

APERTURA



En el acto de apertura reconocemos, de izquierda a derecha, a Ricardo Granados, Manuel Acero, Pere Sagarra y Juan Alguero.

Ricardo GRANADOS

Secretario General de Asociación Nuclear Ascó
Sociedad Nuclear Española

Sólo pronunciaré unas breves palabras en nombre de la organización de esta jornada, que ha contado con una gran colaboración por parte de la Comisión de Programas de la Sociedad Nuclear Española y de ENRESA.

En primer lugar, quiero dar las gracias a todos por vuestra presencia, en especial a los ponentes y participantes en la Mesa Redonda y, muy particularmente, al Ilmo. Sr. Pere Sagarra, Director General de la Energía de la Generalitat de Catalunya, por habernos honrado presidiendo este acto.

Por otro lado, os presento mis disculpas por la posible incomodidad de la sala, porque cuando empezamos a organizar la conferencia creíamos que la asistencia iba a ser más reducida y la verdad es que vamos a agotar la capacidad de la misma.

Como es habitual, el desarrollo de la reunión estará dividido en cuatro partes. Por la mañana, habrá dos bloques de ponencias y por la tarde un tercero, seguido de una Mesa Redonda. Tras las presentaciones de cada bloque se for-



Ricardo Granados.

mularán las preguntas que consideréis pertinentes.

Por último, sólo me queda agradecer nuevamente vuestra asistencia y desear que esta jornada sea sumamente provechosa para todos. Muchas gracias.

Manuel ACERO

Presidente de la Sociedad Nuclear Española

En primer lugar, quisiera hacer mención a las razones de esta Jornada. En su momento, la Sociedad y la Junta Directiva actual, evaluamos el hecho de llevar mucho tiempo sin movernos de Madrid,

debido a que la secretaría y las oficinas las tenemos allí, pero, evidentemente, no todos los socios, que son los que realmente dan vida y sentido a nuestra Sociedad. Por ello, creíamos necesario

organizar esta reunión, esperando que sea el principio de otras muchas en Cataluña, donde existe una capacidad indudable para llevar adelante estas propuestas. No obstante, me dirijo también a las demás regiones, ya que la Sociedad apoyará cualquier iniciativa en este sentido.

Los miembros de la Junta Directiva en Cataluña, Juan Alguero y Juan Estapé, tomaron la bandera de esta reunión, conjuntamente con Ricardo Granados, imprescindible en todos estos temas por su eficacia. De esta forma, se eligió el tema, y creo que esa es una de las decisiones críticas en una reunión como ésta, que comporta además un sentido de responsabilidad para la Sociedad en cuanto a recoger aquellos temas que son de más interés y ser capaz de ponerlos realmente al alcance de todos sus miembros.

Queremos agradecer, desde luego, a Valdellós I y a todo su personal el apoyo a esta iniciativa y la colaboración intensa que se hace patente a lo largo de las distintas ponencias de la reunión, así como a ENRESA, que ha aportado gran cantidad de personas, y a todos los empresarios y sus empresas que cubren áreas críticas del desarrollo del programa y que presentan sus últimos adelantos en el área de desmantelamiento.

La reunión se organiza en tres grandes grupos. En la primera parte se establecen los criterios y las técnicas de aplicación, en este caso del desmantelamiento; en la segunda se hace una revisión de "estado del arte" en los países punteros en la energía nuclear y por último, se entra en la situación española de dos vertientes: Vandellós I y su problemática específica, y, por otro lado, una Mesa Redonda en la que están los agentes

Manuel Acero.



fundamentales de todo este problema: la Empresa propietaria, la Empresa Nacional de Residuos y el Consejo de Seguridad Nuclear.

Con esta reunión se cumple, para la Sociedad, un hito más en el trabajo que nos hemos impuesto como gran objetivo, que es el de servir de punto de encuentro para todos los socios, el de traer programas e iniciativas como ésta que permitan la concurrencia, la crítica conjunta, el

análisis entre uno y otros y, sobre todo, intentar obtener un espíritu y una posición colectivos que, de alguna forma, hagan más fuerte nuestra Sociedad. Con eso, creo habremos dado un paso más adelante y vuelvo a insistir en la oferta, de que iniciativas como ésta, en cualquier otro sitio y, por descontado, repetidas en Barcelona son bien recibidas y son la esencia del propio quehacer de la Sociedad. Muchas gracias.

y, aunque el primer desmantelamiento que hay que hacer es en una central catalana, espero que esto sirva para que el debate llegue a todos los agentes interesados en conocer esta información y, por tanto, que todos hablemos con mayor conocimiento de causa de lo que es un desmantelamiento, cuáles son sus fases y sus períodos de tiempo, y cuáles son sus exigencias. Esperando que esto se cumpla, no me queda más que declarar abierta la Jornada sobre Desmantelamiento de Centrales Nucleares.

Pere SAGARRA

Director General de Energía de la Generalitat de Catalunya

En principio, quisiera felicitar a la Sociedad Nuclear Española por la realización de esta Jornada, sobre un tema de gran actualidad y, sobre todo, aquí, en Cataluña, porque una Jornada de este tipo sirve para discutir un tema que, debido a falta de información, provoca normalmente una deformación del mismo. En este momento en concreto, se puede ver que hay quien quisiera que una central nuclear estuviera ya desmantelada, cuando se acaba de decidir su clausura. Por tanto, profundizar es importante y, más que profundizar sólo entre técnicos,

intentar que esto llegue a la inmensa mayoría de la población, es bueno y creo que Jornadas como éstas pueden llegar a cubrir este objetivo. Porque el desmantelamiento de una central nuclear, aparte de los múltiples problemas técnicos que tiene y que deberán ser resueltos por las empresas especializadas bajo supervisión de los organismos competentes, tiene una clara incidencia social que hay que cubrir con la información disponible. Por tanto, creo que es un acierto haber convocado esta reunión aquí, en Barcelona, la capital de Cataluña

Pere Sagarra

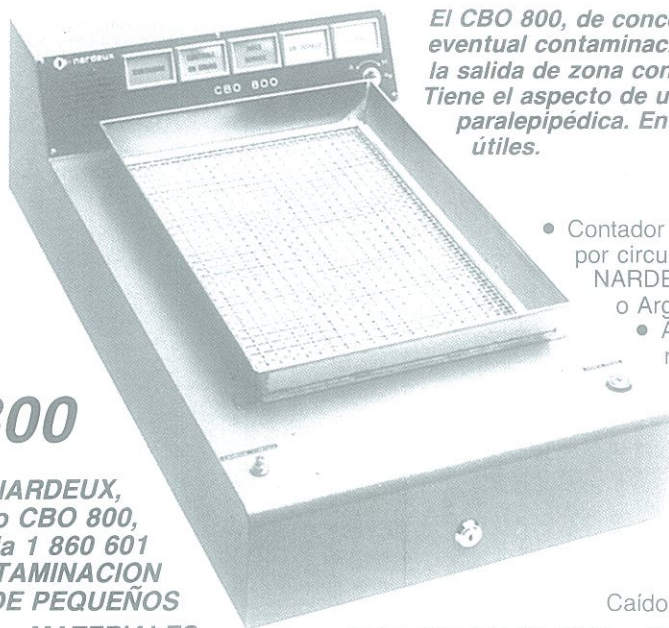


PRODUCTOS ESPECIALES, S. L.

Radioprotección, Material de Seguridad, Aparatos Médicos

Agente en exclusiva para España de:

nardeux



El CBO 800, de concepción sencilla, permite detectar una eventual contaminación Beta de pequeños materiales en la salida de zona controlada.

Tiene el aspecto de un elemento especializado, de forma paralelepípedica. En su bandeja se controlan los diversos útiles.

CBO 800

**Equipo Marca NARDEUX,
Modelo CBO 800,**

Referencia 1 860 601

**MONITOR DE CONTAMINACION
PARA CHEQUEO DE PEQUEÑOS
MATERIALES**

- Contador proporcional de gran superficie, por circulación de gas tipo CPC 800 NARDEUX (Argón-Metano 90/10 o Argón-CO₂ 90/10).
- Alarma sonora y visual en caso de rebasamiento del umbral de contaminación.
- Inicio de la medida por botón-pulsador.
- Protección del contador mediante una rejilla en acero inoxidable.

Caidos de la División Azul, 1 - 28016 MADRID

Tels.: (91) 457 29 49/94 - Télex: 42050 PRES E - Fax: (91) 457 10 84

DESMANTELAMIENTO DE CENTRALES NUCLEARES

La primera sesión de la jornada fue moderada por Pedro Coll y en ella se abordaron dos temas fundamentales: "El Desmantelamiento de Centrales Nucleares", a cargo de Aurelio Ulibarri, y "Tecnologías de Descontaminación", presentado por José Antonio Espallardo.

Aurelio ULIBARRI

Director de Ingeniería y Proyectos de ENRESA

En el año 1975 se celebró la primera conferencia mundial, en París, a instancias de la Sociedad Nuclear Europea, con la colaboración de la Sociedad Nuclear Americana, con la denominación de "Nuclear Energy Maturity". A partir de este momento surge la preocupación sobre la última fase de las instalaciones nucleares y, por consiguiente, la pregunta de qué hacer con las centrales nucleares una vez alcanzado el límite de su vida. En la actualidad, debido a la secuencia de las fechas de inicio del programa de construcción de centrales nucleares, nos encontramos próximos al inicio de un programa continuado de clausura de centrales nucleares de potencia, programa que sería análogo al de construcción, desfasado en el tiempo del período de vida para el que fueron diseñadas. La parada definitiva de una central nuclear no supone necesariamente la suspensión del riesgo de exposición a las radiaciones ionizantes, debido a los fenómenos de activación y contaminación que durante el funcionamiento se han producido y que han convertido en radiactivas grandes masas de materiales del circuito de refrigeración, generadores de vapor, hormigón de protección y otras estructuras, sistemas y componentes. Se hace preciso, por tanto, continuar con un programa completo de protección radiológica.

La vigilancia radiológica y la protección física del emplazamiento, así como de sus alrededores, deben seguir siendo objeto de atención durante el proceso de puesta fuera de servicio y durante el transporte del material radiactivo hasta su total evacuación del emplazamiento. Al igual que para la construcción de una central nuclear, para el desmantelamiento se requiere una documentación que describa las actividades a realizar, los principales aspectos y sistemas que afectan a la seguridad nuclear, su análisis, etc., que deberá ser aprobada por la autoridad competente, previa a la ejecución del mismo.



Aurelio Ulibarri.

En un proceso de desmantelamiento deben considerarse los siguientes aspectos:

- Técnico: La capacidad de manipular con seguridad grandes cantidades de materiales radiactivos, incluyendo algunos de elevadas actividades específicas.
- Administrativo: Resolución por la que se anula el permiso de operación de una instalación nuclear o radiactiva o se modifica su categoría y se dan autorizaciones de ejecución de otras actividades.
- Económico y financiero: Coste de la operación, en la que el almacenamiento de los residuos puede representar un monto considerable, y modo de financiarlo.

Estos tres aspectos están íntimamente ligados entre sí, de tal forma que las exigencias administrativas y las técnicas de desmantelamiento empleadas inciden directamente en los costes del desmantelamiento y transporte.

La seguridad de una central nuclear que ha dejado de funcionar y que está descargada puede asegurarse sin problemas durante mucho tiempo. Una vez que en la instalación nuclear se ha efectuado la descarga del combustible y saneamiento radiactivo, no hay razón de seguridad que obligue a emprender el desmantelamiento de forma inmediata, de forma que las verdaderas limitaciones vendrán impuestas por las prescripciones

técnicas de seguridad, que obligan a mantener un régimen estricto y riguroso de vigilancia, así como el mantenimiento de algunos sistemas auxiliares y del personal necesario, que resultan costosos y que no puede imputarse a ninguna producción.

Otras consideraciones aconsejan también el desmantelamiento, como son reducir el impacto visual y ambiental derivado de la presencia de la central, recuperar el emplazamiento para otros fines, etc. El cierre y clausura de una central nuclear son las actividades que han de darse de forma inevitable, lo mismo que en cualquier otra instalación, y si bien su período de realización puede ser variable, siempre presenta una problemática negativa, por razones económicas, técnicas, de vigilancia y control de seguridad.

CONCEPTO DE DESMANTELAMIENTO

La clausura de una central nuclear conlleva la retirada de servicio de forma segura y la reducción de la actividad residual a niveles que permitan al final del proceso la utilización sin restricciones del emplazamiento y la terminación de las licencias administrativas.

A pesar de no existir uniformidad en la metodología a seguir para la clausura o cierre definitivo de una central nuclear, en función de las circunstancias concretas y particulares de cada caso, merece especial atención la coincidencia en los aspectos de seguridad que llevan consigo las distintas soluciones requeridas, de forma que cualquier actividad durante la puesta fuera de servicio debe hacerse bajo un control suficiente que garantice la seguridad del personal profesionalmente expuesto y la del público en general, para lo cual es necesario un control radiológico y una vigilancia continuada de la seguridad.

Uno de los objetivos importantes para ahorrar esfuerzos y abaratar los costes del desmantelamiento, y en general, para simplificar el acondicionamiento, transporte y almacenamiento final de los residuos, son las exenciones o desclasificaciones que permiten eliminar determinadas corrientes de residuos, como residuos convencionales, dependiendo de la descontaminación o de la utilización final de estos residuos cuando las actividades son muy bajas.

Factores determinantes en la elección del nivel de puesta fuera de servicio y posterior clausura

Existen factores de valoración particulares en cada instalación, a veces contrapuestos, que dificultan la toma de decisión sobre el nivel de desmantelamiento a seguir. Un estudio detenido de estos factores arrojaría la luz necesaria para la toma de decisión.

Los factores definidos para determinar las características selectivas del nivel de clausura son:

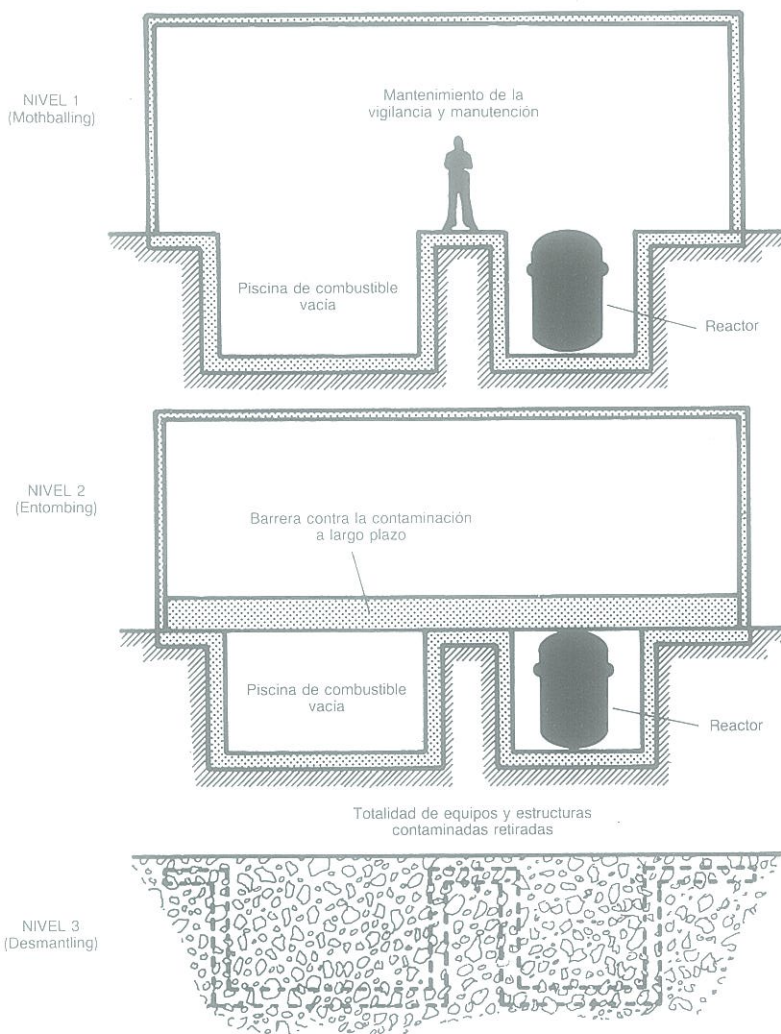
- Estrategia nuclear nacional: Las cuestiones en relación con la estrategia nacional que revisten importancia para la clausura son las siguientes: la política nacional relacionada con el cierre de centrales nucleares paradas; política nacional en gestión de residuos radiactivos y plan nacional operativo, así como la normativa relativa a la radioprotección de los trabajadores y del público.
- Características de la instalación a clausurar.
- Protección de la salud, seguridad y medio ambiente: La experiencia ha mostrado que la exposición al público durante la clausura es muy baja, y no representa más que algunas centésimas de la exposición debida a la explotación de los reactores, por lo cual es improbable que la exposición del público juegue un papel apreciable en la elección de un nivel de clausura.

El conjunto de los incidentes sobre el medio ambiente durante la clausura es mínimo y permanece dentro de los límites definidos por la reglamentación aplicable a una instalación en explotación.

La protección de los trabajadores reviste una problemática más importante en las operaciones de desmantelamiento. Se puede reducir la dosis de radiación de los trabajadores aplazando el desmantelamiento, de modo que los materiales radiactivos reduzcan su actividad y a la espera de recursos y medios apropiados tales como equipamiento telemandado, blindaje, etc.

- Gestión de residuos radiactivos: La puesta fuera de servicio de una central entraña sobre todo la producción de residuos de baja actividad y una pequeña cantidad de residuos de media actividad. La disponibilidad de almacenamiento fuera del emplazamiento de la instalación para la evacuación de los residuos de clausura de baja y media actividad es el factor que más influye en la toma de decisión del calendario de clausura de una central nuclear.

Se estima que el volumen de residuos procedentes de la clausura de un



FI Representación esquemática de las principales características de los tres niveles de clausura aplicables a las centrales nucleares

NIVELES DE PUESTA FUERA DE SERVICIO Y POSTERIOR CLAUSURA

De forma bastante general se admiten tres niveles o escenarios de desmantelamiento, que representan la estrategia que se piensa seguir en el proceso de desmantelamiento.

Cada uno de los tres niveles de clausura o cierre definitivo puede ser definido por dos características: el estado físico de la instalación y equipos, y el grado de vigilancia necesario para cada caso. Normalmente se considera que los niveles 1 y 2 son etapas intermedias que conducen finalmente al nivel 3, que consiste en la restitución del emplazamiento a las condiciones previas a la construcción de la central.

- Nivel 1: Se define como nivel de clausura bajo vigilancia de la instalación, descargado el combustible y

evacuados de la central el combustible y los residuos radiactivos de operación (mothballing, en término anglosajón).

- Nivel 2: Lleva consigo la eliminación de elementos radiactivos exteriores al cajón o recinto de contención, así como estructuras y elementos convencionales, quedando almacenados y sellados en el cajón o recinto de contención los componentes con mayor actividad específica. El cajón o edificio de contención pueden enterrarse o no; el emplazamiento queda disponible para ser utilizado con restricciones (entombing, en término anglosajón).
- Nivel 3: Desmantelamiento total y demolición de las estructuras, restituyendo al emplazamiento el uso sin restricciones (dismantling, en término anglosajón).

T I

COSTES DE CLAUSURA DE UNA CENTRAL NUCLEAR DE 1.300 MWe PARA LOS DISTINTOS NIVELES (millones de dólares de EE.UU., enero de 1984)

Tipo de clausura	Canadá	República Federal de Alemania		Finlandia		Suecia		Estados Unidos	
	HWR	PWR	BWR	PWR	BWR	PWR	BWR	PWR	BWR
Costos no actualizados:									
Nivel 3 inmediatamente	145	119	173	105	—	107	140	97	113
Nivel 1/espera de 30 años/Nivel 3	117	121	181	—	126	—	—	121	141
Nivel 2/espera de 100 años/Nivel 3	—	—	—	—	—	—	—	158	186
Costos actualizados al 5% anual desde la parada del reactor:									
Nivel 3 inmediatamente	129	105	153	93	—	95	124	86	100
Nivel 1/espera de 30 años/Nivel 3	29	30	44	—	29	—	—	41	49
Nivel 2/espera de 100 años/Nivel 3	—	—	—	—	—	—	—	56	68

Las evaluaciones iniciales comunicadas por los países han sido modificadas, por corresponder a un conjunto de 1.300 MWe y mayoradas un 25% a título de imprevistos.

HWR: Reactor de agua pesada a presión.

PWR: Reactor de agua a presión.

BWR: Reactor de agua en ebullición.

reactor es del mismo orden de magnitud que los residuos de explotación que produce durante su vida útil.

- Utilización futura del emplazamiento: Los emplazamientos de CCNN representan un recurso interesante en atención a los mismos parámetros que constituyeron su elección para tal fin.

Es por ello razonable pensar que pueda ser utilizado posteriormente para otros usos, tanto industriales como recreativos o energéticos de cualquier tipo.

Si la instalación nuclear está junto a otras instalaciones que permanecen en explotación, se puede optar por una clausura Nivel 1. En este caso, el mantenimiento, la vigilancia y la seguridad pueden ser garantizadas por el personal de la instalación en explotación mediante un bajo aumento de gastos.

- Mejora de las técnicas de desmantelamiento: Las técnicas actuales son suficientes para realizar en condiciones de seguridad satisfactorias las operaciones de puesta fuera de servicio con independencia de la opción elegida. No obstante, las técnicas tendentes a reducir la exposición de los trabajadores, los costes y los volúmenes de los residuos continúan en progreso.

Puede ser ventajoso el diferir el desmantelamiento para poder aplicar una tecnología mejor. Por ejemplo, la puesta a punto de equipamiento y de métodos perfeccionados de desmantelamiento a distancia reducirá la

exposición de los trabajadores. La puesta a punto de métodos más eficaces para acondicionar los residuos de baja actividad deberá conducir a una reducción del número de bultos. Los nuevos equipamientos utilizados para el desmantelamiento de las instalaciones deberán mejorar la productividad de los trabajadores y reducir los costes.

- Coste y disponibilidad de fondos: El coste total para la clausura depende de la secuencia y del escalonamiento en el tiempo de las etapas que componen el conjunto del programa de clausura. La dilación de una etapa con su antecedente tiende a reducir su coste, pero el efecto es contrarrestado por el crecimiento de los costes correspondientes al período de espera. Toda comparación entre los costes correspondientes a las diversas estrategias de desmantelamiento tienen una gran dependencia con la tasa de interés real.

Varios países han evaluado técnicamente los costos para la clausura de centrales de potencia; estos costes estimados se establecen aproximadamente como sigue:

- De 95 a 120 millones \$ USA (1984) para el desmantelamiento inmediato de un reactor de agua a presión (PWR) de 1.300 MWe.
- De 125 a 175 millones \$ USA (1984) en el caso de un reactor de agua en ebullición (BWR) o de un reactor de agua pesada a presión (HWR) de la misma potencia 1.300 MWe.

Si se analizan los costes estimados no actualizados de la tabla I, en el caso del Nivel 3, 30 años después de la conclusión del Nivel 1 se observa que en el caso de los PWR y los BWR resulta un poco más caro que el desmantelamiento inmediato Nivel 3, siendo lo contrario en el caso de los reactores HWR. Sin embargo, si se tiene en cuenta una tasa de interés real del 5% anual, el desmantelamiento diferido resulta ser la solución más favorable económicamente en todos los casos.

Podemos concluir diciendo que se encuentra un gran abanico de costes de desmantelamiento dependiendo del tipo de instalación, los objetivos perseguidos y las técnicas y métodos utilizados. Los estudios económico-financieros más recientes atribuyen cada vez costes más altos al desmantelamiento.

En España, para los 10 reactores, se prevé un volumen de generación de residuos de desmantelamiento de 130.000 m³ y se prevé un coste de 230.000 millones de pesetas (1990) (Plan General de Residuos Radiactivos).

Entre los factores que pueden influir en la elección de la estrategia de clausura se pueden, por ejemplo, citar el efecto sobre el valor de los terrenos, el impacto estético del emplazamiento, así como la evolución en la percepción de riesgo, unido a la presencia permanente de una instalación parada sobre el emplazamiento. Otra consideración importante, sobre todo en las zonas donde otras actividades son escasas, es que el desmantelamiento inmediato requiere recursos humanos más importantes que las otras soluciones y puede traducirse en una reducción más lenta y más regularizada del personal de explotación.

- Consideraciones sociales.

Será preciso ponderar y equilibrar la importancia de estos factores que se han enumerado anteriormente para elegir el nivel de clausura que se adopte para cada instalación nuclear, variando según el país y las circunstancias.

REFERENCIAS Y EXPERIENCIAS MUNDIALES

En la tabla II figura una relación de aquellos reactores más representativos que, una vez concluida su vida útil, o debido a accidentes, a la opinión pública negativa o a la baja rentabilidad, se encuentran ahora en fase de clausura o desmantelamiento.

Actualmente se encuentran cerrados más de 65 reactores nucleares.

A la luz de la tabla II podemos extraer unas conclusiones evidentes que reflejan

la experiencia mundial habida en materia de desmantelamiento.

- La práctica totalidad de los reactores desmantelados o en fase de desmantelamiento son de pequeñas potencias. No se ha realizado ningún desmantelamiento total de reactores comerciales de gran potencia.
- En la mayor parte de los casos, los trabajos de desmantelamiento tienen o han tenido un gran componente de investigación de métodos y técnicas.
- La mayoría de las referencias han optado o tiene previsto llegar al Nivel 3 de desmantelamiento, bien sea de forma inmediata, o bien por niveles intermedios con periodos de espera.
- Es de destacar que los reactores tipo Magnox/AGR y GCR siguen la estrategia de ir inicialmente a un Nivel 2 y posteriormente a Nivel 3, con unos periodos de espera que oscilan entre los 100 años, para los reactores ingleses (Magnox/AGR), y 30/50, para los reactores franceses (GCR).
- Las estrategias están siempre condicionadas por compromisos económicos, técnicos y radiológicos, fundamentalmente.

TECNICAS UTILIZADAS

Desde el punto de vista técnico, el proceso de desmantelamiento comprende tres grandes apartados: la descontaminación, el desmontaje y el almacenamiento y manipulación de los residuos, todo ello supervisado radiológicamente para evitar riesgos innecesarios a los trabajadores, público en general y medio ambiente provenientes de la manipulación de inventarios apreciables de materiales radiactivos. Cualquier avance en las técnicas utilizadas en estos apartados redundará en una reducción de la exposición a la radiación y del volumen de residuos y, por tanto, del coste, siendo de destacar los avances en cuanto a:

- Utilización de control remoto para máquinas de corte y la manipulación de componentes, tuberías y estructuras radiactivas, así como visión remota.
- Descontaminación "in situ" de circuitos, componentes, etc.
- Métodos y equipos de tratamiento, reducción de volumen y acondicionamiento de residuos radiactivos.
- Técnicas de medida que facilitan la selección de las diversas categorías de residuos.

ACTIVIDADES DE I+D EN RELACION CON LA CLAUSURA DE CCNN

Las actividades de I+D en la clausura de instalaciones nucleares en España

pretenden un doble objetivo: establecer las premisas técnicas y el grado de conocimiento alcanzado para la realización de las diversas operaciones de clausura, en lo que se refiere a las instalaciones a clausurar propiamente dichas, y en segundo lugar, conseguir el objetivo específico de definir un programa de I+D que se pueda aplicar al caso español.

Es de prever que dentro de 10 años la proliferación de clausuras y la terminación de algunas ya programadas convertirán esta temática en una práctica industrial más del ciclo del combustible nuclear. Para España, el seguimiento de las operaciones de clausura a nivel internacional e incluso la participación en cierto grado en alguno de los proyectos piloto de clausura puede ser un buen comienzo.

PROGRAMA DE TRABAJO A ESTABLECER EN ESPAÑA

Después de la clausura a Nivel 3 de varias decenas de pequeños reactores por todo el mundo, no se puede pensar que la clausura de los reactores de enseñanza e investigación españoles, ARGOS y ARBI, que han de llevarse a cabo próximamente precisen de actividades de I+D, sobre todo teniendo en cuenta que ya se han clausurado en otros países reactores del mismo diseño. El plan español de clausura de centrales nucleares requerirá realizar diversas actividades, de las que pueden derivarse o no, proyectos de I+D, y que se exponen a continuación:

- Definición de una estrategia nacional para la clausura de las centrales nucleares.
- Selección del nivel de clausura óptimo para cada central y de la secuencia más adecuada.
- Reflexionar sobre la utilización futura del emplazamiento.
- Estudiar los volúmenes de residuos que se generan en la clausura de cada una de las centrales.
- Analizar y asimilar los avances conseguidos en los diferentes métodos de descontaminación y desmantelamiento para su posible aplicación a las centrales españolas.
- Seguimiento y adaptación a las centrales españolas de los avances en robótica aplicada a la clausura.
- Seguimiento y asimilación de los programas de I+D de la Comunidad sobre clausura de instalaciones nucleares.
- Participación en un proyecto piloto de clausura: Tanto en la CEE, dentro de la Sección C de proyectos de

clausura, como de la AEN/OCDE figuran numerosas instalaciones en proceso de clausura abiertas por los respectivos países a la colaboración internacional.

Puesto que Vandellós I va a ser la primera central nuclear que haya que desmantelar, parece lógico que la presencia española se produzca en el proyecto de desmantelamiento de un reactor de parecidas características, es decir, un grafito-gas. Entre los proyectos piloto figuran dos que parecen interesantes: el G-2 de Marcoule y el AGR de Windscale. En principio, el objetivo sería obtener información y, en otra etapa posterior, se evaluaría la posibilidad de participar en algunas de las tareas programadas.

- Estudio de las estrategias de almacenamiento de Vandellós I. Esta acción, aunque encuadrable en una línea anterior, se individualiza aquí, porque es preciso avanzar y concretarla en detalle, teniendo en cuenta la proximidad de su desmantelamiento. Se aplicará a este estudio toda la temática definida en las anteriores líneas citadas, a fin de evaluar las distintas estrategias.

Actualmente, ENRESA está elaborando los primeros estudios sobre el tema.

La problemática más específica de dicho desmantelamiento radica en el acondicionamiento y evacuación final del grafito procedente de la clausura de la central. Se trataría de estudiar los proyectos sobre esta materia que se están llevando a cabo en otros países y constituye, quizá, uno de los estudios de I+D que entran de lleno en la definición de investigación en su sentido estricto.

La extensión de vida de las centrales nucleares incide en la actuación de ENRESA por el incremento de residuos y por la programación de las clausuras. Por ello se realizará el seguimiento de la información que se obtenga a nivel internacional sobre esta materia, así como de las decisiones que vayan tomando las autoridades reguladoras en relación con las peticiones de extensión de vida que se presenten.

Dentro de UNESA existe un grupo de trabajo ligado al proyecto internacional PLEX de extensión de vida.

Análisis de la capacidad española para realizar operaciones de clausura, a partir del estudio de las operaciones de mantenimiento, reparación y descontaminación llevadas a cabo en las centrales nucleares por las compañías contratistas que han realizado estos menesteres y por los propios equipos de las CCNN. Por último, hay que señalar que de las anteriores líneas de trabajo han de surgir estudios, proyectos o trabajos de I+D que las desarrollen, en el momento

T II

País	Nombre	Situación	Tipo	POTENCIA		Período Funcionamiento	NIVEL		Comentarios
				MWT	MWE		Actual	Futuro	
ESTADOS UNIDOS	HNPG	Hallam, NB	SCGMR	256	75	62-64	2	—	En curso. SAFSTOR (almacenamiento seguro).
	Piqua	Piqua, OH	OMCDR	46	15	64-66	2	—	
	CVTR	Parr, SC	HWR	65	17	62-68	1	—	
	Bonus	Puerto Rico	BWR	55	15	62-68	2	—	
	Pathfinder	Sioux Falls, SD	BWR	190	62	62-67	1	2	En curso. SAFSTOR (almacenamiento seguro).
	Saxton	Saxton, PA	PWR	24	—	62-72	1	3	
	Elk River	Elk River, MN	BWR	58	—	64-68	3	—	
	Fermi	Lagoon Beach, MI	FBR	200	57	63-72	1	—	
	Peach Bottom	Peach Bottom, PA	HTGR	115	40	67-74	1	3	Hacia 2028.
	Humbolt Bay 3	Eureka, CA	BWR	240	72	63-76	1	3	Hacia 2010. SAFSTOR (alm. seguro).
	Shippingport	Shippingport, PA	PWR	240	72	57-82	3	—	SAFSTOR (almacenamiento seguro).
	Desden 1	Morris, IL	BWR	700	210	60-78	1	—	
	Indian Point 1	Buchanan, NY	PWR	615	257	62-74	1	3	
	Fort St. Vrain	Fort St. Vrain, CO	HTGR	842	330	79-86	—	—	
	Rancho Seco	Three Mile Island	PWR	2.272	967	74-88	—	—	Descargado combustible. Conversión a térmica de gas.
	TMI 2		PWR	2.772	—	78-79	1	3	Planificando.
	Shoreham	Argonne, WI	PWR	2.436	—	—	—	—	En curso.
	EBWR		BWR	100	—	56-67	1	3	Planificando.
	Plumbrook	Sandusky, OH	OMCDR	100	—	63-73	3	—	Aprovechamiento edificios.
	IRL	Plainsboro, NJ	PTR	5	—	58-75	—	—	
	SRE	Chatsworth, CA	SCGMR	20	—	57-65	3	—	
	GTR	Fort Worth, TX	—	10	—	72-74	3	—	
REINO UNIDO	SPERT	Idaho Falls, ID	LWR	—	—	—	3	—	Proyecto tipo.
	W. Reed	Washington, D.C.	—	50	—	62-71	3	—	
	DFR	Down Reay	FBR	—	14	59-77	1	—	
	WAG-R	Sellafield	AGR	100	33	63-81	1	3	
	Berkeley	—	Magnox	—	160	62-89	—	1, 2, 3	Descargando combustible hasta 1992.
	Hunterston A		Magnox	—	169	64-90	—	1, 2, 3	Niveles 1 y 2 seguidos; para el 3, 100 años de espera.
	DMTR	Dounreay	HWR	20	—	58-69	1/2	—	Esperando descarga.
	Dragon	Winfrith	HTGCR	10	—	64-76	2	—	Nivel 2 parcial.
	Bepo	Harwell	GCR	6,5	—	46-68	2	3	Espera 30 años para Nivel 3.
	Chinon A-1	Avoine-Chinon	GCR	300	70	63-73	1	3	
FRANCIA	G1	Marcoule	—	250	45	56-68	2	—	
	G2	Marcoule	GCR	250	45	58-80	1	2, 3	
	G3	Marcoule	GCR	250	45	59-84	1	2, 3	En curso, Nivel 2.
	Chinon A-2	Avoine-chinon	—	864	250	65-85	—	2	En curso, Nivel 2.
	EL2	Saclay	—	2,8	—	52-65	3	—	Proyecto tipo almacenamiento en planta.
	EL3	Saclay	—	18	—	59-79	2	—	Nivel 3 en 50 años.
	EL4	Avennillis	HWR	250	70	66-85	—	2, 3	En curso.
	Minerve	Font-Aux-Roses	LWR	1	—	59-76	3	—	
	Nercide	Font-Aux-Roses	LWR	5	—	59-82	3	—	
	Tritón/Nereida	Font-Aux-Roses	LWR	5	—	59-82	3	—	
ALEMANIA	Pegase	Cadarache	LWR	35	—	62-75	3	—	Utilizado almacenar combustible.
	Rapsodie	Cadarache	FBR	40	—	67-82	—	2, 3	
	Melusine	Grenoble	PTR	33	—	59-88	—	—	Nivel 2 en curso. Estudios Nivel 3.
	KKN	Niederaichbach	HWGCR	—	100	72-74	1	3	Parada prolongada.
	KRBA	Gundremmingen	BWR	—	250	66-77	1	—	En curso.
	KWL	Lingen	BWR	—	256	68-77	1	—	Experimentación descontaminación eléctrica.
	MZFR	Karlsruhe	PWR	—	58	—	1	2	Espera 30 años (2010).
	HDR	Grosswelaheim	BWR	100	23	70-71	—	—	En curso.
	FR2	Leopoldshafen	HWR	44	—	60-81	2	—	Parada prolongada.
	FRN	Neuherberg	LWR	1	—	72-82	2	—	En curso.
CANADA	Gentilly-1	Quebec	HWLWR	—	250	70-79	1/2	—	Conversión edificios. Reactor en laboratorio.
	—	—	—	—	—	—	—	—	Experimentación polución aire.
ITALIA	Garigliano	Caserta	BWR	—	160	64-78	1	—	Experimentación descontaminación hidroláser retirada amianto, almacenamiento de combustible en seco.
	Avogadro	Saluggia	PTR	7	—	59-72	1	—	Espera 30 años (2010) utilizando almacenes combustible.
JAPON	Galilei	Pisa	PTR	5	—	—	—	—	Experimentación técnicas Nivel 3 (corte bajo agua, etc.).
	JPDR	Tokai	BWR	90	12,5	63-76	3	—	
CHECOSLOVAQUIA	NPP-A1	Bohunice	HWGCR	—	110	72-79	—	1, 2, 3	
	—	—	—	—	—	—	—	—	
SUIZA	Exp- NVC. P.S.	Lucens	HWGCR	—	7	67-69	2	3	Nivel 1 en curso. Nivel 2 en 1995-2000.
SUECIA	Diorit	Würelingen	HWR	30	—	60-77	3	—	Nivel 3 posterior.
	Agesta	Stockholm	PHWR	—	12	63-74	1	3	En estudio, Nivel 3.
POLONIA	R-1	Stockholm	HWR	1	—	54-70	3	—	
	EWA	Swierk	LWR	10	—	58-?	—	—	
HOLANDA	DR	Schipol	—	—	—	—	3	—	
	ER	Eindhoven	PWR	0	—	—	—	—	En curso desmantelamiento.
	KSTR	Arnhem	PWR	1	—	74-77	3	—	

adecuado, según las necesidades que ENRESA vaya detectando.

PROYECTOS DE INVESTIGACION EN CURSO EN ESPAÑA

Son dos los proyectos relacionados con "clausura" que están en curso de realización. Ambos se refieren al tratamiento a dar a la chatarra generada durante las "operaciones de clausura" de los reactores nucleares, en cuanto a la forma de acondicionar los residuos y la posibilidad de utilización de métodos de descontaminación para alcanzar los límites de exención que permitiría su consideración como material débilmente radiactivo o totalmente exento.

- Estudios de viabilidad de libre evacuación, reciclado y uso de chatarra de acero generado en centrales nucleares. Aplicación a los tubos de un calentador de la CN de Sta. María de Garoña: Se lleva a cabo dentro del marco del contrato de I+D entre UNESA y ENRESA.
- Estudio de fundición de residuos metálicos procedentes del desmantelamiento de instalaciones nucleares: Se utilizarán materiales de aluminio y acero procedentes del desmantelamiento del reactor JEN-1 del CIEMAT. Este proyecto se realiza bajo la financiación comunitaria y en él participan, además de ENRESA, el CIEMAT, las compañías ENSA y LAINSA y la Universidad de Hannover, y tiene una duración de cuatro años.

CONCLUSIONES

En resumen, hay que subrayar de nuevo que los problemas del desmantelamiento de las instalaciones nucleares son, fundamentalmente, de dos tipos:

- De estrategia.
- Económicos.

De estrategia en cuanto al proceso a seguir en el tiempo, cuándo comienza, cuánto dura y qué nivel se alcanza para la retirada, el transporte y el almacenamiento de los diferentes materiales.

Económicos, ya que los costes asociados al conjunto pueden variar notablemente en función, principalmente, de dos cosas:

- De la posibilidad de desclasificar cantidades importantes de materiales a un coste rentable.
- Del momento en que se comience y la duración de cada una de las operaciones para alcanzar los distintos niveles.

El desmantelamiento, por último, no presenta problemas técnicos que preocupen al mismo nivel, ya que las tecnologías desarrolladas y existentes para otros usos se aplicará a éste, convenientemente aceptadas. Han de complementarse con aquellas tendentes a minimizar los impactos radiológicos al personal de ejecución, a minimizar la cantidad de residuos a producir, a mejorar las técnicas de manipulación de los residuos y de descontaminación, etc., y, como consecuencia de ello, también a abaratar los costes.

vainas de combustible van a parar también al refrigerante, que los deposita en las paredes que lo confinan, especialmente en los cambios de dirección del flujo (válvulas, codos, bombas, etc.), y zonas de baja velocidad (como fondos de componentes), depositándose por los siguientes mecanismos, sobre las superficies metálicas:

- Absorción física o química.
- Deposición mecánica sobre las superficies.
- Inclusión mecánica por abrasión de la superficie.
- Deposición electroquímica sobre los metales.

La capa de deposición que forman estos productos puede ser desprendible o no, dependiendo de las superficies donde se depositen los productos que viajan con el refrigerante. Los que tienen mayor importancia son los que aparecen en la tabla I, que corresponden al análisis de los productos de activación en el circuito primario de reactores de agua ligera.

En la tabla II se muestran los productos de corrosión y fisión insolubles depositados en el interior de un generador de vapor; de ella se deduce que el Co-58 y el Co-60 representan casi el 80% de la actividad total. En la tabla III aparecen los mismos productos en las superficies internas del condensador principal del reactor BWR; en ella el Co-58 pierde importancia en favor del Mn-54, manteniendo el Co-60 su importancia. Estas diferencias son debidas a los diversos materiales que componen los circuitos primarios en un reactor PWR (aceros austeníticos, incoel y zircaloy) y un BWR (aceros austeníticos, ferríticos, incoel y zircaloy).

La geometría y el diseño cuidadoso del flujo del refrigerante será determinante en la contaminación. El envejecimiento

TECNICAS DE DESCONTAMINACION RADIATIVA

José Antonio ESPALLARDO

Director de Tecnología y Servicios de ENSA

La contaminación en los materiales que componen las centrales nucleares comienza inmediatamente después de que las reacciones de fisión se produzcan en el núcleo del reactor. A partir de aquí la práctica totalidad de los elementos que componen el sistema primario de un reactor nuclear se contaminan.

Dos son las vías de contaminación: una por activación de los átomos que forman los materiales y otra por deposición de partículas activadas en las superficies que confinan el refrigerante primario. La contaminación superficial tiene su origen en la vasija del reactor donde son activados por un lado, los productos de corrosión y otros elementos disueltos en el agua del circuito primario y, por otro, los productos de fisión que por rotura de

T I

PRINCIPALES PRODUCTOS DE ACTIVACION ENCONTRADOS EN EL CIRCUITO PRIMARIO DE LOS REACTORES DE AGUA LIGERA

Reacción nuclear	Período (días)	Energía característica (MeV)	Fuente
$^{50}\text{Cr} (n, \gamma) \rightarrow ^{51}\text{Cr}$	28	0,32	Cromo/acero y agua
$^{54}\text{Fe} (n, p) \rightarrow ^{54}\text{Mn}$	313	0,84	Cromo/acero y agua
$^{58}\text{Fe} (n, \gamma) \rightarrow ^{59}\text{Fe}$	45	1,29 — 1,10	Hierro/acero y agua
$^{58}\text{Ni} (n, p) \rightarrow ^{58}\text{Co}$	71	0,81 — 0,51	Níquel/acero
$^{58}\text{Co} (n, \gamma) \rightarrow ^{60}\text{Co}$	1912	1,33 — 1,17	Cobalto/acero
$^{60}\text{Ni} (n, p) \rightarrow ^{60}\text{Co}$	1912	1,33 — 1,17	Níquel/acero
$^{181}\text{Ta} (n, \gamma) \rightarrow ^{182}\text{Ta}$	115	1,22 — 1,12	Tantalio/acero
$^{46}\text{So} (n, \gamma) \rightarrow ^{46}\text{Sc}$	85	1,1	Productos de corrosión
$^{65}\text{Zn} (n, \gamma) \rightarrow ^{65}\text{Zn}$	245	1,11	
$^{94}\text{Zr} (n, \gamma) \rightarrow ^{95}\text{Zr}$	65	0,73 — 0,76	
$^{123}\text{Sb} (n, \gamma) \rightarrow ^{124}\text{Sb}$	60	0,6 — 1,7	Impurezas en el acero
$^{46}\text{Ti} (n, p) \rightarrow ^{46}\text{Sc}$	85	1,1	Productos de corrosión

de las plantas incrementará de forma notable la contaminación al aumentar el flujo neutrónico acumulado y la probabilidad de rotura de vainas de combustible. Las capas de productos que se depositan superficialmente están formadas principalmente por óxidos metales tales como Fe, Cr y Ni a los que les siguen Co, Mn, Zn y otros elementos aleantes e impuros. Serán estos metales y la química del agua refrigerante (pH, oxígeno e hidrógeno disueltos, etc.), los que determinen la estructura y naturaleza de estos depósitos. En cuanto al inventario de estos productos de corrosión, del 80 al 90% se encuentran en las superficies del combustible, mientras que el resto está distribuido fuera de las superficies del núcleo, variando estas proporciones a medida que varían las concentraciones de boro y litio en el agua.

La capa de corrosión en la superficie fuera del núcleo está compuesta fundamentalmente por magnetita principalmente con Ni, Cr y, a veces, Zn en su red, dependiendo de los materiales que configuran estas superficies y de la química del agua. En cuanto al refrigerante secundario se contamina a través de las fugas del primario (en los generadores de vapor en los sistemas PWR y en los condensadores en los BWR fundamentalmente), si bien sus niveles de actividad son varias órdenes de magnitud menores.

Descontaminar será, pues, eliminar o reducir estos productos depositados que emiten radiación y, por tanto, producen dosis en las personas.

El objetivo de la descontaminación es el de reducir estas dosis en el personal profesionalmente expuesto que trabaja en las Centrales Nucleares y en la población, ante la eventualidad de emisiones radiactivas. A la hora de analizar una operación de descontaminación hay que hacerlo no sólo desde el punto de vista técnico, sino también radiológico y económico. La experiencia demuestra que es necesario juzgar, caso por caso, el proceso más conveniente. Una operación de descontaminación lleva asociado un coste radiológico del personal que la ejecuta, y unos residuos secundarios que han de ser tratados en la planta de la propia central o en plantas especiales que también producen un coste radiológico y un volumen determinado de residuos.

Se definen dos parámetros fundamentales en toda operación de descontaminación: el factor de descontaminación y la dosis ahorrada.

Factor de descontaminación es la relación entre la actividad después y antes del descontaminado. Dosis ahorrada es la dosis que se recibiría en toda su historia con el equipo sin descontaminar menos la dosis con el equipo descontaminado, restando a esa diferencia las dosis recibidas en la operación de des-



José A. Espallardo.

contaminación y en el acondicionamiento de los residuos.

Para decidir la conveniencia o no de descontaminar un determinado componente y qué proceso es el más conveniente habrá que conocer:

- Tipo y forma de la contaminación a eliminar.
- Factores de descontaminación obtenidos.
- Estimación de dosis del personal en cada proceso.
- Volumen de residuos generados en cada proceso.
- Facilidad del tratamiento de esos residuos.
- Tiempo empleado en la descontaminación.
- Estado en que el proceso deja a las superficies desde el punto de vista de su resistencia a la corrosión.
- Riesgo de daño estructural a los componentes.

- Otros riesgos de seguridad asociados al proceso.
- Aceptación del Organismo Regulador.
- Coste del proceso en su totalidad.

TECNICAS DE DESCONTAMINACION

Las técnicas de descontaminación estarán dirigidas al tipo de contaminación, material que la soporta y volumen de lo que se quiere descontaminar y dependerán de si el componente o elemento va o no a ser prensado.

Podemos distinguir, en primer lugar, las que se emplean para materiales metálicos y no metálicos.

En las segundas es el hormigón el material más habitualmente descontaminado, siendo el proceso de descontaminación más eficaz el eliminar las superficies externas por medios mecánicos o térmicos como:

- Descaramiento de la capa superficial (tiene el inconveniente de producir polvo y aerosoles, por tanto, requiere un estudio adecuado de la ventilación).
- Descaramiento por calor utilizando una llama de alta temperatura.
- Por microonda.

La descontaminación de superficies metálicas se hace mediante la eliminación de las capas de óxidos adheridos a las superficies de los metales, utilizando técnicas químicas o mecánicas.

Las técnicas químicas tienen el inconveniente de dañar los materiales base al ser tratados con ácidos, además de los

T II

PRODUCTOS DE CORROSION ACTIVADOS Y PRODUCTOS DE FISION INSOLUBLES EN LAS SUPERFICIES INTERNAS DE LOS GENERADORES DE VAPOR

Radionúclidos	ci/m ²
Cr- 51	5,3 × 10 ³
Mn- 54	8,0 × 10 ³
Fe- 59	1,8 × 10 ³
Co- 58	1,0 × 10 ⁵
Co- 60	7,1 × 10 ⁴
Zr- 95	8,8 × 10 ³
Nb- 95	1,2 × 10 ⁴
Ru-103	5,9 × 10 ³
Cs-137	2,6 × 10 ²
Cs-141	1,5 × 10 ⁴

El Co-58 y el Co-60 suponen el 78% de la actividad total.

Sistemas	Superficie (m ²)	Actividad (ci/m ²)
Generadores vapor (3)	1,9 × 10 ⁴	0,23

T III

**PRODUCTOS DE CORROSION ACTIVADOS Y PRODUCTOS DE FISION
INSOLUBLES EN LAS SUPERFICIES INTERNAS DEL CONDENSADOR
PRINCIPAL DE UN BWR**

Radionúclidos	ci/m ² (parada)
Cr- 51	$1,03 \times 10^2$
Mn- 54	$1,95 \times 10^3$
Fe- 59	$1,25 \times 10^2$
Co- 58	$4,65 \times 10^1$
Co- 60	$2,35 \times 10^3$
Zn- 65	$3,05 \times 10^1$
Zn- 95	$2,00 \times 10^1$
Ru- 95	$2,00 \times 10^1$
Ru-103	$1,12 \times 10^1$
Ru-106	$1,40 \times 10^2$
Cs-134	$9,50 \times 10^1$
Cs-137	$1,70 \times 10^2$
Ce-141	$1,50 \times 10^1$
Ce-144	$4,05 \times 10^1$

El Co-58 y el Co-60 suponen el 78% de la actividad total.

Sistemas	Actividad (ci/m ²)
Turbina	5×10^{-4}
Condensador principal	5×10^{-3}

bajos rendimientos y la gran cantidad de residuos generados.

No obstante, existen descontaminantes químicos blandos que están contenidos en la disolución en menos del 1%. Algunos de estos métodos que ya existen comercialmente han llegado a cumplir con los siguientes criterios:

- Factores de descontaminación altos.
- Mínima corrosión en los materiales tratados.
- Posibilidad de regeneración y reutilización de los reactivos.
- Producción de pequeños volúmenes de residuos secundarios.

Casi todos los procesos de descontaminación química se hacen al menos en dos pasos: uno primero de oxidación y otro de reducción y descontaminación. La oxidación se produce mediante la utilización de un permanganato alcalino a una temperatura máxima de 95° C. La reducción/descontaminación se lleva a cabo a través de disoluciones de ácidos orgánicos y agentes quelantes tales como el EDTA (etile-diamin-tetra-acético). La combinación de ácidos orgánicos suelen ser cítrico y oxálico. La mezcla de los ácidos orgánicos es muy importante para evitar el ataque del grano del material base pretendiendo que la superficie tratada quede adecuadamente pasivizada. Con estos métodos se consiguen factores de descontaminación a partir de 6 hasta más de 100.

Estos procesos químicos se utilizan para partes, componentes e incluso sistemas completos y en tiempos entre 10 y 20 horas. En algunos de ellos, el reactivo se regenera y la solución ácida se neutraliza con la alcalina, produciendo relativamente pocos residuos.

Las piezas y los equipos de tamaño pequeño y medio (hasta internos de bombas principales) se pueden introducir desmontados en recipientes preparados para ello, pudiéndose también agitar el baño con ultrasonidos para aumentar la eficacia del proceso.

Procesos electroquímicos. Se basan en la técnica de electropolido (Fig. III). Son procesos de gran efectividad y tienen la ventaja de dejar la superficie pulida, con lo cual la susceptibilidad a la recontaminación es baja. Se utilizan como electrolitos ácidos o mezclas de ácidos tanto orgánicos como inorgánicos. Se usan bajas tensiones y altas densidades de corriente, siendo esta última junto con la mezcla de ácidos el parámetro crítico. Con este método se pueden descontaminar superficies planas de acero inoxidable (piscinas de combustible), superficies curvas (cajas de agua, contenedores de elementos combustibles, interior de tuberías, etc.). También se usa este método para pulir superficies frías y prepararlas para resistir a la contaminación.

El electropolido puede ser usado de forma automatizada, desarrollándose, in-

cluso, un procedimiento de electropolido bajo agua para piscinas llenas de agua con elementos combustibles.

Capas de polímeros pelables

Recientemente se ha avanzado en esta técnica, que consiste en extender capas de polímeros en superficies contaminadas con el doble objetivo de que los polímeros arranquen los óxidos metálicos activos e impidan, mientras estas capas están situadas, la contaminación. Parece que se están consiguiendo algunas aplicaciones en la cavidad del reactor durante las recargas, cubriendo la cavidad con esta capa, evitando así la contaminación cuando se llena con agua del primario e impidiendo fugas en el "liner" que no son infrecuentes.

Espumas

Están formadas por una sustancia química estabilizante y otra descontaminante. Son fáciles de aplicar y requieren poca agua para el lavado posterior.

Descontaminación no química en metales

Los procesos de descontaminación no química son fundamentalmente los mecánicos y el freón con ultrasonidos. Entre los mecánicos podemos citar:

- Fregado, cepillado y lavado, similares a los conocidos métodos de limpieza convencionales; se usan para eliminar la descontaminación muy superficial.
- Sistemas abrasivos. Se usan lijas o piedras como en la industria convencional que elimina la superficie contaminada, produce polvo y aerosoles que hay que extraer por vacío para evitar contaminación.
- Chorreado con agua. A poca presión elimina las partículas desprendibles (hasta 10 M Pa). A gran presión, el agua (más de 1.000 M Pa) puede arrancar capas de óxido (poco adheridas) dirigiéndola con toberas o eyectores adecuados. Se puede combinar con agua caliente o con abrasivo aumentando así su eficacia. Alcanza factores de descontaminación de hasta 50.
- Chorreado abrasivo. Utiliza abrasivo como arena, aluminio, carborundo, etc. Se obtienen factores de descontaminación muy altos (hasta 200).
- Freón con ultrasonidos. Es un proceso mezcla de químico y mecánico que elimina la contaminación de las superficies por disolución de los componentes orgánicos. Es muy efectivo para la eliminación de las grasas y en piezas que se puedan introducir en un baño. El freón se vaporiza a temperatura ambiente y ganará muy pocos residuos secundarios.