

LA GENERACIÓN DE RESIDUOS RADIATIVOS

FERNANDO ALVAREZ MIR

Ingeniero Industrial

INDICE

1.- INTRODUCCION

- 1.1.- Definición de Residuo Radiactivo.
- 1.2.- Clasificación de los Residuos Radiactivos.

2.- ORIGEN DE LOS RESIDUOS RADIATIVOS

- 2.1.- Residuos de la aplicación de los isótopos a la Medicina, Investigación e Industria.
- 2.2.- Residuos del Ciclo del Combustible Nuclear.
 - 2.2.1.- Residuos de la primera parte del Ciclo del Combustible.
 - 2.2.2.- Residuos de Operación de las CC.NN.
 - 2.2.3.- Combustible Gastado.
 - 2.2.4.- Residuos de Reelaboración.

- 2.3.- Residuos de Desmantelamiento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas.

3.- GESTION DE RESIDUOS DE LAS CC.NN.

- 3.1.- Acondicionamiento de los Residuos Radiactivos de Operación de las CC.NN.
- 3.2.- Almacenamiento Temporal del Combustible Gastado.

4.- CRITERIOS PARA LA MEJORA DE LA GESTION

- 4.1.- Proyectos de Reducción de Volumen de Residuos de Operación.
- 4.2.- Proyectos de Cambio de Bastidores de las Piscinas de Combustible Gastado.
- 4.3.- Proyecto de Exención.

5.- CONCLUSIONES

- 5.1.- Referencias Internacionales.
- 5.2.- Criterios para mejorar la gestión de Residuos Radiactivos en las CC.NN.

1.1.- DEFINICIÓN DE RESIDUO RADIATIVO

- El apartado 9 del Artículo 2º de la Ley 25/1964 de 29 de Abril sobre Energía Nuclear definía como **Residuo Radiactivo** a: "todo material o producto de desecho que presenta trazas de radiactividad. En este concepto se incluyen las aguas y gases residuales contaminados".
- La disposición adicional cuarta de la **Ley 54/1997** de 27 de Noviembre del Sector Eléctrico modifica la anterior disposición de modo que queda redactado de la siguiente forma:

“Residuo Radiactivo es cualquier material o producto de desecho, para el cual no está previsto ningún uso, que contiene o está contaminado con radionucleidos en concentraciones o niveles de actividad superiores a los establecidos por el Ministerio de Industria y Energía, previo informe del Consejo de Seguridad Nuclear”.

1.2.- CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS RADIATIVOS

CRITERIOS

- Estado físico: Sólidos, Líquidos, Gaseosos
- Tipo de radiación emitida: Emisores α , β , γ
- Actividad específica: Los valores de actividad específica condicionan el blindaje, acondicionamiento y transporte
- Radiotoxicidad: Define su peligrosidad desde el punto de vista biológico
- Periodo de semidesintegración: Tiempo en el cual el número de átomos radiactivos de un nucleido se reduce a la mitad

Estado físico

Por su estado físico se clasifican en residuos sólidos, líquidos y gaseosos, siendo diferente el tratamiento y acondicionamiento para cada uno de ellos.

Tipo de radiación emitida

Los radionucleidos radiactivos contenidos en los residuos se desintegran emitiendo una partícula o radiación y transformándose, de este modo, en un nucleido diferente que puede ser radiactivo o no. Las emisiones son de diferentes tipos dependiendo del grado de inestabilidad del radionucleido y denominándose emisores de alfa α , beta β y gamma γ .

Actividad específica

Para cada radionucleido hay definido unos valores de actividad específica que condicionan la protección a corto plazo, el blindaje durante su manejo normal y el tipo de acondicionamiento y transporte.

Radiotoxicidad

La radiotoxicidad es una propiedad de los residuos radiactivos que define su peligrosidad desde el punto de vista biológico. La radiotoxicidad de un radionucleido engloba varios parámetros como el tipo de radiación, el periodo de semidesintegración, la mayor o menor rapidez con que es expulsado del organismo por los procesos orgánicos, y también depende de si tiende a fijarse selectivamente en determinados órganos o tejidos. Este criterio sirve de base para fijar los requisitos de protección y seguridad que han de cumplir las instalaciones en la que se manipule sustancias radiactivas, a fin de reducir adecuadamente el riesgo de irradiación interna.

Periodo de semidesintegración

Los nucleidos radiactivos se desintegran con una velocidad constante y determinada dependiendo de la naturaleza del nucleido. A medida que se va produciendo la desintegración, los átomos de un determinado radioisótopo de una masa de sustancia radiactiva irán disminuyendo, llegando un momento en que su número se haya reducido a la mitad. A este periodo se le llama periodo de semidesintegración y es característico de cada nucleido, variando desde la millonésima de segunda hasta millones de años. Este criterio condiciona las soluciones a poner en práctica a largo plazo por cuestiones de riesgo potencial, ya que el periodo de semidesintegración da idea del tiempo necesario para que un radionucleido reduzca su actividad hasta niveles aceptables.

1.2.- CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS SEGÚN EL OIEA

Clase de residuo	Características	Tipo y procedencia	Sistema de evacuación
I. ACTIVIDAD ALTA, PERIODO LARGO	<ul style="list-style-type: none"> • Actividad beta/gamma alta • Actividad alfa significativa • Radiotoxicidad elevada • Gran producción de calor 	<ul style="list-style-type: none"> • Residuos líquidos de alta actividad • Solidificados procedentes de la reelaboración del combustible irradiado (1). • Combustible irradiado (2) 	<ul style="list-style-type: none"> • Formaciones geológicas profundas
II. ACTIVIDAD INTERMEDIA, PERIODO LARGO	<ul style="list-style-type: none"> • Actividad beta/gamma intermedia • Actividad alfa significativa • Radiotoxicidad intermedia • Pequeña producción de calor 	<ul style="list-style-type: none"> • Vainas del elemento combustible • Piezas metálicas • Residuos líquidos de actividad intermedia (1) • Residuos gaseosos (1) • Residuos de clausura 	<ul style="list-style-type: none"> • Formaciones geológicas profundas
III. ACTIVIDAD BAJA, PERIODO LARGO	<ul style="list-style-type: none"> • Actividad beta/gamma baja • Actividad alfa insignificante • Radiotoxicidad baja/intermedia • Producción de calor insignificante 	<ul style="list-style-type: none"> • Residuos líquidos de baja actividad y sus productos de solidificación (1) • Residuos emisores alfa (1) • Residuos gaseosos (tratam.) • Residuos sólidos de baja actividad • Residuos de clausura 	<ul style="list-style-type: none"> • Posible colocación en mina o cavidades • Semejante a la Clase II (Inyección en fracturas o en formaciones profundas)
IV. ACTIVIDAD INTERMEDIA, PERIODO CORTO	<ul style="list-style-type: none"> • Actividad beta/gamma intermedia • Actividad alfa insignificante • Radiotoxicidad intermedia • Pequeña producción de calor 	<ul style="list-style-type: none"> • Residuos líquidos de actividad intermedia y sus productos de solidificación (1) • Residuos gaseosos o de su (tratam.) • Residuos contaminados con tritio • Residuos de clausura 	<ul style="list-style-type: none"> • Colocación en minas o cavidades • Trincheras superficiales (Inyección)
V. ACTIVIDAD BAJA, PERIODO CORTO	<ul style="list-style-type: none"> • Actividad beta/gamma baja • Actividad alfa insignificante • Producción de calor insignificante 	<ul style="list-style-type: none"> • Residuos líquidos de actividad intermedia y sus productos de solidificación • Residuos sólidos de baja actividad (3) • Residuos emisores alfa (4) • Residuos de clausura 	<ul style="list-style-type: none"> • Semejante a clase IV

(1) Ciclo cerrado (reelaboración), (2) Ciclo abierto, (3) Centrales Nucleares, (4) Fabricación de combustible.

1.2.- CLASIFICACIÓN DE CARA A SU ALMACENAMIENTO DEFINITIVO

- Residuos Radiactivos de Baja y Media Actividad.
 - Baja Actividad específica por nucleido radiactivo
 - No generan calor.
 - Contienen radionucleidos emisores beta-gamma con períodos de semidesintegración inferiores a 30 años.
 - Su contenido en emisores alfa debe ser inferior a 0.37 GBq/t (0.01 Ci/t en promedio).
- Residuos Radiactivos de Alta Actividad.
 - Contienen emisores de vida corta con una actividad específica elevada.
 - Contienen radionucleidos emisores alfa de vida larga en concentraciones apreciables por encima de 0.37 GBq/t (0.01 Ci/t).
 - Pueden desprender calor.

- Residuos Radiactivos de Baja y Media Actividad

Algunos ejemplos de radionucleidos contenidos en los residuos de baja y media actividad son el Cs-137 (con un período de semidesintegración de 30 años), el Sr-90 (con un período de 28 años) y el Co-60 con 5,3 años de período de semidesintegración.

Estos residuos pueden almacenarse en estructuras de ingeniería superficiales o a muy poca profundidad.

- Residuos Radiactivos de Alta Actividad.

Algunos ejemplos de radionucleidos contenidos en residuos de alta actividad son el Np-237, el Pu-239, el Am-241, así como el Co-60 o el Sr-90 cuando presentan una alta actividad específica.

La opción generalmente aceptada para el almacenamiento definitivo de los residuos de alta actividad es el aislamiento en formaciones geológicas profundas.

2.- ORIGEN DE LOS RESIDUOS RADIACTIVOS

CANTIDAD TOTAL ESTIMADA DE RESIDUOS RADIACTIVOS A GESTIONAR EN ESPAÑA: 205.480 m³

ORIGEN	%
Residuos de la aplicación de isótopos a la Medicina, Investigación e Industria	4
Residuos de la primera parte del Ciclo de Combustible	0.7
Residuos de Operación de las CC.NN.	21.3
Residuos de Desmantelamiento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas	66.3
Otros	1.9
Combustible Gastado	5.75
Residuos de Reelaboración	0.05

Los residuos de baja y media actividad son acondicionados por quienes los producen, excepto en el caso de los pequeños productores cuyo acondicionamiento se realiza en las instalaciones de El Cabril, debiéndose cumplir en todos los casos los criterios de aceptación establecidos para dicho centro.

Los residuos generados en la CC.NN. y los de la primera parte del ciclo de combustible se almacenan temporalmente en las propias instalaciones productoras, a la espera de su traslado a El Cabril. A partir de 1989 se empezaron a recibir en dicha instalación RBMA de todas procedencias, lo que supuso una importante disminución para algunas centrales del grado de ocupación de sus almacenes.

2.1.- RESIDUOS DE LA APLICACIÓN DE ISÓTOPOS RADIATIVOS

- **Medicina**

- Sólidos heterogéneos procedentes de técnicas de radioinmunoanálisis. 50-60 m³/año
- Líquidos de centelleo. 10 m³/año
- Fuentes encapsuladas. Se devuelven una vez utilizadas

Los residuos generados en estas aplicaciones constituyen, en términos volumétricos, la fracción más importante de los residuos gestionados como radiactivos, dentro de las aplicaciones de los radioisótopos, siendo los más abundantes los residuos sólidos heterogéneos contaminados con isótopos usados en técnicas de radioinmunoanálisis que se adquieren ya preparados para su uso directo. En España, se gestionan anualmente por ENRESA entre 50-60 m³ de esta clase de residuos.

Un tipo de residuos cuya gestión supone problemas importantes son los líquidos de centelleo formados por disolventes orgánicos: benceno, tolueno, xileno, etc. Su contaminación radiactiva es baja debido principalmente a H-3 y C-14, pero sus componentes no radiactivos son tóxicos (cancerígenos), volátiles e inflamables. Estos residuos se gestionan como radiactivos aún siendo el riesgo radiológico menor que su riesgo tóxico. Actualmente, se generan en España unos 10 m³/año de este tipo de residuos.

Respecto a las fuentes encapsuladas a gestionar como residuos, las más importantes son las fuentes de cobaltoterapia (orbitones) y las de Ra-226. Los orbitones en nuestro país no son muy numerosos y parte tienen contratos de devolución una vez decaída la fuente. Aún así, supone gestionar una actividad del orden de millares de Ci de Co-60 encapsulados en pesados blindajes no adecuados según la legislación actual de transporte. Respecto al Ra-226 su actividad en términos absolutos no es demasiado grande de 1-2 TBq, pero su largo periodo de semidesintegración (1600 años) y su semejanza química con el Ca le convierte en uno de los isótopos más radiotóxicos.

2.1.- RESIDUOS DE LA APLICACIÓN DE ISÓTOPOS RADIATIVOS

- **Industria**

- Fuentes encapsuladas (de baja actividad) para medidas de nivel, humedad, densidad o espesor en procesos continuos o de difícil acceso
- Realización de ensayos no destructivos en las construcciones metálicas (gammagrafía)

- **Investigación**

- Marcadores de moléculas en proceso físicos, químicos o biológicos

Residuos procedentes de la investigación nuclear como los de reactores de enseñanza e investigación, celdas calientes metalúrgicas, plantas piloto y servicios de descontaminación.

Residuos de aplicaciones de los radioisótopos en la industria

Las aplicaciones de los radioisótopos en la industria se basan en la interacción de la radiación con la materia y su comportamiento en ésta. Se utilizan fuentes encapsuladas (de baja actividad) para medidas de nivel, humedad, densidad o espesor en procesos continuos o de difícil acceso, para la realización de ensayos no destructivos en las construcciones metálicas (gammagrafía) y en las instalaciones de esterilización industrial se necesitan fuentes encapsuladas de radiación gamma de mayor actividad.

Al igual que las fuentes encapsulada utilizadas en medicina, cuando decae su nivel de actividad son retiradas considerándose como residuos a gestionar. Los isótopos más utilizados son Co-60, Cs-137 y Ir-192 (radiografía industrial, medidores de nivel, irradiación industrial). Con menor actividad se encuentran fuentes de Kr-85, Sr-90, Ni-63 (medidas de espesores de chapas, láminas, plásticos y papel). Son menos frecuentes las fuentes de vida larga (Am-241, Ra-226) o las fuentes neutrónicas (Ra-Be, Am-Be y Sb-Be).

Residuos generados en proyectos de investigación

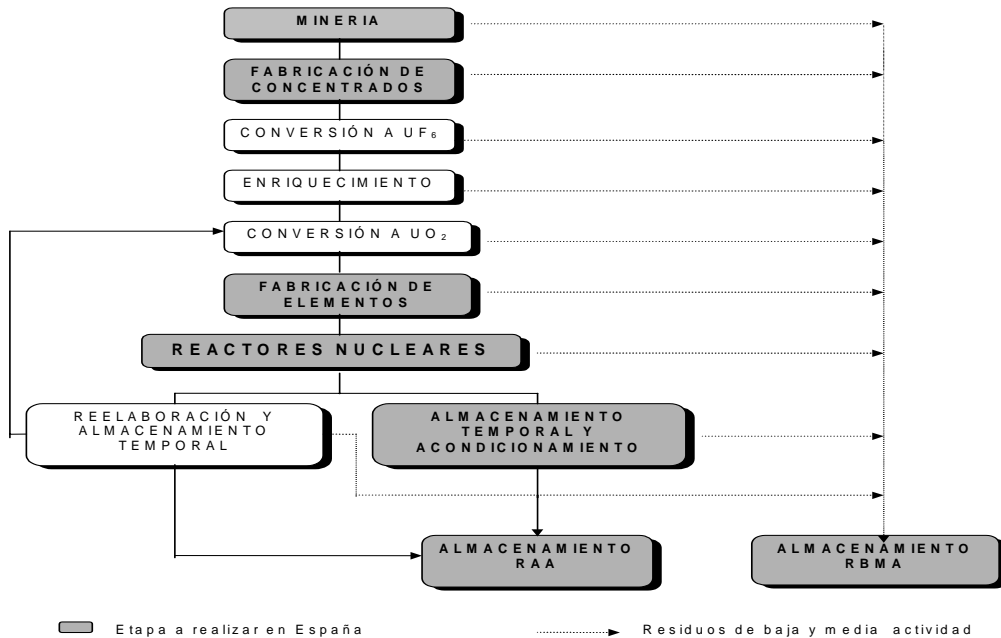
Los radioisótopos son utilizados para marcar moléculas cuyo destino final se tenga interés en conocer, sea en proceso físicos, químicos o biológicos. Estos residuos son de naturaleza física, química y radiactiva muy variables debido a la gran diversidad de isótopos utilizados y los diversos procesos a los que se aplica. Los principales isótopos utilizados son H-3, C-14 y I-125. En general son equivalentes a los correspondientes a los residuos médicos, aunque en ocasiones pueden generarse pequeños volúmenes con una contaminación relativamente alta.

Se incluyen dentro de este capítulo los residuos procedentes de la investigación nuclear como reactores de enseñanza e investigación, celdas calientes metalúrgicas (instalaciones auxiliares de investigación donde se realizan ensayos, manipulaciones, pruebas, etc.), plantas piloto y servicios de descontaminación.

LA GENERACION DE LOS RESIDUOS RADIACTIVOS

2.2.- RESIDUOS DEL CICLO DEL COMBUSTIBLE NUCLEAR

CICLO DE COMBUSTIBLE PARA REACTORES LWR



Se denomina Ciclo del Combustible Nuclear al conjunto de etapas a cumplimentar en la producción de energía eléctrica a partir del combustible existente en la naturaleza. Hay tantos Ciclos de Combustible como tipos de combustible diferentes se puedan usar, pero vamos a considerar como referencia el Ciclo de los reactores de agua ligera (LWR) por ser de este tipo los 9 reactores actualmente en operación en nuestro país. Estos reactores utilizan como combustible UO_2 enriquecido en U-235 (entre el 3-4%) respecto al uranio natural (99.3% de U-238 y un 0.7% de U-235).

2.2.1.- RESIDUOS DE LA PRIMERA PARTE DEL CICLO DE COMBUSTIBLE

- Minería
- Fabricación de concentrados
- Fabricación de combustible

ENUSA en Juzbado (Salamanca) dispone sólo de:

- Proceso cerámico de obtención de pastillas de alta densidad a partir de polvo de UO_2 .
- Proceso mecánico de carga de pastillas en las vainas, fabricación de cabezales, rejillas y tapones, así como montaje de los distintos componentes.

Se obtiene al año un volumen de residuos tecnológicos (ropas, plásticos, envases, etc.), de unos 50 m^3 , con una actividad media de 0.23 Ci/g .

Estériles de minería de uranio

Los residuos sólidos están constituidos por partes de la roca extraída con tan bajo contenido en uranio que no es económico su aprovechamiento. Para evitar riegos biológicos, estos estériles se apilan en áreas de la propia mina de forma que su lixiviación y la erosión por los agentes atmosféricos sea mínima.

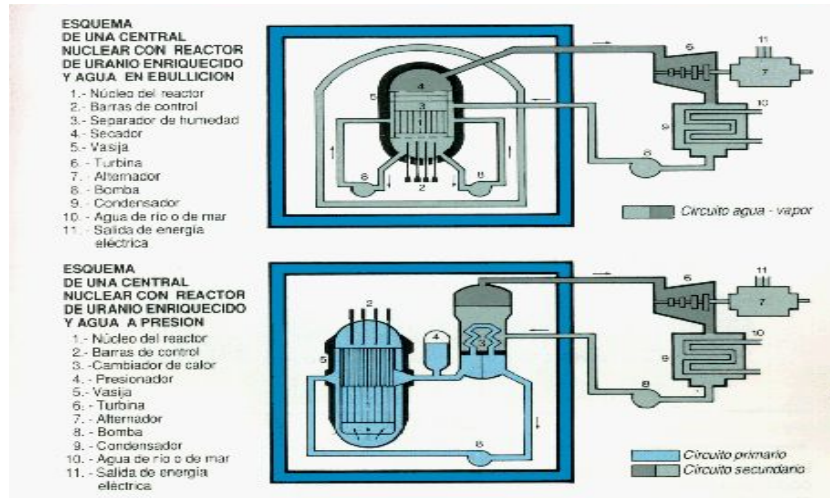
Fabricación de concentrados

Con el objetivo que las cantidades de uranio a manejar sean las menores posible, se le somete a un tratamiento físico-químico que consigue aumentar el contenido de uranio en el mineral hasta un 70%, obteniéndose los que se conoce como concentrados de uranio o "pastel amarillo" debido a su color. Los estériles de la planta de concentrados se apilan en diques en la inmediaciones de la fabrica. El Th-230 es el radionucleido con la vida más larga de valor significativo en los estériles. El Rn-222 es un gas radiactivo y químicamente inerte y en consecuencia, se escapa de las partículas de los estériles en las que es producido, siendo arrastrado hasta la atmósfera. El radón produce unos productos de desintegración de vida corta que pueden ser peligrosos si se inhalan.

Residuos de las instalaciones de conversión, enriquecimiento y fabricación del combustible

El concentrado de uranio debe ser purificado y transformado en UF_6 necesario para la separación isotópica y enriquecimiento en U-235. Posteriormente, se realiza la conversión química del hexafluoruro de uranio enriquecido a polvo de óxido de uranio UO_2 y se fabrican la pastillas de combustible, para finalizar con la fabricación y ensamblado de las barras de combustible. En todas estas actividades se generan pequeñas cantidades de residuos, siendo en todos los casos residuos de baja actividad que contienen sólo uranio y/o sus productos de desintegración.

2.2.2.- RESIDUOS DE OPERACIÓN DE LAS CC.NN.



La radiactividad del refrigerante se debe a:

1. Contaminación con productos de fisión
2. Activación

A) Contaminación con productos de fisión

- Difusión de productos de fisión en la masa de combustible y escape a través de vainas deterioradas
- Contaminación de las vainas durante la fabricación del elemento combustible

B) Activación

- Activación del propio refrigerante. Reacciones neutrónicas de isótopos del Oxígeno y del Hidrógeno generando entre otros tritio
- Activación de las impurezas del refrigerante. Reacciones neutrónicas debidas al contenido del agua en Na, Mg Mn y a las adiciones de Li(OH) para controlar el ph, compuestos de boro para controlar la reacción en cadena o compuestos hidrogenados para controlar la corrosión.
- Activación de los productos de corrosión. Debida a la corrosión de materiales estructurales que en contacto con el refrigerante liberan productos que se activan al pasar por el núcleo del reactor.
- Contaminación por átomos de retroceso de las vainas. Debido a choques neutrónicos átomos de las vainas pueden pasar al refrigerante y activarse al pasar por el núcleo del reactor.

2.2.2.- RESIDUOS DE OPERACIÓN DE LAS CC.NN.

ESTADO FÍSICO

- LÍQUIDOS
- GASEOSOS
- SÓLIDOS

CAMINOS DE SALIDA DEL REFRIGERANTE/FUENTES:

- SISTEMAS DE PURIFICACIÓN (RESINAS)
- FUGAS DE VAPOR
- EYECTORES DE AIRE
- SELLOS DE VÁLVULAS, EJES DE BOMBAS
- ESTACIONES DE MUESTREO
- RESIDUOS DE LAVANDERÍAS, DUCHAS
- RESIDUOS DE LOS SISTEMAS DESCONTAMINACIÓN
- DRENAJES DE EQUIPOS Y SUELOS

Sistemas de Purificación

Estos sistemas son los encargados de la limpieza del agua de refrigeración del reactor y el condensado del vapor de accionamiento de las tuberías. Se utilizan sistemas de resinas de intercambio iónico que acumulan las impurezas activadas.

Fugas de vapor

Estas fugas se producen a través de las juntas y prensaestopas de bombas y válvulas. La alta presión del vapor de accionamiento de las turbinas no permite la estanqueidad absoluta.

Eyectores de aire

Encargados de mantener el vacío del condensador. Succionan continuamente vapor e incondensables del condensador principal. Mantienen una depresión del orden de 10 a 15 veces menos que la presión atmosférica.

Estaciones de Muestreo

Permiten conocer los parámetros físico-químicos de los fluidos de los diferentes sistemas, se utilizan de forma continua siendo, al mismo tiempo, fuente de contaminación y por tanto de residuos.

Residuos de lavandería

Las prendas de vestir (monos) y material de limpieza diversos son lavados dentro de la central generando residuos retenidos en los drenajes de la lavandería.

Residuos de Descontaminación

Generados en la eliminación de las partículas de polvo superficiales de componentes y herramientas. Las partículas son concentradas a su vez en los sistemas de descontaminación generando residuos radiactivos.

Drenajes de equipos y suelos

Procedentes de los sistemas de purga y recogida de fugas de los equipos.

2.2.3.- COMBUSTIBLE GASTADO

A) REACCIÓN DE FISIÓN EN EL COMBUSTIBLE DE REACTORES NUCLEARES DE AGUA LIGERA



B) DISPOSICIÓN FÍSICA

- Barra de combustible
- Elemento combustible
- Núcleo del reactor

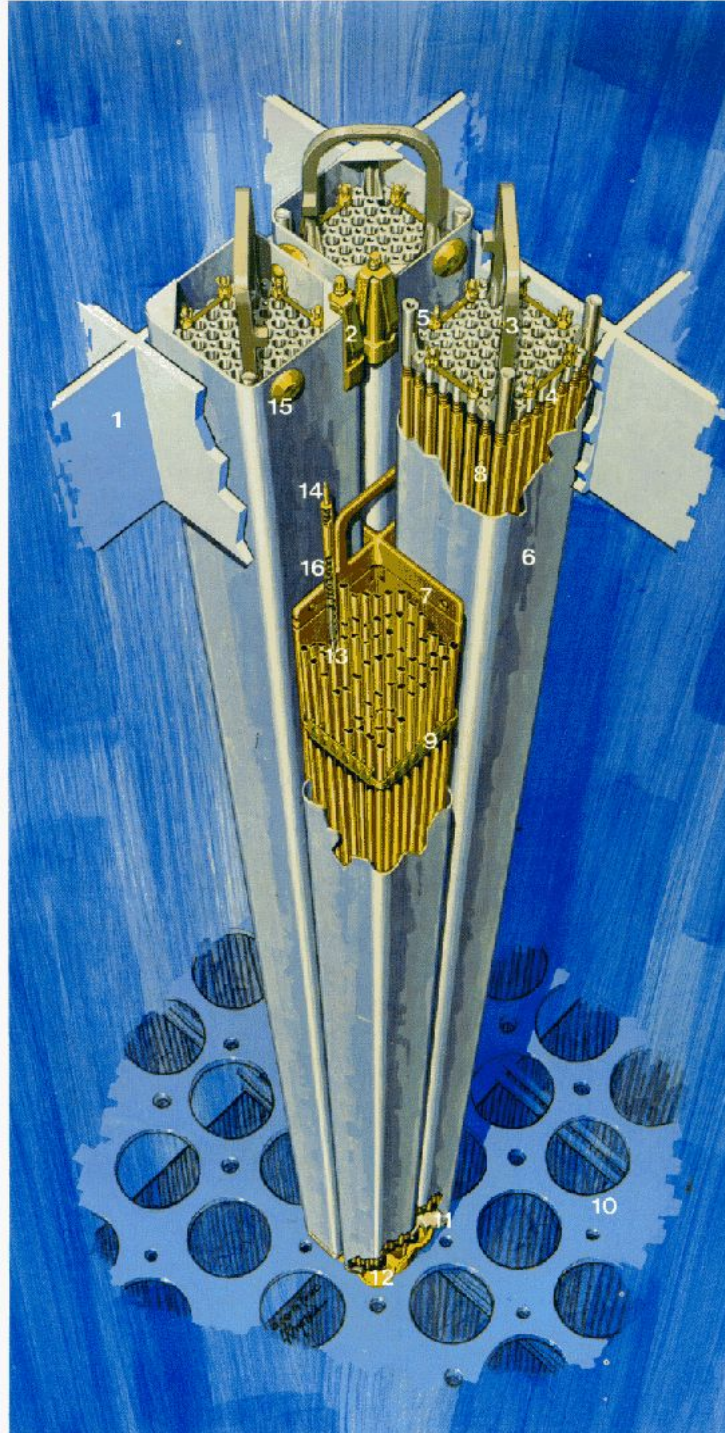
C) PRODUCTOS DE FISIÓN

- 90 precursores o productos directos de fisión

	PWR	BWR
• Barra de combustible		
• Dimensiones	~ 365.7 x ϕ 0.82 cms	~ 381 x ϕ 1 cms
• Composición	Oxido de uranio	Oxido de Uranio
• Enriquecimiento en U-235	4.15 % en U-235	3.52% promedio en U-235
• Vainas	Zirlo (Circonio con Niobio)	Zircaloy 2 (Circonio)
• Elemento combustible		
• N° barras/elemento	264 (17x17)	92 (GE12)
• Núcleo del reactor		
• N° elementos/núcleo (~1000 Mwe)	157	624
• Productos de fisión		

Los 90 precursores encabezan cadenas radiactivas de desintegración dando lugar a un total de unos 320 nucleidos de los que 200 radiactivos.

2.2.3.- ELEMENTOS DE COMBUSTIBLE DE UN REACTOR TIPO BWR/6



2.2.3.- INSPECCIÓN DE UN ELEMENTO COMBUSTIBLE



2.2.4.- RESIDUOS DE REELABORACIÓN

- Recupera los materiales fisionables (uranio y plutonio) del combustible gastado.
- Los residuos generados en esta actividad se clasifican:
 - *Residuos sólidos de alta actividad constituidos por los componentes estructurales de los elementos de combustible.*
 - *Residuos radiactivos líquidos de radiactividad alta.*
 - *Residuos sólidos de actividad baja e intermedia.*
 - *Residuos gaseosos.*
- En España se prevé para antes del 2010, la gestión de los residuos diversos de baja y media radiactividad y vitrificados de alta actividad procedentes del reproceso del combustible gastado de la C.N Vandellós1.

El combustible irradiado procedente de los reactores nucleares esta formado fundamentalmente por uranio (con un porcentaje del 96%, aproximadamente, en el combustible LWR) y plutonio (con un porcentaje en torno al 1%), siendo estos dos elementos reutilizables. En la operación de la reelaboración se generan diversos materiales de desecho que difieren en cuanto a forma física, nivel y naturaleza del contenido radiactivo.

- *Residuos sólidos de alta actividad constituidos por los componentes estructurales de los elementos de combustible.* Contienen principalmente productos de activación y una pequeña cantidad de productos de fisión y transuránidos. Después de un almacenamiento temporal para decaimiento, se compactan e inmovilizan en matrices sólidas.
- *Residuos radiactivos líquidos de radiactividad alta.* Son los refinados del ciclo de extracción de uranio y plutonio y están formados principalmente por los productos de la fisión presentes en la disolución del óxido de uranio irradiado. Tras un periodo de decaimiento son sometidos a procesos de solidificación o inclusión en matrices sólidas; para ello calcinados y posteriormente vitrificados, utilizando en la actualidad vidrios de borosilicato.
- *Residuos sólidos de actividad baja e intermedia.* Están constituidos por concentrados de evaporación, resinas de intercambio iónico, filtros para gases, filtros de ventilación gastados, equipos contaminados, etc., que se inmovilizan en matrices sólidas.

Residuos gaseosos. Tiene su origen en las operaciones de troceado y disolución del combustible irradiado y están formados por aire, óxidos de nitrógeno, vapor de agua, productos de fisión radiactivos (Kr-85, I-129), gases nobles no radiactivos, tritio y aerosoles radiactivos (emisores alfa, beta y gamma). En la práctica esta corriente gaseosa, una vez enfriada en un condensador, lavada en columna de relleno y filtrada con filtros absolutos, se descarga junto con otras corrientes gaseosas del proceso por la chimenea de la instalación. Los volúmenes de este tipo de residuos a gestionar según el vigente 4ºPGRR son 3000 m³ de RBMA y 170 m³ de RAA vitrificados.

2.3.- RESIDUOS DE CLAUSURA DE INSTALACIONES NUCLEARES Y RADIATIVAS

- Conjunto de actividades desarrolladas al final de la vida operativa de la instalación con el objetivo de dejar el emplazamiento en un estado seguro y de posible utilización para otros fines.
- Principales materiales contaminados y/o activados:
 - Hormigones estructurales y de relleno
 - Chatarras de hierro acero
 - Tuberías
 - Equipos y componentes
 - Estructuras
 - Chatarras de aluminio y aleaciones diversas
- Se estima la generación del 137.000 m³ de residuos de desmantelamiento de las CC.NN. españolas y 500 m³ del desmantelamiento de la planta de encapsulado y fabricación de elementos combustibles.

La clausura de una instalación nuclear se aborda por etapas llamadas niveles de clausura.:

- Nivel 1. Mantenimiento de la instalación en situación de parada segura, incluyendo la retirada del combustible gastado, los residuos de operación y aquellos edificios auxiliares que no se necesiten.
- Nivel 2. Desmantelamiento de las partes activas de la instalación, excluido el reactor en el caso de CC.NN.
- Nivel 3. Supone el desmantelamiento total dejando el emplazamiento en condiciones tales que pueda ser utilizado sin ningún tipo de restricción.

3.1.- ACONDICIONAMIENTO DE LOS RESIDUOS LÍQUIDOS DE OPERACIÓN DE LAS CC.NN.

Efluentes líquidos

- Líquidos baja conductividad
- Líquidos alta conductividad

Tratamiento

- Desmineralizadores
- Filtración
- Centrifugación
- Evaporación
- Reciclado
- Desgasificado
- Ósmosis inversa

Los líquidos concentrados se solidifican con cemento en bidones

Los residuos líquidos se clasifican en residuos de baja conductividad (limpios) y de alta conductividad (sucios). Estos términos no se refieren no a la cantidad de material radiactivo sino a la cantidad global de los sólidos disueltos, lo que afecta a los métodos de concentración y separación que se describen a continuación:

Desmineralizadores

Tanques de acero rellenos de resinas de intercambio iónico que adsorben materiales disueltos tanto radiactivos como no radiactivos, alcanzándose factores de descontaminación de hasta 10^3 .

Filtración

Paso previo o posterior a un tratamiento principal de cara a mejorar su eficacia. El material filtrante retiene el precipitado dando un filtrado libre de sustancias sólidas en suspensión.

Centrifugación

Una centrífuga es un cilindro o campana que gira a gran velocidad alrededor de su eje, separando los sólidos que quedan en las paredes mientras que el líquido rebosa y pasa a un tanque.

Evaporación

Se lleva el líquido a ebullición, extrayendo el vapor, quedando en el recipiente residuos sólidos disueltos y en suspensión. Se alcanzan concentraciones de actividad entre 10 y 50, con factores de descontaminación entre 10^4 y 10^5 .

Reciclado

Es una combinación de tratamiento químico, filtración e intercambio iónico, con el que se alcanzan factores de descontaminación de 10^3 a 10^4 para los principales radioisótopos.

Desgasificado

Se calienta la corriente de residuos líquidos, borboteando en su seno vapor que se extrae y se pasa a un condensador de venteo donde se condensa el vapor permitiendo escapar al gas.

Ósmosis inversa

Se utiliza para obtener agua purificada o bien generar un residuo concentrado de bajo contenido acuoso.

3.1.- ACONDICIONAMIENTO DE LOS RESIDUOS GASEOSOS DE OPERACIÓN DE LAS CC.NN.

Efluentes gaseosos

- Halógenos (Iodos)
- Gases nobles (Kr, Xe)
- Partículas en suspensión
- Hidrógeno

Tratamiento

- Adsorbentes de carbón activo
- Almacenamiento de retardo
- Filtración
- Recombinación

Los elementos filtrantes y de adsorción se embidonan

Adsorbentes de carbón activo

Son los dispositivos más satisfactorios para retener productos de fisión gaseosos de reactores nucleares y operaciones radioquímicas. Están constituidos por lechos estrechamente empaquetados de gránulo de carbón. La aplicación más corriente es la retención de Iodo radiactivo tanto en forma elemental como orgánica, son también efectivos para la remoción de gases nobles. Se colocan junto con filtros de alta eficiencia e inmediatamente después de los mismos.

Almacenamiento de retardo

Cuando existen radionucleidos de vida corta es conveniente retardar la emisión a la atmósfera de los efluentes gaseosos radiactivos, de modo que su actividad disminuya consiguiendo mínimas descargas de gases nobles. Con retenciones de 35-40 días se eliminan todos los isótopos del Kr y de Xe, excepto algo de Xe-133 y el Kr-85 que no se altera. Los lechos de carbón activo y los filtros HEPA constituyen zonas de retardo. También se utilizan tuberías o tanque para retrasar la emisión.

Filtración

Los efluentes gaseosos contienen partículas en suspensión que son demasiado finas para ser retenidas en los filtros normales, utilizándose filtros HEPA (High Efficiency Particulate Air) con una eficiencia del 99.97% para partículas menores de 0.3 micras. Para alargar su vida se instalan prefiltros (filtros normales) y separadores de humedad. El filtro HEPA es el elemento más importante en el sistema de extracción, teniendo una gran fiabilidad. Se colocan donde la concentración de partículas es mayor. En un LWR se colocan antes de la emisión por la chimenea.

Recombinación

Debido a que en un LWR se produce de forma continua radiólisis del agua, generando oxígeno e hidrógeno libres que pueden constituir una mezcla explosiva para porcentajes de hidrógeno mayores del 4%. Es necesario instalar un sistema que recombinen el hidrógeno y el oxígeno para formar agua en ciertas circunstancias.

3.1.- ACONDICIONAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DE OPERACIÓN DE LAS CC.NN.

Corrientes Sólidas

- Resinas
- Lodos y concentrados
- Sólidos prensables
- Filtros
- Sólidos no prensables

Tratamiento

- Cementación
- Cementación
- Compactación mecánica en bidones
- Almacenamiento en bidones con pared de hormigón
- Almacenamiento en bidones

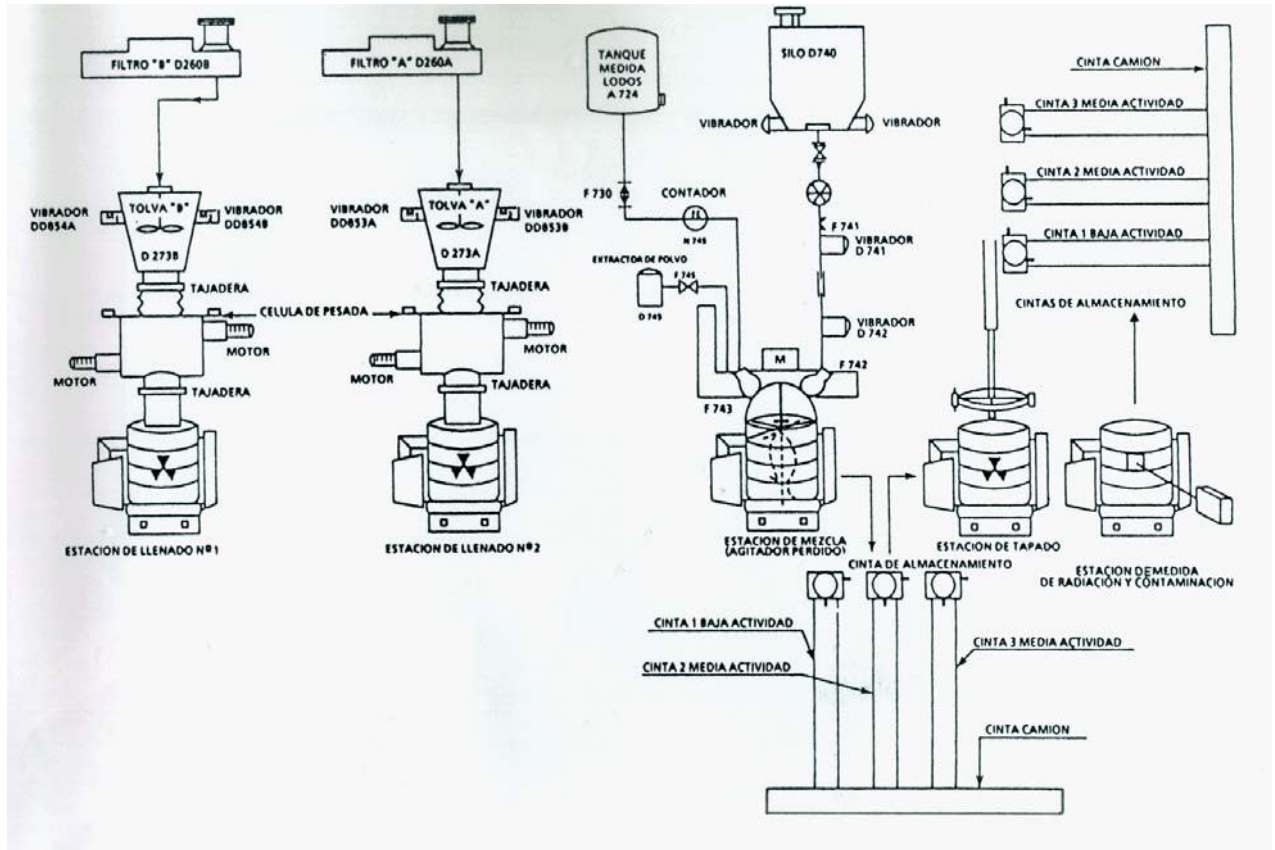
Los residuos sólidos se embidonan y algunos se solidifican con cemento

El tratamiento consiste en la inmovilización y confinamiento para facilitar su transporte e impida la migración o dispersión de radionucleidos por procesos naturales

La inmovilización de los residuos sólidos se realiza por mezcla del residuos con materiales aglomerantes, formándose un bloque compacto en el que se distribuyen más o menos uniformemente los materiales radiactivos. Antes de la mezcla son introducidos en recipientes (bidones de 220 l) que actúan como lugar de mezcla.

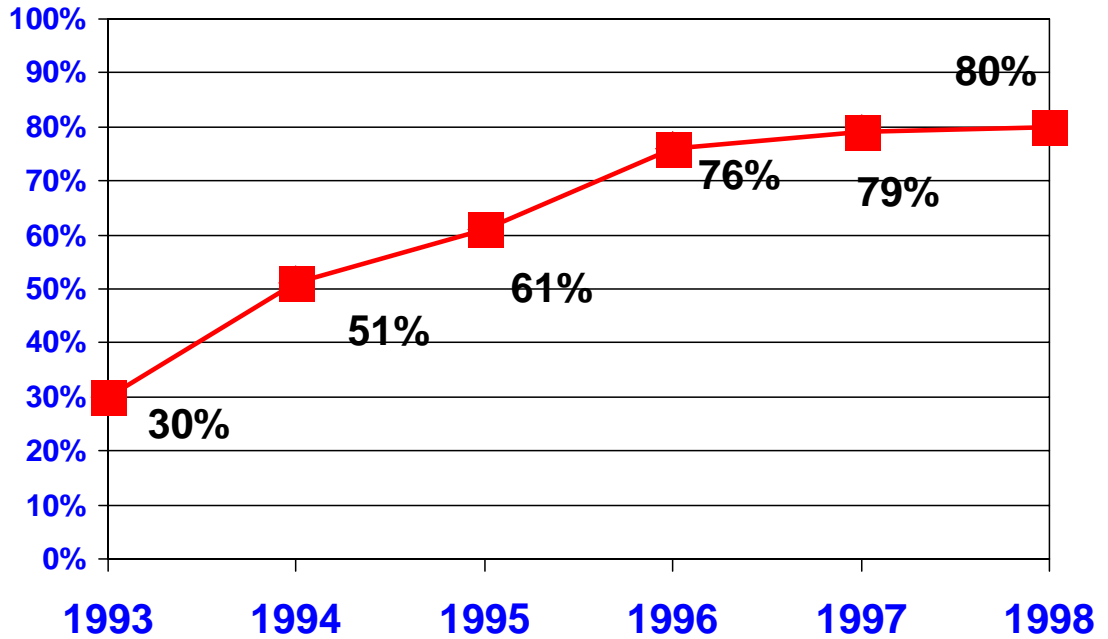
Actualmente en España se emplea únicamente cemento como conglomerante presentando como ventajas la simplicidad de manipulación, experiencia amplia en su uso civil, abundancia de materias primas, alta resistencia mecánica y elevada densidad (que proporciona autoblandaje). Su principal desventaja es aumentar el volumen del residuo a inmovilizar.

DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE EMBIDONADO



3.1.- ACONDICIONAMIENTO DE LOS RESIDUOS DE OPERACIÓN DE LAS CC.NN.

ÍNDICE DE ACEPTACIÓN DE BULTOS



Criterios de aceptación de bultos generados

- Actividad específica por bulto (Bq/g), según el permiso de explotación provisional de El Cabril de 1996.
- Dosis medida a 5 cm del bultos < 5 rem/h, de cara a seguridad en el transporte
- Integridad de la matriz y el bulto
 - Tasa de lixiviación
 - Resistencia al peso
 - Resistencia a la compresión uniaxial
 - Ensayos de caída libre
 - Resistencia a la tracción
 - Homogeneidad
 - Porosidad
 - Permeabilidad al agua
- Tasa de llenado de bidones mínimo del 95%

3.2.- ALMACENAMIENTO TEMPORAL DE COMBUSTIBLE GASTADO

• ALMACENAMIENTO EN PISCINAS

Estructuras de hormigón armado recubiertas internamente de láminas de acero inoxidable para evitar fugas. Los elementos combustibles se sitúan, verticalmente dentro de las piscinas llenas de agua en bastidores metálicos diseñados para mantener el conjunto en condiciones subcríticas.

• ALMACENAMIENTO EN CONTENEDORES

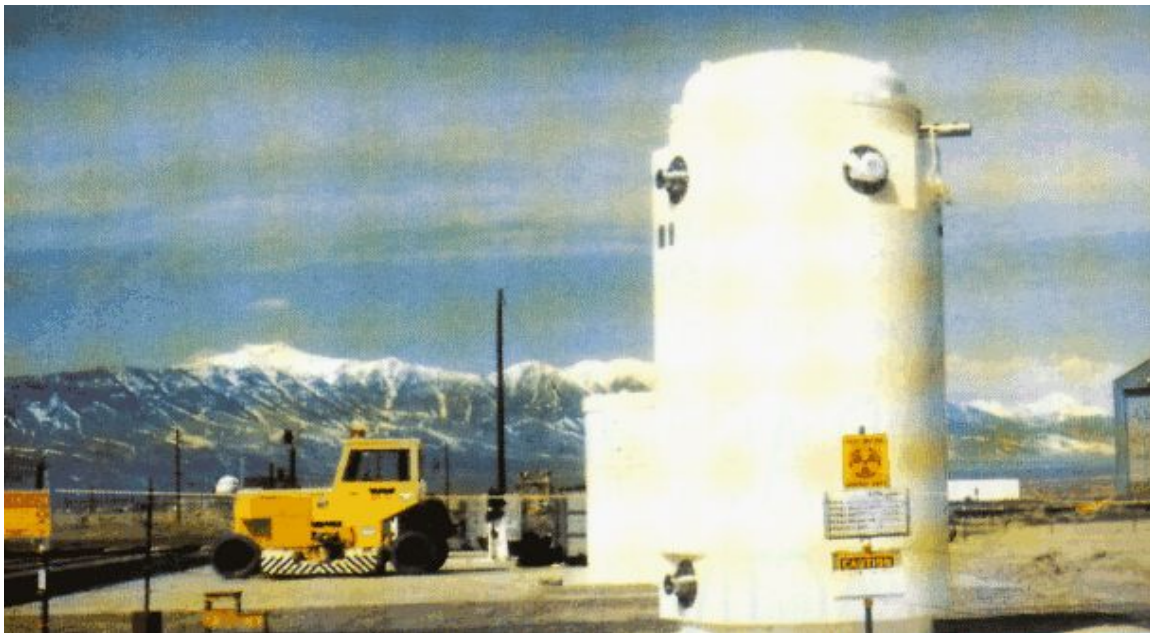
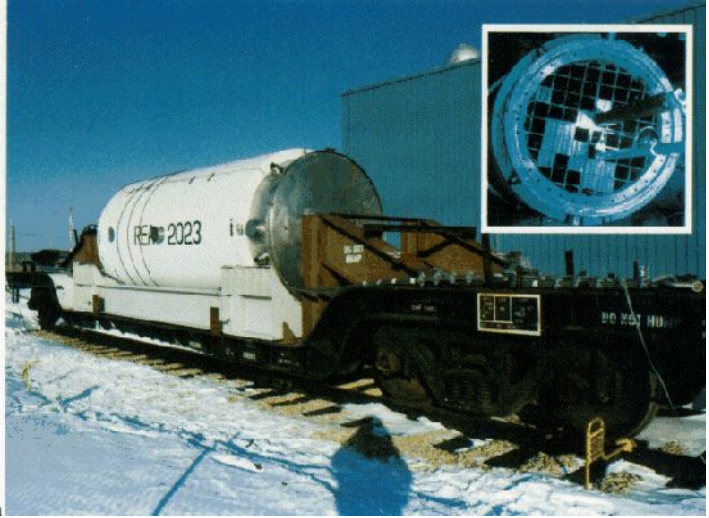
El blindaje y el confinamiento de la actividad radica en los materiales estructurales de contenedor. Los contenedores llenos se sitúan en una plataforma de hormigón o bien en una nave y en función del diseño estructural pueden ser sólo de almacenamiento o bien de doble uso almacenamiento y transporte.

• ALMACENAMIENTO EN PISCINAS (ALMACENAMIENTO EN HÚMEDO)

- Es una tecnología segura y ampliamente probada a nivel internacional
- La manipulación del combustible es mínima y siempre bajo agua lo que permite reducir riesgos y dosis radiactivas asociadas
- La relación coste beneficio es óptima
- La limitación de esta alternativa es la propia limitación de espacio físico de las piscinas, lo que imposibilita una continua ampliación

• ALMACENAMIENTO EN CONTENEDORES METÁLICOS (ALMACENAMIENTO EN SECO)

- Permite una ampliación de la capacidad de almacenamiento en el emplazamiento de forma segura, flexible y progresiva, siendo también una tecnología ampliamente probada a nivel internacional
- La manipulación futura del combustible irradiado se minimiza al utilizar un mismo contenedor para almacenamiento y transporte
- La fabricación de los contenedores puede ser nacional
- Estos contenedores se podrían utilizar en un futuro almacenamiento temporal, lo que representaría un ahorro importante de coste



4.1.- PROYECTOS DE REDUCCIÓN DE VOLUMEN

- * DESARROLLAR PROYECTOS DE INVERSIÓN Y MEJORAS OPERATIVAS EN LAS CC.NN. PARA DISMINUIR EL VOLUMEN FINAL DE LOS RESIDUOS ACONDICIONADOS.
- * PROYECTOS ACORDADOS ENTRE ENRESA Y LAS CC.NN.
- * PLAN DE ACTUACIONES
 - * 1ª FASE (1994-1997)
 - * 2ª FASE (1998-2004)
- * EN EL 2001 SE ESPERA GENERAR EL 50-55% DE LAS CIFRAS DE 1993.

PROYECTOS SIGNIFICATIVOS DE REDUCCIÓN DE VOLUMEN:

- * REORDENACIÓN DE DRENAJES.
- * SEGREGACIÓN DE PRENSABLES.
- * DESCONTAMINACIÓN DE SÓLIDOS Y ACEITES.
- * DESECACIÓN DE LODOS Y CONCENTRADOS.
- * ACONDICIONAMIENTO DE CONCENTRADOS CON RESINAS.
- * MEJORAS EN LOS SISTEMAS DE PURIFICACIÓN, ALARGAMIENTO DE CICLOS.

En 1994 se formalizó un acuerdo para definir y regular las actividades encaminadas a reducir los residuos de operación de las CC.NN. Españolas

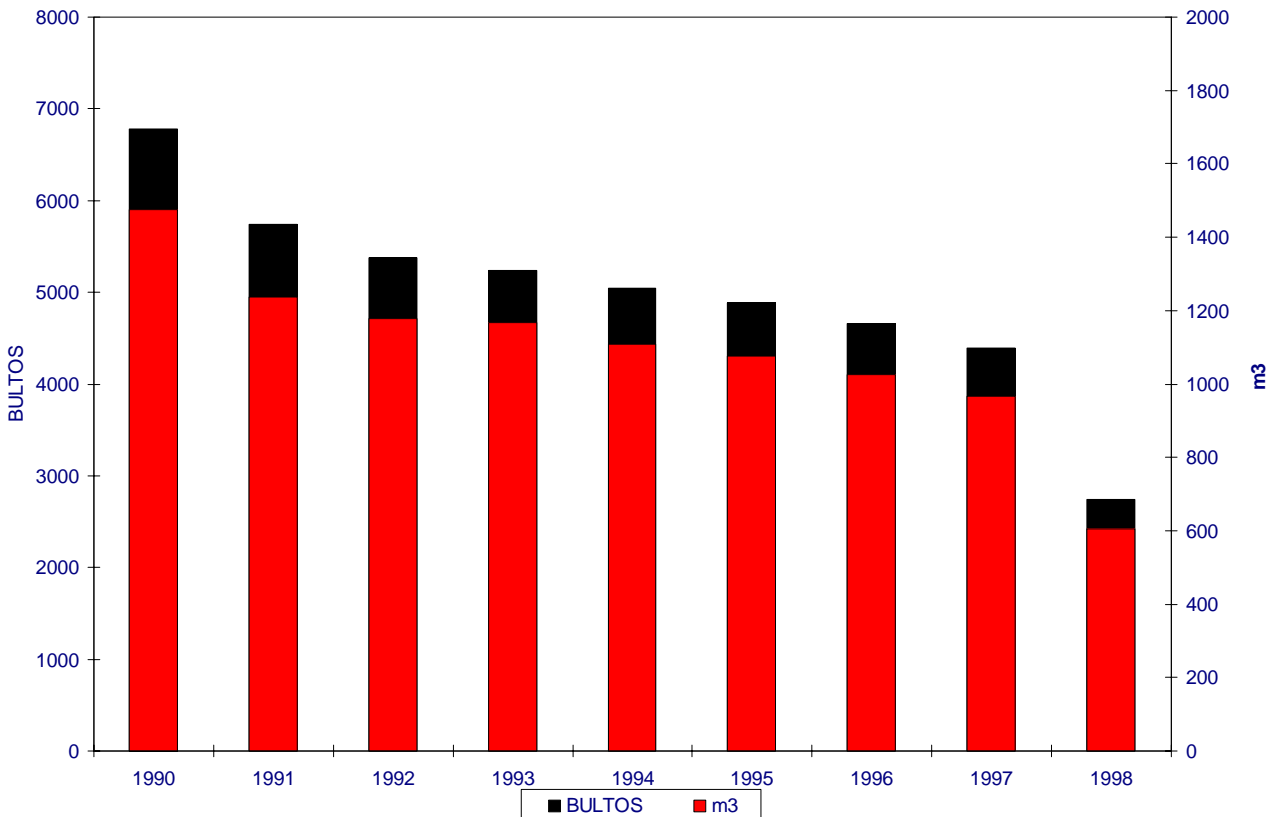
	Inversiones	Reducción
1ª Fase (1994 - 1997)	97 Mpta	153 bultos/año + 1400
2ª Fase (1998 - 2001)		
Proyectos estudiados En fase de implantación	228 Mpta	736 bultos/año + 355
Proyectos en estudio	722 Mpta	555 bultos/año + 5417

4.1.- PRODUCCIÓN DE BULTOS EN LA OPERACIÓN DE LAS CC.NN

INVENTARIO DE BULTOS PRODUCIDOS EN LAS CC.NN. ESPAÑOLAS

	PRODUCIDOS	EXISTENCIAS
TOTAL CC.NN.	87.231 (20.327 m ³)	37.128 (8.704 m ³)

PRODUCCION DE RBMA DE LAS CENTRALES NUCLEARES ESPAÑOLAS

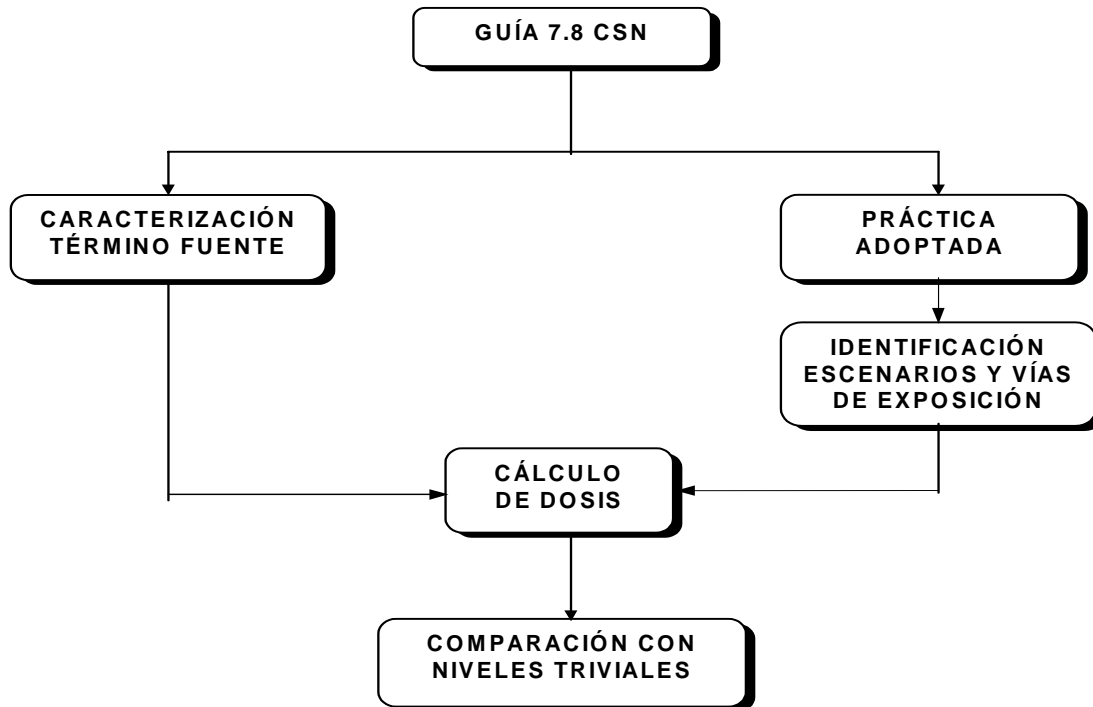


4.2.- PROYECTOS DE AMPLIACION DE CAPACIDAD DE LAS PISCINAS DE COMBUSTIBLE

PLANTA	Fecha saturación con Cambio de Bastidores	Fin de Operación 40 años	Proyecto de Cambio de Bastidores
José Cabrera	2015	2008	Finalizado
Sta. M ^a de Garoña	2014	2011	Finalizado
Almaraz 1 y 2	2020/2022	2021/2023	Finalizado
Ascó 1 y 2	2013/2016	2023/2025	Finalizado
Cofrentes	2011	2024	Finalizado
Trillo	2003	2028	Finalizado
Vandellós 2	2020	2028	Finalizado

Los proyectos de ampliación de la capacidad de las piscinas han consistido en sustituir las estructuras soporte o bastidores por otros de alta densidad de almacenamiento. La estructura de los nuevos bastidores es más compacta; colocados muy próximos unos junta a otros y a las paredes de la piscina, hasta los límites permitidos por criticidad y condiciones estructurales. Los nuevos bastidores incluyen absorbentes neutrónicos en la estructura de acero inoxidable lo que permite un acercamiento de las celdas sin que afecte a la criticidad. Se han mejorado los programas de cálculo para el estudios térmicos, sísmico y de criticidad y se han estudiado nuevos materiales más apropiados en calidad y precio como el acero inoxidable borado.

4.3.- METODOLOGÍA PROYECTOS DE EXENCIÓN

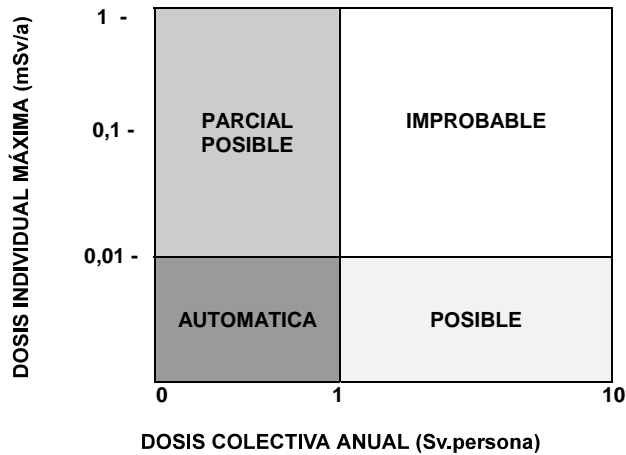


Los proyectos de exención radiológica se desarrollan según la metodología contenida en la guía 7.8 del CSN :

- Selección de una práctica (*) óptima desde el punto de vista de la protección radiológica y de la economía del proceso propuesto
- Postular los escenarios y vías de exposición a la radiación en esa práctica
- Calcular las dosis asociadas a esos escenarios, tanto al individuo como a la colectividad
- Comparar con los niveles triviales

(*)Conjunto de actividades coordinadas y continuas que entrañan exposición a la radiación, encaminadas a un fin determinado.

4.3.- DIAGRAMA DE ÁREAS DE EXENCIÓN



CORRIENTES DESCLASIFICABLES

<u>DENOMINACIÓN</u>	<u>PRÁCTICA</u>
LODOS	DEPOSICIÓN EN VERTEDERO CONTROLADO
ESCOMBROS	DEPOSICIÓN EN VERTEDERO CONTROLADO
ACEITES	QUEMADO
FILTROS DE CARBÓN	QUEMADO
COMPACTABLES	QUEMADO / DEPOSICIÓN EN VERTEDERO
CHATARRAS	REUTILIZACIÓN / DEPOSICIÓN EN VERTEDER

Internacionalmente se definen los principios de protección radiológica para la exención de prácticas :

- Los riesgos radiológicos individuales deben ser suficientemente bajos como para no causar preocupación alguna desde el punto de vista de la protección radiológica regulatoria
- Las dosis individuales de prácticas exentas son del orden de $10 \mu\text{Sv/año}$
- El impacto radiológico colectivo debe ser tan bajo que no se justifique un control regulador
- Las dosis colectivas de prácticas exentas deben ser no superiores a 1 Sv - hombre en un año de aplicación
- Una práctica de exención debe ser intrínsecamente segura, sin escenarios probables donde pudieran no cumplirse los dos criterios anteriores

5.1.- REFERENCIAS INTERNACIONALES

SITUACIÓN INTERNACIONAL EN LA GENERACIÓN DE RESIDUOS DE OPERACIÓN DE LAS CC.NN.

- **CRITERIOS DE TRATAMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO:**
 - MATRIZ DE HORMIGÓN
 - COMPACTACIÓN DE PRENSABLES
 - CONFINAMIENTO EN CONTENEDORES DE ALTA INTEGRIDAD
 - INCINERACIÓN DE RESIDUOS DE BAJA ACTIVIDAD
- **CANTIDADES GENERADAS**
 - VOLÚMENES EQUIVALENTES A LOS PRODUCIDOS EN LAS CC.NN. ESPAÑOLAS
- **CRITERIOS DE GESTIÓN**
 - DISMINUCIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL VOLUMEN ACONDICIONADO
 - SEGREGACIÓN TOTAL DE CORRIENTES RADIACTIVAS Y NO RADIACTIVAS
 - CONTROL DE CALIDAD DEL PROCESO Y CONTROLES ADMINISTRATIVOS ESTRICTOS

5.1.- REFERENCIAS INTERNACIONALES

OPCIONES DE ALMACENAMIENTO TEMPORAL DEL COMBUSTIBLE GASTADO

País	Ciclo	Cambio de bastidores	Almacenamiento adicional en la central		Almacenamiento Centralizado	
			Piscina	Contenedores	Piscina	Contenedores
USA	A	X		X	X	X
JAPÓN	C	X		X		X
FRANCIA	C				X	
UK	C			X	X	X
ALEMANIA	A/C	X		X		X
SUECIA	A				X	
SUIZA	C/A			X		X
ESPAÑA	A	X		X		
FINLANDIA	A		X			

- En los países que han optado por la alternativa de ciclo cerrado, existen plantas industriales como La Hague y Marcoule en Francia o Sellafield en el Reino Unido, donde se almacena temporalmente el combustible gastado antes de su tratamiento, así como los vidrios y residuos alfa que se generan como consecuencia del mismo.
- En el caso de ciclo abierto se han desarrollado diversas soluciones:
 - Almacenamiento húmedo en piscinas tanto en la central, caso de la planta TVO-KPA en Finlandia, como centralizado caso de la instalación CLAB en Suecia.
 - Almacenamiento en seco en contenedores metálicos, contenedores de hormigón o módulos también de hormigón tanto en centrales, tal es el caso de las centrales de Robinson y Oconee (EE.UU.) que usan módulos de hormigón, de Surry (EE.UU.) con contenedores metálicos y de Palisades (EE.UU.) con contenedores de hormigón, como centralizado en contenedores metálicos en Gorleben (Alemania).

5.2.- CRITERIOS PARA MEJORAR LA GESTIÓN DE RESIDUOS RADIATIVOS

A) RESIDUOS DE OPERACIÓN

- OBJETIVO: Disminución de volumen

B) COMBUSTIBLE GASTADO

- EN EL ÁMBITO DE LAS CC.NN. : Almacenamiento provisional
- EN EL ÁMBITO NACIONAL: Búsqueda de la solución definitiva.

A) RESIDUOS DE OPERACIÓN

- OBJETIVO: Disminución de volumen
 - Optimización en el diseño, operación y mantenimiento de los sistemas de RR. de las CC.NN.
 - Separación estricta entre corrientes radiactivas y no radiactivas.
 - Concentración máxima de efluentes líquidos.
 - Descontaminación de sólidos.
 - Desclasificación de Residuos de muy baja actividad.
 - Mantener y mejorar la cultura de seguridad de los operadores.
 - I+D en nuevas técnicas para el tratamiento y reducción de volumen.

B) COMBUSTIBLE GASTADO

- EN EL ÁMBITO DE LAS CC.NN.
 - Aumentar el grado de quemado compatible con la seguridad.
 - Aumentar la capacidad de las piscinas como solución transitoria.
 - Utilizar almacenamiento en seco en alguna central como solución transitoria.
- EN EL ÁMBITO NACIONAL
 - Regular el almacenamiento de los residuos de alta actividad:
 - El Almacenamiento Temporal Centralizado es la mejor opción tanto desde el punto de vista de la seguridad como desde la perspectiva económica.
 - Se deben continuar los estudios para desarrollar una solución definitiva.