



Armando URIARTE HUEDA es doctor en Química Industrial por la Universidad Complutense de Madrid.

Ha sido representante español en el Grupo IV del International Nuclear Fuel Cycle Evaluation (INFCE) (1978-1980), en el "Comité de Gestión de Residuos Radiactivos" de la OCDE y en el "Comité del Plan de Acción Comunitaria sobre Gestión de Residuos Radiactivos" de la CEE.

En la actualidad es vocal del Consejo de Administración de ENRESA y responsable del Área de Tecnología de Residuos del CIEMAT.

LOS RESIDUOS RADIATIVOS: UN PROGRAMA DE INVESTIGACION

A. URIARTE HUEDA

Por cada kilovatio eléctrico producido en una central nuclear se generan residuos radiactivos entre los que están incluidos los combustibles irradiados o gastados. Todos los países buscan la forma más idónea y segura para llevar a cabo la gestión de los mismos, a los que hay que añadir, en menor proporción, los generados en hospitales, industrias y centros de investigación. No se debe olvidar, como fuente de generación de residuos, la clausura, al final de su vida operativa, de las instalaciones nucleares y radiactivas que puede alcanzar hasta la utilización del emplazamiento para uso no restringido.

La gestión de todos los residuos antedichos, entre los que no están incluidos los estériles de minería y tratamiento de minerales de uranio que requieren normalmente un tipo de gestión *in situ*, comprende una serie de actividades que pueden agruparse en dos conjuntos fundamentales:

- Gestión Inicial (tratamiento, acondicionamiento, etc.).
- Gestión Final (almacenamiento definitivo o evacuación).

En este documento nos vamos a referir exclusivamente al primer conjunto, cuyo fin fundamental es preparar adecuadamente el residuo para su almacenamiento definitivo. Es lo que viene llamándose acondicionamiento del "término fuente". Cuando se habla de "término fuente" se entiende que debe ser algo conocido, tanto cualitativa como cuantitativamente. Esto requiere disponer de las técnicas de caracterización necesarias para lograr la identificación requerida. Así pues, dos grandes grupos de actividades comprenden la "gestión inicial" de los residuos radiactivos:

- Tratamiento y Acondicionamiento.
- Caracterización e Identificación.

Toda actividad industrial puede requerir "normalmente" desarrollar un programa de investigación que debe ser realista en objetivos, prioridades, plazos y recursos (humanos y financieros) dedicados al mismo. En el caso de los residuos radiactivos como "término fuente", este programa en España debe estar basado en los siguientes términos:

- Ser coherente con el Plan General de Residuos Radiactivos elaborado por ENRESA.
- Ser lo más acorde posible con los programas de investigación, sobre gestión de residuos radiactivos y clausura de instalaciones nucleares, de la Comunidad Europea, tanto desde el punto de vista financiero como científico y tecnológico.
- Participar en programas de investigación internacionales, bien con organizaciones de otros países (DOE-EE. UU., UKAEA-R. U., CEA-FRANCIA, AECL-CANADA, etc.) o dentro del marco de organismos internacionales (OIEA, NEA-OCDE, etc.).

Por todo lo dicho anteriormente, y teniendo en cuenta que el CIEMAT debe prestar asesoramiento y soporte tecnológico a ENRESA, se ha creado, dentro del CIEMAT, un programa de investigación cuyo objetivo principal es la planificación y realización de actividades relacionadas con la "gestión inicial" de los residuos radiactivos y con la clausura de instalaciones nucleares. Este programa está dividido en cuatro unidades:

- Tratamiento y acondicionamiento de

residuos de baja y media radiactividad.

- Caracterización de residuos y materiales radiactivos.
- Clausura de instalaciones nucleares.
- "Gestión inicial" de residuos de alta radiactividad.

De estas cuatro unidades operativas, las dos primeras tienen que desarrollar actividades con objetivos claramente identificados a corto y medio plazo y las otras dos a plazos mucho más largos y con recursos, tanto humanos como financieros, muy superiores.

En tratamiento y acondicionamiento de residuos de baja y media radiactividad, las actividades de investigación deben enmarcarse en los siguientes fines:

- Mejorar algunos de los procesos de tratamiento y acondicionamiento disponibles o desarrollar procesos alternativos con objeto de aumentar el grado de descontaminación del proceso o su seguridad.
- Seleccionar y desarrollar técnicas para tipos concretos de residuos que actualmente no se están acondicionando de forma definitiva o cuya forma actual de acondicionamiento no se considera totalmente satisfactoria.

La investigación sobre caracterización de residuos y materiales radiactivos debe cubrir el siguiente objetivo fundamental:

- Desarrollar y poner a punto técnicas que permitan cuantificar diversas magnitudes del residuo antes de su tratamiento e inmovilización, de las matrices de inmovilización, de los materiales de envasado y de los residuos acondicionados. Esto último permitirá corregir las deficiencias detectadas en los mismos.

La investigación sobre la clausura de instalaciones nucleares debe estar encaminada a conseguir dos objetivos fundamentales:

- Generar la menor cantidad posible de residuos radiactivos.
- Producir la menor carga radiológica al personal que debe llevar a cabo las operaciones de clausura.

Por lo que respecta a los residuos de alta radiactividad, la investigación debe dirigirse fundamentalmente a asegurar una adecuada gestión de los combustibles irradiados considerados como residuos. Estas actividades se pueden agrupar en dos conjuntos principales:

- Almacenamiento temporal.
- Encapsulado o acondicionamiento.

TRATAMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO DE RESIDUOS DE MEDIA Y BAJA RADIATIVIDAD

Con algunas variantes que ya han sido desechadas, solamente se han utiliza-



F I Almacenamiento temporal de Residuos Sólidos Radiactivos

do y utilizan cementos y hormigones, con o sin aditivos, en la inmovilización y acondicionamiento de todos los residuos de baja y media radiactividad generados en nuestro país. Si a esto unimos que, casi con seguridad, el almacenamiento definitivo de estos residuos, una vez acondicionados, se hará en instalaciones superficiales, nos encontramos con dos criterios que condicionan el programa de investigación para este tipo de residuos:

- única matriz de inmovilización y acondicionamiento: cemento u hormigón,
- criterios de aceptación definidos para almacenamiento en instalaciones superficiales.

La utilización de cementos u hormigones como agentes de inmovilización presenta características favorables y desfavorables. Entre las primeras cabe destacar: bajo coste, tecnología conocida, diferentes variedades comerciales, buena inmovilización de radionucleidos emisores alfa, mejoras con aditivos, etc., y entre las segundas: fisuración, radiolisis, mala inmovilización de cesio ($Cs-137$), presencia de algunos componentes en el residuo (aluminio, resinas cambiadoras de ión, cenizas, sulfatos, etc.), necesidad de ensayos previos para el tratamiento y acondicionamiento de cada tipo de residuo, etc. Todas estas características que presentan los cementos y hormigones requieren actividades de investigación con el fin de lograr bultos perfectamente acondicionados para su almacenamiento definitivo. En una primera evaluación se han detectado como temas de investigación los siguientes:

- Acondicionamiento de resinas cambiadoras de ión utilizadas en las centrales nucleares.
- Tratamiento de residuos líquidos orgánicos utilizados en la técnica de centelleo líquido.
- Acondicionamiento de cenizas procedentes de procesos de incineración de residuos sólidos heterogéneos.
- Tratamiento y acondicionamiento de las camisas de grafito de los combustibles irradiados de la central nuclear de Vandellós I.
- Estudio del proceso de fraguado del cemento en función de la naturaleza química del residuo (boratos, sulfatos, etc.).

CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS Y MATERIALES RADIATIVOS

La "gestión inicial" de un residuo radiactivo requiere un conocimiento lo más completo posible del mismo, desde que se genera hasta que está preparado para su evacuación o almacenamiento definitivo. Este conocimiento debe comprender fundamentalmente:

- composición radiactiva,
- composición química,
- características físicas,
- características mecánicas.

El primer conocimiento es fundamental, pues las características radiactivas de un residuo condicionarán tanto su acondicionamiento como su almacenamiento definitivo. Hoy en día se está investigando en métodos destructivos y no destructivos, entre los primeros caben destacar los encaminados a la

medida de nucleidos radiactivos de larga vida, como: C-14, Na-59, Na-63, Sr-90, Nb-94, I-129, Pb-210, Ra-226, Ra-228, etc., y entre los segundos la utilización de la espectrometría gamma para la caracterización radiactiva de bultos conteniendo residuos radiactivos acondicionados para su almacenamiento definitivo. Una característica muy importante del residuo acondicionado es su tasa de lixiviación frente al medio acuoso que puede existir en el almacenamiento definitivo. La medida de esta característica requiere la utilización de muchas de las técnicas anteriores.

La composición química es de gran importancia por lo que respecta tanto al tratamiento como al acondicionamiento. Se puede investigar en la puesta a punto de métodos, destructivos y no destructivos, con el fin de conocer, por ejemplo, la presencia de materiales orgánicos tóxicos, la detección de agua libre y poros en la matriz, etc.

Los métodos de ensayo para medir propiedades físicas y mecánicas deben comprender características tales como: densidad, fisuración, homogeneidad, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, porosidad, etc.

El conjunto de todo lo anterior debe ir dirigido fundamentalmente y a corto plazo a desarrollar la infraestructura y técnicas necesarias que sirvan de apoyo a un laboratorio, a escala nacional, para la caracterización de residuos de baja y media radiactividad.

CLAUSURA DE INSTALACIONES NUCLEARES

Hasta 1987, 43 reactores, con una potencia de 5,1 GWe, habían sido retirados del servicio y estaban en diferentes etapas del proceso de clausura. Para el año 2000, alrededor de 63 reactores, con una potencia de 12,8 GWe, tendrán más de treinta años de vida operativa y estarán cerca de ser clausurados. Por tanto, la clausura de instalaciones nucleares y la gestión de los residuos generados son uno de los más grandes desafíos de la energía nuclear.

Para llevar a cabo la clausura de una instalación nuclear o radiactiva es necesario, en la mayor parte de los casos, realizar actividades de desmantelamiento. Este tipo de trabajos vienen realizándose en mayor o menor escala, parcial o globalmente, desde que la energía nuclear y sus aplicaciones se introdujeron en nuestro país. A veces es conveniente, cuando es posible, realizar una descontaminación previa del equipo, sistema o instalación que se quiere desmantelar, para de esta forma producir la menor carga radiológica al personal que lleve a cabo estas operaciones.

En el momento actual, el CIEMAT está realizando la clausura de instalaciones obsoletas dedicadas a actividades de la primera parte del ciclo del combustible nuclear, a las que en un futuro inmediato se unirá el reactor JEN-1. La clausura de este reactor abre en nuestro país un proyecto de investigación orientado fundamentalmente al estudio, desarrollo y puesta a punto de técnicas sobre descontaminación y desmantelamiento, así como sobre tratamiento y acondicionamiento de los residuos radiactivos generados. La idea de este proyecto de investigación es disponer de una instalación de ensayos donde se puedan evaluar y desarrollar herramientas para el desmantelamiento y procesos de descontaminación.

No debemos olvidar que uno de los aspectos más importantes de la clausura de instalaciones nucleares es el reciclado de los materiales no radiactivos, pero cabe preguntarse qué se entiende por material no radiactivo cuando casi todas las sustancias naturales lo son, ¿cuál es el límite? Este es un gran tema de "investigación", tanto desde el punto de vista económico como radiológico.

Las líneas de investigación, dentro de este proyecto de clausura de instalaciones nucleares, en principio pueden ser:

- procesos y medios de descontaminación,
- técnicas y herramientas de corte,
- tratamiento y acondicionamiento de los residuos generados.

GESTIÓN "INICIAL" DE LOS RESIDUOS DE ALTA RADIATIVIDAD

Muchas y variadas causas han determinado que en el momento actual se considere a los combustibles irradiados o gastados, procedentes de nuestras centrales nucleares de agua ligera, como residuos de alta radiactividad y por tanto haya que pensar, sin duda a largo plazo, que previamente acondicionados tendrán que ser almacenados definitivamente como tales.

La "gestión inicial" de los combustibles irradiados o gastados comienza en el mismo momento en que son descargados del núcleo del reactor. La primera etapa de esta "gestión inicial" es su almacenamiento en las propias piscinas de los reactores para que decaigan su contenido radiactivo y su potencia calorífica hasta límites que permitan su transporte de forma segura a otro emplazamiento. La capacidad media de almacenamiento en nuestras centrales de agua ligera es de diez años, en las circunstancias actuales habrá que ampliarla utilizando técnicas húmedas o secas, bien en los propios reactores o

en un emplazamiento independiente centralizado.

De cualquier forma, con almacenamiento húmedo o seco y en el emplazamiento de los propios reactores o centralizado, será conveniente realizar controles y vigilancias de los combustibles irradiados almacenados utilizando técnicas no destructivas bien bajo agua o en celdas calientes, por lo que será necesario desarrollar y poner a punto algunas técnicas, fundamentalmente para el estudio de la integridad de las barras combustibles en condiciones de almacenamiento.

En el caso particular del almacenamiento en seco, cualquiera que sea la tecnología utilizada, no existe experiencia de tanto tiempo de almacenamiento como en el caso húmedo, por lo que será necesario llevar a cabo estudios de transmisión de calor para determinar la temperatura de la vaina de las barras combustibles en función de las características de los combustibles irradiados y de las condiciones de almacenamiento.

La segunda etapa de la "gestión inicial" de los combustibles irradiados es el acondicionamiento para su almacenamiento definitivo. No existe todavía un proceso industrial para llevar a cabo esta etapa aunque existen programas de investigación muy adelantados en países como Suecia y R.F.A.

En cualquiera de los conceptos a desarrollar, el bulto conteniendo el combustible irradiado debe presentar las siguientes características:

- buena integridad mecánica,
- baja corrosión,
- buena transmisión de calor,
- buena contención de la radiactividad.

Un programa inicial de investigación en nuestro país puede estar basado en los siguientes puntos:

- Desarrollo y puesta a punto de métodos y técnicas, destructivos y no destructivos, para una completa caracterización de los combustibles irradiados (inventario de productos de fisión, material fisionable, otros actínidos, características físicas y mecánicas, lixiviación de las vainas irradiadas, lixiviación de las pastillas de UO_2 , etc.).
- Estudio de los materiales de construcción de los contenedores utilizados para el almacenamiento definitivo (acero al carbono, cobre, titanio, acero inoxidable, hastelloy, etc.).

Para poder realizar el primero de los puntos propuestos es necesario disponer de instalaciones adecuadas (laboratorios y celdas calientes) de las que en este momento no se dispone en nuestro país, por lo que será necesario, a corto plazo, llegar a un acuerdo con alguna institución que disponga de experiencia y de dichas instalaciones

que bien pudiera ser el centro comunitario de investigación de Karlsruhe (R. F. A.).

La participación española en los proyectos internacionales LOFT y PHEBUS puede repercutir favorablemente en este programa, fundamentalmente en lo que se refiere a técnicas y métodos de caracterización de combustibles irradiados.

PROGRAMAS DE INVESTIGACION DE LA COMISION DE LA COMUNIDAD EUROPEA

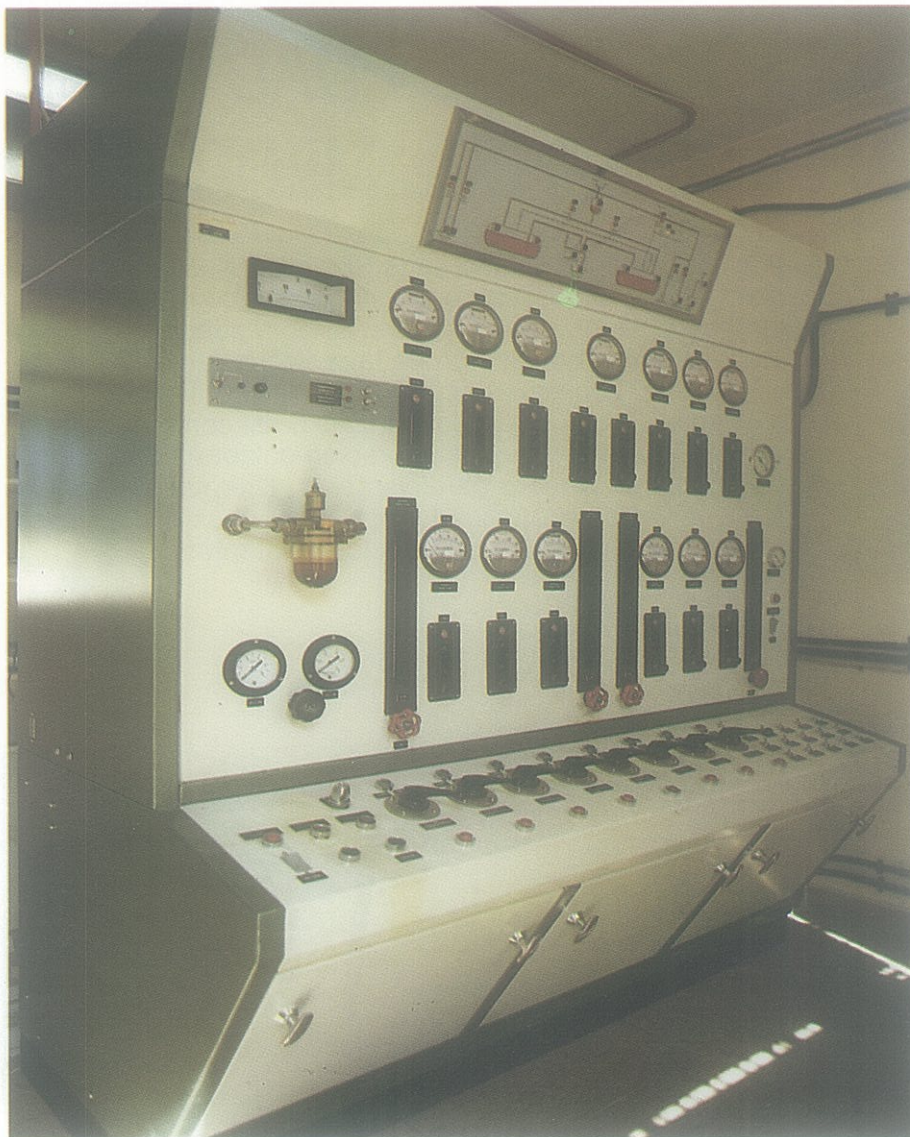
Por lo que se refiere a los residuos radiactivos y más en particular al "término fuente", hay dos programas de investigación aprobados por la Comisión de la Comunidad Europea, uno que se lleva a cabo en los centros comunitarios de investigación de Ispra (Italia) y Karlsruhe (R. F. A.) y otro de acción compartida con los países miembros. El programa actual de investigación (1988-1991) en los centros comunitarios comprende tres proyectos: operación de la instalación PETRA, control de actínidos y caracterización de residuos.

La instalación PETRA está situada en Ispra (Italia) y tiene como finalidad principal el estudio de los procesos de tratamiento y solidificación de los residuos procedentes del proceso PUREX aplicado al tratamiento de los combustibles irradiados, con el fin de optimizar las operaciones de la "gestión final" de dichos residuos. Esta instalación entrará en funcionamiento a finales de este año, y su futuro estará definido en función del interés de los países comunitarios u otros clientes.

El control de actínidos está orientado al desarrollo de un equipo de ensayos no destructivos para la determinación del plutonio contenido en los residuos acondicionados antes de su almacenamiento definitivo. Este proyecto se está realizando en Ispra (Italia).

La caracterización de residuos está orientada hacia los residuos de alta radiactividad vitrificados y los combustibles irradiados y será llevada a cabo en las celdas calientes del centro de Karlsruhe (R. F. A.).

El programa de acción compartida actual (1985-1989) está dividido en dos partes principales, y dentro de la primera hay seis grupos de actividades, de los cuales uno está dedicado exclusivamente al tratamiento y acondicionamiento de residuos y otro parcialmente a la caracterización de residuos. El programa actual (1984-1988) de la Comisión de las Comunidades Europeas sobre clausura de instalaciones nucleares se lleva a cabo totalmente en acción compartida con los países miembros. Este programa está dividido



F II Panel de control de Residuos Líquidos Radiactivos (RAA-MTR)

en dos partes, la primera comprende siete grupos de proyectos de investigación y desarrollo, de los cuales hay que destacar técnicas de descontaminación, técnicas de desmantelamiento y tratamiento de materiales residuales (acero, hormigón, grafito, etc.). La segunda parte comprende fundamentalmente los ensayos de nuevas técnicas de clausura en condiciones reales que se llevan a cabo en equipos o instalaciones de los países comunitarios.

La participación actual española en estos programas comunitarios de investigación comprende, además de la presencia de personal de ENRESA y CIEMAT en los diferentes grupos de trabajo, los siguientes proyectos de acción compartida:

- Acondicionamiento de materiales cambiadores de ión de reactores nucleares. Realizado por el CIEMAT y financiado por ENRESA.

- Identificación de radionucleidos en bultos por métodos no destructivos. Realizado por el CIEMAT y financiado por ENRESA.
- Desarrollo de un sistema de electropulido bajo agua en circuito cerrado. Realizado y financiado por ENSA (Equipos Nucleares, S. A.).
- Desarrollo de un equipo de descontaminación vibratoria en medio abrasivo. Realizado y financiado por ENSA (Equipos Nucleares, S. A.).

Todo lo expuesto trata de resumir genéricamente las actividades de investigación que el CIEMAT propone dentro de la «gestión inicial» de los residuos radiactivos y de la clausura de instalaciones nucleares, tratando fundamentalmente de que sean acordes con los planes y programas de investigación y desarrollo, tanto de ENRESA como de la Comisión de las Comunidades Europeas.