



## **DESCONTAMINACIÓN MECÁNICA DE COMPONENTES NUCLEARES**

**Alfredo HEY<sup>1</sup>, Santiago HARRIAGUE<sup>2</sup> y Silvio FABBRI<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Investigador Consulto. Comisión Nacional de Energía Atómica.

<sup>2</sup> Investigador. Comisión Nacional de Energía Atómica.

### **RESUMEN**

Diversas instalaciones nucleares, civiles y militares, construidas a lo largo de los últimos cincuenta años están llegando al fin de su vida útil, planteándose la necesidad de su desmantelamiento. Buena parte de estas instalaciones se encuentra contaminada o activada radioactivamente, requiriendo técnicas de procesamiento considerablemente más complejas que las habituales para este tipo de operaciones. La reducción de actividad es factible a través de operaciones de descontaminación de muy diversa índole que posibilitan la concentración de los elementos activos en volúmenes reducidos, para su almacenamiento seguro en condiciones controladas, y la liberación de mayores volúmenes como material libre de contaminación.

En el presente trabajo se revisan las técnicas mecánicas de descontaminación disponibles y se describen algunas aplicaciones prácticas de las mismas.

Se muestra que las técnicas disponibles permiten alcanzar grados de descontaminación compatibles con la necesidad de disponer de manera segura de los residuos del desmantelamiento de las instalaciones actuales. No obstante, es evidente que existen aún amplias posibilidades de mejora de dichas técnicas que, ciertamente, tendrán demanda creciente en el futuro.

Se plantea, asimismo, la conveniencia de que las lecciones aprendidas se incorporen al diseño y construcción de las nuevas instalaciones que se construyan.

### **ABSTRACT**

A number of nuclear installations, civilian and military, built during the last fifty years are reaching the end of their useful life and are being decommissioned. These installations are, to a large extent, radioactively activated or contaminated, requiring processing techniques far more complex than those usually employed in these type of operations. The reduction of activity is feasible through different decontamination procedures allowing the concentration of the active elements in reduced volumes, for safe storage under controlled conditions, and the liberation of large volumes of contamination free material.

The available techniques for mechanical decontamination are reviewed and some examples of their use are given.

It is shown that the current techniques are apt to reach decontamination degrees compatible with the requirements for safe disposal of the residues of decommissioning of present installations. That notwithstanding, it is evident that there are still ample opportunities for improvement of such techniques that, certainly, are to be increasingly demanded in the future.

The convenience that the lessons learned are incorporated in the design and construction of the new installations to be built is pointed out.



## INTRODUCCIÓN

La construcción de instalaciones nucleares de capacidad industrial comenzó a comienzos de la década del 40 en los países que se verían involucrados en la Segunda Guerra Mundial y su finalidad era la producción de armas nucleares. Esta capacidad siguió creciendo luego, a impulsos de la llamada Guerra Fría, hasta 1990 al culminar dicho conflicto. Conflicto que, ciertamente, fue dirimido en base a supremacías tecnológicas e industriales y no por acciones bélicas. El arsenal nuclear, y las plantas para producirlo, se tornaron redundantes y comenzaron a ser desmantelados.

Terminada la II Guerra, comenzaron a instalarse centrales nucleares destinadas a la producción de energía eléctrica. Las correspondientes a las primeras generaciones ya alcanzaron el final de su vida útil y están siendo desmanteladas.

El desmantelamiento de esta suma de instalaciones militares y civiles involucra operaciones de naturaleza y magnitud nunca antes encaradas. En particular han debido desarrollarse técnicas de descontaminación y desmantelamiento de una tremenda diversidad. La generosa disponibilidad de recursos del sector militar ha permitido encarar desarrollos de técnicas complejas y hasta insólitas. Buena parte de ellas son aprovechables en el desmantelamiento de instalaciones civiles.

Se revisan a continuación algunas de las técnicas de descontaminación utilizadas en el tratamiento de instalaciones civiles.

## CONTAMINACIÓN

Pueden reconocerse, a grandes rasgos, dos tipos de contaminación:

a) Contaminación superficial. Ejemplos son:

- Desarrollo de productos de corrosión en la superficie interior de cañerías y conductos de sistemas fluidos, que pueden atrapar partículas radioactivas.
- Depósito de contaminación transportada por el aire sobre paredes, pisos y componentes durante la operación de la instalación.
- Deposición de contaminantes radiactivos sobre superficies en contacto con fluidos radiactivos derramados.

b) Contaminación profunda: puede resultar de activación del material o de la absorción de material radiactivo. Ejemplos son:

- Activación neutrónica, que puede alcanzar profundidades considerables en el material expuesto.
- Agua con radionucleídos disueltos, que puede absorberse y difundir en el hormigón.
- Gas tritio, que puede migrar dentro del material y alcanzar profundidad. Esta contaminación profunda puede posteriormente migrar hacia superficies.



## **DESCONTAMINACIÓN**

La descontaminación consiste, básicamente, en la remoción de un determinado espesor del material no deseado de paredes, pisos, equipos o componentes contaminados.

Buena parte de los métodos de descontaminación aplicados en operaciones de desmantelamiento de instalaciones fueron desarrollados para ser usados durante la operación normal de las mismas. Incidentes ocurridos durante la operación pueden resultar en filtraciones, derrames, etc, que requieren acciones correctivas de descontaminación. La aplicación de conceptos ALARA (As Low As Reasonably Achievable – tan bajo como razonablemente logable) de protección radiológica y la necesidad de mantener las dosis ocupacionales por debajo de los límites regulatorios pueden a veces llevar a la descontaminación de componentes, típicamente por remoción de capas de óxido. Asimismo, las operaciones normales de mantenimiento pueden requerir la descontaminación de los componentes afectados a fin de posibilitar un acceso del personal a los mismos con el mínimo de exposición a la radiación. En tanto dichos componentes han de ser reutilizados, los métodos de descontaminación deben eliminar el material contaminante sin afectar notablemente la integridad del componente. Una variedad de métodos químicos han sido desarrollados para este fin, en particular para instalaciones que incluyen recipientes y tuberías. En general se trata de soluciones diluidas con baja concentración de reactivos que eliminan el contaminante sin afectar el metal base. En el caso de operaciones de desmantelamiento, la integridad del componente no es, por lo general, de relevancia y pueden utilizarse soluciones más concentradas y agresivas así como métodos electroquímicos. Los métodos químicos son aplicables en casos de contaminación superficial. Alternativamente, y en casos de contaminación profunda, se aplican los métodos mecánicos que se consideran en el presente trabajo.

## **DESCONTAMINACIÓN MECÁNICA**

La descontaminación mecánica implica la remoción de un determinado espesor, más o menos considerable, del material contaminado de paredes, pisos, equipos o componentes.

Desventajas operativas generales a todos los métodos mecánicos:

- Por lo general requieren tiempo considerable.
- Por lo general son trabajo-intensivos.
- Por lo general generan contaminación en el aire.
- Por lo general generan residuos sueltos (escombros, polvos, virutas, etc).
- En procesos húmedos, se genera un residuo líquido o barroso.
- Las superficies a descontaminar deben ser accesibles.

Ventaja general en construcciones:



- En lugar de disponer, como residuo, del piso, pared o componente completos, sólo se debe disponer del material contaminado que se ha removido.
- Suele ser la única alternativa para descontaminar superficies porosas.

## **DESCONTAMINACIÓN DE EDIFICACIONES**

Buena parte de los esfuerzos de descontaminación de una instalación nuclear son absorbidos por la limpieza de los pisos y muros de la misma. Que pueden haber sufrido contaminación superficial o, eventualmente, profunda por exposición a líquidos o gases activos, o en el caso de muros y blindajes del recinto de un reactor, por activación neutrónica. Algunas de las opciones para descontaminar muros de mampostería o concreto, en orden creciente de espesor removido, son:

- Barrido, aspirado, repasado, fregado (dusting, vacuuming, wiping, scrubbing): se remueven polvo, aerosoles y partículas de la superficie usando técnicas usuales de limpieza. La aspiración es un pre-tratamiento útil; por ej., las celdas calientes de hormigón de Riso en Dinamarca fueron aspiradas remotamente antes de descontaminarlas. En Chernobyl se usaron aspiradoras diseñadas especialmente con sistemas de filtrado.
- Recubrimientos removibles (strip coatings): se deposita un recubrimiento o membrana plástica sobre la superficie (p.ej. polietileno o PVC). Al despegar el recubrimiento, arrastra contaminantes depositados sobre la superficie. También se usan estos recubrimientos removibles para fijar contaminación y para evitar la contaminación de superficies limpias o descontaminadas.
- Enjuague con agua (flushing): se inunda la superficie con agua fría o caliente y se la recoge. El agua disuelve compuestos químicos, erosiona y lava material suelto en la superficie.
- Hidrolavado (hidrojet): usa agua a alta presión (30 a 1000 bar) para remover capas superficiales. Genera grandes cantidades de residuos líquidos, pero el agua puede reciclarse dado que no se utilizan productos químicos. El diseño de la boquilla y su distancia a la superficie son parámetros importantes.
- Limpieza con vapor (steam jet): combina la acción solvente del agua caliente con la energía cinética del chorro. Es útil para formas complejas y grandes superficies, incluso cuando contienen grasas o aceites; también para remover partículas de suelo contaminado de excavadoras. Genera relativamente pocos residuos secundarios si el vapor es recolectado por una extracción de vacío y condensado.
- Abrasión por impacto, granallado (abrasive blasting): se impulsa un abrasivo (arena, granallas de acero, partículas de vidrio o de cerámicos, etc) a gran velocidad contra la superficie a descontaminar, removiendo los contaminantes y parte del material base. Según las condiciones establecidas se puede producir desde un pulido superficial hasta el desprendimiento significativo de material. Se lo puede aplicar en vía seca o húmeda. Las condiciones y el abrasivo se eligen en base al tipo de contaminación, el grado de descontaminación deseado, complejidad de la superficie, etc. Se analiza en detalle más adelante.



- Amolado, afeitado (grinding, shaving): se usan discos abrasivos de diamante de grano grueso sin y con refrigeración de agua, o discos múltiples de carburo de tungsteno. Recomendado cuando se deben remover capas delgadas de contaminación. Se ha usado en Japón, en Los Álamos, en el reactor C de Hanford y en las chimeneas de los reactores de Windscale.
- Fresado (milling): usa fresas rotatorias con dientes de diamante, carburo de tungsteno, etc, para arrancar capas de material; es más eficiente cuando hay gran cantidad de piezas de forma similar, o bien grandes superficies. Se ha usado en la planta K-25 de Oak Ridge y en el reactor CP-5 de Argonne.
- Perforado y descascarado (drilling – spalling): se perforan orificios de unos 75 mm de profundidad y 25-40 mm de diámetro en los cuales se inserta una herramienta accionada hidráulicamente con un tubo expandible. Se fuerza hidráulicamente un mandril cónico dentro del orificio para dispersar los “dedos” y descascarar el hormigón. Se recomienda para contaminación de varios cm de penetración en hormigón; se ha probado en el reactor C de Hanford.
- Mezcla expansiva: se fractura el hormigón perforando orificios y rellenándolos con una mezcla adecuada. Al fraguar la mezcla se expande y fractura el cemento.
- Escarfado (scabber – scarifier): tiene cabezales múltiples operados a aire comprimido, cada uno de los cuales tiene brocas de tungsteno de 5 ó 9 puntas. Es efectivo si se lo usa en conjunto con un sistema eficiente de filtrado de vacío. Muy empleado en Three Mile Island.
- Martillos neumáticos (jackhammers) y percutores: accionan la punta de un cincel o un punzón con gran energía de impacto contra la superficie de cemento. Los martillos neumáticos se usan principalmente en pisos debido a su gran peso y dificultad de maniobra, mientras que los percutores son más adecuados para paredes y cielorrasos.
- Explosivos: permiten controlar bien la cantidad de material removido y la contaminación en el aire. Se comienza por taladrar orificios para colocar las cargas explosivas, las que pueden ser rellenas con arena de ser necesario. Se sellan los orificios con mezcla y se usan recubrimientos de tela y rociadores de agua para contener el polvo y escombros resultantes de la explosión.
- Corte con sierra de diamante: Se utiliza una sierra de cadena, cuyos eslabones contienen dientes de diamante, para cortar grandes secciones de hormigón, incluyendo la armadura de acero. Se utilizó para remover la pared interna del recipiente de hormigón pretensado en Fort St. Vrain

## DESCONTAMINACIÓN DE TUBERÍAS

Las instalaciones nucleares incluyen, generalmente, vastas cantidades de tuberías de distintas características y dimensiones, que conducen líquidos eventualmente activos. Su descontaminación implica un interesante desafío cuando se encara el desmantelamiento de la planta. En general se aplica la experiencia, y los dispositivos y procedimientos, utilizados en otras industrias (química, petroquímica, alimentación, etc) que emplean



tuberías, con las adaptaciones del caso que el ambiente activo de trabajo impone. Algunos de ellos son:

- Cepillos bruñidores rotativos (rotating brush-hone): consisten de un gran número de cerdas radiales de nylon rígido, con esferas de carburo de silicio en sus extremos. Semeja un cepillo y puede cubrir diámetros de cañería entre 1 cm y 1 m. Se rota dentro de la cañería a velocidades entre 150 y 200 rpm, usando agua tanto para lubricar como para arrastrar los desprendimientos. El abrasivo montado en las cerdas puede seguir las irregularidades de la superficie interna, removiendo así la capa adherida en toda la superficie interior de la cañería.
- Cepillos, cuchillas y raspadores rotativos (rotating brushes, cutters & scrapers): usan la fuerza centrífuga para mantenerse en contacto con la superficie interior de la cañería durante su limpieza. En el caso de cuchillas, tienen bisagras para permitir su expansión, mientras que los cepillos y raspadores se expanden en ranuras que permiten el contacto con la superficie interior. Pueden tener accionamiento neumático, hidráulico o eléctrico. Cubren diámetros entre 1 y 30 cm.
- Baquetas (pigs): pueden ser cuerpos de plástico en forma de bala, forzados dentro de la cañería por la presión de un fluido, los que limpian durante su avance al remover partículas sueltas y barros hacia delante en su avance. Alternativamente, la superficie puede estar cubierta de abrasivos o con cepillos de alambre para mejorar la remoción de material.
- Lanzas de limpieza: utilizando lanzas rígidas o flexibles que se deslizan a lo largo del interior de la tubería para proyectar por su extremo, utilizando la tobera apropiada, algunas de las sustancias limpiadoras que se han mencionado anteriormente: agua a presión, vapor, partículas y granallas abrasivas, barros abrasivos, y otros que se mencionarán posteriormente.

## DESCONTAMINACIÓN DE COMPONENTES Y PARTES

En virtud de la gran variedad de tamaños, geometrías y materiales, cada componente a desmantelar constituye un problema particular para su remoción, seccionamiento y descontaminación previo a su disposición. Se utilizan una variedad de métodos de descontaminación, tales como los mencionados previamente: lavado con agua a presión, con vapor, cepillados, maquinados, abrasivos, etc. Quizá los más utilizados son variantes de abrasión por impacto o granallado, que, como se dijo, aprovecha la energía cinética de partículas proyectadas a gran velocidad, por medios líquidos o gaseosos, para remover material, contaminante y base, de la superficie del componente.

Los métodos secos, como el arenado, se utilizan desde fines del siglo XIX. El abrasivo es impelido por aire comprimido o por turbinas. Se obtienen remociones uniformes del contaminante. Los abrasivos son reciclados para minimizar los residuos secundarios. No se utiliza cuando el material puede romperse por efecto del impacto del abrasivo (vidrio, acrílicos). Antes de la aplicación deben eliminarse aceites y grasas y se deben eliminar o neutralizar los contaminantes combustibles. Debe también cuidarse la formación de mezclas explosivas de polvos, como puede ocurrir en los casos de aluminio y magnesio.

Abrasivos usados:



- Minerales (magnetita, arena; no se recomienda sílica por ser sus polvos generadores de silicosis y ser moderadamente tóxica).
- Granallas de acero,
- Cerámicos, carburo de silicio, alúmina, esferas de vidrio.
- Partículas plásticas.
- Productos naturales, como cáscara de arroz, cáscara de nuez, marlo.
- Ventajas de los métodos abrasivos:
- En muchos casos los equipos están desarrollados y disponibles comercialmente, incluso para operaciones remotas.
- Se puede remover contaminación fuertemente adherida, incluso depósitos de corrosión. También hay disponibles herramientas especiales para limpiar el interior de tanques y cañerías.
- Requiere tiempos relativamente breves.
- Desventajas:
- Generalmente generan muchos residuos si no se tiene disponibles recirculación y/o reciclado de agua y/o de abrasivos.
- A veces es difícil controlar la cantidad de material base removida.
- En la vía seca se requiere un control de polvos. En la vía húmeda se produce una mezcla de gotas de agua y polvo a veces difícil de tratar.
- Se debe cuidar la introducción de contaminación dentro del material, lo que puede impedir alcanzar los límites para liberación.

Algunas variantes modernas de medios abrasivos son

**Espojas:** se lanzan contra la superficie esponjas de poliuretano con agua, las que al expandirse y contraerse tienen un efecto limpiador. Se pueden usar esponjas agresivas impregnadas con abrasivos para erosionar pinturas, herrumbre o recubrimientos protectores.

**Hielo seco:** se usan pellets de CO<sub>2</sub>. Es efectivo en plásticos, cerámicos, composites y aceros inoxidables. Una ventaja es que el grueso de los residuos secundarios es un gas fácil de tratar. Se ha probado en Oak Ridge para descontaminar plomo, en el Proyecto Internacional del Tokomak en el Reino Unido, y en Bélgica para descontaminar y liberar 300 t de acero inox y polipropileno.

**Agujas de acero (needle gun).** Un manojo de varillas de acero se acciona neumáticamente impactando la superficie. Se utilizó en Rocky Flats.

**Nitrógeno líquido a alta presión:** el abrasivo se impulsa con un chorro de N<sub>2</sub> líquido. Se descontamina por combinación de la fragilización producida por el N<sub>2</sub> líquido y la acción abrasiva.



Hielo: se impulsa con aire comprimido una mezcla de agua y cristales de hielo. Remueve recubrimientos y algo de la contaminación superficial fija, pero no pasa de la capa superficial del hormigón. Ha sido usado en una celda en Francia.

Alternativamente el contacto del abrasivo con la superficie contaminada puede producirse por otros medios, tales como las pulidoras vibratorias que utilizan un contrapeso desbalanceado para provocar la vibración de un recipiente. El mismo se llena con material abrasivo y las partes a limpiar en un medio líquido, pudiéndose limpiar piezas de geometrías muy variadas y complejas. Incluso se ha demostrado en CNEA la factibilidad de limpiar el interior de tubos de diámetro mediano (5 a 20 cm). Una variante de este proceso es el de rotación centrífuga de la carga abrasiva.

Una técnica particularmente interesante, especialmente para aceros, consiste en la fundición de partes o trozos de componentes contaminados. Dependiendo de la naturaleza de la contaminación, puede ser factible el pasaje de la misma a una escoria apropiada, que se gestionará como residuo. El metal podrá disponerse como material libre de actividad o, en el caso de contaminación ligera, utilizarse en la construcción de componentes tales como cascos para el almacenaje de residuos. Una ventaja adicional es que se disminuye sensiblemente el número de partes que deben ser caracterizadas o monitoreadas.

Otras técnicas que están siendo consideradas incluyen: ablación laser, ultrasonido, descascaramiento por microondas, degradación térmica de compuestos orgánicos, degradación microbiana, extracción con fluidos supercríticos, etc.

## **AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

Si bien el tema escapa al alcance del presente trabajo, debe mencionarse que la necesidad de reducir a un mínimo las dosis de irradiación del personal involucrado hace que se persigan todos los caminos posibles tendientes a reducir esas dosis en tareas de desactivación y desmantelamiento. Es así que en, prácticamente todos, los casos de aplicación de las técnicas descriptas se ha tratado de implementar métodos de control remoto directo o, en forma creciente, a través de robots. La mayor o menor facilidad de manejo a distancia puede convertirse en un factor decisivo en la selección de la técnica a aplicar.

## **SELECCIÓN DEL MÉTODO DE DESCONTAMINACIÓN**

Los factores a tener en cuenta en la selección del método de descontaminación más apropiado incluyen:

1. Tipo de contaminación: superficial suelta, películas adheridas firmemente, contaminación en profundidad.
2. Material base: metal, cemento.
3. Uso posterior de la instalación: hay grandes diferencias entre instalaciones o componentes que van a ser reutilizados, y casos en que serán gestionados como residuo sin uso posterior.



4. Propósito de la descontaminación:

- ★ Reducir los campos de radiación para el personal.
- ★ Reducir el volumen de residuos radiactivos de baja actividad.
- ★ Permitir la liberación del material.
- ★ Evitar generar residuos que combinen riesgos radiactivos y convencionales.

5. Análisis de riesgo y plan de seguridad:

- ★ Monitoreo de niveles de radiación.
- ★ Procedimiento para controlar las exposiciones.
- ★ Equipos de protección.
- ★ Control médico.
- ★ Cargas térmicas.
- ★ Material radiactivo.
- ★ Descontaminación.

6. Consideraciones de costos: se debe realizar un análisis costo-beneficio que debe contemplar, entre otros, los siguientes aspectos:

- ★ Disminución de dosis para todo el personal participante.
- ★ Dosis a las personas que realicen la descontaminación.
- ★ Impacto del plan de descontaminación sobre el público, incluyendo dosis colectivas según la cantidad de transportes de residuos, generación de aerosoles y descargas de líquidos. Se debe incluir la presencia de agentes corrosivos y de metales disueltos.
- ★ Costo de la descontaminación, el cual incluye:
  - ★ Desarrollo del proceso: desarrollo de la formulación química más adecuada y su aplicación, evaluación de procesos alternativos, evaluación de necesidades de servicios como ser suministro de agua, electricidad, etc.
  - ★ Drogas o equipos para descontaminación.
  - ★ Requerimientos de personal, incluyendo de apoyo.
  - ★ Procesamiento de residuos de descontaminación, incluyendo decantadores, filtros, resinas, licores, compactadores, etc.
  - ★ Equipamiento para control y monitoreo de procesos de descontaminación y de procesamiento de residuos.
  - ★ Servicios necesarios, como ser agua desmineralizada, electricidad, vapor.
  - ★ Acondicionamiento de los residuos, incluyendo contenedores y mano de obra.
  - ★ Gerenciamiento y supervisión del programa de descontaminación.
  - ★ Impacto sobre los costos de gestión de residuos.
  - ★ Reducción de costos por posibilidad de venta de activos descontaminados.



- ★ En caso de que, gracias a la descontaminación, se pueda reutilizar la instalación, se debe computar ese beneficio.

## 7. Consideraciones generales.

- ★ La activación de materiales es un tema difícil. Por lo general, se debe comparar la posibilidad de remover una profundidad tal que el resto del material pueda ser liberado de control radiológico (lo que no es simple de determinar) con la alternativa de dismantelar toda la estructura y considerarla como residuos radiactivo. En el caso de hormigón armado, los hierros del refuerzo son particularmente susceptibles a la activación.
- ★ Un objetivo a sopesar con los otros elementos es la minimización del volumen (no el peso) de residuos radiactivos. En el caso de componentes metálicos, se deben comparar los costos y volumen de residuos de la alternativa de corte, compresión y gestión del conjunto como residuo, frente a la descontaminación con sus costos y residuos secundarios generados.
- ★ Se deben remover las cañerías y componentes enterrados que puedan estar contaminados, a fin de satisfacer los criterios de restauración del emplazamiento.

## LECCIONES APRENDIDAS

Toda aplicación práctica de una técnica determinada deja enseñanzas que permiten optimizarla en trabajos subsiguientes. El caso particular del dismantelamiento y descontaminación de instalaciones nucleares existentes muestra la necesidad de que la posibilidad de descontaminar y dismantelar una determinada instalación sea considerada, ya, en la etapa de diseño de una nueva instalación. Las instalaciones existentes fueron diseñadas y construidas “para durar”. Sin consideración alguna al grado de dificultad que la contaminación o activación de la instalación podría introducir en el dismantelamiento de la misma. Modificaciones, a veces pequeñas, en el diseño original podrían haber reducido considerablemente el grado de dificultad encontrado. La introducción de esas modificaciones en el diseño de las nuevas generaciones de instalaciones nucleares hará la vida mucho más fácil a los eventuales encargados de dismantelaras. Algunos ejemplos son:

- Selección de materiales según su tendencia a la activación neutrónica. La práctica establecida de limitar el contenido de Co en los componentes del circuito primario de un reactor se extenderá a todos los elementos que puedan transmutar a isótopos activos por acción del flujo neutrónico. Un ejemplo es el extenso programa de desarrollo de materiales para la pared interna de los reactores de fusión que lleva a cabo la organización internacional que los desarrolla. Otro ejemplo es la atención que se está prestando a la composición del hormigón que constituye la vasta mayoría de los blindajes neutrónicos. La presencia de cantidades minúsculas (partes por millón) de elementos tales como Europio, Holmio, Litio o Cloro, eventualmente presentes en el cemento o en los agregados, puede resultar en un aumento sustancial de la profundidad de activación



bajo la superficie expuesta del blindaje y, en consecuencia, del volumen de material a remover y gestionar como residuo activo.

- Tuberías empotradas. La práctica de verter el hormigón estructural o de blindaje empotrando tuberías previamente instaladas genera serios inconvenientes cuando llega el momento de demoler el hormigón. Si estas tuberías están contaminadas, la operación deberá realizarse usando técnicas y procedimientos más complejos que los requeridos para estructuras sin tuberías. La situación es todavía peor si el hormigón se ha contaminado por roturas o pérdidas en la tubería. Todo aquello que recorra o atraviese una estructura de hormigón debiera ser retirable sin dificultad previo a la demolición.

- Caras expuestas de blindajes, muros y pisos. Un esfuerzo considerable se ha dedicado al desarrollo de técnicas de remoción de la superficie de blindajes en espesores que pueden llegar a ser considerables. La adopción de placas postizas, construidas en materiales de alta absorción neutrónica facilitará la remoción de la porción activada al desmantelar. Alternativamente, puede introducirse algún tipo de discontinuidad estructural en el hormigón, a la profundidad estimada de activación, para facilitar la remoción superficial al final de su vida. En el caso de paredes y pisos sujetos a eventuales contaminaciones superficiales, se podrán colocar al inicio los productos que generan capas fácilmente despegables (strip films) que arrastrarán consigo la contaminación al momento del desmantelamiento.

- Rutas de extracción de grandes componentes. La instalación de grandes componentes (recipientes de presión, generadores de vapor, etc) antes de completar la construcción de las estructuras y blindajes que lo contienen, precluye la posibilidad de retirarlos enteros para su disposición interina o final, sin antes demoler sectores del edificio que posibiliten su extracción. Esta posibilidad debiera contemplarse a priori. Alternativamente, el componente deberá fragmentarse antes de ser retirado. Las condiciones operativas para esta operación, siempre compleja, deberán ser previstas en el diseño original.

Durante la larga vida de una instalación se introducen reformas y modificaciones que alteran la, no siempre rigurosa, información contenida en los planos originales. Mantener un registro riguroso de las alteraciones al diseño original evita sorpresas desagradables al momento de desmantelar. Esto es todavía más válido para los incidentes que resultan en contaminaciones que se remedian de alguna manera, no siempre registrada, o que pueden quedar "barridos bajo la alfombra". Es en este tipo de situaciones donde resulta ideal contar con los servicios de personal que haya participado en la operación de la planta y que posee la memoria viva de la instalación.

## COMENTARIOS FINALES

El presente trabajo pretende mostrar la disponibilidad de técnicas que permiten descontaminar de manera satisfactoria las partes que componen una instalación nuclear, como paso previo a su desmantelamiento o a su disposición final. Un número apreciable de centrales nucleares, reactores diversos y otras instalaciones han sido satisfactoriamente procesados hasta, en muchos casos, la liberación total del terreno para uso irrestricto por el público. Ello a pesar de que procedimientos de descontaminación y desmantelamiento no habían sido previstos en el diseño original. Los volúmenes de materiales limpios liberados al ambiente para disposición o reciclado son satisfactorios y los residuos activos resultantes son pasibles de acondicionamiento para su disposición interina o final.



Si bien el estado actual de desarrollo permite obtener resultados satisfactorios, es evidente que existe un amplio espacio para el desarrollo de nuevas técnicas y procedimientos de descontaminación y desmantelamiento. Tanto en la adaptación de técnicas existentes al tratamiento de materiales activos como en el desarrollo de técnicas específicas para tal fin. Las disciplinas involucradas abarcan prácticamente todas las áreas de Ingeniería, pero muy especialmente la de Materiales.

## REFERENCIAS GENERALES

“General Design Criteria to Facilitate the Decommissioning of Nuclear Facilities”. Army TM 5-801-10 Technical Manual, EEUU, Abril 1992.

“State of the art technology for decontamination and dismantling of nuclear facilities”, IAEA Technical Report Series TRS No.395, Viena, 1999.

“Methods for the minimization of radioactive waste from decontamination and decommissioning of nuclear facilities”, IAEA Technical Report Series No. 401, Viena, 2001.

“Decontamination techniques as part of decommissioning”. Stefan Thierfeldt en “Curso regional de capacitación en desmantelamiento y clausura de reactores de investigación y otras instalaciones nucleares pequeñas”, CNEA-IAEA, Buenos Aires, Abril de 2002.

## REFERENCIAS ESPECÍFICAS

1. Nucl. News Vol. 45 No.9 p. (2002)
2. B. Morris-Ashton y E. Clarke. Nucl. Eng. Int. Vol. 51 No. 619 p. 16 (2006)
3. Nucl. Eng. Int. Vol. 49 No. 595 p. 32 (2004)
4. Nucl. Eng. Int. Vol. 49 No. 600 p. 39 (2004)
5. Nucl. Eng. Int. Vol. 50 No. 612 p. 32 (2005)
6. M. Laraia Nucl. Eng. Int. Vol. 48 No. 593 p. 34 (2003)
7. Nucl. Eng. Int. Vol. 51 No. 619 p. 16 (2006)
8. E. K. Avdonin y S. D. Gavrilov Nucl. Eng. Int. Vol. 47 No. 571 (2002)
9. M. Laraia, Radwaste Solutions. Vol. 10 No. 13 p. 24 (2003)
10. Nucl. News Vol. 45 No. 3 p. 73 (2002)
11. Nucl. News. Vol. 45 No. 4 p. 53 (2002)
12. Nucl. Eng. Int. Vol. 51. No. 619 p. 6 (2006)
13. S. Fabbri. Comunicación privada
14. Nucl. Eng. Int. Vol. 49 No. 605 p. 32 (2004)
15. Nucl. Eng. Int. Vol. 45 No. 552 p. 24 (2002)
16. A. Arva, Comunicación privada