

TEMA 8

GESTIÓN DE RESIDUOS RADIATIVOS Y TRANSPORTE DE MATERIAL RADIATIVO

ÍNDICE:

1. GESTIÓN DE RESIDUOS RADIATIVOS.....	3
1.1. INTRODUCCIÓN.....	3
1.2. Clasificación de los residuos radiactivos.....	5
1.3. Opciones en la gestión de los residuos.....	9
1.4. Fases en la gestión de los residuos.....	10
1.5. Gestión y almacenamiento definitivo de los residuos de baja y media actividad en España.....	12
2. TRANSPORTE DE MATERIAL RADIATIVO	18
2.1. Introducción.....	18
2.2. El reglamento para el transporte seguro de materiales radiactivos del OIEA.....	19
2.3. Terminología usada en el transporte.....	19
2.4. Clasificación de los materiales radiactivos.....	21
2.5. Tipos de embalajes y bultos de transporte.....	21
2.6. Categorías de bultos y transporte. Etiquetado.....	22
2.7. Documentación de transporte y otros requisitos.....	23

1. GESTIÓN DE RESIDUOS RADIACTIVOS

1.1. INTRODUCCIÓN.

Cualquier actividad humana, directa o indirectamente, origina desperdicios, desechos o residuos que pueden afectar al medio ambiente si, por tener un gran volumen o una naturaleza intrínsecamente peligrosa, se liberan en éste de forma no adecuada.

En los procesos que implican la presencia de materiales radiactivos los residuos pueden contener radionucleidos, en mayor o menor proporción y, en consecuencia, pueden tener que ser considerados residuos radiactivos.

Internacionalmente se considera residuo radiactivo: cualquier material para el que no se tiene previsto ningún uso y que contiene o está contaminado con nucleidos radiactivos por encima de los niveles establecidos por las autoridades (niveles de exención). El Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas establece que la eliminación, reciclado o reutilización de sustancias o materiales radiactivos procedentes de cualquier instalación nuclear o radiactiva podrá llevarse a cabo sin autorización siempre que los mismos contengan o estén contaminados con radionucleidos en concentraciones o niveles de actividad iguales o inferiores a los establecidos por el Ministerio de Industria y Energía en relación con la definición de residuo radiactivo. Sin embargo, los niveles indicados en la definición se establecieron referidos exclusivamente a los materiales residuales sólidos.

Las radiaciones ionizantes emitidas por los radionucleidos presentes en los residuos les confieren la consideración de "residuos peligrosos", pero su grado de peligrosidad depende de la naturaleza y magnitud de este contenido. Para contenidos radiactivos muy bajos, la peligrosidad radiactiva puede despreciarse.

La presencia de radionucleidos por encima de los límites de exención restringe las posibilidades de uso de los materiales. En el caso de los residuos radiactivos su peligrosidad potencial para el hombre y el medio ambiente obliga legalmente al poseedor, de tal forma que no puede desprenderse de ellos incontroladamente sino que debe gestionarlos adecuadamente para que el riesgo para las personas y su medio, resulte tolerable.

La gestión de los residuos radiactivos comprende un conjunto de operaciones de carácter técnico y administrativo para su acondicionamiento y control que garanticen una protección adecuada del hombre y del medio ambiente, restringiendo el paso de los componentes radiactivos de los residuos al medio ambiente en las proporciones requeridas. Desde el punto de vista ético, se considera que la gestión de los residuos debe ser asumida, en todos sus aspectos, por los que se han beneficiado, sin dejar para las generaciones futuras un riesgo mayor del que estamos dispuestos a aceptar para nosotros mismos.

Debido a la potencial peligrosidad de los materiales radiactivos, alcanzan la consideración de residuos y terminan gestionándose como tales los siguientes tipos de objetos:

- Fuentes radiactivas que, debido al decaimiento que han sufrido, ya no son adecuadas para su utilización en la técnica específica para la que fueron concebidas.
- Fuentes radiactivas que, aún sin haber experimentado un decaimiento significativo, se deben dejar de utilizar y ser sustituidas por otras técnicas igualmente eficaces pero con menor riesgo potencial.
- Equipos y herramientas que, aún manteniendo su funcionalidad, su utilización en las condiciones existentes representa un riesgo no admisible debido a la presencia de material radiactivo.
- Cualquier otro material de desecho que contiene o está contaminado con isótopos radiactivos.

Una característica importante de los radionucleidos es que su proceso de desintegración conlleva la ventaja de que su radiactividad decae, es decir, su peligrosidad disminuye con el tiempo, siguiendo leyes nucleares conocidas que no dependen de la forma física o química del material, cosa que no ocurre con muchos tóxicos químicos cuya peligrosidad intrínseca permanece inalterable o se degrada a velocidades altamente dependientes de las condiciones del medio.

Los residuos con radionucleidos con periodos de desintegración cortos al cabo de unos meses son prácticamente inactivos. Si están presentes el Cs-137 y el Sr-90 en cantidades significativas, como ocurre en los residuos de las centrales nucleares, deberán transcurrir periodos del orden de siglos para que lleguen a ser inactivos.

Las instalaciones médicas, agrícolas, industriales y de investigación y docencia utilizan una gran diversidad de radionucleidos que implican la generación de un volumen de residuos radiactivos que, sin ser muy importante por su cantidad, requiere una gestión compleja por su heterogeneidad y dispersión.

Adicionalmente al contenido radiactivo, algunos tipos de residuos pueden llevar asociada otra peligrosidad. Así, algunos residuos hospitalarios pueden estar contaminados biológicamente y otros residuos, como aceites y disolventes, tienen una determinada peligrosidad química. Estos residuos, en los que la peligrosidad radiactiva coexiste con otro tipo de peligrosidad, se denominan residuos mixtos.

1.2. Clasificación de los residuos radiactivos.

Existen muchas formas de clasificar los residuos, que generalmente están relacionadas bien con las características de los radionucleidos que contienen, bien con el material soporte de los mismos, o bien con el tratamiento posterior al que van a ser sometidos; en cualquier caso, no existe una única clasificación. Por ejemplo residuos sólidos, líquidos y gaseosos o residuos compactables, incinerables, metálicos, etc.. Atendiendo a sus propiedades radiactivas se pueden clasificar según el tipo de radiación que emitan (alfa, beta, gamma, neutrones), el periodo de semidesintegración (vida corta o vida larga), su actividad específica (actividad alta, media, y baja), etc.

Según el período de semidesintegración del contenido radiactivo se clasifican en:

- *Residuos de vida muy corta*, cuando decaen a niveles radiactivos no significativos al cabo de meses o pocos años. Contienen principalmente radionucleidos con períodos del orden de unos 90 días.
- *Residuos de vida corta*, cuando decaen a niveles radiactivos no significativos durante un período en que se puede garantizar el mantenimiento del control institucional sobre el lugar donde se han situado (200-300 años como máximo). Sus principales componentes radiactivos tienen períodos máximos de semidesintegración de unos 30 años. Coincide con los valores del ^{137}Cs y ^{90}Sr .
- *Residuos de vida larga*. Su decaimiento requiere periodos tan largos de tiempo que no permiten garantizar el mantenimiento del control institucional. Contienen cantidades significativas de radionucleidos con períodos de semidesintegración superiores a 30 años. Como esta es una característica de los principales emisores alfa, suelen también denominarse **residuos α** y, por exclusión los restantes suelen llamarse **residuos $\beta - \gamma$** .

Por su actividad específica los residuos líquidos, sólidos o gaseosos se dividen en:

- **Residuos de baja actividad**. Son residuos que normalmente no requieren blindaje para su manipulación y transporte si bien, deben manipularse en sistemas de confinamiento que eviten su dispersión.
- **Residuos de media actividad**. Son residuos que tienen una actividad y potencia calorífica media, requiriendo blindaje para su manipulación y transporte.

- **Residuos de alta actividad.** Los residuos de alta, debido a su elevado contenido radiactivo, generan calor que hace que aumente su propia temperatura si no se mantienen adecuadamente refrigerados.

Atendiendo a la gestión final se clasifican en: **Residuos de baja y media actividad (RBMA) y Residuos de alta actividad (RAA).**

Cuando se distingue entre baja y media actividad, suele distinguirse entre vida corta y vida larga, tal y como puede verse más adelante.

La inmensa mayoría de los residuos procedentes de instalaciones radiactivas, se pueden englobar dentro de los residuos de media y baja actividad, utilizando ésta como una categoría única. Son aquellos cuya actividad se debe principalmente a la presencia de radionucleidos emisores, beta o gamma, de período corto o medio (inferior o del orden de 30 años) y cuyo contenido en radionucleidos de vida larga es muy bajo. Dentro de esa categoría, una vez definido el destino final, los residuos de las II.RR. se clasifican en función del tratamiento a que van a ser sometidos antes de ser almacenados. La clasificación se realiza teniendo en cuenta que estos residuos van a ser manipulados para su traslado hasta el centro de acondicionamiento y almacenamiento y que deberán cumplir la reglamentación de transporte de mercancías peligrosas por carretera. En función de estos parámetros (manipulación, tratamiento y transporte), la clasificación que se emplea en España para la gestión de residuos procedentes de II.RR. es la indicada en la tabla I.

El acondicionamiento de los residuos consiste en el conjunto de operaciones o tratamientos que se realizan en el centro de almacenamiento, con el fin de conseguir bultos finales que puedan ser almacenados definitivamente en el mismo, cumpliendo las especificaciones contenidas en el permiso de explotación del centro en cuanto a forma físico-química, isótopos autorizados y actividad contenida en cada bulto.

TABLA 1.- CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS DE II.RR.

- S01.** Residuos sólidos compactables.
- S02.** Residuos no compactables.
- S03.** Cadáveres de animales. Residuos biológicos.
- S04.** Agujas hipodérmicas en contenedores rígidos.
- S05.** Sólidos especiales.
- M01.** Residuos mixtos compuestos por líquidos orgánicos más viales.
- M05.** Mixtos especiales.
- L01.** Residuos líquidos orgánicos.
- L02.** Residuos líquidos acuosos.
- L05.** Líquidos especiales.
- F01.** Fuentes encapsuladas cuya actividad no sobrepase los límites establecidos en el Reglamento de Transporte de Mercancías Peligrosas por Carretera (ADR) para bulto tipo A y el conjunto de la fuente con su contenedor de origen no supere los 20 litros.
- F02.** Fuentes encapsuladas cuya actividad no sobrepase los límites establecidos en el ADR para bulto tipo A y el conjunto de la fuente con su contenedor de origen no supere los 80 litros.
- F05.** Fuentes encapsuladas cuya actividad sobrepase los límites de actividad o volumen expresados para los tipos F01 y F02.

Tabla 2. Clasificación de los residuos radiactivos en España desde el punto de vista de su gestión

CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS.

ACTIVIDAD INICIAL	PERIODO DE SEMIDESINTEGRACIÓN	
	Vida corta y media Principales elementos < 30 años	Vida larga Principales elementos > 30 años
Muy baja (RBBA)	Nuevas instalaciones de almacenamiento superficial en el CENTRO DE ALMACENAMIENTO "El Cabril"	Estabilización "in situ" en los emplazamientos mineros
Baja y Media (RBMA)	Almacenamiento en superficie existente: CENTRO DE ALMACENAMIENTO "El Cabril".	Previsto en Almacén Temporal Centralizado en superficie.
Alta (RAA)	Almacenes Temporales Individuales. Previsto en Almacén Temporal Centralizado en superficie.	

CATEGORÍA DEL RESIDUO	CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES	SISTEMA DE ALMACENAMIENTO
I. Radiactividad alta. Vida larga.	Radiactividad β-γ alta Radiactividad α significativa Radiotoxicidad elevada Gran producción de calor	Formaciones geológicas profundas
II. Radiactividad media. Vida larga.	Radiactividad β-γ media Radiactividad α significativa Radiotoxicidad media Pequeña producción de calor	Formaciones geológicas profundas
III. Radiactividad baja. Vida larga.	Radiactividad β-γ baja Radiactividad α significativa Radiotoxicidad media Insignificante producción de calor	Minas o cavidades naturales
IV. Radiactividad media. Vida corta.	Radiactividad β-γ media Radiactividad α insignificante Radiotoxicidad media Pequeña producción de calor	Formaciones geológicas profundas
V. Radiactividad baja. Vida corta.	Radiactividad β-γ baja Radiactividad α insignificante Radiotoxicidad baja Insignificante producción de calor	Minas o cavidades naturales Sistemas superficiales

Tabla 3.- Clasificación del O.I.E.A. con vistas al almacenamiento de los residuos

Para tratar de uniformar criterios respecto a límites entre las diferentes categorías, el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) propuso en 1970 una clasificación con el fin de crear un medio de comunicación preciso entre científicos, tecnólogos e industriales.

Sin duda, la clasificación que tiene un interés más general cara al futuro es la realizada con vistas al almacenamiento definitivo. El OIEA ha establecido, para residuos ya adecuadamente acondicionados con vistas a su almacenamiento definitivo, la clasificación que se muestra en la Tabla 3. Como puede verse, se admite que los residuos de baja y media, si son de vida corta, pueden almacenarse en sistemas superficiales, pero si son de vida larga deben almacenarse, como mínimo, en minas o cavidades adecuadas.

En Europa, (Diario Oficial de CE, 13 de octubre de 1999), se establece la siguiente clasificación con el fin de corregir la falta de uniformidad existente en los distintos países:

- Residuos radiactivos de transición. Los que decaen suficientemente tras un periodo

temporal de almacenamiento (se considera 5 años) y entonces pueden ser declarados exentos. Principalmente son residuos de origen médico.

- Residuos de actividad baja e intermedia (LILW). No presentan problemas de generación de calor para su almacenamiento definitivo y se dividen en:

Residuos de vida corta (LILW-SL). Con nucleidos de periodo de semidesintegración igual o menor de los del Cs-137 y Sr-90 (alrededor de 30 años) y menos de 4.000 Bq/g en emisores alfa de vida larga en cada bulto considerado individualmente (400 Bq/g como media en todos los residuos).

Residuos de vida larga (LILW-LL). Con emisores de vida larga y emisores alfa que sobrepasan los límites indicados.

- Residuos de alta actividad. Presentan problemas de generación de calor para su almacenamiento temporal y definitivo. Están formados principalmente por los combustibles nucleares gastados y residuos de su tratamiento

1.3. Opciones en la gestión de los residuos.

Como se ha señalado anteriormente la peligrosidad potencial de los residuos radiactivos obliga a gestionarlos adecuadamente. El objetivo de esta gestión es asegurar que no se produce la injerencia de los componentes radiactivos en el medio ambiente en cantidades que pueden considerarse peligrosas.

Desde el punto de vista técnico, tal y como se esquematiza en la **Figura 1**, la estrategia para evitar el peligro potencial que representan los residuos radiactivos admite dos alternativas:

- Dilución del material radiactivo y dispersión en el medio ambiente de forma que no se provoque un aumento inadmisibles de la radiactividad natural.
- Aislamiento y confinamiento del material radiactivo en un espacio limitado y controlado para evitar que se produzca una emigración del material radiactivo en cantidades no admisibles.

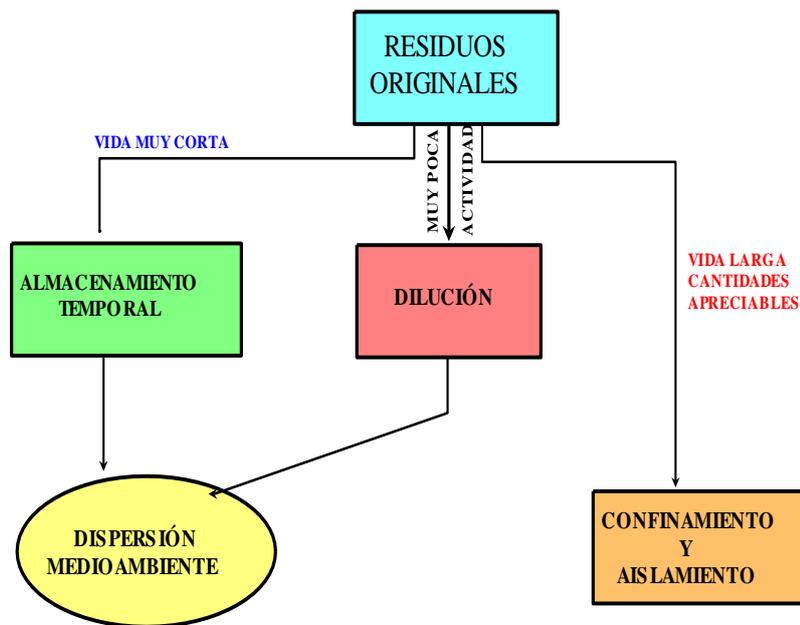


Figura 1. Estrategias generales para la gestión

Desde un punto de vista técnico, para que se pueda realizar la descarga de material radiactivo al medio ambiente es necesario que el residuo, originalmente o por el decaimiento sufrido, sea de muy baja actividad. Adicionalmente, es necesario disponer de un medio dispersor adecuado que garantice una homogeneidad rápida en la dispersión. Esta situación es posible en el caso de residuos líquidos si se dispone de una masa de agua adecuada (río, lago, mar, etc.) y en el caso de residuos gaseosos si se dan condiciones adecuadas de situación del punto de descarga y estabilidad atmosférica (velocidad y dirección del viento). Desde el punto de vista administrativo, cualquier descarga o evacuación de residuos radiactivos requiere la autorización de la autoridad competente.

1.4. Fases en la gestión de los residuos.

La gestión de los residuos con vistas a su aislamiento o almacenamiento definitivo debe planificarse en todas sus fases de forma integral. Todas las operaciones a realizar deben ser diseñadas con el fin de obtener como producto final un residuo inmovilizado y envasado para su almacenamiento definitivo, que cumpla las especificaciones mínimas requeridas en función del almacenamiento previsto. El residuo que cumple estas especificaciones se denomina "residuo acondicionado".

Técnicamente la gestión de los residuos radiactivos conlleva la realización de una serie de operaciones de ingeniería distribuidas en varias fases, según se esquematiza en la **Figura 2:**

- Segregación y Recepción.

- Almacenamiento previo.
- Tratamiento.
- Solidificación o Inmovilización.
- Envasado.
- Almacenamiento temporal del residuo acondicionado.
- Evacuación o Almacenamiento definitivo.

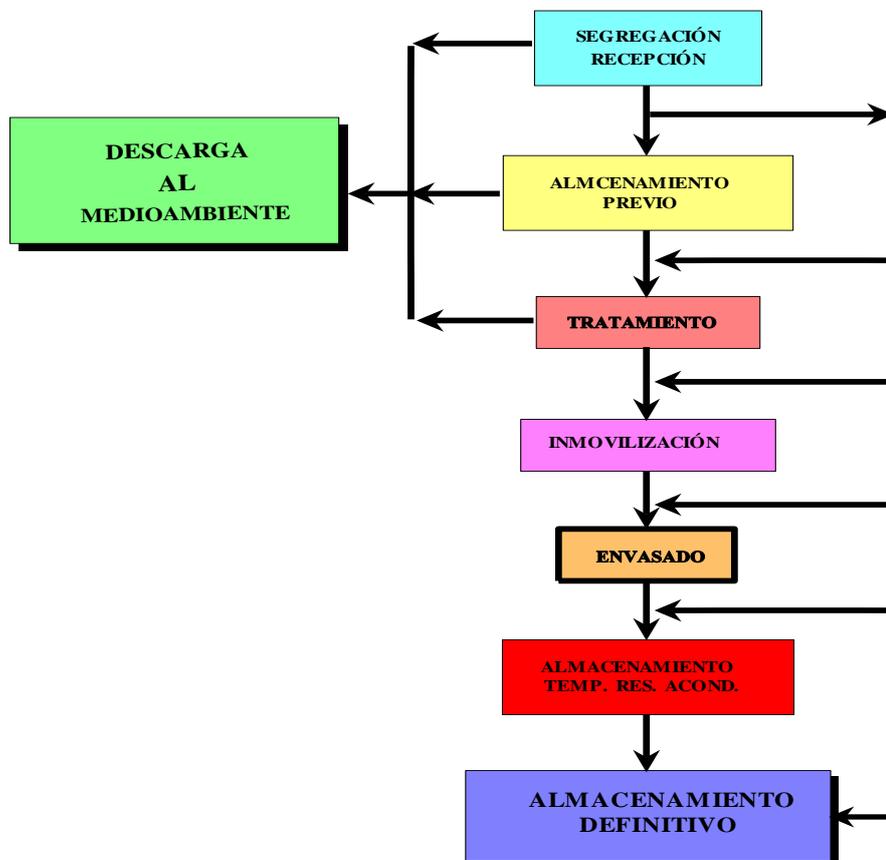


Figura 2. Relación entre las fases de la gestión

Frecuentemente, según los casos, tienen que realizarse una o más veces operaciones de transporte, actuando como eslabón que conecta dos o más fases consecutivas.

Las distintas operaciones que integran la gestión de los residuos, las instalaciones donde se llevan a cabo estas operaciones y el propio personal responsable de las mismas están sujetos a un proceso de autorización y control por la autoridad competente.

De todas las operaciones de gestión, destacamos, por su aplicación práctica para operadores, el tema del envasado de residuos de baja y media actividad.

Los recipientes más utilizados para el envasado de estos residuos son bidones metálicos de tapa desmontable y diseño semejante al de los bidones petrolíferos de 55 galones (220 litros) de capacidad. Se emplean con bastante frecuencia bidones de mayor capacidad (400 litros). El material empleado en su fabricación suele ser chapa de acero al carbono galvanizada o pintada.

Cuando las necesidades de blindaje lo requieren, los bidones pueden ir revestidos interiormente de una capa de hormigón, alojando en el espacio libre otro bidón de menor tamaño o, directamente, los residuos.

También se suelen emplear recipientes cilíndricos de hormigón y recipientes prismáticos metálicos o de hormigón. En la **Figura 3** se representan diversos tipos de envases utilizados para residuos de baja y media actividad.

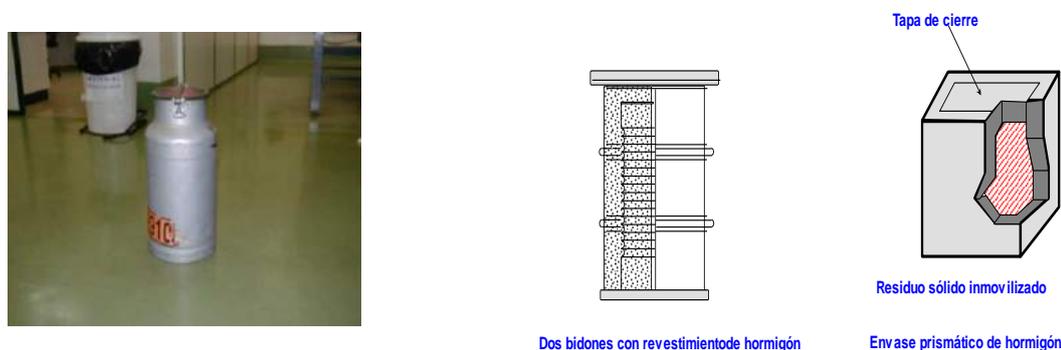


Figura 3. Tipos de envases para residuos de baja y media. Contenedor para residuos líquidos y mixtos

1.5. Gestión y almacenamiento definitivo de los residuos de baja y media actividad en España.

Tal y como indica la **Tabla 3**, se admite que los residuos de baja y media actividad, si son de vida corta, pueden almacenarse en sistemas construidos en la superficie terrestre o a poca profundidad. Su peligrosidad desaparecerá, a lo sumo, tras un período máximo de unos 300 años y esta peligrosidad no es excesivamente alta, considerándose que durante este período las instituciones serán capaces de mantener controlados los emplazamientos para evitar actuaciones (construcción de grandes obras civiles, prospecciones mineras, etc.) que puedan perturbar el aislamiento de los residuos.

El coste de un almacenamiento geológico profundo es desproporcionado para el riesgo real que representan estos residuos. La utilización de minas abandonadas o cavidades naturales es

también muy costosa, salvo que estas tengan suficiente capacidad para todos los residuos y reúnan las condiciones técnicas necesarias.

Los sistemas de almacenamiento en superficie pueden consistir en una losa de hormigón sobre la que se apilan, de forma racional, los bultos con residuos. Otra alternativa consiste en construir celdas de hormigón enterradas o semienterradas en las que se introducen los bultos con residuos para residuos de baja y media actividad o en fosas de seguridad para residuos de muy baja actividad (**Figuras 4a y 4b** el sistema construido en España por ENRESA. “Almacenamiento de residuos de El Cabril” para residuos de baja y media actividad y para residuos de muy baja actividad respectivamente). En ambos casos al final se rellenan todos los huecos existentes, se recubre la zona con tierra, arcilla y capas impermeabilizantes. Sobre estas últimas capas se pone otra de tierra vegetal que se planta con vegetación de raíz corta. Durante la realización de las obras se toman medidas para controlar las aguas de lluvia, aguas freáticas y las que, eventualmente, pudiesen salir del propio sistema.



Figura 4ª. Almacenamiento de residuos de baja y media actividad de "El Cabril" (España).

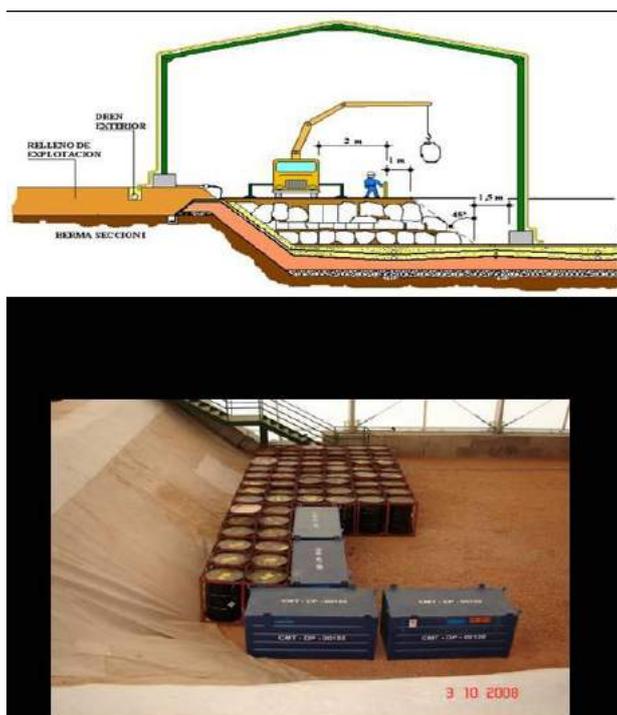


Figura 4b. Almacenamiento de residuos de muy baja actividad de "El Cabril" (España)

Cuando los residuos son de vida larga se deben almacenar en sistemas de una mayor perdurabilidad como son los almacenamientos para residuos de alta actividad.

Cuando los residuos que se producen en las instalaciones radiactivas en España (residuos de media y baja actividad), no pueden ser evacuados convencionalmente es ENRESA quien tiene encomendada la gestión integral de los mismos, pudiéndose distinguir las cuatro fases siguientes:

- Retirada
- Transporte
- Tratamiento y Acondicionamiento
- Almacenamiento definitivo.

Retirada

Por exigencias legales ENRESA utiliza en sus relaciones con los productores de residuos el denominado Contrato-Tipo, cuyo texto es aprobado por el Ministerio de Industria. En él se establecen como obligaciones de los productores de residuos, la preparación de éstos de acuerdo con las especificaciones desarrolladas en el propio contrato. Asimismo, se fijan las tarifas que establecidas a fin de efectuar el pago de la retirada de los residuos. Como obligaciones de ENRESA figuran en el contrato asumir la responsabilidad civil y nuclear de

los residuos en el momento en que se produce la transferencia de éstos, es decir, en el momento de la retirada.

El contrato se establece a iniciativa de la instalación radiactiva que lo solicite y es firmado por ENRESA y el titular de la instalación en cuestión.

Siguiendo la clasificación de residuos dada en la Tabla I, el propio Contrato establece para cada tipo una serie de requisitos (criterios de aceptación) que deben cumplir antes de ser entregados a ENRESA.

De forma genérica, existen dos condiciones básicas en la presentación de los residuos:

- Segregación del residuo de acuerdo con las categorías establecidas de una forma homogénea.
- Identificación de las características físicas, químicas y radiológicas de los residuos a evacuar.

Además, para cada tipo de residuo existen unos criterios de aceptación específicos que se recogen en el Contrato. La operación de entrega de los residuos es planificada previamente y comunicada a la instalación a fin de que se puedan tomar las medidas oportunas.

La transferencia de titularidad implica que en el momento en que los residuos sean entregados y aceptados para su retirada, el responsable civil y nuclear del material radiactivo es el receptor del mismo. Esta operación se documenta mediante la firma de un documento denominado "Albarán de Entrega" que también se incluye en el Contrato. En éste se recogen los datos de los residuos entregados y es firmado por el Supervisor de la Instalación y por el técnico de la empresa que efectúa la recogida. Las mencionadas firmas implican una declaración de la veracidad de los datos reflejados en el Albarán.

La operación de retirada deberá quedar registrada en el Diario de Operaciones de la I.R., anotando fecha de entrega de los residuos y archivándose el certificado de entrega (Albarán de Entrega) correspondiente.

Transporte de residuos

Al transporte de materiales radiactivos, aparte del riesgo de todo transporte convencional, se une el inherente a la naturaleza peligrosa de los materiales transportados. Los riesgos añadidos son los derivados de los efectos que producen las radiaciones ionizantes emitidas por radionucleidos presentes en el material y, en ocasiones, los riesgos asociados a otras características de los materiales como es el caso de la toxicidad e inflamabilidad de los

líquidos de centelleo.

El transporte de los materiales radiactivos viene regulado por el Acuerdo Europeo para el Transporte de Mercancías Peligrosas por Carretera (ADR). Además de esta regulación en cuanto a la seguridad hay que tener en cuenta para prever una logística completa de transporte, la situación geográfica de las II.RR. y los volúmenes que éstas generan.

Los contenedores que se emplean han sufrido los ensayos que requiere la Reglamentación para albergar el material radiactivo que han de contener. Generalmente, el transporte de los residuos se realiza de **acuerdo con las categorías del ADR que corresponden a bultos industriales**, OCS (objetos contaminados superficialmente), BAE (baja actividad específica), Bulto Tipo A y Bulto Tipo B (U).

Tratamiento y almacenamiento de residuos en el Centro de El Cabril

En general, las Instalaciones productoras de residuos radiactivos no disponen de medios para conseguir que todos los productos finales que entregan a ENRESA lo sean en forma sólida.

Por ello, en el Centro de Almacenamiento de El Cabril se diseñaron y construyeron instalaciones de tratamiento y acondicionamiento que permitieran reducir el volumen de los residuos finales a almacenar y que la forma final de esos residuos fuera sólida. Los objetivos de seguridad fijados son asegurar la protección inmediata y diferida de las personas y del medio ambiente y permitir la libre utilización del emplazamiento tras un período de duración máxima de 300 años, sin limitaciones de origen radiológico. Para cumplir estos objetivos es necesario aislar los residuos del agua y limitar su actividad. Además, es necesario garantizar la integridad de los bultos, lo que condiciona la forma de preparar el residuo para su evacuación final.

Los tratamientos que se realizan a los distintos tipos de residuos antes de proceder a su almacenamiento final son:

- *Supercompactación.*

Se aplica a los residuos compactables (S01) y su finalidad es reducir el volumen del producto final (reducciones de hasta cinco veces el volumen inicial). Las “galletas” finales son introducidas en contenedores de hormigón e inmovilizadas con mortero.

- *Incineración.*

Aplica a los residuos de carácter orgánico (S03, L01 y M01). Las cenizas resultantes se inmovilizan en contenedor metálico con pared interna de hormigón. Estos contenedores metálicos se introducen en contenedores de hormigón e inmovilizan con mortero.

- *Formación de mortero de relleno*

Aplica a los residuos líquidos acuosos (L02). Una vez filtrados, el residuo se incorpora al agente hidráulico que servirá para formar el mortero de inmovilización de otros residuos.

- *Inmovilización Directa.*

Aplica a los residuos no compactables (S02 y S04) y a las fuentes encapsuladas (F01 y F02). Los residuos son introducidos en contenedores metálicos e inmovilizados con mortero en su interior. Los contenedores metálicos a su vez se introducen en contenedores de hormigón donde se inmovilizan. Una vez llenos, los contenedores de hormigón se sellan con mortero “limpio” y se trasladan a las celdas existentes en las plataformas de almacenamiento, donde se depositan en una posición espacial claramente definida y registrada documentalmente.

Las celdas, una vez llenas se sellan con mortero “limpio” y diversas capas impermeabilizantes. Finalmente, cuando las plataformas se hayan completado se cubrirán con diversas capas impermeabilizantes y de tierra vegetal con el fin de conseguir una adecuada restauración paisajística.

Es importante conocer estos procesos, ya que a ellos y a las condiciones de seguridad impuestas al Centro son debidos los criterios de aceptación y los requisitos de segregación cuyo cumplimiento se solicita a los productores.

2. TRANSPORTE DE MATERIAL RADIATIVO

2.1. Introducción.

El transporte de materiales radiactivos, al igual que el de otras sustancias en forma potencialmente peligrosa (explosivos, gases comprimidos, productos tóxicos, corrosivos, etc.), une al riesgo de todo transporte convencional el inherente a su naturaleza peligrosa.

En el caso de los materiales radiactivos, los riesgos añadidos son los derivados de las radiaciones ionizantes emitidas por los radionucleidos presentes en el material y, en ocasiones, el riesgo de criticidad (si hay materiales fisionables).

De no tomarse las debidas precauciones, sobre todo si ocurriese un accidente, los operarios del transporte y el público en general podrían quedar expuestos a la radiación por fallo del blindaje del material radiactivo o por la dispersión de dicho material.

Se comprende fácilmente la necesidad de una reglamentación específica para este tipo de transportes, cuyos objetivos son:

- * Confinar eficazmente el material radiactivo.
- * Amortiguar adecuadamente las radiaciones que emiten los materiales radiactivos.
- * Garantizar la disipación del calor generado por la absorción de las radiaciones emitidas.
- * Evitar, con la máxima garantía, situaciones de criticidad en el caso de sustancias fisionables.

El Organismo Internacional de Energía Atómica publicó en el número 6 de su Colección de Seguridad, el REGLAMENTO PARA EL TRANSPORTE SEGURO DE MATERIALES RADIATIVOS, revisado en distintas ocasiones. En otras publicaciones del Organismo se proporciona información complementaria sobre dicho Reglamento.

2.2. El reglamento para el transporte seguro de materiales radiactivos del OIEA.

Es la base sobre la que se establecen la mayoría de las reglamentaciones internacionales de transporte de mercancías peligrosas, habiéndose adoptado prácticamente por todas las organizaciones con competencias en esta materia.

España ha aceptado implícitamente el Reglamento al haberse adherido a convenios internacionales que lo incorporan, como por ejemplo, al "Acuerdo Europeo sobre Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Carretera (ADR)", que se actualiza y se publica periódicamente en el BOE.

El Reglamento del Organismo es aplicable a los diversos medios de transporte por vía terrestre, aérea o marítima y contempla normas específicas complementarias para cada medio de transporte. Incluye como clase 7 las "materias radiactivas".

No es aplicable a los materiales radiactivos que formen parte del propio medio de transporte, ni a las personas tratadas con radiofármacos o que lleven implantados dispositivos radiactivos. Asimismo, no es aplicable a los movimientos de material radiactivo en el interior de las propias instalaciones, que podrán realizarse de conformidad con los procedimientos de seguridad aprobados por la autoridad competente.

El Reglamento prácticamente ha sido adoptado por todas las organizaciones internacionales con competencias en el transporte. Gran número de Estados lo ha utilizado como base para el desarrollo de su reglamentación en materia de transporte de materiales peligrosos. España lo ha incorporado a su normativa ya que ha sido recogido en la reglamentación europea de obligado cumplimiento en nuestro país.

Conviene señalar, que si bien el Reglamento del Organismo contempla el envío de materiales radiactivos por correo, la legislación española prohíbe la utilización de los servicios postales.

2.3. Terminología usada en el transporte.

Los reglamentos de obligado cumplimiento en España sobre el transporte de mercancías peligrosas por carretera o por ferrocarril utilizan una terminología propia cuyo significado es conveniente conocer. Con independencia de otros términos que se describen más adelante, es conveniente estar familiarizado con los siguientes:

"Expedidor".

Remitente. Persona natural o jurídica por cuya orden y cuenta se realiza el envío. Deberá figurar como tal en los documentos de transporte y poseer conocimientos técnicos suficientes para firmar las certificaciones que son de su responsabilidad.

"Uso exclusivo".

Modalidad de transporte en la que un contenedor o un medio de transporte (vehículo de carretera; vagón de ferrocarril; buque, bodega; aeronave..) es utilizado, exclusivamente, para las mercancías de un único remitente o expedidor.

"Embalaje".

Conjunto de componentes necesarios para transportar, con seguridad, el material radiactivo. Puede estar formado por uno o más recipientes, materiales de blindaje, materiales absorbentes, estructuras mecánicas, aislantes térmicos, refrigerantes.

"Bulto".

Es el embalaje con el contenido radiactivo a transportar. En función de éste, debe cumplir unas normas de resistencia más o menos rigurosas.

"Contenedor".

Elemento de transporte para facilitar el acarreo por una o más modalidades de transporte sin realizar recargas intermedias. Debe ser cerrado y diseñado para usar repetidas veces.

"Sobreembalaje".

Es un sistema, tal como una caja o un saco, que no tiene que cumplir los requisitos de un contenedor y que se utiliza por un remitente para agrupar en una sola unidad de manipulación un envío de dos o más bultos para facilitar su estiba y expedición.

"Índice de transporte"

Es un concepto del transporte de materias radiactivas para cuantificar su riesgo en las condiciones de transporte respecto a la criticidad (caso de materias fisionables) y a la exposición a las radiaciones. Sirve para limitar el contenido de material radiactivo de

algunos bultos, sobreembalajes, cisternas y contenedores, y para establecer sus categorías, y para determinar si será necesario o no recurrir a la modalidad de "uso exclusivo".

El índice de transporte de un bulto o sobreembalaje es un número que dividido por cien corresponde al nivel máximo de radiación existente a 1 m de su superficie exterior en mSv/h. En el caso de cargas de grandes dimensiones (contenedores, cisternas o materias sin embalar) el valor obtenido se corrige en función de las dimensiones de la carga. Cuando se trate de materias fisionables se tomará como índice de transporte el resultado de dividir 50 entre el número máximo de bultos admisibles para asegurar que el conjunto es subcrítico. Si el valor resultante es menor que el establecido en función del nivel de radiación a 1 m se deberá tomar este último.

"Índice de Seguridad con respecto a la criticidad" (ISC) asignado a un bulto, es un número que se utiliza para controlar la acumulación de bultos con sustancias fisionables.

2.4. Clasificación de los materiales radiactivos.

En la normativa sobre transporte se consideran materiales radiactivos aquellos que contengan radionucleidos en los cuales tanto la concentración de actividad como la actividad total de la remesa excedan los valores especificados en la Reglamentación. La peligrosidad potencial de los materiales radiactivos a transportar dependerá de:

- Los radionucleidos que contiene.
- La actividad específica del material.
- La cantidad de material (actividad total).
- La naturaleza química del material.
- El estado físico del material.

Lógicamente, cuanto más peligroso sea el material a transportar, más rigurosos deberán ser los requisitos técnicos y administrativos a cumplir, así como los controles de calidad. En la tabla 4, se muestran los distintos tipos de materiales radiactivos desde el punto de vista del transporte.

2.5. Tipos de embalajes y bultos de transporte.

La calidad de los embalajes dependerá del riesgo potencial del material a transportar y las propias condiciones del transporte. Desde este último punto de vista se pueden considerar tres tipos de condiciones:

- Las normales de un transporte rutinario, sin incidentes.
- Incidentes de poca importancia.
- Situaciones de accidente que de no haber tomado las debidas precauciones podrían acarrear problemas radiológicos considerables.

En transporte de materiales radiactivos, en orden creciente de calidad mínima que deben tener los embalajes/bultos, se consideran los siguientes tipos: bultos exceptuados; industriales tipo 1, 2 y 3; tipo A, tipo B y tipo C.

En las tablas 5 y 6 se muestran las condiciones y requisitos generales de los distintos bultos.

2.6. Categorías de bultos y transporte. Etiquetado.

Los bultos y sobreembalajes asignados en un transporte se incluirán en una de las siguientes categorías: I-BLANCA, II-AMARILLA o III-AMARILLA, en función de los niveles de radiación en su exterior.

La utilización de una u otra etiqueta depende de la intensidad de radiación en la superficie externa y del índice de transporte para determinar la categoría del bulto y sólo el índice de transporte para determinar la categoría del embalaje.

*** "I-BLANCA" (etiqueta de la Figura 5 modelo 7A).**

Si el nivel máximo de radiación en la superficie es inferior a 0,005 mSv/h.

*** "II-AMARILLA" (etiqueta de la Figura 5 modelo 7B).**

Si el nivel máximo de radiación en la superficie externa es superior a 0,005 mSv/h pero no supera los 0,5 mSv/h y el índice de transporte no es superior a 1.

*** "III-AMARILLA" (etiqueta de la Figura 5 modelo 7C).**

Si el nivel máximo de radiación en la superficie externa es mayor de 0,5 mSv/h pero no supera los 2mSv/h o el índice de transporte es mayor de 1 pero no mayor de 10. Esta categoría se asignará a cualquier bulto que se transporte mediante "acuerdo especial".

Si el nivel de radiación supera los 2 mSv/h o el índice de transporte es superior a 10 se clasificará como III-AMARILLA pero, además, el transporte se hará bajo la modalidad de "uso exclusivo", aplicándose los límites al vehículo:

- 2 mSv/h en superficie externa del vehículo.
- 0,1 mSv/h a 2 m de la superficie del vehículo.
- 0,02 mSv/h en los lugares del vehículo normalmente ocupados por personas, a menos que se controle su dosis.

En cualquier caso el nivel de radiación del bulto no podrá superar los 10 mSv/h.

ETIQUETADO:

Cada bulto, sobreembalaje y contenedor que contenga materias radiactivas, las etiquetas se fijarán en el exterior; en dos lados opuestos si se trata de un bulto, en los cuatro lados si es un contenedor y en las cisternas en los dos lados y en la parte trasera. En el caso que contenga materias fisionables distintas a las exceptuadas llevará una etiqueta según el modelo de la **figura 5 modelo 7e**, fijada al lado de la etiqueta de materia radiactiva. Cada etiqueta, que lleva impreso el trébol y el número 7 como identificadores de las materias radiactivas, debe indicar el contenido (por ejemplo, Cs-137, materias LSA-I, etc.), la actividad máxima contenida y el índice de transporte.

Además de las etiquetas indicadas, cuya colocación y correcta cumplimentación es responsabilidad del remitente o expedidor, deberá cumplirse lo siguiente en cada bulto:

- Llevar indicado su masa bruta admisible si este sobrepasa los 50 kg.
- Llevar inscrito "TIPO A", "TIPO B (U)" o "TIPO B(M)" cuando el bulto tenga tal consideración.
- Llevar inscrita la identificación asignada por la autoridad competente y el número de serie de fabricación del bulto si se trata de un bulto Tipo B.
- Estampar, marcar o grabar el trébol característico si el bulto es Tipo B.

Todas estas inscripciones deberán hacerse en forma legible y duradera.

2.7. Documentación de transporte y otros requisitos.

En España la "autoridad competente" es actualmente la DGE. Como ocurre con cualquier tramitación que afecta a la Seguridad Nuclear y a la Protección Radiológica, se requiere la apreciación favorable del Consejo de Seguridad Nuclear.

El principal responsable de que el transporte se realice conforme a lo legislado es el remitente o expedidor, que es responsable de proporcionar toda la información necesaria para un transporte seguro. La documentación básica y obligatoria de transporte por carretera, que es la más habitual, son 2 documentos: la "CARTA DE PORTE", documento que debe recoger una descripción adecuada del material y embalaje/bulto objeto de transporte y que constituye el soporte contractual entre el expedidor, el cargador, el transportista y el receptor. El remitente debe declarar que la descripción es adecuada y conforme con los reglamentos pertinentes y la "FICHA DE SEGURIDAD", donde el expedidor está obligado a facilitar a los conductores instrucciones escritas sobre las recomendaciones de seguridad para la prevención de riesgos en caso de accidente.

TIPOS DE MATERIALES RADIATIVOS	DEFINICIÓN
<p>LSA (BAE): MATERIAS DE BAJA ACTIVIDAD ESPECÍFICA</p> <p style="text-align: center;">LSA-I (BAE-I).</p> <p style="text-align: center;">LSA-II (BAE-II):</p> <p style="text-align: center;">LSA-III (BAE-III)</p>	<p>Son las que por su naturaleza tienen una actividad específica limitada, o a las que se le aplican límites de actividad específica media estimada</p>
<p>SCO (OCS): OBJETOS CONTAMINADOS SUPERFICIALMENTE</p>	<p>Son sólidos no radiactivos por sí mismos, pero que tienen materiales radiactivos distribuidos por su superficie.</p>
<p>MATERIALES RADIATIVOS EN FORMA ESPECIAL</p>	<p>Son materiales radiactivos sólidos no dispersables, o bien una cápsula que contenga el material radiactivo y esté construida de forma que sólo pueda abrirse destruyéndola. Además deberán reunir las siguientes condiciones:</p> <p>1 - Al menos una de sus dimensiones debe ser igual o mayor de 5 mm.</p> <p>2- Deberán superar satisfactoriamente los ensayos de impacto, por caída desde 9 metros, percusión, flexión y ensayo térmico.</p>
<p>SUSTANCIAS FISIONABLES</p>	<p>Son el uranio 233, uranio 235, plutonio 239, plutonio 241 o cualquier combinación de estos, excepto el uranio natural y el uranio empobrecido no irradiados o irradiados en un reactor térmico.</p>

Tabla 4: Tipos de materiales radiactivos desde el punto de vista del transporte

TIPO DE BULTO	CONTENIDOS
<p style="text-align: center;">Exceptuado</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Fracciones de A₁ y A₂ - Instrumentos con dosis muy bajas en superficie - Artículos con U ó Th natural ó U empobrecido - Embalajes vacíos
<p style="text-align: center;">Industrial</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Materiales de Baja Actividad Específica LSA-I (BAE-I), LSA-II (BAE-II) ó LSA-III (BAE-III) - Objetos contaminados en superficie SCO-I (OCS-I) u SCO-II (OCS-II) - Dosis máxima a 3m del material sin blindaje: 10 mSv/h - Según la A_e y la contaminación se precisará un IP-1, IP-2 ó IP-3

<p style="text-align: center;">Tipo A</p>	<p style="text-align: center;">Materiales no BAE ni OCS con actividades inferiores a A_1 ó A_2 (tabulados en la TS-R-1) (Para valores no tabulados y de mezclas ver detalles en el apartado 7.1.4)</p>
<p style="text-align: center;">Tipo B</p>	<p style="text-align: center;">Materiales con actividad superior a A_1 ó A_2</p>
<p style="text-align: center;">Tipo C (Transporte aéreo)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - $A > 3000 A_1$ ó $100.000 A_2$ (material en forma especial) - $A > 3000 A_2$ (resto de materiales)

Tabla5: Límites de contenido en los bultos

	BULTOS EXCEPTUADOS	BULTOS INDUSTRIALES			TIPO A	
		1	2	3	Sólido	Liq. y gas
REQUERIMIENTOS GENERALES Manejo, izado, vibración, Aceleración, materiales Compatibles.	X	X	X	X	X	X
REQUERIMIENTOS ADICIONALES PARA TRANSPORTE AEREO 50° superficie Temperatura -40° + 55°, rango Ambiental. Presión dif. 95 Kpa		X	X	X	X	X
TIPO A. REQUERIMIENTOS GENERALES Dimensión menor (10 cm) Precinto, amarres, rango temperatura -40° y 70° sistema de contención.		X	X	X	X	X
CONDICIONES NOR-MALES DE TRANSPORTE; ENSAYOS: Caída libre (0,3 -1,2 m) Apilamiento (24 h) Aspersión con agua (5 cm/h) Penetración de barra 6 Kg.			X	X	X	X
			X	X	X	X
				X	X	X
				1 m	1 m	1,7 m

Tabla 6: Requisitos y ensayos requeridos a bultos exceptuados, industriales y tipo a para transporte de material radiactivo

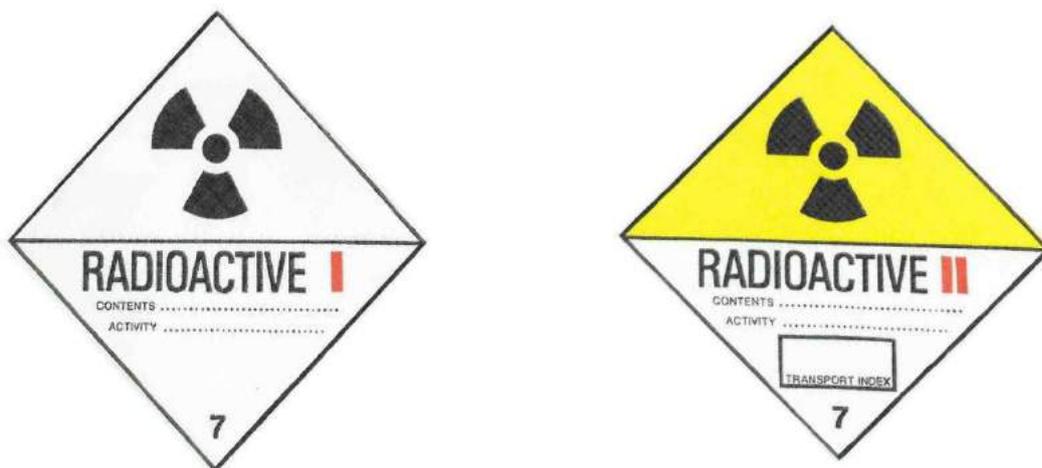


Figura 5. Etiquetas identificativas: 7A y 7B.

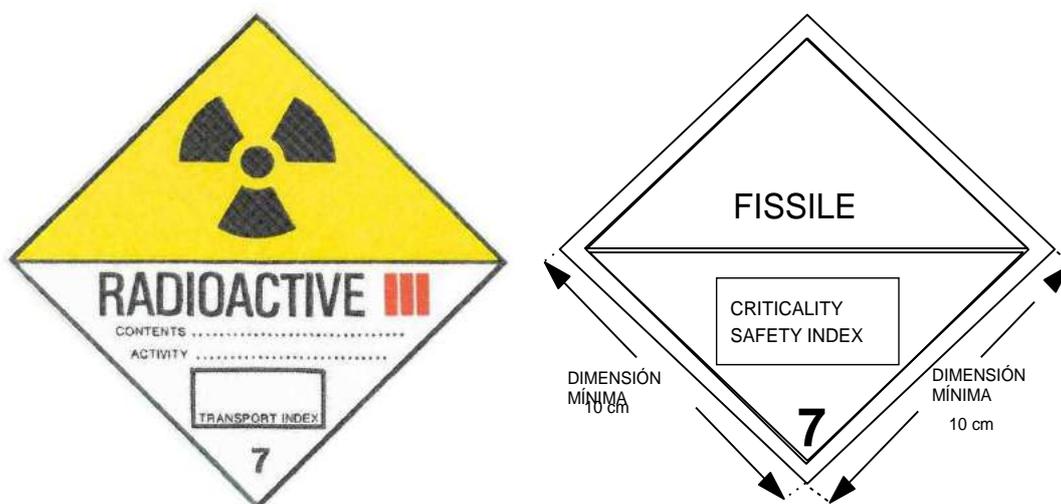


Figura 6. Etiquetas identificativas: 7C y 7E



► **Figura 2.** Secuencia de ensayos sobre bultos de transporte de material radiactivo.