

## Inspecciones nucleares en el Iraq: Retirada de las últimas existencias de combustible irradiado

*En operación sin precedentes se logra retirar del Iraq en condiciones de seguridad, todas las existencias declaradas de material utilizable para la fabricación de armas nucleares*

por Fernando  
López Lizana,  
Robert Ouvrard  
y Ferenc Takáts

Cuando la última remesa de uranio muy enriquecido contenido en combustible gastado salió del aeropuerto iraquí de Habbaniya en febrero de 1994, se alcanzó un hito en la labor de vigilancia y verificación del antiguo programa nuclear iraquí que realiza el OIEA. Casi tres años antes, el 12 de abril de 1991, el Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas había aprobado la resolución 687, en la que, entre otras cosas, decidió que el Iraq debía acceder a "colocar todo su material utilizable para armas nucleares bajo el control exclusivo del Organismo Internacional de Energía Atómica, que se ocupará de su custodia y remoción con la asistencia y cooperación de la Comisión Especial de las Naciones Unidas".

Con la operación de retirada del combustible gastado —que se efectuó en dos remesas, el 4 de diciembre de 1993 y el 12 de febrero de 1994— concluyó eficazmente la remoción de las existencias declaradas de material utilizable para la fabricación de armas nucleares del Iraq. Fue preciso superar grandes dificultades técnicas para retirar el combustible, parte del cual estaba sepultado bajo los escombros de un reactor de investigación destruido durante la guerra de 1991.

Esa remoción se inserta en un conjunto de actividades realizadas por el OIEA en los últimos tres años de conformidad con lo establecido en las resoluciones del Consejo de Seguridad. En 1991, tras realizar sus primeras inspecciones en el Iraq, los equipos de inspección del OIEA retiraron cantidades de plutonio del orden del gramo que se demostró habían sido separadas por el Iraq, y supervisaron la remoción de material nuclear, incluso combustible nuclear fresco, que formaba parte del inventario nuclear declarado por el Iraq y sometido a las salva-

guardias del OIEA. Aunque ya se han retirado del Iraq las existencias declaradas de material utilizable para la fabricación de armas nucleares, la labor del OIEA en ese país continúa e incluye la puesta en práctica de un plan de vigilancia y verificación a largo plazo de las actividades nucleares iraquíes.

En el presente artículo se describe la labor de remoción del combustible gastado, fundamentalmente desde el punto de vista de las dificultades técnicas encontradas y las cuestiones que fue preciso tener en cuenta en materia de seguridad y protección radiológica.

### Preparativos de la operación

Al planificar la operación, el OIEA solicitó a diversos gobiernos que aportaran acuerdos contractuales para la remoción, el transporte y evacuación de todos los conjuntos combustibles irradiados de los reactores de investigación del Iraq. En junio de 1993 el OIEA y el Comité de Relaciones Internacionales en nombre del Ministerio de Energía Atómica de Rusia (Minatom), firmaron un contrato para la retirada, el transporte y el reprocesamiento de los conjuntos combustibles irradiados, y para el almacenamiento definitivo en Rusia de los desechos generados durante el reprocesamiento.

Si bien el Minatom era responsable de toda la operación, había dos subcontratistas principales: la Empresa de garantías nucleares de los Estados Unidos (NAC) para la manipulación, limpieza y embalaje del combustible irradiado; y la compañía de carga aérea Touch and Go Ltd., de Rusia, para el transporte aéreo de los contenedores entre el Iraq y Rusia. Las conversaciones sobre los aspectos técnicos y financieros para concertar el contrato con Minatom (firmado el 21 de junio de 1993) se extendieron por varios meses. Asimismo, fue preciso enviar varias misiones al Iraq para asegurar la colaboración necesaria de la parte iraquí y vigilar la marcha de los trabajos de preparación de los emplazamientos.

El Sr. López Lizana es funcionario de la División de Seguridad Nuclear del OIEA y el Sr. Ouvrard es Jefe Interino de la Sección de Servicios de Seguridad Radiológica de esa División. El Sr. Takáts es funcionario de la División del Ciclo del Combustible Nuclear y Gestión de Desechos del OIEA.

### Conjuntos combustibles gastados retirados del Iraq

Tipo	Cantidad
Conjuntos IRT-2M tipo tubular (80% de enriquecimiento)	96
Conjuntos EK-10, EK-36, EK-NU (10%, 36%, natural)	74
Conjuntos TAMUZ II MTR (93% de enriquecimiento)	32
Conjuntos de control TAMUZ II (93% de enriquecimiento)	6
<b>Total</b>	<b>208</b>

En cuanto a los aspectos técnicos, la labor comprendía las fases operacionales siguientes:

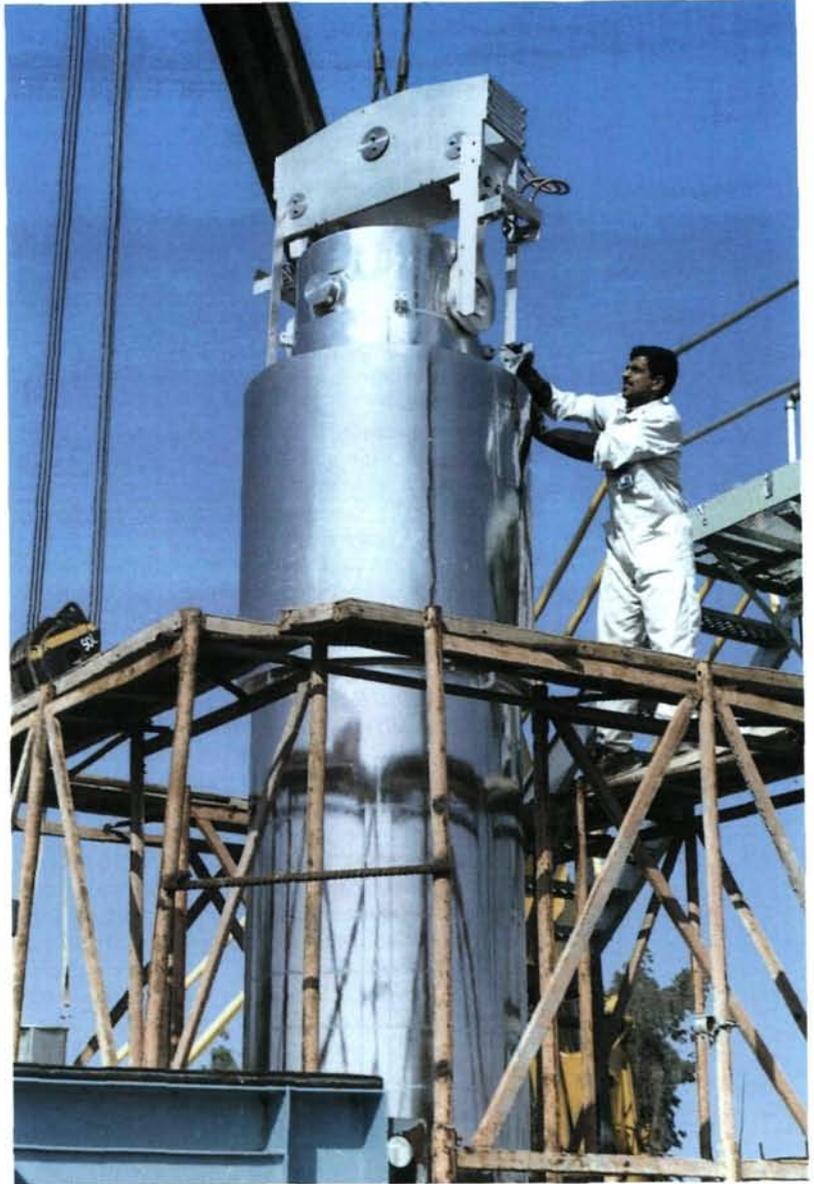
- obtener acceso al combustible,
- limpiar el combustible a fin de eliminar las impurezas y los posibles contaminantes radiactivos de su superficie,
- verificar cada conjunto (tipo y números de serie),
- cargar el material en un contenedor de transporte,
- trasladar el contenedor por carretera desde el punto de carga hasta el aeropuerto,
- transportar por vía aérea los contenedores desde Bagdad hasta Yekaterinburgo, en la Federación de Rusia, y
- transportar el contenedor por carretera desde Yekaterinburgo hasta la planta de reelaboración de Chelyabinsk.

Los preparativos incluían:

- la fabricación de equipo tecnológico (por ejemplo, para la limpieza del combustible y el almacenamiento del agua);
- la fabricación o adquisición del equipo y las piezas de repuesto considerados necesarios para el trabajo, pero que no podían comprarse en el país (estructuras de soporte de contenedores, neumáticos de repuesto para camiones y piezas de repuesto para grúas, entre otros);
- el otorgamiento de licencia para el contenedor de transporte por parte del órgano reglamentador ruso; y
- la preparación del equipo de protección radiológica y de un sistema de registro de dosis por parte del personal del OIEA.

La labor preparatoria concluyó durante el verano de 1993. Los trabajos en el terreno comenzaron realmente el 6 de octubre de 1993 y la última remesa de combustible irradiado salió del Iraq el 12 de febrero de 1994. Durante todo este período, sucesivos funcionarios del OIEA permanecieron en el lugar para supervisar el cumplimiento de los contratos y asegurar el vínculo de cooperación con las autoridades iraquíes.

Las contrapartes iraquíes realizaron una amplia labor que incluyó la recogida de escombros y la limpieza de los emplazamientos; el suministro de grúas, camiones y otro equipo y la construcción de un con-



tenedor de traslado, plataformas de hormigón y dos piscinas de limpieza. Además, proporcionaron personal operacional y de protección radiológica, habilitaron oficinas en los emplazamientos y realizaron todas las actividades de apoyo pertinentes.

### Los emplazamientos del combustible nuclear irradiado

Los conjuntos combustibles irradiados retirados del Iraq procedían de los reactores de investigación del Centro de Investigaciones Nucleares de Tuwaitha y estaban almacenados en dos emplazamientos diferentes, uno en Tuwaitha y el otro en Garf al Naddaf, zona rural no lejos de Tuwaitha. En total había que retirar más de 200 conjuntos combustibles gastados. (Véase el cuadro.)

**El reactor de investigación IRT-5000.** Este reactor tipo piscina refrigerado por agua del Centro de Investigaciones Nucleares de Tuwaitha tenía una po-

**Un trabajador iraquí ayuda a preparar un contenedor de combustible gastado para su embarque.**

(Cortesía: Comisión de Energía Atómica del Iraq)

tencia inicial de 2 megavatios térmicos (MWt), aumentada a 5 MWt en 1978. Había combustible en la piscina del reactor y en una piscina auxiliar de almacenamiento de combustible irradiado.

Los ataques aéreos efectuados por la coalición durante los primeros días de la guerra de 1991 destruyeron este reactor y otras instalaciones nucleares de Tuwaitha. Afortunadamente, las piscinas no recibieron impactos directos y no se dañaron los conjuntos combustibles. No obstante, los escombros de las estructuras derrumbadas cubrieron la piscina del reactor y antes de acometer las labores de recuperación fue preciso trabajar internamente en la eliminación de escombros para tener acceso a la piscina. Había que retirar de este emplazamiento 76 conjuntos combustibles.

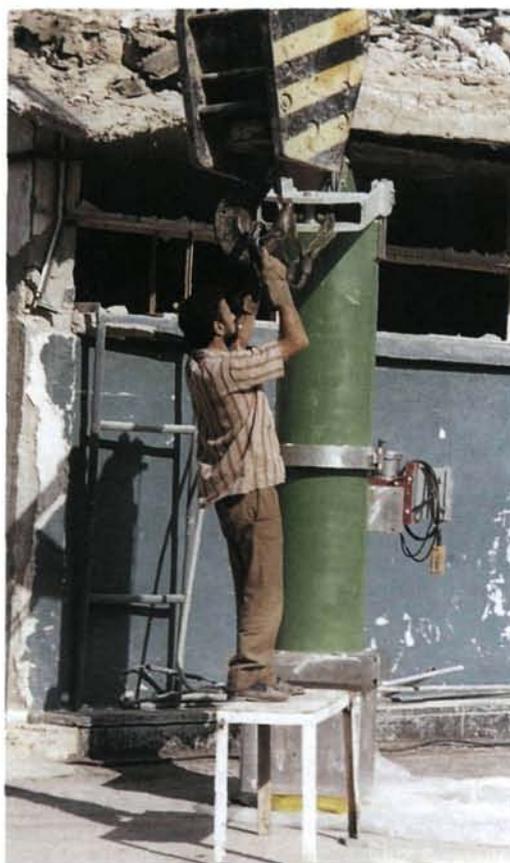
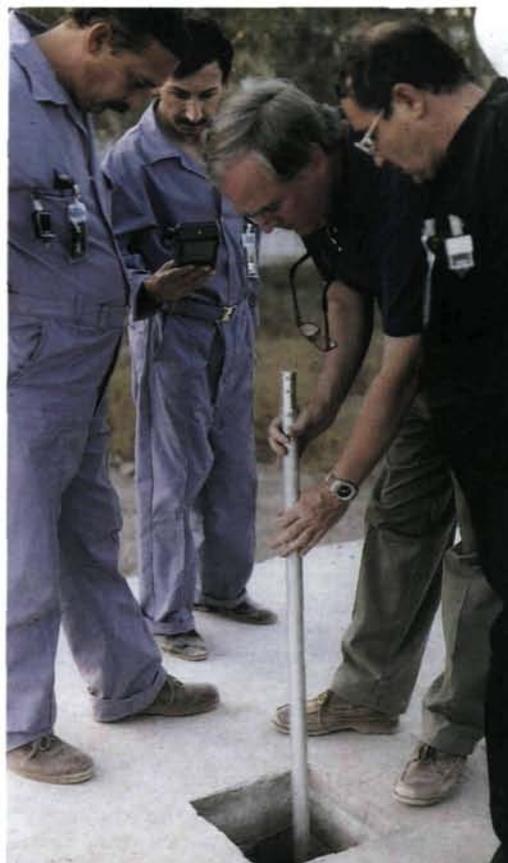
**Emplazamiento B.** Durante los primeros días de la guerra, los iraquíes trasladaron algunos de los conjuntos combustibles irradiados que estaban almacenados en Tuwaitha para evitar su destrucción durante los bombardeos. Los conjuntos fueron trasladados a un lugar situado en el distrito Garf al Naddaf, a 5 kilómetros más o menos del Centro de Investigaciones Nucleares de Tuwaitha. El OIEA lo ha denominado "Emplazamiento B". El sitio distaba mucho de ser ideal para el almacenamiento de combustible nuclear, porque no era más que una hacienda de alrededor de un acre de superficie, sin edificaciones ni servicios de apoyo como agua o electricidad. Como no había caminos interiores y el suelo era arcilloso, resultaba difícil transitar por el terreno cuando caían lluvias fuertes.

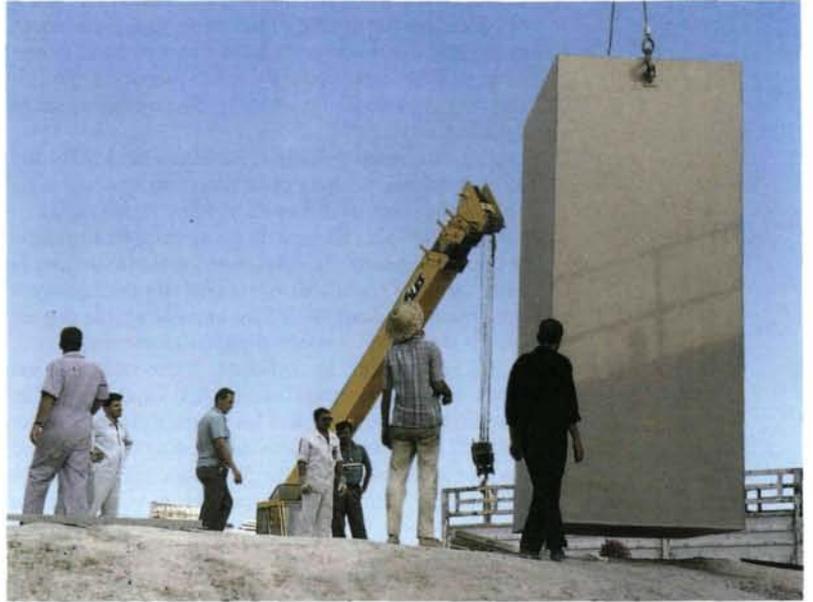
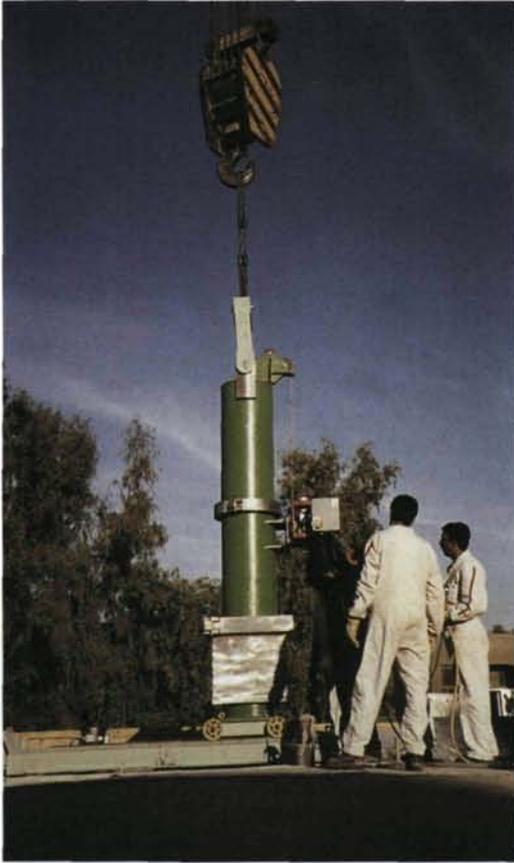
En ese lugar se enterraron al aire libre 16 tanques de hormigón para almacenamiento y se llenaron de agua. Los bastidores de aluminio que se colocaron sostenían los conjuntos combustibles irradiados en bidones de acero al carbono. Cada tanque contenía hasta dos bidones. Cada tanque (en realidad todos estaban enterrados por debajo del nivel de la superficie) estaba cubierto con una plancha de hormigón armado provistas de un orificio en el centro para poder llenarlo de agua, y cada una de éstas a su vez estaba cubierta por otra plancha de hormigón más pequeña.

Al final de enero de 1992, tras un período de inundaciones, hubo que modificar las condiciones de almacenamiento, ante el temor de que se produjeran fugas y contaminación de las aguas subterráneas. Se construyeron 14 nuevos tanques de hormigón para sustituir los 16 tanques originales. Los bidones interiores de acero al carbono fueron reemplazados por otros de acero revestido con estaño. Se enterraron los 14 tanques nuevos de forma tal que el borde sobresaliera parcialmente un metro por encima de la superficie del terreno para evitar la penetración de aguas subterráneas. De este emplazamiento había que retirar 132 conjuntos combustibles de diferentes tipos.

### Instalaciones y equipo para la operación

**Las estaciones de limpieza.** Dada la presencia de todo tipo de residuos, piedras, arena y otros materiales, fue necesario limpiar los conjuntos combustibles antes de colocarlos en el contenedor de transporte. Esto requirió instalar en los dos emplaza-





*Escenas de la operación de remoción:* Durante cinco meses, desde finales de 1993 hasta principios de 1994, el OIEA organizó y supervisó la remoción de todas las existencias declaradas de material utilizable en armas nucleares del Centro de Investigaciones Nucleares de Tuwaitha y de un emplazamiento de almacenamiento cercano en el Iraq. En total se recuperaron 208 conjuntos combustibles nucleares gastados de uranio muy enriquecido que posteriormente fueron limpiados, cargados en contenedores de transporte de 23 toneladas, precintados y sacados del territorio iraquí por vía aérea. Estas imágenes muestran escenas de la compleja y técnicamente difícil operación en la que participaron 170 trabajadores, entre ellos personal iraquí, expertos del OIEA y contratistas estadounidenses y rusos. (Cortesía: R. Ouvrard, OIEA; Comisión de Energía Atómica del Iraq)



mientos, sendas estaciones de limpieza de alrededor de 4 metros de profundidad cada una para poder manipular los conjuntos combustibles en condiciones de seguridad. Se construyeron con paredes de hormigón provistas de un revestimiento adicional de acero para hermetizarlas.

Las estaciones de limpieza estaban equipadas con un dispositivo de maniobra (del tipo que permitía voltear los objetos) donde se introdujo cada conjunto para su limpieza, además de un sistema de filtración del agua adecuado. Se colocaron los conjuntos con la parte superior hacia abajo para que salieran las partes más grandes y después se lavó el combustible con un chorro de agua a presión dirigido desde arriba.

**El contenedor de traslado.** Para trasladar los conjuntos combustibles desde los lugares en que estaban almacenados hasta las estaciones de limpieza y de allí a los contenedores de transporte, se empleó un contenedor de traslado blindado. El contenedor de traslado, suministrado por la NAC, tenía un blindaje de plomo de 13,2 centímetros de grosor y una válvula esférica inferior. El diseño de la parte inferior permitía que se ajustase lo mismo a un colimador de plomo cuando se usara en la estación de limpieza y en el adaptador del contenedor de traslado.

Para izar los conjuntos se utilizaron diferentes tipos de ganchos controlados por aire comprimido. El combustible se introducía en el contenedor o se bajaba con un montacargas eléctrico.

**Los contenedores de transporte.** Los contenedores de transporte fueron diseñados y suministrados por la NAC, y eran del tipo conocido como paquetes NAC-LWT, empleados habitualmente para transportar un conjunto combustible de reactor de agua a presión o dos conjuntos de reactor de agua en ebullición. Estos contenedores fueron modificados para la operación iraquí a fin de adaptarlos a los conjuntos combustibles de los reactores de investigación iraquíes (24 conjuntos del TAMUZ II y 28 del IRT-5000). Dentro del contenedor, los conjuntos combustibles se colocaron en dos recipientes de acero inoxidable para combustible situados en dos niveles diferentes.

Los contenedores de transporte cumplen los requisitos establecidos en el Vol. N° 6 de la Colección Seguridad del OIEA, titulado *Reglamento para el transporte seguro de materiales radiactivos* (Edición de 1985, enmendada en 1990). Como la Comisión Reglamentadora Nuclear de los Estados Unidos (NRC) no había adoptado aún los actuales requisitos del OIEA, fue necesario obtener una licencia del órgano reglamentador ruso para utilizar los contenedores de la NAC.

Cada contenedor está hecho de acero inoxidable (peso total: cerca de 23 toneladas). El blindaje gamma que rodea a los conjuntos combustibles está compuesto por:

- paredes laterales: 1,9 centímetros de plomo, 16,6 centímetros de acero y 3,0 centímetros de plomo. Para esta operación en particular se eliminó el blindaje original de neutrones, hecho de una solución de tetraborato de potasio.
- parte inferior: 10,16 centímetros de acero, 7,62 centímetros de plomo y 8,89 centímetros de acero;
- parte superior: 28,57 centímetros de acero.

Los conjuntos combustibles se introdujeron por la parte superior; los contenedores de transporte se mantuvieron en posición vertical dentro de la estructura de soporte del contenedor.

Dada la capacidad de carga del avión, para esta operación se necesitaron cuatro contenedores de transporte, por lo que hubo que realizar dos vuelos para trasladar todo el combustible gastado.

Según las disposiciones del reglamento de transporte del OIEA, era preciso respetar los siguientes límites de la tasa de dosis: 2 milisievert por hora (mSv/h) en la superficie del contenedor; 0,1 mSv/h a dos metros de la superficie del vehículo de transporte; y 0,02 mSv/h a nivel del personal de transporte.

### Procedimiento operacional

En ambos emplazamientos se siguió, con ligeras diferencias, un procedimiento operativo similar que incluía los siguientes pasos:

Cada conjunto combustible se trasladó por separado del lugar de almacenamiento a la estación de limpieza. Primeramente se extraía el conjunto de su lugar de almacenamiento y se introducía en el contenedor de traslado utilizando para ello un dispositivo de ganchos fijado a un cable. Acto seguido se cerraba la válvula esférica inferior del contenedor de traslado, se izaba éste, se trasladaba a la estación de limpieza y allí se depositaba sobre un adaptador ubicado directamente encima de la estación. A continuación se abría la válvula esférica inferior y se introducía el combustible en el dispositivo de limpieza. Después que el conjunto combustible quedaba asentado correctamente, mediante un control a distancia se liberaban los ganchos y se recogían al interior del contenedor de traslado. Se cerraba la válvula esférica inferior del contenedor y se retiraba éste.

Primeramente se limpiaba cada conjunto combustible con agua a presión a fin de eliminar los escombros y lavar las grietas que hubiera en su interior, para lo cual era preciso colocar el conjunto boca abajo y aplicar chorros de alta presión a través del acople de su extremo inferior. A continuación se colocaba el conjunto en su posición original y se inspeccionaba visualmente. El proceso de limpieza se repitió cuantas veces fuera necesario.

Posteriormente se trasladaba el conjunto limpio al contenedor de transporte utilizando para ello el contenedor de traslado. Una vez cargado con el conjunto combustible y cerrado, el contenedor de traslado se izaba y se llevaba hasta la zona de embarque, donde se depositaba en un plato adaptador ubicado directamente encima del contenedor de embarque. Se procedía entonces a abrir la válvula esférica inferior y la válvula protectora del plato adaptador, y se introducía el conjunto combustible en el contenedor de embarque. Una vez asentado correctamente el conjunto combustible, los ganchos se liberaban mediante una operación a distancia y se recogían al interior del contenedor de traslado. Acto seguido se cerraban la válvula esférica y la válvula protectora del plato adaptador, y se retiraba el contenedor de traslado.

Era necesario repetir estas operaciones hasta llenar completamente un contenedor de embarque (en realidad, los conjuntos limpios se almacenaban

provisionalmente en la estación de limpieza para facilitar el flujo de trabajo entre los tanques de almacenamiento y la estación de limpieza). Después se trasladaba el contenedor de embarque a una zona de descontaminación para limpiarlo hasta que alcanzase los niveles establecidos para el embarque.

Después seladeaba el contenedor hasta colocarlo en posición horizontal, provisto de amortiguadores, y se aseguraba dentro del contenedor ISO. Se realizaba un último examen radiológico para verificar el cumplimiento de los requisitos establecidos por el OIEA, tras lo cual se colocaban los precintos de salvaguardia.

De esta manera se prepararon cuatro contenedores de embarque en cada una de las dos campañas, se enviaron custodiados hasta el aeropuerto de Habbaniya, y allí se cargaron en una aeronave Antonov-124 para su traslado a Rusia.

### Consideraciones en materia de seguridad

Dadas las circunstancias, las condiciones en que se encontraban ambos emplazamientos antes de comenzar la operación no podían considerarse normales desde el punto de vista de la seguridad.

El emplazamiento del reactor IRT estaba lleno de escombros y lo que quedaba de la instalación amenazaba con derrumbarse. No obstante, los niveles de radiación eran bajos.

En el Emplazamiento B la situación era muy diferente. Aunque los niveles generales de radiación eran bajos, es decir, de 10 a 30 microsievert por hora (lo cual corresponde a niveles normales en zonas controladas), las tasas de dosis eran considerablemente más altas en la parte superior de cada tanque de almacenamiento, donde tendría que trabajar el personal. Además, las tasas de dosis dependían mucho del nivel de agua por encima de los conjuntos combustibles. (En inspecciones anteriores se habían registrado niveles de radiación de hasta 10 mSv/h.) Por otra parte, para la limpieza manual preliminar de los conjuntos había que quitarles las planchas protectoras de hormigón más pequeñas que tenían en la parte superior, lo que había expuesto a los trabajadores (aunque fuese por breve tiempo) a niveles de radiación inaceptables, a saber, en algunos casos de hasta 1 Sv/h (100 rem/h).

Por lo tanto, fue preciso realizar un trabajo preparatorio considerable antes de que se pudieran iniciar las operaciones de remoción. Ese trabajo incluyó el suministro de agua y electricidad al emplazamiento, la construcción de oficinas e instalaciones y el reforzamiento del terreno a fin de que soportara el equipo para cargas muy pesadas.

### Medidas de protección radiológica

Lo más importante desde el punto de vista de la protección radiológica fue la preparación de un blindaje de hormigón adicional para los tanques de almacenamiento. Este blindaje consistía en dos estructuras de hormigón (de 5 por 5 metros, 80 centímetros de grosor, y de 60 a 77,5 centímetros de altura) y calzadas entre sí y rodeaban completamente cada tanque.

Además, se prepararon dos grandes cubiertas protectoras de hormigón. Cada cubierta tenía un orificio en el centro que servía tanto para la limpieza manual de los conjuntos como para acoplar un colimador de plomo donde descansaría el cofre de traslado. Este blindaje adicional bastó para reducir la exposición a las radiaciones a un nivel aceptable, es decir, a menos de 0,2 mSv/h (20 milirem/h) en los lugares de trabajo y a menos de 0,02 mSv/h (2 milirem/h) alrededor del tanque blindado.

Se blindaron dos tanques a la vez para optimizar las operaciones de las grúas. Antes de iniciar el traslado del combustible irradiado, siempre se verificaban los niveles de radiación y, como se había solicitado, se añadía agua a los tanques. Además, se tomaban muestras del agua de los tanques para observar su posible contaminación con productos de fisión a fin de detectar tempranamente cualquier daño de la integridad de las vainas de combustible. El análisis de espectrometría gamma estuvo a cargo del grupo iraquí de protección radiológica.

Para la vigilancia personal, a cada trabajador se le suministró:

- un dosímetro termoluminiscente (DTL), distribuido al principio (octubre, enero) y leído al final (diciembre, febrero) de cada una de las dos campañas;
- un dosímetro electrónico personal (DEP) leído al final de cada jornada de trabajo.

Además, en el terreno se utilizaba diariamente un programa de computadora para registrar los datos relativos a las dosis, preparado especialmente con este fin.

La operación de remoción se efectuó en dos campañas: del 6 de octubre al 12 de diciembre de 1993 y del 6 de enero al 12 de febrero de 1994. En cada período se realizaron actividades en ambos emplazamientos.

Participaron en total 170 personas. La dosis colectiva ascendió a 0,11 Sv·hombre, con una dosis media individual equivalente a 0,66 mSv. La dosis individual máxima fue de 8,5 mSv, lo que representa alrededor del 17 por ciento del límite anual de dosis.

### Esfuerzos coordinados

La remoción por vía aérea del combustible irradiado del Iraq —una operación sin precedentes— se realizó según lo programado y sin problemas significativos. Las exposiciones individuales a la radiación se mantuvieron razonablemente bajas, a un nivel muy inferior al que cabría esperar para una operación tan difícil, lo que demuestra el grado de cooperación alcanzado en la labor preparatoria y el alto nivel de competencia desplegado en la operación.

El combustible gastado se transportó en un Antonov-124 directamente desde el Iraq hasta Yekaterinburgo, Rusia, y de allí a una instalación de reelaboración en Chelyabinsk. Tras diluir este combustible en Chelyabinsk hasta reducir su nivel de enriquecimiento, bajo la supervisión del OIEA, el material nuclear residual se venderá para su uso en actividades nucleares con fines pacíficos.