

Situación actual de las salvaguardias del OIEA aplicables a las instalaciones del ciclo del combustible nuclear

INTRODUCCION

Este artículo se propone examinar los métodos que el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) utiliza actualmente para salvaguardar diversos tipos de instalaciones del ciclo del combustible nuclear. Expone los objetivos y criterios de salvaguardia en la forma en que se utilizan para la planificación de las tareas de inspección del OIEA, así como las técnicas específicas de salvaguardia que emplea el Organismo. La Parte I es de orden general y comprende un examen panorámico de las salvaguardias, así como una exposición de los procedimientos aplicables a la mayor parte de las instalaciones sometidas a las salvaguardias del OIEA, si no a todas. La Parte II se divide según dos tipos específicos de instalaciones y centra su atención sobre las medidas particulares de salvaguardia que se aplican a las mismas. Las salvaguardias han alcanzado diferentes grados de elaboración para diferentes tipos de instalaciones, en parte porque la experiencia del Organismo en la aplicación de salvaguardias a ciertos tipos de instalaciones es considerablemente mayor que para otros tipos. Por ejemplo, el Organismo posee una gran experiencia en la aplicación de salvaguardias a los reactores térmicos de potencia, en particular a los reactores de agua ligera. Pero posee una experiencia muy limitada en la aplicación de salvaguardias a los reactores reproductores rápidos (aunque actualmente se están aplicando salvaguardias a varios reactores reproductores rápidos e instalaciones auxiliares). En el caso de las instalaciones de manipulación a granel, el Organismo posee una experiencia considerable en la salvaguardia de ciertos tipos de instalaciones, a saber, las plantas de transformación y las plantas de fabricación. Sin embargo, su experiencia es limitada en la aplicación de salvaguardias a las plantas de reelaboración y no posee experiencia alguna en la salvaguardia de las plantas de enriquecimiento, ya que estas instalaciones acaban precisamente de someterse a salvaguardias. Para ciertos tipos de instalaciones, como son las plantas de enriquecimiento y las grandes plantas de reelaboración, no se han desarrollado procedimientos definitivos, pero se han formulado ya las grandes líneas de un método probable de salvaguardias del Organismo, líneas que se tratan en el presente artículo.

Según lo dicho, casi resulta innecesario añadir que las salvaguardias del Organismo aquí descritas no son algo estático, sino que se encuentran en continua evolución. Esta evolución se debe no solo al hecho de que se han venido sometiendo a salvaguardias instalaciones más grandes y más complejas. También se están introduciendo continuamente cambios basados en la experiencia práctica ganada, así como en la labor de investigación y desarrollo destinada a perfeccionar la eficiencia de las salvaguardias, limitar su interferencia en las operaciones de la central, minimizar la exposición de personal de la misma y de los inspectores a las radiaciones y reducir las evaluaciones subjetivas para determinar la eficacia

de las salvaguardias. Los programas de ayuda técnica de diversos países desempeñan un papel importante para alcanzar estos fines.

Por último, debe subrayarse que este artículo no pretende evaluar la eficacia de las salvaguardias del Organismo ni señalar los puntos problemáticos. Se propone sencillamente presentar una imagen de lo que son las salvaguardias — o de lo que se proyecta que sean — en las diversas etapas del ciclo del combustible.

PARTE I — CONSIDERACIONES GENERALES

Autoridad para las salvaguardias del Organismo

El párrafo 5 del Artículo III del Estatuto del OIEA autoriza al Organismo:

“A establecer y aplicar salvaguardias destinadas a asegurar que los materiales fisionables especiales y otros, así como los servicios, equipo, instalaciones e información suministrados por el Organismo, o a petición suya, o bajo su dirección o control, no sean utilizados de modo que contribuyan a fines militares; y a hacer extensiva la aplicación de esas salvaguardias, a petición de las Partes, a cualquier arreglo bilateral o multilateral, o a petición de un Estado, a cualquiera de las actividades de ese Estado en el campo de la energía atómica.”

Los Estados acuerdan aceptar salvaguardias, sea en virtud de un “acuerdo sobre un proyecto” para el suministro de determinados materiales, equipo y servicios puestos a disposición por el OIEA, o por su conducto, sea mediante “acuerdos de traspaso de salvaguardias” en virtud de los cuales los Estados transfieren al OIEA sus obligaciones en relación con las salvaguardias contraídas en virtud de sus acuerdos de cooperación, sea mediante “acuerdos de aceptación unilateral”, por parte de un Estado, de las salvaguardias del OIEA para ciertas instalaciones, materiales nucleares, o todas las actividades nucleares del Estado, o sea en virtud de acuerdos en relación con el Tratado sobre la no proliferación de las armas nucleares (TNP).

El sistema de salvaguardias del OIEA se describe en dos documentos del Organismo: el INFCIRC/66/Rev.2 y el INFCIRC/153. El primer documento constituye la base para los acuerdos sobre un proyecto, acuerdos de traspaso y acuerdos de aceptación unilateral, en virtud de los cuales se someten a salvaguardias el equipo, instalaciones, materiales nucleares y/u otros materiales, así como informaciones. El segundo documento constituye la base de todos los acuerdos con los Estados no poseedores de armas nucleares que son Partes en el TNP, en virtud de los cuales se someten a salvaguardias todos los materiales nucleares en todas las actividades nucleares con fines pacíficos de un Estado. El documento INFCIRC/153 define los objetivos de las salvaguardias y, además, obliga al OIEA a formular, basándose en algunas de sus actividades de verificación, las conclusiones técnicas relativas a las diferencias inexplicadas con respecto a cada zona de balance de materiales. El documento INFCIRC/66/Rev.2 no indica como requisito concreto el establecimiento de una conclusión, pero el Organismo está obligado por su propio Estatuto a certificar el cumplimiento de las obligaciones y, cuando se haya determinado que se ha producido un incumplimiento, informar de ello a la Junta de Gobernadores. El documento INFCIRC/66/Rev.2 proporciona al OIEA medios para obtener, con respecto a los materiales nucleares, el mismo tipo de conclusión que la que requiere el documento INFCIRC/153. El OIEA tiene que juzgar, en cada caso particular, si la aplicación de sus procedimientos de verificación de los materiales nucleares le permite cumplir la obligación de salvaguardar el equipo, instalaciones, materiales nucleares o elementos resultantes de la información tecnológica.

Objetivos y criterios

El compromiso básico contraído por el Estado en virtud de los acuerdos de salvaguardias en relación con el TNP, es "aceptar salvaguardias . . . de conformidad con los términos del Acuerdo, sobre todos los materiales básicos o materiales fisionables especiales en todas las actividades nucleares con fines pacíficos realizadas en su territorio, bajo su jurisdicción, o efectuadas bajo su control en cualquier lugar, a efectos únicamente de verificar que dichos materiales no se desvien hacia armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos".

En estos acuerdos se estipula además que el objetivo de las salvaguardias "es descubrir prontamente la desviación de cantidades importantes de materiales nucleares de actividades nucleares pacíficas hacia la fabricación de armas nucleares o de otros dispositivos nucleares explosivos o con fines desconocidos, y disuadir de tal desviación ante el riesgo de su pronto descubrimiento". La inclusión de la expresión "con fines desconocidos" es muy importante para la aplicación práctica de salvaguardias, ya que significa que el OIEA no debe ocuparse de determinar la utilización a que se destina el material desviado y que, en particular, no ha de determinar si el material nuclear ha sido desviado para "la fabricación de armas nucleares o de otros dispositivos nucleares explosivos".

Durante la puesta en práctica de los acuerdos de salvaguardias se han cuantificado las nociones de "pronto descubrimiento" y "cantidades importantes". Además, el Grupo Asesor Permanente sobre Aplicación de Salvaguardias (GAPAS) ha examinado los parámetros esenciales desde el punto de vista de la eficacia, a saber: "cantidad significativa" y "tiempo de detección"; también ha confirmado con carácter preliminar ciertos valores utilizados por la Secretaría para las cantidades significativas. En el Cuadro 1 se indican estos valores, así como sus relaciones con las "cantidades umbral". Una "cantidad umbral" de materiales nucleares se define como la cantidad aproximada de materiales fisionables especiales necesaria para un solo dispositivo nuclear explosivo. Se considera que una "cantidad significativa" de materiales nucleares o una "cantidad significativa para las salvaguardias" es la cantidad aproximada de materiales nucleares con respecto a los cuales y teniendo en cuenta cualquier proceso de transformación que tenga lugar no pueda excluirse la posibilidad de fabricación de un dispositivo nuclear explosivo.

La "oportunidad de la detección" o "pronto descubrimiento" es también una noción esencial del sistema de salvaguardias del Organismo y debe considerarse cuidadosamente al evaluar la eficacia. El sistema de salvaguardias del Organismo parte del supuesto de que una desviación de una cantidad significativa de material nuclear, ya sea en forma de desviación repentina o continuada, debe detectarse en el momento oportuno. El Organismo determina en cada caso particular la frecuencia y el momento oportuno en que debe llegarse a la conclusión de que no se ha producido desviación alguna, así como la cantidad de materiales a los que se refiere esa conclusión, la probabilidad de detección y la probabilidad de una falsa alarma. La Secretaría ha elaborado criterios para definir los momentos oportunos y los ha utilizado a título de ensayo cada vez que un tipo determinado de instalación ha sido sometido a salvaguardias por primera vez. Con respecto a la verificación exacta de todos los componentes del balance de materiales, que debe ir seguida de una investigación de las diferencias inexplicadas y de una determinación de sus causas, la oportunidad es principalmente función de la frecuencia de la determinación de los inventarios físicos. Sin embargo, en los casos en que la frecuencia de dicha determinación de los inventarios físicos y de la correspondiente verificación pudieran obstaculizar gravemente el funcionamiento de una central, la oportunidad deseada debe obtenerse mediante una gran frecuencia de actividades destinadas a determinar las cantidades de materiales nucleares existentes en dicha central.

Los criterios de oportunidad se discutieron recientemente en dos reuniones del GAPAS, el cual ha formulado recomendaciones provisionales al Director General, según las cuales el

Cuadro 1. Cantidades umbral y cantidades significativas para las salvaguardias

A. Cantidades umbral

| Material | Cantidad umbral (CU) | CU se aplica a: |
|--|----------------------|--------------------|
| Pu ($^{239}\text{Pu} > 95\%$) | 8 kg | Total del elemento |
| ^{233}U | 8 kg | Total del isótopo |
| U ($^{235}\text{U} > 90\%$ a 95%) | 25 kg | ^{235}U |

B. Cantidades significativas para las salvaguardias

| Material | Cantidad significativa para las salvaguardias (CS) | CS se aplica a: | |
|-----------------------------|---|-----------------|--------------------|
| Material de "uso directo" | Pu | 8 kg | Total del elemento |
| | ^{233}U | 8 kg | Total del isótopo |
| | U ($^{235}\text{U} \geq 20\%$) | 25 kg | ^{235}U |
| | Más las reglas correspondientes a las mezclas, cuando proceda | | |
| Material de "uso indirecto" | U ($^{235}\text{U} < 20\%$)* | 75 kg | ^{235}U |
| | Th | 20 t | Total del elemento |
| | Más las reglas correspondientes a las mezclas, cuando proceda | | |

* Inclusive el uranio natural y el uranio empobrecido.

"tiempo de detección" debe utilizarse como parámetro de oportunidad y debe corresponder, en orden de magnitud, al "tiempo de transformación", teniendo en cuenta todas las reservas inherentes a la definición de estas dos nociones. Por regla general, el "tiempo de transformación" se define como el tiempo mínimo requerido para transformar diferentes formas de materiales nucleares en los componentes metálicos de un dispositivo nuclear explosivo, y el "tiempo de detección" se define como el tiempo máximo que puede transcurrir entre una presunta desviación y su detección mediante las salvaguardias del Organismo. En el

Cuadro 2. Tiempos estimados para la transformación de materiales

| Clasificación de los materiales | Forma inicial de los materiales | Forma final | Tiempo estimado de transformación |
|---------------------------------|---|---|-----------------------------------|
| 1 | Pu, UAE*, o ^{233}U metálico | Plutonio acabado o compuestos metálicos de uranio | Aprox. de 7 a 10 días |
| 2 | PuO_2 , $\text{Pu}(\text{NO}_3)_4$ u otros compuestos puros. UAE u óxido de ^{233}U u otros compuestos puros MOX u otras mezclas puras no irradiadas de Pu o de U [$(^{233}\text{U} + ^{235}\text{U}) \geq 20\%$]. Pu, UAE y/o ^{233}U en residuos u otros compuestos impuros diversos | Plutonio acabado o compuestos metálicos de uranio | Aprox. de 1 a 3 semanas** |
| 3 | Pu, UAE o ^{233}U en combustibles irradiados ($\geq 10^5$ Ci/kg de UAE o de ^{233}U o de Pu***) | Plutonio acabado o compuestos metálicos de uranio | Aprox. de 1 a 3 meses |
| 4 | U que contiene < 20% de ^{235}U y ^{233}U ; torio | | Aprox. de un año |

* Uranio enriquecido al 20% o más en el isótopo ^{235}U .

** Aunque la diferencia de una a tres semanas en el tiempo de transformación de estos compuestos de uranio y plutonio no pueda atribuirse a un solo factor, se considera que los compuestos puros necesitarán una semana o algo más y que las mezclas y los residuos necesitarán tres semanas o algo menos.

*** La intensidad de la irradiación se elige en cada caso concreto.

Cuadro 2 se indican los tiempos de transformación estimados por el GAPAS para las diferentes categorías de materiales.

En espera de adquirir mayor experiencia práctica y de que el GAPAS y otros grupos asesores examinen más a fondo la cuestión, la Secretaría continúa utilizando estos valores a título de orientación.

Además de estas directrices generales para la oportunidad de detección y las cantidades significativas, el OIEA debe desplegar sus mayores esfuerzos para lograr un sistema de salvaguardias que posea una cierta probabilidad de alcanzar esos objetivos. El propio grado de probabilidad de alcanzar los objetivos debe asimismo definirse. Ni el documento INFCIRC/66/Rev.2 ni el INFCIRC/153 mencionan específicamente el concepto de grado de

certeza de la detección, pero el OIEA ha interpretado estos documentos en el sentido de que encierran implícitamente este concepto. La probabilidad de detección *a priori* que se pretende conseguir es generalmente del 90% o más, y en la mayoría de los casos del 95%.

En la Parte II se consideran los objetivos cuantitativos específicos para determinadas instalaciones.

Conceptos y procedimientos básicos

El método básico del OIEA para alcanzar los objetivos de las salvaguardias antes mencionados es un proceso de verificación que presenta tres aspectos principales:

- 1) El examen de la información facilitada por el Estado por medio de:
 - Información sobre el diseño;
 - Informes contables;
 - Informes especiales;
 - Ampliación y aclaración de informes; y,
 - Notificación previa de transferencias internacionales.
- 2) La obtención de información por parte del OIEA por medio de:
 - Inspecciones para la verificación de la información sobre el diseño;
 - Inspecciones *ad hoc* y las inspecciones corrientes;
 - Inspecciones especiales.
- 3) La evaluación de la información facilitada por el Estado y recogida en las inspecciones con objeto de determinar en qué grado son completas, precisas y válidas las informaciones facilitadas por el Estado.

Los conceptos básicos para alcanzar los objetivos de las salvaguardias del Organismo, reduciendo a la vez al mínimo toda interferencia con el funcionamiento de las instalaciones son, entre otros, los siguientes:

- La vigilancia eficaz de la corriente de materiales básicos y materiales fisionables especiales mediante la utilización de instrumentos y otras técnicas en ciertos puntos estratégicos;
- El cierre periódico de los balances de materiales mediante la preparación de inventarios físicos y la verificación de los mismos;
- La verificación independiente por el Organismo de la totalidad de la contabilidad de los materiales nucleares sometidos a salvaguardias, utilizando análisis químicos y mediciones no destructivas.

Con respecto al último punto, el principio básico del sistema de salvaguardias del OIEA consiste en una comparación entre la información facilitada por la entidad objeto de la inspección y la verificación y las observaciones independientes ejecutadas por el Organismo. El hecho de que los posibles desviadores puedan ser los propios Estados, así como los explotadores de las instalaciones, los individuos o grupos de individuos, hace necesario que la información facilitada por el Estado sea verificada en forma independiente.

En ambos documentos (el INFCIRC/66/Rev.2 y el INFCIRC/153) se requiere que el Estado ponga a disposición del Organismo la información necesaria. Concretamente, se requiere que el Estado:

- Facilite al OIEA la información sobre las características de diseño de las instalaciones, así como toda otra información pertinente para las salvaguardias;
- Mantenga registros para cada instalación o cada zona de balance de materiales;
- Facilite al OIEA informes con respecto a los materiales nucleares basándose en los registros llevados.

La existencia de una contabilidad nacional y de un sistema de control constituye un requisito previo para la aplicación de salvaguardias internacionales eficaces, pero no puede sustituir a estas últimas. El Organismo toma debidamente en cuenta la eficacia técnica del sistema del Estado al efectuar sus verificaciones. Todo acuerdo del tipo indicado en el documento INFCIRC/153 "debe estipular que el Estado organizará y mantendrá un sistema de fiscalización y control de todos los materiales nucleares sometidos a salvaguardias . . .". Prescribe, entre otras cosas, que el sistema deberá basarse en una estructura de zonas de balance de materiales y asimismo que permita el establecimiento de un sistema de mediciones, un sistema de registros e informes, procedimientos para elaborar inventarios físicos y estipulaciones para asegurar que los procedimientos contables y otros arreglos se lleven a cabo de forma correcta. El documento INFCIRC/66/Rev.2 no se refiere explícitamente a un sistema estatal de contabilidad y control de materiales nucleares o a todos los elementos antes indicados de tal sistema, pero dispone que los registros contables y de explotación sean llevados por el Estado y que el Estado presente al OIEA los informes contables y de explotación.

La verificación que realiza el Organismo se lleva a cabo por dos medios fundamentales:

- Contabilidad de materiales;
- Contención y vigilancia.

La contabilidad de materiales nucleares es actualmente el mecanismo fundamental de las salvaguardias del OIEA, mientras que la contención y vigilancia son medidas complementarias importantes. La contabilidad de materiales consiste en una serie de mediciones y otras determinaciones que permiten al Estado interesado y al Organismo, al verificar éste los datos hallados por el primero, conocer en todo momento la localización y movimiento de los materiales nucleares dentro y fuera de las zonas de balance de materiales.

Se denomina "zona de balance de materiales" la zona en la que todos los materiales que entran y salen de ella son susceptibles de medición y en la que puede establecerse un inventario de los materiales, cuando sea necesario. La determinación de zonas de balance de materiales se efectúa previa consulta entre el Estado y el Organismo, y su designación se incluye en los arreglos subsidiarios que describen la estructura detallada del acuerdo. Las mediciones se hacen en puntos estratégicos que se llaman "puntos clave de medición", que son localizaciones en las que puede recogerse y verificarse la información esencial sobre la corriente e inventario y en las que los materiales nucleares se encuentran en una forma tal que pueden medirse.

La contabilidad, según el sistema del OIEA, consiste en la determinación inicial del inventario físico en una instalación o zona de balance de materiales dada; la continuación de un inventario contable basado en la determinación original y cambios medidos subsiguientes de los inventarios; la verificación y actualización del inventario contable y las mediciones y verificaciones periódicas de inventarios físicos; y la presentación de informes al OIEA por parte del Estado. Basándose en estos informes, el Organismo mantiene una contabilidad de materiales paralela a la del Estado que sirve para la verificación y comparación con los registros que se llevan en la instalación bajo salvaguardias. En el caso de las instalaciones que tienen materiales nucleares en forma a granel no precintados, existe generalmente, debido a las incertidumbres de las mediciones, alguna diferencia entre el inventario contable y el inventario físico. Puede haber también discrepancias por otras razones, por ejemplo cuando se ha omitido medir ciertas partes del inventario o a causa de una falta de materiales o desviación no medidas. La diferencia entre el inventario contable y el inventario físico es la "diferencia inexplicada" (DI). Como variable derivada de mediciones, la DI está, como las propias mediciones, sujeta a incertidumbres. Así, pues, la DI puede servir de instrumento para juzgar la posibilidad de desviación.

Se denomina "medida de contención" a toda medida que utiliza las características estructurales existentes, tales como los contenedores, tanques o tuberías, para establecer la integridad física de una zona o elemento, evitando así un movimiento no detectado de materiales o equipo nucleares. Tales mediciones suponen la aplicación de precintos que revelen toda interferencia, o de dispositivos de vigilancia que aseguren la detección de todo cambio en el inventario de ese contenedor. Esos dispositivos no se aplican a zonas o estructuras por las que pasen los materiales en el curso de las actividades de rutina de la central. En el caso de que alguna medida de contención haya podido o debido incumplirse, dicho hecho debe notificarse al Organismo por los medios más rápidos posibles. Por ejemplo, si existen indicaciones de que un precinto ha sido roto o deteriorado de alguna forma, se requiere generalmente una notificación inmediata.

La vigilancia consiste tanto en la observación humana como en la efectuada por instrumentos adecuados para indicar el movimiento de materiales nucleares. La vigilancia puede suponer el uso, por ejemplo, de cámaras u otros dispositivos en puntos estratégicos para vigilar las medidas de contención u observar los cambios que se produzcan en el inventario. El personal puede cumplir funciones similares desde puntos clave de observación de modo continuo o periódico. En los casos en que la vigilancia incumba directamente al personal del OIEA, se deberán respetar, por supuesto, las condiciones de acceso de los inspectores de conformidad con las estipulaciones de los arreglos subsidiarios.

Las técnicas de contención y vigilancia empleadas por el Organismo se proyectan y ponen en práctica de modo cuidadoso para evitar toda restricción adicional de orden físico en el movimiento de materiales o en el acceso a los mismos; pero esas medidas deben facilitar información al OIEA con respecto a cada movimiento o acceso que pueda tener lugar cuando los inspectores no estén presentes, a fin de conservar la integridad de las mediciones anteriores de materiales nucleares efectuadas por el OIEA y facilitar a éste información relativa a las corrientes de materiales en puntos importantes del ciclo del combustible.

El principio en que se basa la verificación por el Organismo es el derecho a efectuar inspecciones in situ de las instalaciones. El OIEA efectúa tres tipos de inspecciones: inspecciones ad hoc, inspecciones ordinarias e inspecciones especiales, según se ha mencionado antes. La mayor parte de las actividades de inspección se refieren a las inspecciones ordinarias. El acuerdo de salvaguardias especifica el rigor y frecuencia máxima de las inspecciones ordinarias. Parte de las inspecciones ordinarias pueden realizarse sin previo aviso.

La finalidad de las inspecciones ordinarias es verificar si la información que figura en los informes presentados por el Estado no discrepa de sus registros contables ni de sus registros de explotación, permitiendo así verificar la ubicación, identidad, cantidad y composición de materiales sometidos a salvaguardias y comprobar la información relativa a la causa de posibles diferencias remitente-destinatario, incertidumbres del inventario contable y diferencias inexplicadas. Las inspecciones ad hoc se efectúan para verificar la información sobre el diseño, los informes iniciales y los cambios que se hayan podido producir desde el informe inicial, así como para verificar los materiales que son objeto de transferencias internacionales. Las inspecciones especiales se efectúan para verificar la información contenida en los informes especiales o para recoger nueva información cuando el OIEA considere que la facilitada por el Estado u obtenida gracias a sus inspecciones ordinarias es inadecuada para permitir al Organismo el desempeño de sus funciones a este respecto.

Entre las actividades de inspección del OIEA figuran las siguientes: examinar los registros pertinentes; efectuar mediciones independientes de los materiales nucleares sometidos a salvaguardias utilizando instrumentación del OIEA así como del Estado o del explotador; tras verificación de su debido funcionamiento, calibración y procedimientos; obtener

muestras y procurar que se tomen, se procesen, manipulen y reexpidan en la forma debida; utilizar y mantener en buen estado el equipo e instrumentos de vigilancia del OIEA y fijar, inspeccionar y levantar los precintos del OIEA.

El OIEA hace todo lo posible para asegurar la relación óptima entre costo y eficacia y para ello procura, entre otros medios, concentrar los procedimientos de verificación en aquellas etapas del ciclo del combustible nuclear que supongan la producción, tratamiento, utilización o almacenamiento de materiales nucleares con los cuales se puedan fabricar fácilmente armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos, reduciendo así a un mínimo los procedimientos de verificación respecto de otros materiales nucleares, siempre que esto no obstaculice la aplicación de salvaguardias por parte del OIEA. Por lo tanto, los informes sobre diferencias inexplicadas y sus límites de exactitud no deben basarse necesariamente en actividades de verificación del mismo rigor en todos los tipos de instalaciones o para todos los tipos de materiales nucleares. Sin embargo, en todos los casos esas actividades deben permitir que el OIEA cumpla los objetivos de las salvaguardias, es decir, la detección oportuna de desviación de cantidades significativas de materiales nucleares. Al estructurar su sistema de verificación, el OIEA toma en cuenta no solo si el material puede transformarse fácilmente en armas o explosivos nucleares sino también la relación entre diversas partes del ciclo del combustible nuclear. Por ejemplo, aunque el uranio poco enriquecido no puede servir para la fabricación de armas nucleares, no puede ignorarse su valor como punto inicial para la producción de plutonio o para un enriquecimiento adicional.

Para lograr la relación óptima costo-eficacia garantizando a la vez la capacidad para detectar toda desviación, el sistema de verificación del OIEA comprende dos métodos diferentes, según el tipo de instalación nuclear. Para las instalaciones en las que los materiales nucleares se producen o se enriquecen, tales como las instalaciones de enriquecimiento y ciertos reactores de potencia y los reactores de investigación de mayor capacidad, y para las instalaciones de reelaboración química, en que los materiales producidos en reactores se separan de otros componentes del combustible irradiado, la verificación de todas las corrientes reviste importancia vital. En otros tipos de instalaciones, la actividad principal de inspección es la verificación del inventario.

La conclusión de las actividades de verificación del OIEA se formula con respecto a cada zona de balance de materiales en una "declaración" de la cantidad de materiales respecto de los que existe una diferencia inexplicada durante un período concreto, indicándose también los límites de exactitud de las cantidades declaradas. Es importante que en las conclusiones técnicas de las actividades de verificación del OIEA figure una estimación de las incertidumbres combinadas de medición del explotador y la diferencia inexplicada calculada por el mismo ajustada para tener en cuenta las discrepancias entre las mediciones del OIEA y las de dicho explotador. Esta conclusión técnica sirve para indicar la exactitud de las mediciones del OIEA y el grado de concordancia entre las mediciones del explotador y las del OIEA.

Los datos obtenidos mediante las inspecciones ordinarias, llevadas a cabo en virtud de acuerdos de salvaguardia en relación con el TNP, se comunican al Estado interesado en forma de una declaración. Tras la toma del inventario físico, se envía al Estado otra nueva clase de declaración en la que figuran las conclusiones obtenidas gracias a las actividades de verificación llevadas a cabo por el inspector. Esta declaración muestra si los materiales sometidos a salvaguardias han sido satisfactoriamente contabilizados durante el período transcurrido entre dos tomas de inventario físico. Si el Organismo no está satisfecho con los resultados obtenidos durante las inspecciones, se requiere una nueva investigación y se pide al Estado que examine las causas de toda inexactitud y tome las medidas necesarias para corregir la situación. Las declaraciones comunicadas a los Estados con respecto a las salvaguardias aplicadas en cumplimiento de los acuerdos basados en el documento INFCIRC/66/Rev.2

informan simplemente sobre si el OIEA ha detectado o no ha detectado incumplimientos de los términos del acuerdo.

Estrategias de desviación

Muchas estrategias de desviación, que las salvaguardias intentan contrarrestar son comunes a varios, si no a todos, los tipos de instalaciones nucleares. Por ejemplo, el desviador puede dejar que la cantidad desviada sea incluida en la diferencia inexplicada. Esto puede o no acompañarse de una declaración exagerada de las verdaderas incertidumbres de medición de dicha diferencia inexplicada. El desviador puede intentar también evitar su aparición en la diferencia inexplicada mediante la falsificación de los datos sobre la corriente o de los datos del inventario. Por ejemplo, puede intentar utilizar algunas de las técnicas de ocultación siguientes:

- a) declarar cantidades menores que las recibidas
- b) declarar cantidades mayores que las remitidas o declarar cantidades no existentes
- c) declarar cantidades mayores que las descartadas
- d) declarar un inventario físico mayor.

La estrategia óptima de desviación es una combinación de desviación dentro de la diferencia inexplicada y de falsificación de los datos relativos a la corriente o al inventario. Las estrategias de desviación relativas a tipos específicos de instalaciones se examinan en las secciones correspondientes de la Parte II, pero la mayor parte de las técnicas de ocultación podrán quedar comprendidas en las categorías generales que acaban de enumerarse.

PARTE II — METODOS DE SALVAGUARDIAS APLICABLES A TIPOS ESPECIFICOS DE INSTALACIONES

REACTORES

Existen algunas características generales que son comunes a la mayor parte de los reactores de potencia actualmente sometidos a salvaguardias. En casi todos los casos el combustible del reactor presenta la forma de partidas discretas e identificables (elementos/conjuntos). La información sobre los materiales nucleares que figuran en esas partidas se obtiene mediante mediciones efectuadas en la instalación de fabricación del combustible y mediante el cálculo de las pérdidas de materiales nucleares (por ejemplo, el empobrecimiento mediante quemado) y de la producción (transmutación de materiales fértiles en materiales fisionables) en el reactor. Por lo tanto, es posible determinar las cantidades de materiales nucleares contenidas en el combustible irradiado basándose en los datos obtenidos en las instalaciones de fabricación del combustible, tomando en consideración las pérdidas de materiales y la producción, y comprobando tal determinación mediante el recuento e identificación de partidas siempre y cuando pueda confiarse en su integridad física.

Las instalaciones con reactores se consideran generalmente como una zona de balance de materiales con un mínimo de tres localizaciones de inventarios, a saber:

- Una o más zonas de almacenamiento de combustible nuevos.
- Una o más unidades de núcleos de reactores.
- Una o más zonas de almacenamiento de combustibles agotados.

Estas localizaciones de inventarios constituyen puntos claves de medición del inventario. Normalmente, los únicos puntos clave de medición de la corriente son los que reflejan la llegada de combustibles nuevos y la salida de combustibles agotados.

Existen dos peligros principales de desviación con respecto a los reactores:

- La eliminación de uno o más elementos o conjuntos discretos con o sin sustitución por conjuntos falsificados o falsificados parcialmente;
- La utilización del combustible salvaguardado para la irradiación de materiales fértiles no declarados (y producción subsiguiente de plutonio o de U-233).

A continuación se examinan, con respecto a tipos determinados de reactores, otros peligros más concretos que pueden derivarse de estas dos posibilidades generales.

REACTORES DE AGUA LIGERA

Características de importancia para las salvaguardias

De todos los tipos de instalaciones nucleares en los que el OIEA aplica salvaguardias, el reactor de agua ligera es el que plantea el menor número de problemas. El combustible de los reactores de agua ligera es de dimensiones relativamente grandes y comprende un número relativamente pequeño de elementos, tanto en el núcleo como en los estanques de almacenamiento. El combustible nuevo, que contiene uranio poco enriquecido, es de fabricación costosa y las estrictas especificaciones de los combustibles en la planta de fabricación presuponen que la cantidad y enriquecimiento del uranio contenido en el combustible se conocen con un grado de incertidumbre menor que en cualquier punto del ciclo del combustible. El enriquecimiento del combustible varía, según el caso, entre 1,5 y 4% de U-235. El combustible adopta generalmente la forma de pastillas de UO_2 que se encierran herméticamente en tubos cilíndricos. Las barras se disponen en conjuntos de combustible en forma de matriz.

En los reactores de agua ligera (suponiendo que el combustible nuevo no contenga plutonio), el combustible gastado, con el plutonio producido, posee mayor valor estratégico que el combustible nuevo. Por ello, una gran parte de la actividad de salvaguardias se dedica al combustible gastado. En una instalación típica, la mayor parte del plutonio producido se encuentra en el estanque de combustible agotado y el resto en el núcleo. La mayor parte del uranio enriquecido se encuentra en el núcleo, una cantidad ligeramente inferior en el estanque de combustible agotado y otra cantidad aún menor en el lugar de almacenamiento del combustible nuevo.

Un reactor de agua ligera típico funciona según un ciclo de alimentación de combustible que dura de 12 a 18 meses. Al término de ese período, se efectúa una parada, que dura aproximadamente seis semanas, para la realimentación del combustible y para las operaciones de mantenimiento. Durante cada parada, se descarga y sustituye una tercera parte aproximadamente del combustible. Generalmente, el resto del combustible se vuelve a introducir en el núcleo para el próximo ciclo operacional. Normalmente, el combustible nuevo llega al emplazamiento dos o tres meses antes de que se inicien las operaciones de parada del reactor. La práctica corriente consiste en mantener el combustible irradiado (agotado) en un estanque de refrigeración durante un período de seis meses a un año antes de remitirlo a una planta de reelaboración. Sin embargo, actualmente en muchas instalaciones el combustible agotado se mantiene en un estanque durante períodos más largos que lo que inicialmente se había previsto. Un estanque de esta clase puede contener una vez y media la cantidad de combustible contenida en el núcleo.

Posibilidades de desviación

A continuación se dan ejemplos de posibilidades de desviación y de métodos de ocultación, así como de las correspondientes medidas de salvaguardia pertinentes en el caso de los reactores de agua ligera:

| Posibilidades de desviación | Métodos de ocultación | Medidas de salvaguardia |
|--|---|--|
| Sustracción de elementos combustibles del almacenamiento de combustible nuevo | Sustitución con elementos simulados | Aplicación de precintos Mediciones por análisis no destructivo |
| Sustracción de elementos combustibles del núcleo | Sustitución con elementos simulados | Precintos Vigilancia óptica |
| Irradiación de elementos combustibles no declarados situados en el núcleo | Paradas no declaradas | Precintos Vigilancia óptica |
| Sustracción de elementos combustibles del estanque de combustibles agotados | Sustitución con elementos simulados | Vigilancia óptica Mediciones por análisis no destructivo |
| Sustracción de elementos combustibles de las expediciones al abandonar éstas la instalación o después de su salida | Sustitución con elementos simulados en la expedición. Declaración de un número inferior de elementos remitidos y sustitución con elementos simulados en el estanque de combustibles agotados | Aplicación de precintos en el contenedor antes de su salida y verificación del contenido en la instalación receptora, cuando sea posible |

Objetivo de la detección

En el caso de los reactores de agua ligera, se trata de detectar la falta de uno o más conjuntos de combustible agotado dentro del plazo de uno a tres meses, y la falta de uno o más conjuntos de combustibles nuevos dentro del plazo de un año. Las técnicas de salvaguardia aplicadas al combustible declarado dentro del núcleo sirven para detectar automáticamente la introducción de combustible no declarado en dicho núcleo en los mismos plazos, por lo que no se adopta ningún procedimiento de detección aislado para este tipo de desviación.

Método de salvaguardias

Los dos métodos básicos de las salvaguardias aplicables a los reactores de agua ligera son el recuento de partidas y su identificación y las medidas de contención y vigilancia. El recuento por partidas significa que el inspector tiene en cuenta el número de conjuntos combustibles en vez de las cantidades de materiales nucleares, aunque este concepto debe adoptarse con cautela debido al hecho de que en muchos tipos de combustibles de reactores de agua ligera es posible eliminar las agujas individuales de combustible de los conjuntos. Las medidas de contención y vigilancia se utilizan generalmente para controlar el combustible (irradiado). Puesto que normalmente el núcleo de los reactores de agua ligera no se abre más que una vez al año, es posible con frecuencia precintar la parte superior de las vasijas de presión. Los conjuntos de combustibles de los reactores de agua ligera son grandes, por lo que un contenedor con el blindaje requerido para transportarlos tras su irradiación resulta muy masivo y se mueve despacio, lo que permite detectar fácilmente tales transportes mediante un sistema de vigilancia óptica. La sustracción del combustible irradiado sin blindaje no se considera una posibilidad verosímil.

Normalmente, el Organismo ha venido efectuando de cuatro a ocho inspecciones por año en reactores de agua ligera, con una media de seis aproximadamente por instalación. Por lo

general, la labor del Organismo con respecto a cada reactor de agua ligera supone de 10 a 15 días-hombre al año.

Las actividades específicas de salvaguardia y la finalidad de cada una de ellas son las siguientes:

■ **Auditoría de registros contables y comparación con los informes presentados al**

Organismo: como en el caso de todas las instalaciones con materiales sometidos a salvaguardias, los registros contables se comprueban para asegurarse de que son formalmente correctos (esto es: internamente coherentes y aritméticamente correctos). Se comprueban también para verificar que la información en ellos contenida es completa y concuerda con la información contenida en los informes presentados al OIEA. Esta actividad tiene por objeto determinar la fiabilidad del inventario contable declarado por la instalación, es decir, la cantidad de materiales cuya existencia debe explicarse. Entre los "informes" figuran, por ejemplo, los informes sobre cambios en los inventarios físicos, informes sobre balance de materiales y listas de inventarios físicos.

■ **Examen de los registros de explotación y comparación con los registros contables:** los registros de explotación se comprueban de la misma forma que los registros contables y se utilizan para determinar la distribución de los conjuntos combustibles dentro de la instalación. Esto facilita una comprobación complementaria en relación con los cambios de inventario físico que se han producido en el núcleo. Por ejemplo, un registro que indique que un reactor ha funcionado sin interrupción durante la totalidad de un período sirve para comprobar una declaración según la cual no se ha producido ningún cambio en el inventario físico del núcleo durante ese período. El procedimiento actual del Organismo consiste en que se le informe sobre el contenido en plutonio del combustible agotado en el momento de su descarga final del reactor, aunque en algunos casos el informe se refiere al momento de la expedición de ese combustible desde la instalación.

■ **Verificación del combustible nuevo con anterioridad a la carga del núcleo:** la finalidad es comprobar que no se ha producido ninguna desviación del combustible nuevo. Además se comprueba la declaración del explotador relativa al combustible que ha de cargarse en el núcleo. La verificación física comprende el recuento del número total de conjuntos almacenados y la comparación de los números de serie de los conjuntos con datos independientes relativos a los conjuntos que deben hallarse presentes.

■ **Verificación del núcleo:** esta verificación se efectúa mediante el recuento o identificación de partidas y el recuento de los conjuntos combustibles en el núcleo del reactor tras la realimentación del mismo y antes de que se cierre la vasija del reactor. A continuación, se emplean los métodos de contención y/o vigilancia para cerciorarse de que la vasija del reactor permanece cerrada. Estos métodos incluyen la utilización de precintos (por ejemplo, sobre el blindaje contra proyectiles), o la utilización de dispositivos de vigilancia a intervalos fijos, con un intervalo entre exposiciones menor que el tiempo requerido para abrir la vasija del reactor. Puesto que no es factible aplicar precintos durante la recarga se hace necesario vigilar el combustible situado en el núcleo, pudiendo emplearse cámaras con un intervalo entre exposiciones que sea menor que el tiempo estimado para la retirada del combustible. Inmediatamente después de que haya tenido lugar la recarga, y antes de que el núcleo haya sido cerrado, el explotador determina el inventario físico del núcleo del reactor, que es verificado por el inspector, y tras el cierre se coloca de nuevo los precintos y/o se restablece la vigilancia óptica.

Las salvaguardias de los combustibles agotados en los reactores de agua ligera se aplican en lo posible utilizando equipo de vigilancia óptica ya sea fotográfico o video, que debe indicar

que no se han utilizado contenedores fuertemente blindados para transportar el combustible. En el caso del fallo de una cámara o si el sistema de vigilancia óptica no se hubiera instalado todavía, se utilizan el recuento de las partidas y el análisis no destructivo de una muestra del combustible agotado tomada al azar, como procedimientos para reestablecer o establecer el inventario.

REACTORES RECARGADOS EN SERVICIO

Características de importancia para las salvaguardias

Los reactores del tipo Magnox y Candu, así como ciertos otros reactores de potencia, se recargan continuamente sin ser necesario parar el reactor, característica que exige medidas de salvaguardia mucho más complejas que para los reactores de agua ligera. La presente descripción comprende principalmente las medidas existentes y no las nuevas medidas que se están preparando para los reactores del tipo Candu y que no se han aplicado todavía. El combustible agotado se retira y se añade combustible nuevo valiéndose de mecanismos de recarga teledirigidos. A continuación, el combustible agotado se hace pasar por gravedad a la zona de almacenamiento de combustible agotado, en la que el almacenamiento se efectúa en recipientes especiales. Dicho almacenamiento puede o no efectuarse de forma que facilite el recuento de los elementos combustibles; en particular, los recipientes se apilan con frecuencia en pilas tridimensionales compactas. Los calendarios de reelaboración del combustible son diversos; en algunos casos, el combustible irradiado se reexpide periódicamente desde la central mientras que, en otros casos, se mantiene en almacenamiento durante largos períodos de tiempo.

Todos los reactores de potencia recargados en servicio sometidos a las salvaguardias del Organismo son alimentados principalmente con uranio natural. Por lo tanto, el combustible agotado que contiene el plutonio producido posee un valor estratégico superior al combustible nuevo. Por ello, las medidas de salvaguardias utilizadas actualmente para los reactores de potencia recargados en servicio tienen ante todo por finalidad la verificación de la descarga de los reactores de los combustibles irradiados. Ello supone, en ese momento, además de las medidas de contención y vigilancia, las de recuento de partidas, principalmente, y, en un número creciente de casos, la verificación que las partidas descargadas sean haces de combustibles irradiados. El inspector recuenta visualmente el número de haces, elementos o conjuntos de combustible y, en algunos casos, efectúa mediciones cualitativas de los materiales nucleares. El análisis no destructivo solo se emplea, por lo general, en ocasiones especiales, tales como en casos de transferencia o envío de combustibles, es decir, cuando el combustible irradiado debe ser trasladado por el explotador para sus propios fines.

Algunos reactores de potencia recargados en servicio sometidos a salvaguardias contienen uranio poco enriquecido y/o empobrecido, así como combustibles de uranio natural. Por lo menos un reactor contiene combustible de mezcla de óxidos. Algunos reactores de potencia recargados en servicio están equipados con barras aceleradoras de poco o alto enriquecimiento que ayudan a mantener la criticidad del reactor en caso de cambios de potencia importantes de la central. Algunos reactores tienen barras de cobalto que son parte del diseño del reactor, pero que no son combustible y se retiran y manipulan separadamente de éste.

Otras características pertinentes comunes a todos los reactores de potencia recargados en servicio, además de la gran frecuencia de la recarga, son el gran número de haces de combustible relativamente pequeños, presentes en el inventario físico, y la inaccesibilidad del núcleo a efectos de verificación durante el funcionamiento.

Posibilidades de desviación

A continuación se dan ejemplos de posibilidades de desviación y de métodos de ocultación así como de las correspondientes medidas de salvaguardia pertinentes en el caso de los reactores de potencia recargados en servicio:

| Posibilidades de desviación | Métodos de ocultación | Medidas de salvaguardia |
|--|---|---|
| Sustracción de elementos combustibles del almacenamiento de combustible nuevo | Sustitución con elementos simulados | Es posible utilizar técnicas simples y complejas de análisis no destructivo para la verificación de inventarios |
| Irradiación de elementos combustibles no declarados | Falsificación de registros | Establecer inventarios de combustibles agotados de la forma más completa posible |
| Sustracción de combustibles irradiados del núcleo y del estanque de combustible agotado | Préstamos de combustible provisionales de otras instalaciones Falsificación de registros Sustitución con elementos simulados | Vigilancia y contención de posibles vías de desviación (todos los puntos importantes) entre el núcleo y el almacenamiento de combustible agotado Contadores de haces |
| | Sustitución con elementos simulados | Aplicación de precintos en los recipientes o estantes de almacenamiento |
| | Hacer difícil el acceso a los materiales situados en el estanque de refrigeración | Mediciones mediante análisis no destructivos |
| Sustracción de elementos combustibles de las expediciones al abandonar éstas la instalación o después de su salida | Sustitución con elementos simulados en la expedición. Declaración de un número inferior de elementos remitidos y sustitución con elementos simulados en el estanque de combustibles agotados | Verificación y aplicación de precintos en el contenedor antes de su salida, y verificación del contenido en la instalación receptora, cuando sea posible |

Objetivo de la detección

El objetivo técnico de las salvaguardias del Organismo en los reactores de potencia recargados en servicio consiste en detectar, en un plazo de dos a tres meses, la falta de un número de haces de combustible agotado que contengan 8 kilogramos de plutonio; la falta de combustible nuevo que contenga 75 kilogramos de U-235 en un plazo de un año; y la falta de barras aceleradoras que contengan 25 kg de U-235 en el plazo de tres semanas en el caso de elementos no irradiados, o en el plazo de dos o tres meses en el de elementos irradiados.

Método de salvaguardias

El volumen de la labor de salvaguardia del Organismo en los reactores de potencia recargados en servicio varía normalmente entre 15 y 50 días-hombre aproximadamente cuando existen dispositivos apropiados de contención y vigilancia, según sea el tipo específico del reactor. El Organismo efectúa anualmente unas seis inspecciones en cada instalación de este tipo recargada en servicio.

Las actividades específicas de salvaguardias en los reactores de potencia recargados en servicio son las siguientes:

- **Auditoría de registros contables y comparación con los informes presentados al Organismo:** los registros contables se comprueban para asegurarse de que son formalmente correctos (esto es: internamente coherentes y aritméticamente correctos). Se comprueban también para verificar que la información que contienen es completa y que concuerda con la información contenida en los informes presentados al OIEA. Esta actividad tiene por objeto determinar la fiabilidad del inventario contable declarado por la instalación, es decir, la cantidad de materiales cuya existencia debe explicarse. Entre los "informes" figuran, por ejemplo, los informes sobre cambios en los inventarios físicos, informes sobre balance de materiales y listas de inventarios físicos;
- **Determinación de las tasas de carga/descarga de combustible:** esta operación supone diversas actividades, todas ellas encaminadas a determinar la distribución del inventario dentro de la instalación. Los informes contables se comparan con los informes de explotación. Los informes sobre el combustible cargado en el reactor se comparan con los del combustible descargado. La verificación física del almacenamiento de combustible nuevo, por lo menos durante cada elaboración de inventario físico es una defensa contra la desviación de dicho combustible nuevo y, lo que es más importante, facilita una determinación independiente del número de partidas cargadas y, por lo tanto, descargadas, suponiendo que no existan partidas de combustible no declaradas. Todavía no se dispone para todos los reactores de contadores completamente operacionales de haces de combustibles nuevos e irradiados, lo que sería útil como medio de evaluar el número de elementos cargados y descargados del reactor. Esto sería particularmente conveniente como medio de verificar el número de elementos descargados en el estanque de combustible agotado. Tal método facilitaría una comprobación independiente de los registros pertinentes de explotación.

El plutonio producido en las partidas de combustible descargadas del núcleo del reactor es normalmente objeto de informe tras la descarga. Basándose en el examen de la información sobre el diseño y en los cálculos del grado de quemado efectuados por el explotador, se calcula la producción del plutonio como comprobación de los datos de los registros e informes. Las mediciones gamma del combustible agotado se utilizan a veces como medio de clasificar este combustible en categorías con respecto a la pérdida y producción de materiales nucleares.

Normalmente se confía en sumo grado en las medidas de contención y vigilancia en tales instalaciones aunque, debido a la recarga continua, existe una limitación inherente de la utilización de precintos con respecto a las partidas de combustible. El esfuerzo de inspección principal se centra en la verificación de las transferencias de combustible agotado entre zonas de balances de materiales y entre instalaciones, mediante el establecimiento de la contención de las zonas del reactor (posiblemente sobre las vías de salida solamente) y la zona de almacenamiento de combustible agotado, posiblemente por medios ópticos de vigilancia y contando el número de elementos combustibles descargados mediante un monitor de descargas.

Si el agua pesada presente en la instalación está sometida a salvaguardias, el inspector observa las lecturas y cálculos del explotador relativos al inventario de agua pesada y puede

verificar independientemente las existencias, pesando los bidones y tomando muestras al azar. Si el reactor se encuentra en funcionamiento, este hecho, por sí solo, proporciona la seguridad de que el moderador es agua pesada.

Las actividades específicas de salvaguardia y, en particular, las ubicaciones de los inventarios físicos de los reactores de potencia recargados en servicio son las siguientes:

Almacenamiento de combustible nuevo

Teniendo en cuenta el bajo valor estratégico del uranio natural, la verificación de los inventarios físicos mediante el recuento de partidas en largos intervalos (por ejemplo un solo recuento anual) se considera adecuada en el caso del combustible nuevo mientras que esté presente en el almacenamiento.

El inventario físico debe verificarse anualmente mediante el recuento por partidas. Las existencias en el almacenamiento del combustible nuevo pueden consistir en varios millares de elementos, en cuyo caso no sería práctico proceder al recuento de todas las partidas. Un procedimiento conveniente utilizado para la verificación de los inventarios físicos es el recuento del número de cajones de transporte de combustible y la verificación del número de elementos en determinados cajones. Llegado el caso, pueden utilizarse contadores de haces en el punto en que los elementos combustibles nuevos entran en el mecanismo final de carga.

Cuando se utilizan barras aceleradoras deben, por regla general, verificarse una a una.

Núcleo del reactor

Aparte de comprobar los registros de explotación concernientes a los combustibles cargados y descargados del núcleo del reactor, las actividades ordinarias de inspección se limitan a la verificación de la contención y vigilancia.

Almacenamiento de combustibles agotados

El inventario físico debe verificarse cada año mediante el recuento de partidas efectuado en el momento de preparar dicho inventario. Se prevé que el inventario del almacenamiento del combustible agotado contendrá decenas de millares de elementos combustibles o de haces combustibles. La elaboración del inventario físico del almacenamiento de los combustibles agotados de los reactores recargados en servicio es complicada debido al gran número de partidas y al hecho de que el combustible agotado se almacena de tal forma que algunos haces ocultan otros haces y que, en algunas ocasiones, la visibilidad es reducida a causa del oscurecimiento del agua. Además, es difícil determinar cuantitativamente qué material se halla presente en los conjuntos combustibles agotados almacenados. Para paliar estas dificultades, en la aplicación de salvaguardias al almacenamiento de los combustibles agotados en tales instalaciones se hace uso en gran medida de los sistemas de vigilancia óptica, a fin de asegurarse de que no se han producido cambios no declarados de los inventarios. En el caso en que el combustible agotado se almacene durante largos períodos de tiempo, los inspectores aplican generalmente precintos a los contenedores que encierran gran número de haces de combustible agotado.

Se efectúa un recuento completo de las partidas del estante de almacenamiento:

- Después de cada expedición, en los casos en que el número de partidas remitidas no haya sido verificado.

- En los casos en que las medidas de contención/vigilancia no hayan proporcionado la suficiente certeza de que no se ha producido desviación.
- En el momento de la verificación inicial de inventarios de una instalación en explotación.

En el caso de que el combustible agotado se saque del estanque de combustible agotado para su almacenamiento durante un largo período de tiempo en un estanque auxiliar o en contenedores, puede efectuarse la inspección continua durante el transporte del combustible.

Normalmente, el combustible agotado que ha sido verificado se almacena en recipientes y se precinta.

Expediciones

Se requieren medidas especiales durante las expediciones de combustible agotado (por ejemplo, para un almacenamiento de larga duración). El inspector debe hallarse presente en el momento en que se efectúan. En tales casos, el inspector precinta los cofres. Cuando se efectúan envíos frecuentes de combustibles agotados, el procedimiento habitual consiste en emplear un juego fijo de cámaras de disparo a intervalos fijos para fotografiar cada recipiente que abandona el edificio. El número de elementos combustibles remitidos puede calcularse, partiendo del supuesto de que todos los recipientes estén llenos o que contengan el número de conjuntos declarados por el explotador, pero esto debe considerarse solamente a título de comprobación. La verificación principal se efectúa a la llegada a la instalación receptora.

INSTALACIONES DE MANIPULACION A GRANEL

Las instalaciones de manipulación a granel, especialmente las instalaciones de reelaboración y las plantas que transforman y fabrican uranio altamente enriquecido o combustibles con contenido de plutonio, representan las etapas del ciclo del combustible en que existen materiales con los que pueden fabricarse fácilmente armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos. En el caso de los países partes en el TNP, el Organismo, de conformidad con el párrafo 6c) del documento INFCIRC/153, dedica gran parte de su labor total de inspección de tales instalaciones en los países en que existen y están sometidas a salvaguardias. (El párrafo 6c) estipula que el Organismo debe recurrir a la "Concentración de los procedimientos de verificación en aquellas fases del ciclo del combustible nuclear que entrañen la producción, tratamiento, utilización o almacenamiento de materiales nucleares a partir de los cuales se puedan fabricar fácilmente armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos . . .".)

Recientemente, ya sea a causa de la entrada en vigor de nuevos acuerdos de salvaguardia o ya debido a la entrada en servicio de nuevas instalaciones, han empezado a someterse a las salvaguardias del Organismo instalaciones grandes y complejas (es decir, grandes en relación a las instalaciones ya sometidas a salvaguardias) en que se manipulan materiales de alto valor estratégico. Las instalaciones de manipulación a granel, con respecto a las cuales el Organismo cuenta con una experiencia considerable de aplicación de salvaguardias, son las plantas de transformación y de fabricación.

Las salvaguardias del Organismo relativas a las instalaciones de manipulación a granel se basan en la elaboración y verificación de dos inventarios físicos al año en las instalaciones que transforman y fabrican uranio poco enriquecido, y de cuatro veces al año en las instalaciones que procesan uranio muy enriquecido o plutonio, a menos que el explotador mantenga un control muy eficaz y exacto de la corriente de materiales y que este control sea verificado por el Organismo. En este caso se tomarán y verificarán por lo menos dos inventarios físicos al año.

INSTALACIONES DE TRANSFORMACION Y DE FABRICACION DE COMBUSTIBLE

Características de importancia para las salvaguardias

La "transformación" en el ciclo del combustible nuclear puede referirse a cualquiera de las diversas operaciones de transformación química. En la forma en que este concepto se emplea en el presente documento, el término se refiere a operaciones que preceden inmediatamente a la fabricación del combustible, por ejemplo la transformación del UF_6 en UO_2 en los preparativos para la fabricación del combustible. Algunas veces, este tipo de operación de transformación química se lleva a cabo en la misma instalación de fabricación de combustible. La recuperación de residuos puede efectuarse en el mismo emplazamiento, o bien los residuos pueden acumularse y transportarse por partidas a otro lugar. Si la transformación y la fabricación se llevan a cabo en la misma instalación, es corriente dividir las actividades del proceso en dos o más zonas de balance de materiales: una para la transformación y otra (o más) para la fabricación y el tratamiento de residuos. Si las instalaciones individuales no llevan a cabo la transformación, se consideran como una sola zona de balance de materiales para cada línea de tratamiento. A los fines de este documento, se parte del supuesto de que la instalación en cuestión comprende la transformación, la fabricación y el tratamiento de residuos.

Además de la zona o zonas de balance de materiales relativas al proceso, existe generalmente una zona de balance de materiales en el almacenamiento de entrada, en la cual se comprueba si hay diferencias entre los datos del remitente y del destinatario, más una zona de balance de materiales para el almacenamiento de productos en la que se lleva una contabilidad de los conjuntos combustibles que están en espera de su expedición.

Se establecen puntos clave de medición para la comprobación de todos los materiales de entrada a su recepción, para la comprobación, anterior a la expedición, de los elementos o conjuntos combustibles y para la de los desechos descartados. Los puntos clave de medición se establecen también para la transferencia de materiales intermedios entre zonas de balance de materiales. Si los desechos se trasladan fuera del emplazamiento para su recuperación, su comprobación requiere un punto clave de medición. Existen también en la instalación puntos clave de medición para la comprobación de inventarios.

Las instalaciones de transformación y fabricación representan etapas del ciclo del combustible nuclear en las que los materiales nucleares quedan contenidos en partidas discretas e identificables. Es posible simplificar la verificación de las partidas de materiales nucleares mediante la identificación y recuento de partidas, junto con los ensayos apropiados para verificar la integridad de los contenedores y comprobar los precintos del OIEA. Sin embargo, el inventario de la instalación puede ser superior a un centenar de toneladas en diversas formas, como simple polvo, conjuntos, barras, pastillas no sintetizadas, pastillas sintetizadas, materiales rechazados que esperan reciclado y restos de materiales en una diversidad de formas no homogéneas. Además, en las plantas que fabrican combustible de uranio natural y poco enriquecido, solo se requieren limitadas precauciones desde el punto de vista de la toxicidad y criticalidad para la manipulación del material. Por lo tanto, existe la posibilidad, en todo momento y en todas las etapas, de desviación de materiales simplemente sustrayéndolos directamente del almacenamiento o del proceso. Generalmente, las instalaciones de transformación y fabricación se cierran de una a cuatro veces al año para elaborar el inventario físico (según sea el tipo de la planta y, en el caso de las plantas que tratan uranio poco enriquecido, la cantidad de material tratado). La producción se suspende generalmente durante unos tres días, según el tipo y magnitud de la planta. Se etiquetan todos los materiales presentes y se prepara una lista para que el Organismo proceda a la verificación de dicho material.

Posibilidades de desviación

A continuación se dan ejemplos de posibilidades de desviación y de métodos de ocultación, así como de las correspondientes medidas de salvaguardia:

| Posibilidades de desviación | Métodos de ocultación | Medidas de salvaguardia |
|---|---|--|
| Sustracción de uranio natural o enriquecido en forma a granel | Omisión del registro de materiales recibidos | Comparación de los informes |
| | Declaración de cantidades inferiores a las recibidas | Peso, muestreo y análisis de una selección al azar de los bidones recibidos |
| | Exageración de la incertidumbre de las mediciones | Análisis de las diferencias remitente/destinatario. Mediciones independientes |
| | Sustitución (del uranio enriquecido) con uranio natural o empobrecido | Precintos Mediciones mediante análisis no destructivos |
| | Préstamos de otras facilidades | Inspecciones simultáneas |
| | Pastillas huecas o de baja densidad | Comprobación de pastillas |
| Sustracción de conjuntos combustibles | Sustitución con elementos simulados | Precintos Análisis no destructivos |
| | Simulación de expedición | Verificación a la recepción en el reactor Comprobación cuidadosa de los registros y recuento de partidas |
| | Préstamos de otros emplazamientos | Inspección simultánea |
| | Desviación de pastillas residuales | Simulación de expediciones y exageración de las cantidades expedidas (en el caso de planta separada de recuperación) Exageración de la incertidumbre de las mediciones Exageración de las pérdidas en el tratamiento |

Objetivo de la detección

Las salvaguardias de las instalaciones de fabricación de combustibles están concebidas para detectar con un 95% de certidumbre una desviación prolongada de cualquier tipo de material nuclear, o de todos los tipos de dichos materiales, a un ritmo mínimo de una cantidad signi-

ficativa por año. Además, las salvaguardias practicadas en las instalaciones que tratan plutonio, uranio muy enriquecido y uranio-233 y que poseen más de una cantidad significativa de cualquiera de dichos materiales están concebidas para detectar con un grado elevado de certidumbre y dentro del plazo de una a tres semanas la desviación repentina de cantidades significativas de materiales fisiónables especiales.

Método de salvaguardias

A los efectos de examinar las salvaguardias del Organismo aplicadas a las plantas de transformación y fabricación de combustibles, estas plantas pueden dividirse en dos grupos: las que manipulan uranio empobrecido, uranio natural y/o uranio que esté solamente poco enriquecido, y las que manipulan plutonio, uranio muy enriquecido y uranio-233.

La contabilidad de materiales nucleares es el mecanismo fundamental de las salvaguardias del OIEA, aplicándose la contención y vigilancia como medidas complementarias importantes. Sin embargo, las medidas de contención y vigilancia son poco prácticas en las plantas de transformación y de fabricación de combustible, y el inspector del Organismo se ve obligado a confiar en la contabilidad de materiales, centrandose su atención en la verificación cuidadosa de las declaraciones del explotador con respecto a las cantidades de materiales recibidos, expedidos, almacenados o perdidos y en sus propias observaciones.

Instalaciones de tratamiento de uranio empobrecido, natural o poco enriquecido

El concepto básico en el que se basan las salvaguardias del OIEA aplicadas a las instalaciones de transformación y fabricación en gran escala que manipulan uranio empobrecido, natural y/o poco enriquecido, es la verificación del balance de materiales haciendo uso en grado considerable del muestreo al azar. Más concretamente, en estas instalaciones, los métodos y mediciones del Organismo son los siguientes.

- Según sea el inventario y/o la producción de una planta, el Organismo realiza por lo general diez o más inspecciones a lo largo del año, dos de las cuales están destinadas a verificar el inventario físico del explotador. Estas inspecciones representan unos 50 a 70 días-hombre de trabajo y se programan a lo largo de un período de balance de materiales. El número real de visitas depende del plan de muestreo elaborado sobre la base del diseño de la corriente de materiales a lo largo de una campaña, es decir entre inventarios (véase más adelante).
- Auditoría de registros contables y comparación con informes enviados al Organismo, a fin de establecer el inventario contable de la instalación. Entre los informes en cuestión figuran los informes sobre cambios en el inventario, informes sobre balance de materiales y listas de inventarios físicos para instalaciones sometidas a salvaguardias en virtud de los acuerdos concertados en relación con el TNP, e informes de balances de materiales y notificaciones conjuntas para aquellas instalaciones sometidas a salvaguardias en virtud de los acuerdos basados en el documento INFCIRC/66/Rev.2. Todas las inspecciones de rutina comprenden un examen de registros y una comparación de registros e informes.
- Determinación de la corriente de materiales a su llegada a la instalación, dentro de ella, y a su salida: la verificación de la corriente consiste en la medición y observación efectuadas en el momento de las inspecciones intermitentes. Las llegadas a la instalación se verifican mediante la selección al azar de contenedores de material. La verificación de la corriente comprende, en la medida posible, las actividades encaminadas a seguir la marcha de cada conjunto hasta el reactor y, finalmente, a una instalación de reelaboración. Este procedimiento puede requerir la planificación de inspecciones simultáneas en reactores y plantas de fabricación para comprobar todos los conjuntos. (Por el momento, las actividades de verificación de la corriente están reducidas al mínimo en instalaciones para la transformación de uranio natural y la fabricación de elementos combustibles de uranio natural, a fin de

permitir la concentración de los recursos de la Secretaría sobre materiales con un valor estratégico más elevado.)

● La determinación del inventario de materiales nucleares: el método general consiste en verificar la población total de partidas identificadas por el explotador mediante la auditoría de registros y recuento de partidas y la subsiguiente verificación de las cantidades declaradas por el explotador, mediante muestreo al azar, para conseguir un grado aceptable de certidumbre en que no se ha producido desviación de una cantidad significativa de material. Así, el inspector verifica el inventario físico del explotador, que es una parte importante de la verificación general del balance de materiales y facilita pruebas concluyentes sobre la cantidad de materiales no explicados que ha declarado. Como se ha observado, los inspectores del Organismo llevan a cabo la auditoría de registros, el recuento de partidas y la verificación de cantidades siguiendo un plan de muestreo al azar, comprobando el peso de los contenedores y las características y utilizando métodos de comprobación de variables. Concretamente, por ejemplo, las barras de combustible cargadas se comprueban para asegurar que no faltan pastillas y que no hay error en las cantidades declaradas. Los conjuntos combustibles agotados se cuentan e identifican comparándolos con los registros del explotador. Los ensayos de las características se llevan a cabo respecto del UF_6 (u otro material de entrada) en cilindros, polvos, bidones, pastillas, barras, conjuntos y residuos, utilizando técnicas de ensayos no destructivos apropiadas, tales como la espectrometría gamma, mientras que los ensayos de variables se llevan a cabo mediante un muestreo al azar de polvo, pastillas y residuos. Las mediciones de conjuntos combustibles son especialmente importantes a los efectos de salvaguardia, ya que constituyen la etapa del producto final de la planta de fabricación de combustibles y permanecerán normalmente intactos durante una serie de años. A menudo es difícil la medición, ya que las barras interiores se hallan firmemente encastradas y no pueden exponerse con facilidad. Además, los instrumentos actuales no permiten una medición cuantitativa suficientemente precisa del uranio de los conjuntos de los reactores de agua ligera. Los conjuntos constituyen generalmente el objeto de mayor incertidumbre en la verificación en una planta de transformación y fabricación. La inspección continua sería el único medio de eliminar esta incertidumbre. Las barras podrían medirse directa y precisamente por el Organismo en la estación de relleno de barras, y la vigilancia continua desde esta estación hasta la etapa del producto final permitiría al Organismo tener una idea precisa sobre el contenido de los conjuntos. Los materiales que esperan su evacuación, como los que esperan su recuperación, se acumulan en bidones. El método específico para verificar este material es el examen de documentos para determinar las cantidades declaradas para su evacuación, utilizándose luego el muestreo, el peso y el análisis no destructivo a fin de comprobar las declaraciones del explotador con respecto a la cantidad y la calidad.

Por lo general se emplean precintos como parte de la verificación del inventario físico para cerciorarse de que todas las partidas se han inventariado sin duplicación y para comprobar la integridad de las muestras tomadas para análisis. Si parte del inventario, en particular los desechos y los residuos recuperables, se ha almacenado en la instalación durante períodos largos, se mide, se muestrea y se precinta.

Instalaciones de tratamiento de plutonio, uranio muy enriquecido o uranio-233

Las instalaciones de fabricación de combustible que tratan plutonio, uranio muy enriquecido o uranio-233 requieren, según sea su magnitud, la aplicación de medidas adicionales de salvaguardia a fin de alcanzar la capacidad de detección a corto plazo antes mencionada.*

* Véase **Objetivo de la detección**, página 21.

Una instalación de fabricación de combustible de óxidos mixtos de plutonio puede contener varios centenares de kilogramos de plutonio.

El Organismo está estudiando un método de salvaguardia para dichas plantas, que se basa en inspecciones continuas y muy frecuentes y que supondría la adecuada certidumbre de que el explotador mantiene un control adecuado de la corriente, método cuya finalidad es ampliar la validez de la contabilidad de los materiales nucleares como mecanismo de importancia fundamental. Además, dado que para el explotador puede resultar poco práctico someter a la verificación todo el plutonio, uranio muy enriquecido o uranio-233 en intervalos que permitan un breve plazo de detección, quizá sea necesario el acceso a puntos determinados para todos estos materiales en todo momento, inclusive a las zonas de proceso así como el acceso a los datos pertinentes del explotador. El acopio de datos y las actividades de análisis que llevan a cabo los inspectores del Organismo se adaptan a las pautas operacionales establecidas por el explotador de la instalación a fin de alcanzar la capacidad de detección deseada con un grado mínimo de obstaculización de las operaciones normales de la planta.

Las características de este método de verificación del control de la corriente son las siguientes:

- La localización y cantidades de todos los materiales nucleares establecidas por medio de la verificación del inventario físico completo realizada cada semestre sirven como puntos de referencia para seguir la corriente de materiales en la planta durante el período de operación entre inventarios sucesivos.
- Partiendo de estos puntos de referencia, se establecen procedimientos para la verificación completa de todas las recepciones anteriores al proceso, y de todos los envíos anteriores al despacho, así como para la reverificación de todos los almacenamientos, por lo menos una vez durante cada período secuencial para la detección a corto plazo. (El período preciso se determina según las prácticas operacionales.)
- Los precintos se utilizan extensamente en la etapa de entrada de los materiales, de almacenamiento durante el proceso y a los productos, en la máxima medida posible, para permitir rápidas, frecuentes y adecuadas verificaciones.
- Pueden llevarse registros aislados por los inspectores del Organismo para seguir la corriente de materiales a través de cada etapa individual del proceso. Estos registros se toman de los registros de control de producción del explotador, comprobados en la máxima medida posible con los operadores del proceso.
- Por lo menos una vez en cada período, los inspectores del Organismo verificarán el inventario elaborado durante el proceso, en la máxima medida posible. Por ejemplo, pueden empezar en la primera etapa del proceso y avanzar etapa por etapa, durante todo el proceso, de la zona de balance de materiales. Los inspectores inician la comprobación de cada etapa con una lista actualizada de la cantidad de material que debe estar presente en esa etapa y procuran verificar ese inventario elaborado durante el proceso sin interrumpir las actividades del mismo. En la máxima medida posible, este calendario se escoge de forma que coincida con una interrupción de las actividades del proceso en cada etapa.
- La verificación durante el proceso comprende las observaciones visuales para el recuento de todos los contenedores de materiales dentro de cada zona de trabajo y del equipo del proceso, para estimar la cantidad probable que se halla en cada etapa. El inspector observa y registra cualesquiera medidas de peso u otras características del material presente en esa etapa. Verifica la cantidad de materiales nucleares contenidos en partidas que salen en cada etapa, especialmente si la partida ha de ser transferida a otra zona de balance de materiales.

Por último, puede efectuar mediciones radiométricas en puntos seleccionados para establecer un esquema de las cantidades y distribuciones de materiales correspondientes a las operaciones normales. La información obtenida con respecto a esas indicaciones se utiliza para establecer una calibración. Es decir, que puede compararse una serie de lecturas tomadas en un período con la cantidad que se prevé que debe existir en la zona observada por los instrumentos colimados de examen en ese período y comparar posteriormente la cantidad de material procesado o recuperado en esa zona, según corresponda.

- En el curso de esta verificación durante el proceso, se obtienen muestras como parte de una comprobación continua de los procedimientos de detección. A medida que se dispone de los resultados de estos análisis, se utilizan para actualizar la calibración de los instrumentos de análisis no destructivos del Organismo, según corresponda.
- Como conclusión de cada período, el inspector resume los datos relativos a ese período, investiga cualquier problema observado y deduce conclusiones sobre la situación actual de la planta, basándose en la información preliminar. Basándose en esta información y en sus observaciones sobre las actividades del proceso, el inspector establece sus conclusiones sobre la posibilidad de que se haya producido una desviación durante el período objeto de examen. El resultado perseguido es concluir que la probabilidad de que una cantidad apreciable de plutonio, uranio muy enriquecido, o uranio-233 pueda haberse desviado durante el período considerado sin haber sido detectada es aceptablemente baja.

PLANTAS DE REELABORACION

El organismo posee una experiencia limitada en la aplicación de salvaguardias en las plantas de reelaboración. Aunque ha tenido ocasión de realizar ciertas prácticas de salvaguardia en varias centrales de los Estados Unidos de América, Bélgica e Italia, no emprendió la aplicación corriente de salvaguardias a las instalaciones de funcionamiento continuo hasta mayo de 1977. Los procedimientos examinados al principio de esta sección se refieren a las plantas de una magnitud pequeña a media (por ejemplo de hasta 300 toneladas de producción de combustible al año) de las que se ocupa el Organismo por el momento. Estos procedimientos se encuentran todavía en una etapa de formación y puede preverse que se irán desarrollando a medida que se gane en experiencia. No es de prever que el Organismo tenga que aplicar salvaguardias a las instalaciones comerciales en gran escala durante algunos años. No obstante, el Organismo ha formado ciertas nociones provisionales sobre un método eficaz de salvaguardia para dichas plantas, ideas que se examinan brevemente en otra sección.*

El único proceso de reelaboración que actualmente se lleva a cabo a escala industrial es el proceso Purex. Por lo tanto, esta sección se refiere solamente a dicho proceso.

Características de importancia para las salvaguardias

Las plantas de reelaboración son muy importantes desde el punto de vista de las salvaguardias, puesto que producen materiales — plutonio purificado — que pudieran utilizarse para explosivos nucleares con un mínimo de trabajo complementario y en un breve lapso de tiempo. Una planta en que se reelaboren 300 toneladas de combustible agotado al año produce de dos a tres toneladas de plutonio anuales.

Las plantas de reelaboración plantean un problema de salvaguardias de carácter excepcional en el sentido de que, contrariamente a las otras plantas, sus materiales de entrada se pueden conocer solamente mediante un análisis de los mismos, ya que la composición de las barras

* Actualmente el Organismo aplica salvaguardias a cinco plantas de reelaboración.

de combustible irradiado en el momento de su recepción en la planta solo se conoce por los cálculos del reactor de origen. Además, existe una dificultad importante debido al hecho de que una planta de reelaboración es muy compleja y a que la mayor parte del equipo es inaccesible durante su funcionamiento. Puesto que la planta trata combustible altamente irradiado, las primeras etapas deben llevarse a cabo tras la protección de blindajes, que normalmente son muros de hormigón. Las vasijas de medición quedan igualmente ocultas, de modo que no cabe observación directa. Estas características brindan a un posible desviador numerosas ocasiones de ocultar una desviación efectuada sea en la planta de reelaboración o en una etapa anterior del ciclo del combustible.

Existen otras complicaciones. Por lo general, las plantas de reelaboración funcionan ininterrumpidamente durante 24 horas diarias, 7 días a la semana y en largos períodos, de modo que existe en ellas una corriente continua de materiales nucleares. Además, solo es posible determinar la entrada real de plutonio en el proceso mediante muestreo de la vasija de contabilidad, lo que significa que los inspectores del OIEA deben estar presentes para verificar las mediciones del explotador en cada transferencia de material nuclear. Teniendo en cuenta la naturaleza compleja de las plantas de reelaboración y la cantidad de material delicado que está en juego, el Organismo ha llegado a la conclusión de que es necesario practicar una inspección continua. Además, es necesario que se cumplan las siguientes condiciones generales:

- todas las vasijas de contabilidad se deben calibrar cuidadosamente
- se deben obtener muestras fiables de los materiales de entrada y de salida, así como de todas las corrientes que parten de la planta
- se deben efectuar frecuentes evaluaciones de la cantidad de materiales presentes
- los materiales de salida pueden precintarse de modo fácilmente controlable o someterse a vigilancia continua.

Por lo general, las instalaciones de reelaboración, a los efectos de salvaguardia, se dividen en tres zonas de balance de materiales, sin incluir ningún sector que pueda existir para una elaboración adicional de los materiales. Esas zonas son: en primer lugar, la zona de almacenamiento de los materiales de entrada en que se reciben y almacenan los conjuntos combustibles y desde la que se remiten para su tratamiento. El inventario normal de esta zona consiste en los conjuntos combustibles no reelaborados en espera de su tratamiento. Dentro de esa zona la recepción de materiales nucleares se registra basándose en los datos del remitente (es decir, los valores calculados antes mencionados establecidos al salir del reactor) y las remesas hacia el proceso se basan en los análisis de entrada. La diferencia remitente-destinatario se obtiene restando estos valores en destino (ajustados para tomar en cuenta los residuos, envases, etc.) de las correspondientes cifras del remitente.

La segunda zona de balance de materiales es la zona del proceso, en que se trata la solución medida para separar los tres componentes principales: plutonio, uranio y productos de fisión. El producto, especialmente el plutonio, puede realimentarse a la zona de proceso para su reelaboración y adicional purificación. El límite entre la primera y la segunda zona de balance de materiales debe establecerse de forma tal que los únicos cambios de inventario que normalmente se producen en la primera zona de balance de materiales sean recepciones y remesas. La diferencia remitente-destinatario representaría la diferencia entre las recepciones (en valores establecidos por los remitentes) y las remesas (transferencias a la segunda zona de balance de materiales) según las mediciones propias.

La tercera zona de balance de materiales es la zona de almacenamiento del producto. Las llegadas a esta tercera zona de balance de materiales, así como los envíos desde la misma se registran y se comunican basándose en mediciones efectuadas en la zona de almacenamiento

de los materiales de entrada. Así las remesas a la zona de balance de materiales del proceso y las salidas de la misma se miden una sola vez. Con ello se elimina la posibilidad de diferencias remitente-destinatario entre esas zonas de balance de materiales; el único ajuste de inventario que cabe efectuar en ella es la diferencia inexplicada en caso de que se efectúen operaciones de mezclas. La zona de almacenamiento funciona generalmente de una de dos maneras. En algunas instalaciones, los contenedores de los materiales del producto se almacenan en espera de su expedición; en este caso, por lo general solo se efectúa una medición, puesto que se atribuyen a los envíos los valores obtenidos en la medición cuando se almacenó el material. En otras instalaciones pueden utilizarse tanques de almacenamiento, de modo que, a veces, se requiere un segundo conjunto de mediciones de expedición después de la mezcla. También puede utilizarse un método combinado mediante el cual se envasa un material, que generalmente es el plutonio, para remitirlo en la forma en que ha sido producido, mientras que los demás materiales se almacenan en tanques. Una instalación de reelaboración puede también transformar el uranio producido en otras formas (por ejemplo UF_6) para su reciclado en una planta de enriquecimiento, o bien el plutonio producido en PuO_2 para fabricar combustible. Estas operaciones deben tratarse normalmente como zonas de balance de materiales separadas, aplicándose entonces los procedimientos de inspección que se aplicarían si se tratase de instalaciones separadas.

Posibilidades de desviación

En el cuadro presentado más adelante se dan ejemplos de posibles actividades de desviación clasificados según las seis zonas de una instalación de reelaboración en las que pueden tener lugar. Las posibilidades varían desde el simple caso de sustracción directa de materiales, como la del plutonio del almacenamiento, hasta el caso muy sutil de desviación o extracción de parte de la corriente de materiales en tratamiento a través de alguna de las innumerables tuberías que forman parte de la planta. Excepto en el caso de conjuntos enteros, estas actividades se podrían llevar a cabo en forma de desviación repentina o prolongada.

Objetivo de la desviación

El OIEA supone la posibilidad de estrategias de desviación tanto repentina como prolongada en las plantas de reelaboración. Con respecto a la desviación prolongada, las salvaguardias del Organismo están concebidas para detectar, con un 95% de probabilidad, una desviación de una cantidad significativa de material nuclear al año. Con respecto a la desviación repentina, las salvaguardias están concebidas para detectar, con un grado elevado de probabilidad, la desviación repentina de cantidades significativas de materiales fisionables especiales en el plazo de una a tres semanas.

Método de salvaguardias

El Organismo efectúa inspecciones continuas en las plantas de reelaboración. El volumen total de la labor de inspección en una planta de reelaboración es, por lo menos, de 900 días-hombre al año (es decir, tres días-hombre al día), según sea el inventario y la producción de la planta. Sin embargo, en el caso de gran número de actividades, la labor se distribuye desigualmente durante el período de que se trate. En un sistema óptimo, se convocaría a los inspectores residentes cerca de la planta para que realicen actividades especiales de verificación, tales como mediciones del volumen de entrada, una o dos horas antes de que el explotador esté dispuesto a realizar la medición. Durante el turno de día, se convocaría a los inspectores que esperan en sus oficinas situadas en la planta. Durante los turnos nocturnos, se los llamará a su residencia en las cercanías. Los inspectores se reservan también el derecho de presentarse en cualquier momento para comprobar puntos estratégicos convenidos.

| Posibilidades de desviación | Métodos de ocultación | Métodos de salvaguardias |
|--|---|---|
| <i>Transferencia a la sección de troceo y lixiviación y tratamiento en la misma</i> | | |
| Transferencia no registrada de conjuntos para troceo y lixiviación | Falsificación de registros de ciertos conjuntos transferidos y disueltos | Vigilancia para obtener pruebas independientes de la transferencia |
| Conjunto sustraído de la transferencia (registrado, pero no recibido realmente en la sección de troceo y lixiviación) | Falsificación de registros | Recuento e identificación de conjuntos combustibles durante el troceo y lixiviación |
| Piezas troceadas sustraídas del disolvente | | |
| Plutonio y uranio no disuelto completamente (para disolución posterior no registrada) | Falsificación de registros de Pu y de U contenidos en cascos | Verificación mediante análisis no destructivos o mediante muestreo y análisis del contenido de Pu y de U de los cascos |
| | | Presencia de los inspectores durante la retirada de los cascos de la vasija de lixiviación y verificación de la transferencia al almacenamiento |
| El líquido procedente del disolvente no pasa por el tanque de contabilidad | | Utilización de técnicas de contención y vigilancia para detectar la desviación de material, que no pasa por el tanque de contabilidad en su ruta hacia la fase de proceso |
| <i>Entrada en el tanque de contabilidad</i> | | |
| Transferencia no registrada del tanque de contabilidad al proceso | | Vigilancia para obtener pruebas independientes de todas las transferencias |
| Declaración incorrecta del volumen (peso) o de la concentración en Pu y de U de las transferencias a la zona del proceso | Calibración inexacta | Verificación de la calibración de instrumentos para la medición de volumen (peso) |
| | Falsificación del sistema de medición de la planta (tubo de sondeo/manómetro o balanza) | Verificación de medidas de volumen (peso), temperatura y densidad |

Posibilidades de desviación

Métodos de ocultación

Métodos de salvaguardias

Falsificación de los resultados analíticos mediante muestra no representativa o en el propio análisis

Presencia de inspectores en el momento de homogeneización de la solución y de toma de muestras

Verificación de análisis y homogeneidad de muestras

Exageración de las incertidumbres de la medición en la información sobre el diseño o introducción de errores adicionales en las mediciones registradas para ocultar la desviación como diferencia inexplicada

Obtención de muestras para el análisis independiente a fin de detectar errores sistemáticos y evaluar las incertidumbres de medición

Reciclado del ácido (u otros aditivos) que contenga uranio y/o plutonio no declarados

Obtención de muestras de ácido reciclado para análisis independiente

Zona del proceso

Sustracción de soluciones a través de tuberías que no forman parte de la corriente de producción normal

Falsificación de registros del contenido de Pu y de U en diversos desechos, inclusive los retenidos en el emplazamiento, los remitidos y los descartados

Verificación de la descarga o transferencia de corrientes de desechos, inclusive mediciones de volumen

Obtención de muestras o desechos para análisis independiente

Invencción de pérdidas accidentales y falsificación de registros de Pu y de U en pérdidas accidentales (por ejemplo, derrames o descargas de efluentes)

Obtención de copias de procedimientos utilizados en la planta para hacer frente a incidentes anormales tales como pérdidas accidentales; vigilancia de estos procedimientos y, cuando sea apropiado, realización de mediciones independientes de las cantidades correspondientes de Pu y de U

Posibilidades de desviación

Métodos de ocultación

Métodos de salvaguardias

Falsificación de registros de retenciones de Pu y de U en vasijas del proceso en los momentos de la toma de inventarios físicos

Presencia de inspectores durante las operaciones de limpieza y verificación de que se cumplen los procedimientos de limpieza establecidos. En el caso de que hubiese una retención significativa, mediciones independientes de Pu y de U correspondientes

Salida del tanque de contabilidad

Transferencias no registradas de materiales procedentes de los tanques de contabilidad y transferencias que no pasan por dichos tanques

Vigilancia para obtener pruebas independientes de todas las transferencias

Declaraciones inexactas del volumen (peso) de la concentración en Pu o U de las transferencias procedentes de la zona del proceso

Calibración inexacta

Verificación de la calibración de instrumentos para la medición de volumen (peso)

Falsificación del sistema de medición de la planta (sonda/manómetro o peso)

Verificación de las mediciones del volumen (peso), temperatura y densidad

Falsificación de los resultados analíticos mediante la utilización de una muestra no representativa, o en el propio análisis

Presencia de los inspectores cuando se hace la solución homogénea y cuando se toman las muestras

Verificación del análisis y homogeneidad de muestras

Exageración de las incertidumbres de la medición en la información sobre el diseño o introducción de adicionales errores en las mediciones registradas para ocultar la desviación como diferencia inexplicada

Obtención de muestras para el análisis independiente a fin de detectar errores sistemáticos y evaluar las incertidumbres de medición

Reciclado del ácido (u otros aditivos) que contenga uranio y/o plutonio no declarados

Obtención de muestras de ácido reciclado para análisis independientes

| Posibilidades de desviación | Métodos de ocultación | Métodos de salvaguardias |
|---|---|---|
| <i>Zona de almacenamiento del producto</i> | | |
| Envíos de Pu y U no registrados o registrados incorrectamente | <p data-bbox="416 307 722 362">Falsificación de documentos de envío</p> <p data-bbox="416 411 722 642">Falsificación de registros de inventario, inclusive entrada de partidas fingidas, registros de partidas más de una vez y traslado y reetiquetado de partidas para provocar un recuento múltiple por parte del OIEA</p> <p data-bbox="416 884 722 997">Si el material se mide en el momento de su expedición, lo mismo que para la entrada del tanque de contabilidad</p> | <p data-bbox="769 307 1057 393">Verificación de los documentos y registros de los envíos</p> <p data-bbox="769 411 1057 642">En el momento de la verificación de la medición, aplicación de precintos a todos los materiales nucleares almacenados en los contenedores precintables y a todas las expediciones</p> <p data-bbox="769 660 1057 866">Durante la verificación del inventario, llevar a cabo un recuento por partidas (comprobación de marcas) de todas las partidas registradas en la lista de inventarios</p> <p data-bbox="769 884 1057 970">Lo mismo que para la entrada del tanque de contabilidad</p> |

A continuación se presenta una lista general de actividades de salvaguardia que el Organismo podría llevar a cabo en el momento presente en una planta de reelaboración típica:

- Preparación de antemano de libros de registro para que los inspectores puedan llevar registros actualizados de los parámetros esenciales para las salvaguardias, como la entrada, retenciones, producción, almacenamiento intermedio, etc. de materiales. Tales registros pueden proporcionar un análisis dinámico de diferencias inexplicadas que conduzca a conclusiones provisionales de salvaguardia. En virtud de los acuerdos de salvaguardia relacionadas con el TNP, en la Sede del Organismo se establecería una conclusión formal en forma de declaración, con una periodicidad que se definiría de acuerdo con el calendario real de funcionamiento de la planta.
- Comprobación de la corriente de combustibles irradiados desde el reactor hasta el disolvente en la planta de reelaboración, a fin de cerciorarse de que no se interrumpe. Normalmente, se mantiene bajo vigilancia el almacenamiento de tránsito en el emplazamiento del reactor de combustibles irradiados utilizando cámaras fotográficas o de televisión, que deben ajustarse para detectar con un elevado grado de probabilidad (generalmente del 100%) todo movimiento de contenedores de combustible. Cuando el transporte de esos contenedores no sea frecuente, cada transporte debe comprobarse mediante precintado del contenedor; sin embargo, los conjuntos combustibles irradiados de los reactores de agua ligera solo pueden transportarse en muy pocas unidades por contenedor; por consiguiente, el número de transportes es tan elevado que con frecuencia es difícil precintarlos todos. En tales casos,

debe asegurarse el control de la corriente mediante la correlación de tomas intermedias de inventario en el estanque de combustible agotado del reactor con las correspondientes tomas de inventario en el estanque de recepción de la planta de reelaboración. En la mayor parte de los casos, debe ser suficiente una identificación visual, mediante lectura de los números de los conjuntos de combustibles. Cuando la identificación mediante los números exclusivamente sea difícil o dé lugar a dudas, debe aplicarse una nueva toma de "huellas dactilares", fotografiando las placas numéricas y las soldaduras. En el caso de diversos tipos de combustibles también es posible comprobar los antecedentes radiológicos, basándose en un plan de muestreo, mediante mediciones gamma. Antes de su troceado y de cargar el disolvente, el combustible debe identificarse plenamente por lo que respecta a su origen.

- Verificación al 100% de la transferencia de materiales a través del límite entre la primera y segunda zonas de balance de materiales. Este lugar es el primero y único punto del ciclo del combustible en el que puede determinarse independientemente el plutonio producido. El explotador de la planta prepara datos básicos para determinar la cantidad de plutonio, reuniéndolos en dos grupos igualmente importantes:

- 1) los relativos a la determinación del volumen;
- 2) los relativos a la determinación de la concentración de plutonio y razones isotópicas, así como la proporción entre plutonio y uranio.

Con respecto a los datos básicos relativos al volumen, debe determinarse cada una de las variables, como la temperatura, la longitud de la columna del manómetro, la gravedad específica del fluido del manómetro, el control de calidad y el programa de comprobaciones. Con respecto a los datos básicos relativos a la concentración, debe prepararse un muestreo con o sin siembras previas. En este campo particular, pueden preverse perfeccionamientos gracias a las innovaciones técnicas, pero, por el momento, solo pueden tomarse en cuenta los métodos clásicos antes mencionados, que deben estudiarse detalladamente.

- En lo tocante a la calibración de la vasija, es decir el volumen como función del nivel del líquido (suponiendo que la gravedad específica de la solución disolvente se haya determinado en relación con la determinación de la concentración), las series de resultados de calibración deben analizarse estadísticamente con toda atención a fin de determinar los componentes sistemáticos y aleatorios de las incertidumbres. Deben examinarse cuidadosamente los datos de calibración para cada vasija a fin de descubrir posibles efectos tales como la deformación térmica de la vasija. La calibración de la vasija de entrada de contabilidad reviste la misma importancia para la determinación de la cantidad de plutonio que, por ejemplo, el análisis de las concentraciones de plutonio en las muestras de soluciones de disolventes. Por lo tanto, debe verificarse plenamente, incluyendo calibraciones del tanque.

- Debe comprobarse la entrada de plutonio en la zona de balance de materiales del proceso en relación con la cantidad de plutonio que se ha calculado que se ha producido en el reactor o los reactores. Es posible que haya grandes incertidumbres en cuanto a la diferencia remitente-destinatario determinada sobre la base de la producción de plutonio comunicada, así como con respecto a los cálculos computadorizados corrientes del grado de quemado de los reactores de potencia. Sin embargo, estas inexactitudes no afectan tanto al contenido de uranio, y la inexactitud en la medición del plutonio puede reducirse utilizando el método de la razón Pu/U y otras correlaciones isotópicas, tales como las razones de empobrecimiento de U-235, las razones de los isótopos fisionables y las razones de los productos de fisión. Utilizando estos métodos puede determinarse la producción de plutonio con una mayor exactitud (del orden de $\pm 3\%$ y, en algunos casos, del $\pm 1\%$).

- Debe comprobarse la entrada de plutonio y de uranio en la zona del proceso para determinar su integridad y descubrir posibles exageraciones. Es realmente imposible asegurar que no existe ninguna vía para evitar el paso por la zona de balance de materiales en cualquier

planta de reelaboración, haya sido o no inspeccionada durante su construcción. Por lo tanto, el control esencial de salvaguardias debe basarse en una comprobación continua del balance de materiales en toda la zona del proceso.

- Otra dificultad se refiere a la medición del material de los cascotes lixiviados. Se trata de un material difícil de verificar y cada caso debe examinarse por separado, dado que las técnicas de verificación disponibles son limitadas. Sin embargo, un control estricto del proceso facilita la posibilidad de asegurar que el contenido del material fisionable en los cascotes lixiviados es muy bajo.
- Otro problema relativo a la definición de la entrada de plutonio se refiere al reciclado del ácido nítrico. La mayoría de las disoluciones se hacen con grandes cantidades de ácidos ya utilizados anteriormente con el mismo propósito. Este ácido reciclado contiene generalmente cantidades considerables de plutonio altamente polimerizado, que se determinan mediante muestreo y análisis. La sustracción de este valor de análisis del plutonio reciclado del valor de análisis de la entrada en forma original puede conducir a exagerar la entrada de plutonio, dada la dificultad inherente de dicho análisis. Alternativamente, la exageración del contenido de plutonio en el ácido reciclado puede conducir a una declaración inferior de la entrada de plutonio. Por lo tanto, es necesario proceder in situ a una comprobación minuciosa que comprenda un muestreo del ácido reciclado.
- La producción de plutonio de la zona de balance de materiales del proceso es otro valor importante de los puntos clave de medición. En el caso de producción en forma de solución de nitrato de plutonio, la determinación cuantitativa depende de nuevo de dos factores importantes: 1) los datos básicos relativos a la determinación del volumen, inclusive la calibración del tanque; 2) el factor de medición de la concentración, que puede basarse en una clara medición del plutonio (normalmente, el plutonio es de gran pureza en este extremo de la corriente utilizando los métodos más exactos, tales como la voltametría potencial controlada ($\pm 0,1\%$)).
- En las grandes instalaciones, puede establecerse un punto intermedio de comprobación para la corriente de plutonio, precisamente después del ciclo de partición.
- Debe verificarse la producción de uranio comparándola con la producción de plutonio y la razón de Pu/U obtenida en la entrada a la planta. En el caso de que se utilice una etapa de calcinación para producir U_3O_8 , debe establecerse un punto intermedio de comprobación para el uranio en forma de nitrato de uranio tomando en consideración los datos básicos para el volumen y los datos básicos para la concentración. El almacenamiento transitorio de uranio, sea en forma sólida o en forma líquida, debe comprobarse solo con poca frecuencia, es decir, cada 3 a 6 meses, según el enriquecimiento residual.
- La transformación del nitrato de plutonio en óxido de plutonio debe llevarse a cabo estableciendo una zona separada de balance de materiales del proceso. Los principios de medición para las recepciones en esta zona de balance de materiales y para las remesas desde la misma son, mutatis mutandis, los mismos que en la zona de balance de materiales antes mencionada.
- El almacenamiento del plutonio en la salida de la planta de reelaboración debe verificarse con gran frecuencia y un elevado grado de fiabilidad. La verificación del inventario intermedio (por ejemplo por medio de comprobaciones de precintos) debe repetirse cada dos a tres semanas. Los envíos del almacenamiento de materiales producidos deben precintarse y comprobarse de nuevo inmediatamente después de su llegada a la zona de balance de materiales receptora.
- Los resultados de la inspección y las conclusiones sobre las salvaguardias deben formularse continuamente en el emplazamiento mismo para asegurar tiempos breves de detección. La

mayor parte de los resultados analíticos elaborados por el explotador de una planta de reelaboración se determinan por lo menos en dos etapas. A los efectos del proceso, el explotador necesita resultados analíticos obtenidos en pocas horas, pero puede aceptar una exactitud menor, algunas veces del orden de hasta $\pm 20\%$. Esta clase de análisis se denomina generalmente "análisis de procesos". Todos los análisis esenciales para la contabilidad se repiten con mucha mayor precisión, pero con un retraso de varios días, y excepcionalmente de varias semanas. Este tipo de análisis se denomina habitualmente "análisis de contabilidad". Los resultados de la inspección deben elaborarse de modo continuo utilizando un procedimiento similar en dos etapas. La primera etapa se basa en la observación del "análisis de procesos" y en la segunda etapa se introduce una corrección basada en la verificación del "análisis de contabilidad". Solamente los resultados de la segunda etapa se comparan posteriormente con los informes oficiales enviados a la Sede del Organismo.

Salvaguardias en las grandes plantas de reelaboración

Una gran planta de reelaboración, con una capacidad de tratamiento de unas 1 500 toneladas anuales de elementos combustibles irradiados de reactores de agua ligera producirá anualmente entre 10 y 14 toneladas de plutonio. El OIEA ha realizado ciertas labores preliminares sobre la naturaleza de las salvaguardias en esas grandes instalaciones de reelaboración. Se sugiere que las salvaguardias aplicadas a las grandes plantas de reelaboración no se basen principalmente en los métodos tradicionales de contabilidad de materiales, ya que los errores e incertidumbres de la medición en el balance de materiales serían demasiado grandes. Por el contrario, las salvaguardias debieran basarse principalmente en el concepto de contención, complementado por la vigilancia y monitoraje humano e instrumental. Una posibilidad sería establecer una o más barreras muy sensibles en torno de los sectores particularmente críticos de la planta. En estas barreras se utilizaría equipo muy sensible de vigilancia del plutonio que detecta la radiactividad de este elemento. Dicho método se utilizaría para la vigilancia del personal en un número limitado de puertas y para mantener bajo control salas enteras que contengan cajas de guantes. Tal técnica se complementarí mediante monitoraje. Ese método parte también del supuesto de que en el diseño para la construcción de la planta se incluirán disposiciones para verificar continuamente la integridad de la contención física.

Otra cuestión relacionada con estas grandes plantas de reelaboración y que pudiera también aplicarse en menor grado a otras grandes instalaciones futuras de manipulación a granel, es que sería casi esencial que en tales instalaciones se incorporasen características de diseño que facilitarían la aplicación de salvaguardias. Estas características de diseño serían en su mayor parte secundarias y no debieran aumentar notablemente los costos de construcción o explotación. Entre ellas se incluiría la certeza de disponer de líneas adecuadas de toma de muestras, el diseño de tanques de forma que pudieran vaciarse por completo o al menos que permitan medir los residuos, proporcionándose válvulas suficientes de modo que los tanques puedan aislarse para tales mediciones. En la actualidad se están realizando una serie de estudios tanto en el OIEA como en los Estados Miembros sobre criterios de diseño en relación con las salvaguardias.

PLANTAS DE ENRIQUECIMIENTO DE URANIO

El Organismo carece de auténtica experiencia en la aplicación de salvaguardias a las plantas de enriquecimiento de uranio, incluso las plantas piloto, pero ha venido estudiando esta cuestión durante varios años y preparándose para aplicar tales salvaguardias. Las primeras plantas de enriquecimiento que se han sometido a las salvaguardias del Organismo son del tipo centrífugo. Las primeras plantas comerciales de difusión que serán sometidas a salva-

guardias se encuentran todavía en construcción. El Organismo tendrá probablemente que ocuparse también, llegado el caso, de la aplicación de salvaguardias a plantas que empleen el proceso de toberas y posiblemente a plantas que empleen otros procesos.*

El Organismo no ha definido detalladamente una estrategia de salvaguardias aplicable a todos los tipos de las plantas de enriquecimiento. Hasta la fecha, la mayor parte de los estudios se han centrado en las instalaciones de centrifugación del tipo que el Organismo debe abordar inmediatamente para la aplicación de salvaguardias. En esta sección se examina un método general de aplicación de salvaguardias a las plantas de enriquecimiento y, al final, se estudian algunos de los aspectos específicos del método previsto por el Organismo para salvaguardar instalaciones de centrifugación, método basado en estudios realizados hasta la fecha.

Características de importancia para las salvaguardias y posibilidades de desviación

Las instalaciones de enriquecimiento de uranio poseen una serie de características comunes que son de importancia desde el punto de vista de las salvaguardias. Aparte de los desechos acumulados, todos los materiales se encuentran en una forma química de gran pureza (hexafluoruro de uranio) a lo largo del proceso. La alimentación puede ser de uranio natural, uranio empobrecido o uranio enriquecido que ha sido reciclado tras su irradiación en un reactor y su purificación, o de colas empobrecidas (o uranio poco enriquecido) reciclado de otra instalación o de operaciones previas. Las plantas pueden disponerse de modo que posean varios puntos de alimentación y de salida del producto y su actividad puede ir seguida de operaciones de mezcla para alcanzar el enriquecimiento exigido por las especificaciones. Todos los procesos de enriquecimiento por etapas múltiples constituyen verdaderos procesos continuos; tanto una alimentación constante de materiales de entrada como un producto constante (y colas) son esenciales para la eficaz operación del proceso. Puede preverse que las instalaciones de enriquecimiento dispongan de zonas de almacenamiento para los materiales de entrada, las colas y el producto. Estas zonas pueden tener una capacidad próxima o superior a la necesaria para un año de operación normal, aunque tal característica no es absolutamente necesaria.

Las plantas de enriquecimiento de uranio, como las instalaciones de reelaboración, despiertan una preocupación mayor que otras instalaciones del ciclo del combustible desde el punto de vista de la proliferación en la medida en que pueden utilizarse para producir materiales utilizables directamente en un dispositivo nuclear explosivo. Sin embargo, esto es solamente cierto para determinados tipos de funcionamiento de estas instalaciones. A los efectos comerciales, las plantas de enriquecimiento de uranio que preparan combustible para reactores de potencia se diseñan especialmente para enriquecer materiales hasta aproximadamente el 5% de U-235. Para fines militares, lo común ha sido obtener un enriquecimiento por encima del 90%.

Por lo tanto, la cuestión central de las salvaguardias en relación con las plantas de enriquecimiento estriba en conocer si las plantas comerciales pueden en cierto modo adaptarse o funcionar para producir enriquecimientos superiores. La respuesta a esta cuestión depende en gran medida del tipo de planta de que se trata. La planta de centrifugación consigue el enriquecimiento comercial solamente en pocas etapas, pero, puesto que la cantidad que puede tratarse por cada máquina es generalmente pequeña, funcionan en paralelo en cada etapa un gran número de máquinas para conseguir el volumen de producción requerido. Para conseguir un elevado grado de enriquecimiento podría aumentarse el número de etapas en series reduciendo el número de máquinas utilizadas en paralelo. El explotador debe escoger entre una elevada tasa de producción con poco enriquecimiento o una baja tasa de

* Actualmente el Organismo aplica salvaguardias a tres plantas de enriquecimiento.

producción con alto enriquecimiento. Por tanto, en principio, existe en este tipo de planta una posibilidad de falsa declaración, pero, en realidad, ello supondría un esfuerzo considerable.

En el caso de las plantas clásicas de difusión gaseosa, el problema que presentaría similar readaptación sería mucho más difícil todavía. La índole del proceso es tal que se consigue una pequeña separación en cada etapa, de forma que se necesitan muchas etapas, incluso para conseguir un grado bajo de enriquecimiento. Además, se obtiene una cascada típica de difusión gaseosa a partir de aparatos de diferente magnitud, comenzando por etapas muy amplias y descendiendo a aparatos menores a medida que se consiguen mayores enriquecimientos. La posibilidad de subdividir las primeras etapas para facilitar las etapas posteriores es remota si debe mantenerse una producción adecuada.

Además de los procedimientos en cascada puede utilizarse otra posibilidad que consiste en cambiar el modo de operación a fin de aumentar el grado de enriquecimiento, incrementando dicho enriquecimiento por etapas, aunque el resultado sería un descenso de la producción. Sin embargo, aun esta solución podría requerir un esfuerzo considerable y el incremento del enriquecimiento sería limitado.

Existen también posibles estrategias de ocultación de desviaciones que no suponen modificaciones del equipo o del modo de operación de una planta de enriquecimiento. Tales estrategias pueden ser las siguientes:

- utilización de materiales de entrada distintos de los declarados para producir un mayor enriquecimiento
- pérdidas ficticias o exageradas de UF_6
- material tomado en préstamo de otras zonas de balance de materiales para ocultar la escasez en el momento de la toma del inventario físico
- inclusión en la lista del inventario de partidas que no existen o registro repetido de partidas
- exageración de datos de la medición del UF_6 o de los desechos sólidos (retención en el equipo de tratamiento)
- reciclado de productos en vez de alimentación con materiales de entrada.

Método general de salvaguardias

Sea cual fuere el tipo de planta de enriquecimiento de uranio, una característica común que influye sobre el método de salvaguardias es la posible opinión de los propietarios o explotadores sobre el valor del diseño o sobre su importancia desde el punto de vista comercial o de la proliferación de armas nucleares. Por esta razón, los acuerdos internacionales básicos han tenido en cuenta desde un principio el posible deseo del explotador de que ciertas partes de la planta se traten como una "caja negra", es decir, como sectores en que las actividades de salvaguardias se llevan a cabo en las zonas periféricas sin entrar en los mecanismos interiores. Este sector interior debe ser lo más reducido posible. En virtud de lo estipulado en la sección 46b) iv) del documento INFCIRC/153, el Estado puede pedir que una parte de la instalación se considere como "zona especial de balance de materiales" en la que se supone que no entrarán los inspectores del OIEA. El documento INFCIRC/66/Rev.2 no establece todavía procedimientos especiales de salvaguardia para las plantas de enriquecimiento. Sin embargo, en los Arreglos Subsidiarios negociados en virtud de un acuerdo del documento INFCIRC/66/Rev.2 pueden incorporarse arreglos similares para una zona de balance de materiales de esta clase, suponiendo que dichos arreglos no sean contrarios a los términos de cualquier acuerdo de cooperación bilateral en cuestión.

El método de salvaguardias para estas plantas debe tomar en cuenta este acceso limitado al adoptar el procedimiento clásico de salvaguardias consistente en una cuidadosa contabilidad

de materiales complementada por medidas de contención y vigilancia. Este procedimiento entraña el principio de la medición de todos los materiales que entran y salen y de la elaboración periódica de un balance de materiales con un muy elevado grado de certidumbre. Afortunadamente, el inventario del proceso de la mayor parte de las plantas de enriquecimiento no varía significativamente durante las operaciones de rutina. Además, entre todos los tipos de plantas nucleares, la planta de enriquecimiento típica es la que posee el mejor sistema de contabilidad de materiales. Tanto las cifras publicadas como las no publicadas, relativas a muchos años de explotación, indican un grado notable de certidumbre en el balance de materiales, por lo que no existe razón alguna para que las plantas que actualmente se están diseñando y poniendo en servicio no mejoren aún dicho grado. Los procedimientos de salvaguardia aplicados a las plantas consistirán por lo tanto en la cuidadosa verificación por parte de los inspectores de salvaguardias de todos los materiales que entran en el proceso y de todos los materiales que se retiran, tanto con respecto a la cantidad como a la calidad (enriquecimiento). Por supuesto, será también necesario verificar todas las transferencias anormales de materiales que puedan tener lugar, tales como las que pueden ocurrir mediante transferencias de equipo. La contención y la vigilancia desempeñarán un papel importante en la reducción de las tareas necesarias y en la continuidad de conocimientos a los efectos de salvaguardias. El examen del balance de materiales en estas circunstancias no solamente indica si faltan materiales, sino también si el modo de explotación es el declarado, ya que un cambio en el grado de enriquecimiento perseguido se refleja inevitablemente en las proporciones entre las colas, el producto y los materiales de entrada.

En cuanto a la labor máxima de inspección de rutina en las instalaciones de enriquecimiento, la Sección 80 del documento INFCIRC/153 permite la inspección continua (en realidad 450 días-hombre al año) en instalaciones con una producción anual superior a unos 500 kg efectivos. Para un enriquecimiento nominal del producto del 4% de U-235, esto corresponde anualmente a unas 300 toneladas de producto U o quizá a 1 300 toneladas/año de trabajo de separación. Así, pues, las instalaciones más grandes serían más apropiadas para la inspección continua, pero no las instalaciones piloto en un sentido estricto. El documento INFCIRC/66/Rev.2 no contiene estipulaciones específicas para las instalaciones de enriquecimiento, pero sí para el acceso en todo momento a otras instalaciones nucleares especificadas que revelen un cierto inventario o tengan una determinada producción. El Organismo prevé aplicar la inspección continua en toda instalación comercial de enriquecimiento.

Método de salvaguardias para las instalaciones de centrifugación

Las medidas básicas de salvaguardias serán similares a las de otras instalaciones de manipulación a granel. El inspector examinará la información sobre el diseño, establecerá el inventario inicial, comprobará los registros, verificará la corriente y el inventario físico, y utilizará medidas de contención y vigilancia en la forma necesaria.

- Se examinará la información referente al diseño para determinar si la estrategia de salvaguardias planeada es factible. En particular, se identificarán las diversas tuberías que penetran en la zona de la cascada desde el exterior, y se verificará la inexistencia de conducciones secundarias de alimentación y de salida.
- Al establecer el inventario inicial, el inspector verificará que todos los cilindros de UF₆ y otras partidas del inventario han sido enumeradas una sola vez, sin repeticiones. Tomará muestras al azar de las partidas para verificar los datos cuantitativos declarados. Si hubiese un inventario significativo de alimentación de uranio reciclado, el inspector tomará muestras al azar de los cilindros que contienen este material. Posteriormente se verificará de manera periódica el inventario (incluyendo los materiales de entrada, el producto y los cilindros de colas) haciéndose uso, cuando proceda, de precintos.

- El inspector debe tener acceso continuo a todas las partes de la instalación, fuera de las zonas especiales de balance de materiales, incluidas todas las barreras en las zonas de balance de materiales especiales, a fin de establecer la contención y vigilancia. Se precintarán o vigilarán todas las entradas a la zona especial de balance de materiales (con cámaras cinematográficas o cámaras de televisión). Análogamente, se verificarán y precintarán todas las corrientes de materiales a través de las zonas de balance de materiales (es decir, cilindros que contengan materiales de entrada, producto, colas). Los cilindros de materiales de entrada y de salida se verificarán en primer lugar cuantitativamente sobre una base del 100% y se precintarán después en el distribuidor de los materiales de entrada. Los cilindros de las colas se pesarán y precintarán en el distribuidor del producto. Los cilindros serán objeto de toma de muestras paralelamente al muestreo propio del explotador.
- Debe evaluarse el sistema de medición del explotador, y el inspector debe poder verificar independientemente los datos de la contabilidad de materiales del explotador. El inspector debe también tener acceso corriente a todos los datos pertinentes de salvaguardias y operaciones de entrada y salida y poder mantener la continuidad de su información.
- El inspector debe prestar cuidadosa atención a las corrientes secundarias (además de a las tres corrientes principales), tales como las de desechos, escapes del sistema o retirada de equipo, puesto que estas corrientes pueden utilizarse para ocultar desviaciones.
- Se utilizarán las razones isotópicas secundarias y los balances de materiales isotópicos secundarios como complemento de la contabilidad de materiales, a pesar de que todavía no se ha determinado la sensibilidad de estas técnicas.
- Al establecer las zonas de balance de materiales y los puntos clave de medición se determinará que cada sector de cascada (por ejemplo, 600 unidades de trabajo de separación al año) constituya una zona de balance de materiales separada. Esto hará más difícil ocultar la manipulación de uno de los módulos en un sector de cascada para producir uranio muy enriquecido. Otras zonas de balance de materiales podrían ser las zonas de entrada o de salida del proceso, la recepción de UF_6 , la zona de medición y almacenamiento, las zonas de mantenimiento y almacenamiento de desechos, la zona de almacenamiento de colas de UF_6 , y la zona de almacenamiento y expedición del producto UF_6 . Si la instalación tiene su propia planta de transformación de UF_6 , constituirá una zona separada de balance de materiales.

INSTALACIONES DEL CICLO DEL COMBUSTIBLE PARA REACTORES REPRODUCTORES RAPIDOS (FBR)

Esta sección se ocupa de diversos tipos de instalaciones afines y no de un tipo de instalación en particular. Estas instalaciones constituyen las partes del ciclo del combustible de los reproductores rápidos que actualmente están sometidas a las salvaguardias del Organismo. La experiencia del OIEA en la aplicación de salvaguardias en este campo es muy limitada, tanto en el tiempo como en su alcance. De los ciclos de combustible de los reactores reproductores rápidos que actualmente se están desarrollando, el ciclo del reactor reproductor rápido de metal líquido es el que ha alcanzado la etapa más avanzada, y sus progresos se refieren tanto a los reactores pilotos y de demostración como a las pequeñas instalaciones auxiliares. Por el momento, no se trata de reactores reproductores rápidos plenamente comercializados y en explotación. Solo respecto del ciclo del combustible de los reactores reproductores rápidos de metal líquido posee el Organismo cierta experiencia de salvaguardias. Entre esas instalaciones del ciclo del combustible de los reactores reproductores rápidos de metal líquido que actualmente están sometidas a las salvaguardias del Organismo figuran algunas plantas de fabricación de combustible de mezcla de óxidos, algunos reactores reproductores rápidos y una pequeña planta de reelaboración diseñada para reelaborar el

combustible agotado de los reactores reproductores rápidos de metal líquido. La mayor parte de esas instalaciones no han sido sometidas a las salvaguardias del Organismo hasta muy recientemente. En un futuro no demasiado distante, se prevé que se someterán a las salvaguardias del Organismo nuevas instalaciones del ciclo de los reactores reproductores rápidos, incluyendo varios reactores reproductores rápidos de metal líquido.

A medida que entren en servicio instalaciones más grandes, de dimensiones comerciales, tanto para el ciclo del combustible de los reactores reproductores rápidos de metal líquido como para otros ciclos de reactores reproductores rápidos, el Organismo se enfrentará con el mismo tipo de problemas que presentarán las plantas de reelaboración en gran escala y serán menos adecuadas las medidas descritas más adelante. No solo será cada vez más necesario que las plantas incorporen características de diseño que faciliten la aplicación de salvaguardias, sino que probablemente resultará imprescindible hacer nuevo hincapié en las medidas de contención y vigilancia, a diferencia de la contabilidad de materiales, e incluso se precisarán quizás nuevas concepciones.

El resto de esta sección se ocupa de los tipos de instalaciones del ciclo del combustible de los reactores reproductores rápidos de metal líquido que actualmente están sometidas a salvaguardias, y particularmente de los propios reactores reproductores rápidos de metal líquido.

Características generales del ciclo del combustible de los reactores reproductores rápidos de importancia para las salvaguardias

La diferencia importante entre los ciclos del combustible de los reactores de agua ligera y de los reactores reproductores rápidos, desde el punto de vista de las salvaguardias, estriba en que el material de uso directo del ciclo del combustible de los reactores reproductores rápidos está presente desde la etapa de fabricación en forma utilizable directamente y en cantidades importantes. En el ciclo del reactor reproductor rápido existe más plutonio y está más concentrado. Además, el plutonio producido en las zonas fértiles de los reactores reproductores rápidos es generalmente más apropiado para explosivos nucleares que el que se produce normalmente en los reactores de agua ligera. Es más, el uranio del núcleo puede también estar enriquecido hasta un 20% aproximadamente.

Los procedimientos de salvaguardia aplicados a las instalaciones de fabricación de combustibles del tipo relacionado con el ciclo del combustible de los reactores reproductores rápidos de metal líquido se examinan bajo el epígrafe "Instalaciones de tratamiento de plutonio, uranio muy enriquecido o uranio-233" en la página 23 y, por lo tanto, no es necesario tratar de estos procedimientos en particular en esta sección. Con respecto a la reelaboración, la proporción entre el plutonio y el uranio contenidos en el material que se reelabora es superior a la de una planta que reelabore combustible de reactores de agua ligera. Sin embargo, no existe ninguna diferencia importante entre las plantas desde el punto de vista de las salvaguardias. De aquí que los procedimientos descritos bajo el epígrafe "Plantas de reelaboración", en la página xx se apliquen generalmente a uno u otro tipo de planta.

En lo que respecta a la etapa del reactor, existen diferencias significativas desde un punto de vista de las salvaguardias, entre un reactor de agua ligera de potencia media y un reactor reproductor rápido de metal líquido. En términos generales, la aplicación de salvaguardias a una central nucleoelectrónica con un reactor reproductor rápido de metal líquido es mucho más compleja que la aplicación de salvaguardias a una central con un reactor de agua ligera. Los primeros pueden tener un inventario de materiales nucleares especiales muchas veces mayor que los reactores de agua ligera tienen normalmente en términos de kg efectivo. Además, los conjuntos combustibles de los reactores reproductores rápidos de metal líquido contienen cantidades significativas de materiales nucleares especiales en todas las etapas en la instalación

del reactor. Los combustibles nuevos, así como los combustibles irradiados y los conjuntos fértiles contienen cantidades importantes de plutonio. Las centrales actuales que están sometidas a las salvaguardias del Organismo y las centrales en construcción poseen inventarios de plutonio que van desde 200 kilogramos a 500 kilogramos de Pu en los conjuntos combustibles del núcleo, que son del tipo de agujas múltiples y cuya composición es de óxidos mezclados: específicamente, una mezcla de un 10 a 20% aproximadamente de plutonio y de 80 a 90% de uranio. El uranio del núcleo puede estar enriquecido, por ejemplo, hasta un 20% aproximadamente en el caso del núcleo de puesta en marcha para ciertos reactores reproductores. Parte del plutonio puede estar en conjuntos fértiles radiales y axiales que inicialmente están constituidos con uranio empobrecido. Actualmente los reactores reproductores rápidos de metal líquido producen cada año por término medio hasta el 15% más de combustible que el combustible que consumen.

Otra característica de las centrales nucleoelectricas con reactores reproductores rápidos de metal líquido es que el acceso a los conjuntos combustibles irradiados y a parte de los conjuntos combustibles nuevos que contienen materiales nucleares especiales es generalmente mucho más difícil que en el caso de las centrales con reactores de agua ligera; en ciertos casos los conjuntos combustibles pueden ser prácticamente inaccesibles. Estos conjuntos permanecen y se tratan en un medio de sodio o gas inerte dentro de equipos de manipulación cerrados y sin fugas durante la mayor parte del tiempo que están en la central. Los conjuntos se cargan en el núcleo mecánicamente y en ninguna etapa puede verificarse la cantidad de material presente en el núcleo. El almacenamiento de combustible agotado varía en cierto modo entre los reactores reproductores rápidos de metal líquido, pero la verificación de conjuntos en esta etapa es igualmente difícil. En el caso de una central sometida a salvaguardias, el combustible agotado se almacena en un tanque de sodio líquido durante varios meses y no puede verificarse directamente durante este período. Posteriormente, se transfiere a una celda caliente donde puede someterse a verificación. En otros casos, el combustible agotado se lava inicialmente y se coloca después en recipientes que se almacenan en estanques. Los combustibles no pueden identificarse directamente mientras permanecen contenidos en esos recipientes.

La realimentación en combustible de los reactores reproductores rápidos de metal líquido es generalmente similar a la de los reactores de agua ligera, sustituyéndose cada año alrededor de la mitad en el núcleo y de una tercera parte en las zonas fértiles.

Posibilidades de desviación

Instalaciones de fabricación de combustible de reactores reproductores rápidos de metal líquido

Las posibilidades de desviación en una planta de fabricación de combustibles de reactores reproductores rápidos de metal líquido serán generalmente similares a las de los ejemplos descritos bajo el epígrafe "instalaciones de transformación y de fabricación del combustible" en las páginas 20-25, pero las posibilidades concretas dependerán de los componentes del material del combustible que se fabrica. La entrada a la planta de fabricación del combustible consistirá en uranio en forma de bióxido de uranio natural o empobrecido y posiblemente también de bióxido de uranio enriquecido (alrededor del 20% de U-235). Consistirá también en bióxido de plutonio puro procedente ya sea de la planta de reelaboración del combustible de reactores reproductores rápidos de metal líquido o de una planta de reelaboración del combustible de reactores de agua ligera, o de reservas de existencias acumuladas. El bióxido de uranio y el bióxido de plutonio se mezclan en la planta de fabricación y se comprimen en pastillas de combustible.

Reactores reproductores rápidos de metal líquido

Según sean las características particulares de la central, el punto más vulnerable para la desviación en los reactores reproductores rápidos de metal líquido será la zona de almacenamiento de combustible nuevo. Sin embargo, si la central posee una instalación para montar las agujas de combustible en conjuntos, esta instalación ofrecerá mejores oportunidades para la desviación, ya que será menos complicado el acceso a las agujas de combustible. Podrían utilizarse uno o más medios de ocultación, entre ellos la sustitución con agujas falsas, la falsificación de registros, la manipulación de los dispositivos de contención y vigilancia, etc.

La desviación desde el propio reactor y desde la zona de combustibles agotados es, en la mayor parte de los casos, mucho más difícil. Mientras que las cantidades de materiales en el núcleo y en los conjuntos fértiles en el reactor y en la zona de combustible nuevo son virtualmente imposibles de verificar directamente, desde el punto de vista de los inspectores de salvaguardias, presentan mayores dificultades de desviación, principalmente debido a su muy elevada irradiación. No obstante debe tomarse en consideración esta posibilidad.

Una última posibilidad de desviación es la irradiación clandestina del uranio natural o empobrecido en la zona fértil.

Plantas de reelaboración de combustibles de reactores reproductores rápidos de metal líquido

En general, las posibilidades de desviación en una planta de reelaboración de combustibles de reactores rápidos de metal líquido serían similares a las de una planta de reelaboración de combustible de reactores de agua ligera (véase "Posibilidades de desviación" en página 27) incrementadas debido al hecho de que la producción de plutonio por tonelada métrica de entrada de combustible sería mayor en un factor cercano a 10.

Objetivo de la detección

El objetivo de las salvaguardias del Organismo en las instalaciones del ciclo del combustible de los reactores reproductores rápidos de metal líquido es detectar, con una certidumbre del 95%, una desviación prolongada de cualquiera o de todos los tipos de materiales nucleares a una tasa mínima de una cantidad significativa por año; o la desviación repentina de más de una cantidad significativa de materiales fisionables especiales rápidamente convertibles en el plazo de una a tres semanas.

Método de salvaguardias

Instalaciones de fabricación de combustible de reactores reproductores rápidos de metal líquido

El Organismo lleva a cabo una inspección continua en las plantas de fabricación de combustibles de reactores reproductores rápidos de metal líquido utilizando el método de salvaguardias descrito en la Sección II.B.1 f).

Reactores reproductores rápidos de metal líquido

Por lo general, la inspección del Organismo en los reactores reproductores rápidos de metal líquido supone unos 50 días-hombre al año.

Muchas de las medidas de salvaguardia aplicadas en los reactores de agua ligera se aplican también en los reactores reproductores rápidos de metal líquido, aunque existen diferencias importantes debido a la gran cantidad de material delicado de las últimas y a la consiguiente necesidad de conseguir plazos relativamente breves de detección. Los registros contables se

comprueban hasta asegurarse de que son formalmente correctos y se contrastan para verificar si la información contenida en los mismos es coherente y compatible con la información contenida en los registros presentados al OIEA. Los registros de operaciones se comprueban de la misma forma que los registros contables y se utilizan para establecer la distribución de conjuntos combustibles en la instalación.

Los reactores reproductores rápidos de metal líquido, como en el caso de otros tipos de reactores, comprenden normalmente una zona de balance de materiales. La zona de balance de materiales puede dividirse, a los efectos del inventario físico, entre varios puntos clave de medición, incluyendo el almacenamiento de combustibles nuevos, el núcleo y la zona de almacenamiento de combustibles agotados. Puede crearse una zona adicional de balance de materiales en el caso de un establecimiento que tenga su propia instalación para montar agujas de combustible nuevo o separar conjuntos que contengan combustibles agotados. Los puntos clave de medición para la determinación de la corriente de materiales comprenden: la llegada y de-exención de materiales nucleares, aumentos accidentales, pérdidas y producciones nucleares del combustible descargado del reactor y envío y exenciones de materiales nucleares y pérdidas accidentales. Entre los puntos estratégicos para la aplicación de la contención y vigilancia se incluyen normalmente el almacenamiento de combustibles nuevos y de conjuntos de zonas fértiles y las vías de transferencia al núcleo, sala del reactor, vías de transferencia de combustibles agotados, zona de operaciones de envase y almacenamiento, y vías de acceso a otras localizaciones de materiales nucleares en la instalación. Por lo general, los inventarios físicos se toman dos veces al año y los verifican los inspectores del Organismo. El explotador prepara de antemano una lista de partidas por puntos clave de medición. Entre los procedimientos utilizados figuran el recuento e identificación de partidas y el análisis no destructivo.

Generalmente, los conjuntos de combustible nuevo enviados a los reactores reproductores rápidos de metal líquido desde la planta de fabricación de combustibles a base de óxidos mezclados han sido verificados mediante la utilización de técnicas de análisis no destructivo antes de su envío y se han aplicado precintos a los contenedores de la remesa. Una vez llegados al reactor, el inspector comprueba los precintos colocados sobre los contenedores de expedición y se verifican los conjuntos mediante la identificación (a partir de números de serie) y recuento de partidas a medida que se transfieren desde los contenedores de expedición a los contenedores en la zona de almacenamiento de combustibles nuevos. (Cada tipo de contenedor está dotado de cierres contra escapes y contiene gas inerte.) Cada receptáculo de almacenamiento o contenedor de conjuntos de zonas fértiles y de combustibles nuevos es precintado por el inspector del Organismo, y la zona de almacenamiento se somete a vigilancia óptica. También pueden precintarse los mecanismos para la transferencia de combustibles al núcleo y desde el núcleo.

Siempre que a juicio de los inspectores del Organismo o en caso de mal funcionamiento de los dispositivos de vigilancia existan dudas sobre la integridad de la contención, es probable que se considere necesaria la verificación mediante recuento y/o análisis no destructivo de partidas en todos los puntos estratégicos de la central. Fuera de tales casos imprevistos, el Organismo comprueba normalmente la integridad de los precintos y toda otra medida de contención y vigilancia compatible con el plazo de detección previsto para la instalación.

Una vez que los conjuntos de combustibles nuevos (zona fértil del núcleo) se han cargado en un medio de sodio mediante máquinas para la transferencia al almacenamiento provisional o para su colocación en el propio reactor, el procedimiento de verificación se hace muy complicado. De hecho, no es posible verificar directamente el inventario del núcleo del reactor. Por lo tanto, es necesario que los inspectores estén presentes durante la carga inicial del núcleo y zona fértil para la verificación del inventario inicial. El núcleo mismo se precinta después de la carga. A continuación se requiere la presencia de inspectores durante la carga y descarga

posteriores del núcleo y zona fértil. En otro caso, se emplea la vigilancia óptica normal (cámaras) y se aplican precintos al núcleo del reactor durante su funcionamiento. Además de estas medidas, es posible que en el futuro se utilicen otras medidas de vigilancia, tales como monitores de vestigios de corrosión, para vigilar independientemente el funcionamiento del reactor (por ejemplo el nivel de potencia), así como contadores de haces para vigilar el movimiento de conjuntos combustibles dentro y fuera del núcleo. Tales medidas servirían para reducir la posibilidad de irradiación clandestina no detectada.

Las salvaguardias aplicadas en la zona de combustibles agotados son básicamente las mismas, tanto si los conjuntos que contienen combustibles agotados se lavan primeramente y se introducen después en recipientes para su almacenamiento, como si se transfieren directamente a un almacenamiento en un medio de sodio. Existe una gran confianza en la vigilancia óptica. El inspector está presente cuando los conjuntos de combustibles agotados se remiten a instalaciones exteriores (por ejemplo, para su reelaboración). El inspector observa la transferencia de contenedores de combustibles agotados a los envases en que han de transportarse, cuya zona se precinta después de la carga.

Instalaciones de reelaboración de combustibles de reactores reproductores rápidos de metal líquido

El Organismo lleva a cabo la inspección continua en las instalaciones de reelaboración de combustibles de reactores reproductores rápidos de metal líquido, utilizando el método básico descrito en "Método de salvaguardias", páginas 27-34.