

Interior del reactor avanzado refrigerado por gas de Windscale, Reino Unido, que está siendo clausurado. (Cortesía: UKAEA)

El programa de investigación de la Comunidad Europea — La próxima fase

El desmantelamiento y el tratamiento de desechos son las actividades fundamentales

por B. Huber



En 1979, la Comunidad Europea comenzó su primer programa quinquenal de investigación sobre la clausura de centrales nucleoelectricas. Las organizaciones y empresas de los Estados Miembros pusieron en práctica dicho programa con arreglo a 51 contratos de investigación, en su mayoría del tipo de participación en los gastos.* En 1984 se inició un segundo programa quinquenal de un alcance más general, a saber, la clausura de instalaciones nucleares.

Al aprobar el segundo programa, el Consejo de las Comunidades Europeas estableció el objetivo general de éste: "Algunas partes de las instalaciones nucleares se vuelven inevitablemente radiactivas durante las operaciones; por lo tanto, es indispensable hallar soluciones eficaces que permitan garantizar la seguridad y la protección de la humanidad y del medio ambiente contra los riesgos potenciales que entraña la clausura de estas instalaciones."

La protección contra estos riesgos potenciales significa aislar al hombre y su medio ambiente de la radiactividad con barreras apropiadas. Puesto que en una instalación nuclear ya existen fuertes barreras de radiactividad, el almacenamiento in situ de los componentes radiactivos es un modo posible de aislar la radiactividad hasta tanto se hayan extinguido gradual-

mente los radionucleidos de período más corto que predominaban al inicio. A la larga, sin embargo, el material radiactivo remanente deberá trasladarse a un repositorio final o de desechos radiactivos, ya que en éste se logra un mejor aislamiento a largo plazo y ello permite que el emplazamiento de la instalación se utilice para otros fines.

Esta transferencia, que entraña la eliminación de las barreras radiactivas existentes y la creación de otras, constituye una fase decisiva de la clausura. En consecuencia, la parte principal del programa se ha destinado a las operaciones de esta fase, es decir, al desmantelamiento y la descontaminación de los componentes de las centrales, así como al tratamiento y embalaje de los materiales de desecho resultantes.

El esfuerzo principal del programa se ha encaminado a suministrar técnicas y procedimientos eficaces para la clausura, tomando en cuenta la protección contra las radiaciones, la restricción de la generación de desechos radiactivos y la eficacia en función de los costos. Aunque es posible que en la clausura se puedan aplicar diversas técnicas tradicionales, es necesario mejorar su comportamiento, perfeccionarlas y caracterizarlas a fin de satisfacer requisitos especiales relacionados con la radiactividad —por ejemplo, el control de la contaminación del aire y la manipulación a distancia.

Otro objetivo ha sido suministrar la información básica necesaria sobre la clausura como, por ejemplo, datos relativos a la distribución, el nivel y la composición de radionucleidos de la radiactividad asociada con las instalaciones nucleares cerradas. Un tercer objetivo ha sido determinar y desarrollar características de diseño de las centrales que faciliten la clausura.

El Sr. Huber está a cargo del programa de clausura del Consejo de las Comunidades Europeas, Bruselas.

* Véase *Decommissioning of Nuclear Power Plants*, Actas de una conferencia europea celebrada en Luxemburgo, del 22 al 24 de mayo de 1984, editadas por K.H. Schaller y B. Huber, EUR 9474, Graham & Trotman Ltd (1984).

Programa de investigación de la Comunidad Europea sobre clausura, 1984-1988

Proyectos de investigación y desarrollo

- Integridad a largo plazo de edificios y sistemas
- Descontaminación con vista a la clausura
- Técnicas de desmantelamiento
- Tratamiento de determinados materiales de desecho: acero, hormigón y grafito
- Contenedores de gran capacidad para desechos radiactivos provenientes del desmantelamiento de instalaciones nucleares
- Estimación de las cantidades de desechos radiactivos provenientes de la clausura de instalaciones nucleares de la Comunidad
- Influencia de las características de diseño de la instalación sobre la clausura.

Determinación de los principios rectores

- para el diseño y funcionamiento de las instalaciones nucleares, con miras a simplificar su posterior clausura
- para la clausura de las instalaciones nucleares

Ensayo de nuevas técnicas

- En condiciones reales, en el marco de las operaciones de clausura a gran escala que han iniciado los Estados miembros de la CCE

Integridad de los edificios y sistemas

Si se tiene en cuenta, por ejemplo, que es típico que la tasa de dosis de radiación proveniente del acero inoxidable activado disminuye en un factor de más de 100 000 durante un período de 100 años, el almacenamiento in situ de las centrales nucleoelectricas parece ser una forma eficaz de facilitar el desmantelamiento y tratamiento finales de los materiales radiactivos. Hasta la fecha, el almacenamiento in situ ha sido el procedimiento preferido para las centrales nucleoelectricas con fines industriales que ya se han cerrado. Con arreglo al programa de la Comunidad se han investigado las consecuencias derivadas del almacenamiento durante largos períodos que fluctúan entre varios decenios y cerca de 100 años.

Se han estudiado medidas para garantizar que las centrales permanezcan en condiciones de seguridad, fundamentalmente a través de medios pasivos y con un mínimo de vigilancia y mantenimiento permanentes. Se determinaron sistemas que se puedan mantener en funcionamiento o en condiciones de funcionamiento (de manera que contribuyan al desmantelamiento de la central).

Se han estudiado el modo y ritmo de degradación de los diversos materiales empleados en las centrales nucleoelectricas. Esto entrañó la inspección de las centrales (para determinar las zonas críticas) y el examen de muestras. Se han propuesto medidas para impedir o controlar la degradación.

Estos estudios no indicaron ningún problema que pusiera en tela de juicio la viabilidad del almacenamiento in situ de las centrales nucleoelectricas paradas.

Procedimientos de descontaminación

La contaminación superficial representa sólo una cantidad insignificante de radiactividad en comparación con la activación interna por exposición neutrónica de

los componentes cercanos al núcleo del reactor. Sin embargo, aquella se disemina por una mayor diversidad de componentes y es más fácilmente accesible. La activación se produce solamente en los reactores, si bien la contaminación superficial también ocurre en otros tipos de instalaciones nucleares. En consecuencia, ésta constituye una fuente importante de desechos de actividad baja y plantea un problema de protección radiológica en las operaciones de clausura.

La descontaminación superficial, o sea, la eliminación de la capa radiactiva superficial de un componente de la central, facilita la manipulación y el tratamiento posteriores de ese componente. La sustancia radiactiva que se elimina deberá concentrarse en un pequeño volumen de desechos secundarios que se pueda acondicionar fácilmente para su evacuación. Si la descontaminación es lo suficientemente eficaz, se puede considerar el componente tratado como material no radiactivo. Por tanto, esta es una forma de reducir el volumen total de desechos radiactivos y recuperar materias primas valiosas.

La descontaminación con fines de la liberación no restringida no es todavía un procedimiento rutinario. En el caso de muchos componentes nucleares, la información disponible es insuficiente para determinar si la descontaminación es adecuada, teniendo en cuenta la exposición a la radiación, la producción de desechos secundarios y el costo concomitantes. Las características que favorecen la labor de descontaminación son una baja actividad y profundidad de penetración de la contaminación, así como una baja relación entre el volumen y la superficie del componente. La gama de componentes en que es factible efectuar la descontaminación con vista a la liberación no restringida se está ampliando con el desarrollo de procedimientos de descontaminación más eficaces. Tales procedimientos pueden ser más dinámicos que los que existen en el presente, ya que el debilitamiento de los componentes tratados es aceptable.

Como requisito previo para la labor de descontaminación, se realizaron investigaciones sobre la distribución, y la composición de los radionucleidos, y la naturaleza química y la profundidad de penetración de la contaminación superficial de las centrales nucleoelectricas. Con respecto a la descontaminación de componentes de acero, la investigación se ha centrado en métodos químicos y electroquímicos de gran eficacia. En cuanto a la descontaminación del hormigón se ha desarrollado la escarificación por llama, técnica que emplea un soplete oxiacetilénico para remover las capas superficiales delgadas.

Técnicas de desmantelamiento

Al efectuar la clausura de las instalaciones nucleares, se deben desmantelar las estructuras y los componentes radiactivos de gran envergadura. Entre los ejemplos más importantes figuran:

- Las partes internas altamente radiactivas de los reactores de agua ligera fabricadas con acero inoxidable de hasta cien milímetros de espesor
- Las vasijas de presión de los reactores de agua ligera de acero al carbono, con revestimiento de acero inoxidable y espesor de hasta 300 milímetros en la pared y hasta 600 milímetros en el reborde de la vasija

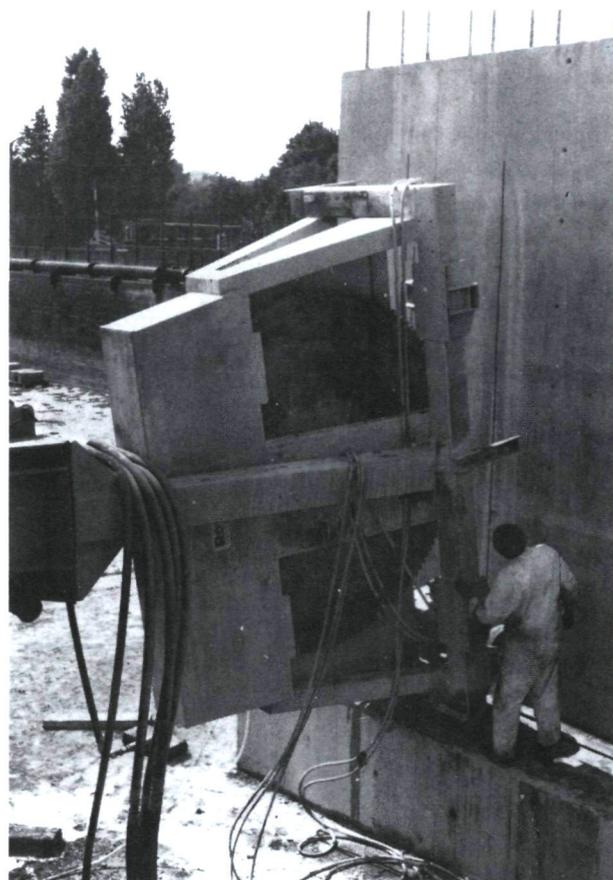
- Las estructuras de blindaje biológico construidas con hormigón armado de varios metros de espesor.

El desmantelamiento de los componentes de elevada radiactividad debe hacerse a distancia con un blindaje radiológico adecuado para la protección del personal. Siempre que sea posible, los cortes pueden realizarse bajo el agua.

Para la clausura pueden emplearse diversas técnicas de desmantelamiento convencionales. En términos generales, las técnicas de corte térmico permiten alcanzar altas tasas de rendimiento, pero plantean problemas debido a la producción de partículas finas. Las técnicas mecánicas suelen ser más lentas y requieren manipuladores pesados.

En relación con el corte de componentes de acero, la investigación se ha centrado en tres técnicas térmicas: el corte con plasma (incluida la operación bajo el agua); el corte con plasma-oxígeno y el corte con láser. De ahí que se hayan investigado en especial las características de los aerosoles que se producen y el comportamiento de los distintos sistemas de filtrado de las descargas gaseosas.

Para el desmantelamiento de las estructuras de hormigón armado radiactivo, se ha construido una sierra circular con punta de diamante que alcanza tasas de corte sustancialmente más altas que los equipos disponibles hasta el momento. Durante una prueba final de la sierra, se cortó un metro cúbico de una pared de hormigón armado. Como opción al corte con sierra se están investigando las técnicas de explosivos a fin de emplearlas con un alto grado de control.



Sierra circular con punta de diamante, desarrollada y probada para desmantelar estructuras gruesas de hormigón de centrales nucleares. (Cortesía: CEGB)

Tratamiento de materiales de desecho

Los desechos provenientes del desmantelamiento de instalaciones nucleares consisten principalmente en acero y hormigón, y en grafito en el caso de los reactores refrigerados por gas. Se han investigado métodos para tratar esos materiales con vista a su evacuación, o siempre que sea posible con el acero, para su reutilización.

El acondicionamiento de los desechos de acero radiactivo mediante fusión ofrece varias ventajas en cuanto a la evacuación, ya que permite reducir el volumen, inhibir la contaminación superficial mediante su incorporación en el elemento metálico principal, y reducir la superficie vulnerable al ataque de la corrosión. Por otra parte, el efecto descontaminante de la fusión es importante con respecto al reciclaje del acero. Cuando se trata de superficies contaminadas de geometría compleja o de difícil acceso, la fusión permite determinar la radiactividad con más precisión.

Se han efectuado ensayos de fusión con acero radiactivo de baja intensidad de distintos tipos de reactores. Se ha prestado especial atención a la distribución de los distintos radionucleidos en el componente metálico, la escoria y la descarga gaseosa. Como cabía esperar, los elementos radiactivos de los metales, como el cobalto y el níquel, estaban distribuidos por todo el lingote de metal. El cesio no está contenido en el metal, pero puede quedar en la escoria. Continúan los trabajos en materia de fusión y se iniciarán otros con la escoria de acero contaminada con actínidos.

Se están elaborando técnicas de revestimiento con resinas de polímeros a fin de fijar de manera duradera la contaminación superficial en el metal y el hormigón. Se

están realizando investigaciones con soluciones de silicato para aglutinar el polvo de hormigón.

En lo que atañe a los desechos de grafito, se han evaluado distintas modalidades de gestión: la incineración, la evacuación en el mar, los enterramientos someros y la evacuación en formaciones geológicas a gran profundidad. Las investigaciones consistieron en la determinación del inventario de los radionucleidos del grafito del reactor; estudios conceptuales del diagrama de procesos del incinerador y de los embalajes de desechos; pruebas de lixiviación de muestras de grafito irradiado; y estimaciones de los efectos radiológicos y los costos. Parece ser que todas las modalidades de gestión examinadas en este estudio genérico merecen una investigación más amplia y que la selección de la modalidad óptima debe hacerse en un contexto concreto.

Contenedores de gran volumen para desechos

Los desechos radiactivos provenientes del desmantelamiento de las instalaciones nucleares deberán transportarse y evacuarse en contenedores más grandes que los empleados hasta el presente para otros tipos de desechos radiactivos, a fin de reducir la cantidad de cortes requeridos. En un estudio inicial, se elaboraron diseños conceptuales de un contenedor de hormigón armado desechable y —en el caso del material radiactivo de actividad superior— de contenedores de hierro colado reutilizables. En estudios futuros también se analizarán

los contenedores de hierro colado desechables producidos mediante el reciclado de residuos de acero radiactivo de actividad baja.

Estimación de la generación de desechos radiactivos

Los desechos radiactivos de actividad baja provenientes del desmantelamiento de instalaciones nucleares constituirán, en última instancia, una parte sustancial del volumen global de los desechos radiactivos generados por la industria nuclear. En consecuencia, para planificar las instalaciones de evacuación de desechos es preciso calcular la futura generación de esos desechos. Es necesario conocer la radiactividad asociada con los desechos, con especial referencia a los radionucleidos de período largo, para clasificar los distintos tipos de desechos en relación con las modalidades de evacuación apropiadas. También es necesario el conocimiento para predecir la reducción de los niveles de irradiación en función del tiempo, que es uno de los factores importantes que se han de tener en cuenta al determinar la fecha de desmantelamiento. La determinación de esa fecha, a su vez, permitirá precisar el momento en que se requerirán las instalaciones de evacuación. Dado que este proyecto entraña la definición de estrategias de referencia para actividades de clausura, se considera como una tarea a largo plazo.

Se midió el contenido de radionucleidos en las muestras de acero activado y de hormigón procedentes de los reactores de agua en ebullición de las centrales paradas, y en especial se determinó, mediante el examen de muestras de perforaciones, el espesor de la capa interna activada de los blindajes biológicos.

Los oligoelementos cuyas concentraciones no se indican en las especificaciones de los materiales constituyen algunos de los elementos básicos pertinentes para la activación del acero y el hormigón. Es necesario disponer de datos sobre estas concentraciones, en ocasiones al nivel de partes por millón, para calcular la activación. A fin de explorar los intervalos de las concentraciones de oligoelementos pertinentes previstos en los materiales de los reactores, se analizaron muestras no radiactivas de diferentes procedencias.

Se elaboró una metodología para evaluar las consecuencias radiológicas de distintas modalidades de gestión para el acero y el hormigón de actividad muy baja de las centrales nucleoelectricas desmanteladas. Es necesario disponer de esa metodología para poder definir los niveles de radiactividad mínimos.

Un tema que despierta cada vez más interés es la medición de la radiactividad de los materiales sólidos procedentes del desmantelamiento.

Características de diseño

El diseño de las instalaciones nucleares ha evolucionado progresivamente y muchas mejoras introducidas en su explotación también harán más fácil la clausura.

Ejemplo de ello son las mejoras en las barreras contra la radiactividad, como las vainas del combustible y los generadores de vapor, que reducen la contaminación de las centrales nucleoelectricas. Por otra parte, la ampliación de los requisitos de seguridad han hecho que aumente el volumen de componentes y estructuras que han de tenerse en cuenta en la clausura.

Se examinaron las características de diseño que facilitan la clausura de las centrales nucleoelectricas. Aunque los requisitos relacionados con la seguridad y fiabilidad del funcionamiento del reactor, así como los aspectos relativos a la eficacia en función de los costos, limitan la libertad de acción para modificar los diseños de las centrales, parece que vale la pena realizar una investigación más rigurosa de determinadas características. Un ejemplo de ello es la fabricación de materiales exentos de cobalto para reemplazar las aleaciones de cobalto utilizadas en los circuitos de refrigeración del reactor, por ejemplo, los asientos de las válvulas.

Determinación de los principios rectores

Se considera que la determinación de los principios rectores en la esfera de la clausura es una tarea a largo plazo, ya que debe basarse en un conjunto apropiado de información técnica. Al respecto, en diversos estudios relacionados con este tema se incluye el programa de la Comunidad. Además, se ha reunido el material existente en los Estados miembros de la CCE, material que podría servir de base para los principios rectores.

Al parecer, los sistemas vigentes de autorización y control, conjuntamente con las normas de protección radiológica que están en vigor, ya permiten la clausura de las centrales nucleoelectricas según las circunstancias que concurren en cada caso. Ahora bien, no existen reglamentos técnicos precisos respecto de la clausura. Una incertidumbre fundamental relacionada con la clausura, es decir, la liberación de emplazamientos para su reutilización, radica en la ausencia de criterios concretos con miras a establecer una distinción entre el material no radiactivo y el radiactivo.

Ensayo de técnicas en condiciones reales

Algunas de las técnicas de clausura en proceso de elaboración ya se han ensayado en condiciones reales y en una escala significativa durante la aplicación del programa de 1979-1983 de la CCE. Ejemplo de ello son la descontaminación de los componentes de acero y las superficies de hormigón de una central de reactor de agua en ebullición parada, y la utilización del electropulido y la escarificación por llama.

En la actualidad, el ensayo en condiciones reales ha pasado a ser una parte importante del programa, que supone actividades de descontaminación y desmantelamiento en diversas centrales nucleoelectricas y plantas de fabricación de combustible paradas.

