desde una altura de 9 m.
- Uno de desgarramiento o bien de perforación, según la masa del bulto sea inferior o superior a 250 kg.
- Un ensayo térmico reforzado, igual al ensayo térmico de los bultos tipo B pero con una duración de 60 minutos.
- Un impacto a una velocidad de 90 m/s sobre un blanco indeformable.
- Un ensayo de inmersión en agua a 200 m de profundidad.

La idea general de diseño del embalaje de un bulto tipo C es similar a la de los tipo B, pero con materiales y espesores que le dan una mayor resistencia mecánica y con sistemas de cierre que aseguran aún más la contención, en previsión de un accidente aéreo.

2.7. Bultos para sustancias fisiónables

Los cinco tipos de bultos antes descritos están así clasificados exclusivamente desde el punto de vista de su riesgo radiológico, pero si los materiales que transportan además son fisiónables y, por tanto, presentan riesgo de criticidad, la reglamentación establece disposiciones adicionales. Por tanto, un bulto que porte material fisiónable será a su vez Industrial, A, B ó C, según corresponda a su contenido. Únicamente los bultos Exceptuados y los Industriales tipo 1 no pueden llevar sustancias fisiónables.

Contenido

Los materiales que se consideran fisiónables, en las condiciones que se dan en el transporte. Se trata del U-233, el U-235, el Pu-239, el Pu-241 o cualquier combinación de ellos. No se consideran fisiónables, en las condiciones de transporte, el uranio natural o el empobrecido no irradiados o que hayan sido irradiados en reactores térmicos.

El contenido en un bulto estará limitado al establezca la reglamentación para el tipo de bulto de que se trate: Industrial, A, B ó C, más las restricciones que defina el certificado de aprobación, que es siempre preceptivo en el caso de bultos para material fisiónable.

Requisitos

Existen tres subtipos de calificación de material fisiónable.

Materiales fisiónables exceptuados: Se exceptúan del cumplimiento de los requisitos definidos para estos bultos las remesas que incluyan materiales fisiónables, pero en cantidades o concentraciones tan bajas que será imposible la criticidad durante el transporte, incluso asumiendo la acumulación fortuita de múltiples bultos conteniendo material fisiónable o la destrucción de los bultos en un accidente. Se transportan atendiendo sólo a los criterios radiológicos del contenido.

Materiales fisiónables: Un bulto para material fisiónable deberá cumplir los requisitos establecidos específicamente para un bulto Industrial, A, B ó C, según corresponda a su contenido; pero, independientemente del tipo de bulto, además deberá demostrarse que permanece subcrítico tras los ensayos que simulan las condiciones normales y de accidente y, en el caso de que se pretenda transportar el bulto por vía aérea, los de accidente aéreo (bultos tipo C).

Materiales fisiónables exceptuados de ciertos requisitos de fisiónable: Este tipo de material, en general en cantidades limitadas, debe cumplir todos los requisitos exigibles al material fisiónable, con la excepción de la obligatoriedad de ser transportados en bultos aprobados.

2.8. Bultos para Hexafluoruro de uranio

El Hexafluoruro de uranio (UF₆ – en adelante hexafluoruro) es un material radiactivo que posee características peligrosas no radiactivas, en concreto tóxicas (clase 6) y corrosivas (clase 8). Estas características, conocidas como “riesgos subsidiarios”, son significativas frente a los riesgos radiológicos en el caso de hexafluoruro natural o empobrecido. La razón fundamental del riesgo subsidiario es que el hexafluoruro tiene una temperatura de sublimación muy baja, por lo que a temperatura ambiente se convierte en vapor fácilmente y reacciona con la humedad ambiente convirtiéndose en ácido fluorhídrico.

Por esa razón desde la edición de 1996 del reglamento de transporte del OIEA, se le da un tratamiento específico en la reglamentación. Así desde el punto de vista radiológico, el hexafluoruro, en función de su actividad o actividad específica, debe ser transportado en un bulto Exceptuado, Industrial, A, B ó C y, además, si el enriquecimiento o la cantidad de uranio superaran un determinado valor, les aplican los requisitos para bultos de material fisionable.

Requisitos

Aunque la carga y descarga de este material se lleva a cabo en estado gaseoso o líquido, a presión superior a la atmosférica, el UF₆ se debe transportar en estado sólido y con una presión interna del bulto inferior a la atmosférica. Por tanto los embalajes al presurizarse durante las operaciones de carga y descarga, deben cumplir la reglamentación aplicable a recipientes a presión, aunque no estén presurizados en condiciones normales de transporte.

Por otra parte, además de cumplir los requisitos según el tipo de bulto (Exceptuado, Industrial, A, B ó C) los bultos deberán:

- Cumplir la norma ISO 7195 sobre embalajes de UF₆.
- Superar un ensayo de presión interna.
- Superar el ensayo de caída para condiciones normales de transporte.
- Superar el ensayo térmico para condiciones de accidente.
- No disponer de dispositivos de alivio de presión.

3. SEGURIDAD NUCLEAR EN EL TRANSPORTE DE SUSTANCIAS FISIONABLES

Para cada diseño de bulto para sustancias fisionables se ha de realizar un Estudio de Seguridad respecto a la Criticidad, que demuestre que no es posible que se produzca un evento de criticidad bajo condiciones previsibles de transporte, tanto normales como de accidente. En ambas condiciones el análisis de criticidad debe considerar el bulto aislado y en conjunto con otros bultos, en unas condiciones restrictivas de reflexión y de penetración y escape de agua de los espacios libres del bulto, que especifica la reglamentación.

Además, en el caso de que tras los ensayos se produjera una salida de material desde el embalaje, en el análisis de criticidad correspondiente a un conjunto de bultos, debe asumirse que la misma cantidad de sustancia fisionable escapa de cada uno de los bultos de ese conjunto.

Para el combustible irradiado se requiere que la composición isotópica que considere el Estudio de Criticidad sea aquella que produciría la máxima multiplicación de neutrones durante el historial de irradiación o bien una estimación conservadora de la multiplicación de neutrones real. Además, cuando la evaluación no esté basada en la máxima multiplicación de neutrones, deberá realizarse, después de la irradiación y antes de la expedición, una medida para confirmar si eran restrictivos los valores de la composición isotópica utilizados en el análisis de criticidad.

Para cada diseño, el Estudio de Criticidad determinará un número “N” de bultos tal que se mantendrán subcríticos 5N bultos no dañados y 2N dañados. A través del valor de N se obtiene para cada diseño el Índice de Seguridad respecto a la criticidad (ISC), mediante la expresión $ISC = 50/N$.

El ISC da idea del riesgo de criticidad asociado a cada diseño de bulto, de manera que se utilizará como referencia para limitar los agrupamientos de bultos durante su transporte y el almacenamiento en tránsito.

La limitación en los medios de transporte de los bultos de sustancias fisionables varía según el transporte se realice en Uso exclusivo² o no. Por ejemplo para los vehículos de carretera la suma de los ISC de los bultos está limitada a 100 si el transporte se realiza bajo Uso exclusivo y a 50 en otro caso.

Además en el caso del almacenamiento en tránsito la reglamentación establece que la suma de los ISCs en cualquier grupo de bultos no debe exceder de 50 y que entre esos grupos siempre debe haber una separación mínima de 6 m.

Para facilitar la adopción de las citadas medidas la reglamentación requiere que los bultos con sustancias fisionables se etiqueten con una señal característica de forma romboidal, con fondo blanco, que en su mitad superior indica “SUSTANCIAS FISIONABLES” y en la inferior se ha de poner el valor del ISC del bulto.

4. RESPONSABILIDADES DEL EXPEDIDOR

El segundo pilar sobre el que descansa la seguridad en el transporte de material radiactivo es la correcta preparación de los bultos. Esta es una responsabilidad del expedidor, que ha de seguir lo establecido en sus procedimientos de uso y, si fuera el caso, en su certificado de aprobación y ha de señalizarlo y preparar la documentación de acompañamiento en el transporte.

Señalización de los bultos de material radiactivo

La señalización comprende el etiquetado y el marcado exterior en el bulto.

Las **etiquetas** identifican a los bultos que contienen materiales radiactivos y orientan a los transportistas para controlar la exposición a las radiaciones en su manipulación y almacenamiento. El etiquetado varía en función de los niveles de radiación que se midan en su superficie y a un metro de ella (valor representado por el Índice de Transporte: IT). La reglamentación define tres categorías de bultos según su nivel de radiación en la superficie y su valor de IT: I- Blanca, II-Amarilla y III-Amarilla, y para cada una existe una etiqueta diferente.



Salvo en el caso de los bultos Exceptuados que no las precisan, las etiquetas informan sobre el contenido del bulto y sobre el riesgo de irradiación externa en sus proximidades. La etiqueta

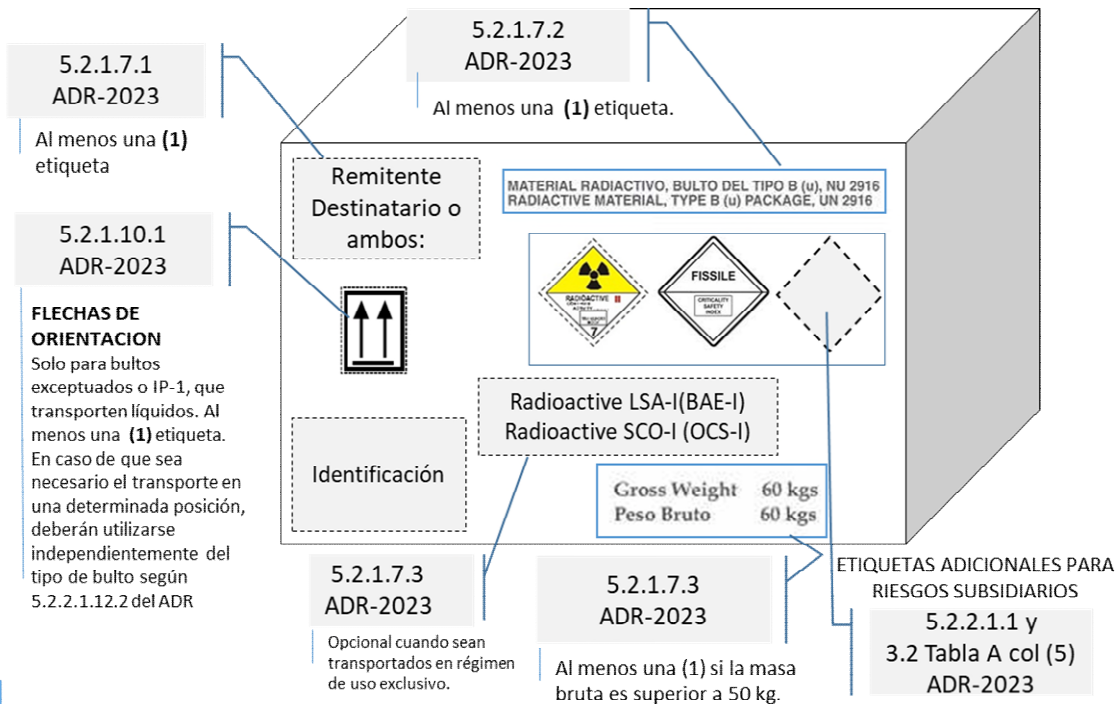
² El transporte se realiza sólo para un expedidor, quien controla todas sus operaciones.

blanca indica que el riesgo de irradiación es prácticamente nulo, pues a un metro de su superficie el nivel de radiación es prácticamente cero, mientras que las amarillas informan de que ya se pueden recibir ciertas dosis al manipular o estar próximo al bulto.

Además los bultos con material fisionable han de llevar la etiqueta que informa del riesgo adicional de criticidad a través del Índice de Seguridad con respecto a la Criticidad (ISC).



El expedidor también ha de proveer un marcado sobre los bultos que, entre otros, incluye datos como el remitente o el destinatario, el número de las Naciones Unidas o la marca de identificación asignada al diseño del bulto por la autoridad competente, si precisa de aprobación previa. La siguiente figura presenta un resumen del etiquetado de un bulto:



Tipo		Marca	identificación	Número de Serie	TREBOL
Industriales	BI-1	"TIPO BI-1"	----	----	----
	BI-2	"TIPO BI-2"	Código VRI	----	----
	BI-3	"TIPO BI-3"	Código VRI	----	----
Tipo A		"TIPO A"	Código VRI	----	----
Tipo B	B(U)	"TIPO B(U)"	Marca del diseño aprobado	SI	5.2.1.7.6 (ADR-2021)
	B(M)	"TIPO B(M)"	Marca del diseño aprobado	SI	
Tipo C		"TIPO C"	Marca del diseño aprobado	SI	

Al menos una etiqueta.

Número de Naciones Unidas (número UN).

Son números de cuatro dígitos que identifican materias y artículos potencialmente peligrosos y se aplica a todas las mercancías peligrosas.

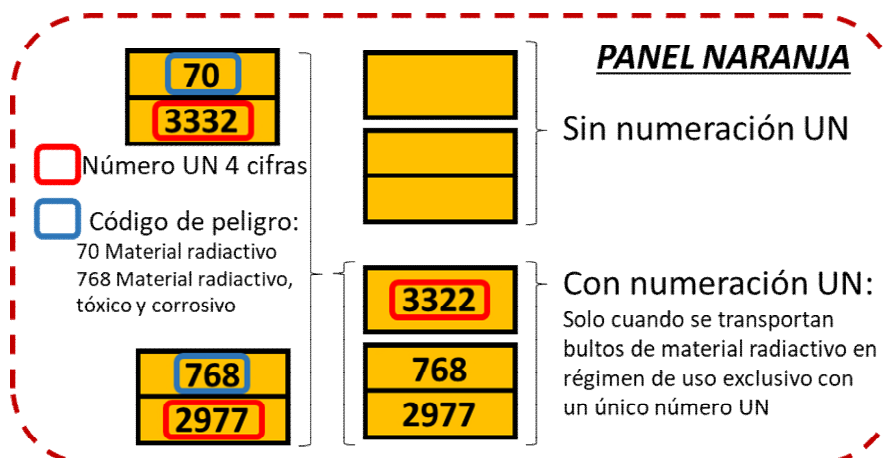
Existen 26 números UN asignados a materiales radiactivos que dependen del nivel de actividad de los radionucleidos contenidos en un bulto, las propiedades fisionables o no fisionables de dichos radionucleidos, el tipo de bulto que se presente para el transporte y la naturaleza o forma de los contenidos del bulto o las autorizaciones especiales que rijan el transporte.

La reglamentación establece una serie de requisitos de seguridad para cada número UN de la expedición (más información sobre el proceso de selección de números UN de una expedición y los requisitos aplicables a cada uno de ellos se puede encontrar en la guía de seguridad del CSN 6.5 *Guía de ayuda para la aplicación de los requisitos reglamentarios sobre transporte de material radiactivo*).

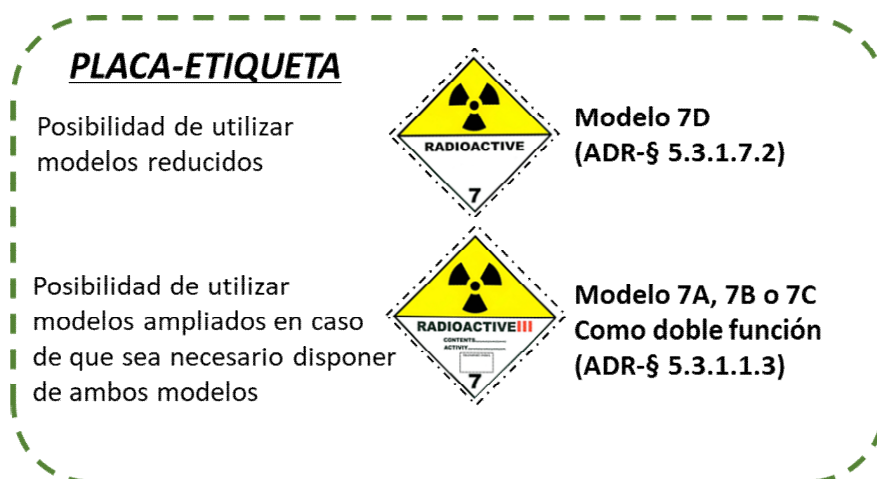
Señalización de los vehículos.

Los vehículos que transportan mercancías peligrosas deben ir señalizados, con excepción de aquellos que transporten bultos exceptuados, que no lo necesitan debido al escaso riesgo que tiene este tipo de material.

La señalización consiste en un panel naranja (exigible para todas las mercancías peligrosas), que se coloca en la parte frontal y trasera del vehículo, en la que puede constar el número UN de la expedición. Este panel está formado por un rectángulo naranja dividido en dos partes. Normalmente irá sin numeración salvo en ciertos casos especificados por la normativa. En éstos, en la superior se indicaría el número de clase de mercancía peligrosa (el 7 para material radiactivo) mas un cero y en el caso de riesgos subsidiarios aparecería el número de clase (7) mas el número de clase de los riesgos subsidiarios (p.e. en el caso del hexafluoruro de uranio, el 6 y el 8). Se permite el uso de un panel reducido sin numeración o con el número UN de la expedición.



Además, el vehículo deberá llevar una señalización de que está transportando una mercancía peligrosa denominada placa-etiqueta. La placa-etiqueta correspondiente a la clase 7 deberá ir en la parte trasera y en los laterales del vehículo. Se permite el uso de la etiqueta del bulto o contenedor, cuando este forme parte del vehículo (p.e. contenedores marítimos en una plataforma de camión articulado).



Documentación de acompañamiento

Es otra de las responsabilidades del expedidor, que debe entregarla a los transportistas para los que servirá de información y la mantendrán a disposición de las autoridades competentes. También resultará de interés para el personal de los servicios de emergencia, caso de producirse un accidente.

La documentación de acompañamiento ha de incluir:

- Los detalles sobre la remesa:
 - Clase de la materia peligrosa (la 7 para la radiactiva).
 - Identificación de la materia y el Número de Naciones Unidas correspondiente.
 - Radionucléidos y su actividad máxima.
 - Forma físico-química del contenido.
 - Categoría del bulto e Índice de Transporte.
 - Índice de seguridad con respecto a la criticidad si son materiales fisionables.
 - Marca de identificación de los certificados de aprobación emitidos por la autoridad competente para los bultos o materiales, si fueran necesarios.
- Declaración del expedidor, en cuanto a que ha dado cumplimiento a lo requerido por la reglamentación
- Medidas especiales a adoptar por los transportistas
- Instrucciones de emergencia

Además todo lo anterior el expedidor es el responsable de la elección correcta del bulto, y por lo tanto podría ser el responsable de obtener las autorizaciones o aprobaciones preceptivas para los bultos y las expediciones, así como de realizar las notificaciones previas de los transportes que defina la reglamentación o la correspondiente autoridad competente.

5. AUTORIZACIONES Y NOTIFICACIONES

La reglamentación de transporte prescribe varios requisitos para la autorización de bultos y materiales y para las expediciones de material radiactivo con respecto al traslado nacional e

internacional. Estas autorizaciones son emitidas por la autoridad competente y revisten la forma de certificado de aprobación.

Se entiende por aprobación multilateral, la que debe ser concedida tanto por la autoridad competente del país de origen del modelo de material o bulto o de la expedición, como por la de cada uno de los países a través de cuyo territorio se vaya a transportar el envío.

Por aprobación unilateral se entiende la que debe ser otorgada a un modelo únicamente por la autoridad competente del país de origen del mismo.

No todos los materiales, bultos y expediciones requieren aprobación, requiriéndose sólo en los siguientes casos:

- Materiales radiactivos en forma especial
- Materiales radiactivos de baja dispersión
- Sustancias fisionables exceptuadas en virtud del apartado f) del párrafo 417 del SSR-6
- Bultos que contengan 0,1 kg de hexafluoruro de uranio o una cantidad superior.
- Todos los bultos que contengan sustancias fisionables.
- Los bultos de tipo B(U) y B(M).
- Los bultos de tipo C.
- Los transportes bajo Arreglos especiales.
- Ciertas expediciones.
- El programa de protección radiológica de buques de uso especial.
- El cálculo de los valores de exención y de A_1/A_2 para los radionucléidos que no figuran en las listas de la reglamentación.
- El cálculo de los límites de actividad alternativos para una remesa de instrumentos o artículos exenta del párrafo 403 del SSR-6

5.1. Aprobaciones de bultos y de materiales

Bultos del tipo B: B(U) y B(M)

La mayoría de los bultos tipo B se diseñan de acuerdo a los requisitos establecidos en la reglamentación para este tipo de bultos, por lo que están sometidos a aprobación unilateral, salvo que se trate de diseños para contener sustancias fisionables o materiales radiactivos de baja dispersión, en cuyo caso se requiere aprobación multilateral.

Sin embargo, se permiten ciertas desviaciones de diseño con respecto a lo reglamentado (temperaturas a soportar por los materiales, T^a ambiente, condiciones de irradiación solar, etc...), siempre que el diseño cuente con la aprobación tanto del país de origen como de cada país a través del cual se haya de transportar el bulto, es decir, que se someta a una aprobación multilateral. Este tipo de bultos se identifican como bultos del tipo B(M).

Las desviaciones deben suplirse mediante normas de seguridad y controles operacionales tales que se consiga un nivel de seguridad equivalente al de los bultos del tipo B(U). Estas medidas de compensación, han de ser evaluadas y aceptadas por la autoridad competente de cada uno de los países involucrados en el transporte.

Bultos del tipo C

Requieren la aprobación unilateral de la autoridad competente, salvo que esté destinado a contener material fisionable, en cuyo caso deberá ser objeto de aprobación multilateral.

Bultos que contengan material fisionable

Requieren la aprobación multilateral y han de satisfacer los requisitos relativos a las propiedades radiactivas y fisionables del contenido del bulto. Ya que el material fisionable puede transportarse en bultos de tipo industrial, del tipo A, B ó C, según corresponda, cuando sea preceptivo se requerirá una aprobación del diseño del bulto basada en las propiedades radiactivas, no fisionables, del contenido del bulto. Además de esta aprobación, se requiere siempre una aprobación del diseño con relación a las propiedades fisionables del contenido del bulto. Ambas aprobaciones pueden unificarse en un solo proceso de aprobación.

Bultos que contengan hexafluoruro de uranio

Además de cumplir los requisitos de alguno de los tipos (Exceptuado, Industrial, A, B ó C), han de cumplir los definidos para esta materia en concreto, precisando la aprobación unilateral de la autoridad competente del país de origen, salvo que esté destinado a contener material fisionable, en cuyo caso deberá ser objeto de aprobación multilateral.

Materiales radiactivos en forma especial

El diseño de los materiales radiactivos en forma especial requiere aprobación unilateral del país de origen del diseño.

Materiales radiactivos de baja dispersión

El diseño de los materiales radiactivos de baja dispersión debe ser sometido a la aprobación multilateral de todos los países de tránsito.

5.2. Aprobación de expediciones

Precisan ser aprobadas por la autoridad competente:

- a) Las expediciones de bultos del tipo B(M) diseñados especialmente para permitir el venteo intermitente controlado.
- b) La expedición de bultos del tipo B(M) que contengan materiales radiactivos cuya actividad sea superior a $3.000 A_1$ ó $3000 A_2$, según corresponda, o a $1000 TBq$ ($20.000 Ci$), rigiendo entre estos valores el menor.
- c) La expedición de bultos que contengan material fisionable si la suma de los Índices de Seguridad con respecto a la Criticidad de los bultos en un solo medio de transporte es superior a 50.
- d) Las expediciones bajo arreglos especiales. En situaciones especiales en las que no se satisfacen de manera estricta todos los requisitos de la reglamentación, se permite el transporte sujeto a aprobación bajo arreglos especiales. La seguridad de estos transportes puede lograrse aplicando medidas de compensación, que ha de ser aceptadas por la autoridad competente de cada uno de los países involucrados en el transporte mediante aprobación multilateral.
- e) Las expediciones de transportes de material OCS-III

5.3. Notificación a las autoridades competentes

Antes de proceder a la primera expedición de cualquier bulto que requiera la aprobación de la autoridad competente, el expedidor se encargará de que la autoridad competente de cada país a través del cual o al cual se va a efectuar el transporte, reciba copia de cada certificado extendido por la autoridad competente relativo al modelo del bulto de que se trate.

En relación con las expediciones, sólo se precisa notificación previa de:

- a) Expediciones de bultos B(U) y C que contengan materiales radiactivos cuya actividad sea superior a 3000 A₁ o 3000 A₂, según proceda, o a 1000 TBq (20 kCi), rigiendo entre estos valores el que sea menor.
- b) Expediciones de bultos B(M).
- c) Expediciones que requieran arreglo especial.

5.4. Disposiciones transitorias en la aprobación de bultos y materiales

Cuando se publica una nueva edición de la reglamentación, que implique modificaciones en los requisitos de diseño de los materiales y bultos, se introducen una serie de disposiciones transitorias que definen el tratamiento que ha de darse a los diseños que se ajustaban a las ediciones anteriores, pero que ya no cumplen plenamente la edición vigente.

Diseños de bultos aprobados de conformidad con las ediciones de 1985, de 1985 (enmendada en 1990), de 1996, de 1996 (revisada), de 1996 (enmendada en 2003), de 2005, de 2009 y de 2012 del Reglamento

El uso de estos embalajes está sometido a requisitos adicionales, tales como requisitos de aprobación multilateral sobre el diseño de dichos bultos o que no se permita la fabricación de nuevos embalajes bajo ese diseño.

Bultos exceptuados del cumplimiento de los requisitos relativos a las sustancias fisiónables de conformidad con la edición de 2009 del Reglamento

Impone límites temporales a su transporte y la necesidad de que se transporte en régimen de uso exclusivo.

Materiales radiactivos en forma especial aprobados de conformidad con las ediciones de 1985, de 1985 (enmendada en 1990), de 1996, de 1996 (revisada), de 1996 (enmendada en 2003), de 2005, de 2009 y de 2012 del Reglamento

Se permite el uso de los embalajes con sujeción a un sistema de gestión y se establecen límites temporales para su fabricación.