

La aplicación de técnicas y métodos modernos en las actividades de salvaguardia

por A. von Baeckmann*

El objetivo de la política internacional de no proliferación es prevenir una mayor difusión de las armas nucleares. Con tal fin se ha establecido en los últimos 25 años una amplia estructura de acuerdos y tratados, que engloba un sistema internacional cuyo fin es verificar la observancia de los compromisos adquiridos por parte de cada Estado, y brindar la seguridad de que la energía nuclear no se desvía de las actividades pacíficas a la fabricación de armas nucleares o de otros dispositivos explosivos nucleares. Desde su constitución en 1957, se ha confiado al OIEA la tarea de crear y aplicar este sistema, llamado hoy día el sistema de salvaguardias del OIEA. Este artículo describe la aplicación de las técnicas modernas de medición y de contención/vigilancia en las actividades de salvaguardias del OIEA.

Para producir armas nucleares u otros explosivos nucleares, se necesitan ciertas cantidades de uranio-233, uranio-235 o de plutonio, además de la correspondiente tecnología. Como es prácticamente imposible controlar los adelantos tecnológicos, el sistema de salvaguardias del Organismo se basa principalmente en la supervisión rigurosa de los materiales nucleares. El instrumento fundamental de salvaguardia es un amplio sistema de contabilidad de materiales nucleares y de medidas de contención y vigilancia. La contabilidad de los materiales nucleares se basa en los informes remitidos por los explotadores de las instalaciones nucleares y en los sistemas nacionales de contabilidad y control de materiales nucleares. Un elemento integrante del sistema es la verificación independiente de esta contabilidad por los inspectores del OIEA.

Con objeto de verificar de manera independiente los informes sobre la cantidad y composición de los materiales nucleares, los inspectores del Organismo deben estar en condiciones de efectuar ciertas mediciones. Estas se hacen normalmente o bien tomando una muestra representativa, que se envía seguidamente a un laboratorio de análisis, o por análisis no destructivo que se lleva a cabo in situ. Ambos procedimientos presentan sus problemas y requieren instrumentos perfeccionados y pericia.

Análisis químico

Los análisis químicos dan por lo general resultados muy exactos y precisos, pero son caros, requieren el transporte de las muestras, y para tener los resultados

hay que esperar de 3 a 5 semanas. Los análisis no destructivos son corrientemente menos exactos y fiables, pero en muchos casos los resultados se conocen inmediatamente. La Figura 1 muestra un laboratorio de análisis diseñado y equipado para el análisis químico de materiales plutoníferos. Se toman precauciones especiales para evitar que el plutonio escape de las cajas de guantes. El trabajo en esas zonas requiere un personal muy capacitado y responsable. Si el plutonio se presenta acompañado de productos de fisión de gran radiactividad, se necesitan cajas blindadas con plomo, equipadas de manipuladores. Tras separarlo de los productos de fisión, se analiza la composición isotópica de muestras muy pequeñas.

La Figura 2 muestra un espectrómetro de masas de ionización térmica, totalmente automático, utilizado para el análisis de uranio y plutonio en muestras tomadas durante las inspecciones. Este instrumento es solo un ejemplo de cómo la tecnología moderna electrónica y de computadoras se puede aplicar a los análisis químicos. Todos los parámetros operacionales tales como presión, temperatura, campo magnético, campo eléctrico, etc. se controlan por procesores previamente programados y los resultados finales — incluyendo el margen de incertidumbre de las mediciones — se calculan mediante el proceso de miles de informaciones puntuales en una minicomputadora. Un programa de garantía de calidad bien concebido y ejecutado asegura la obtención de resultados fiables. El análisis químico es el origen de casi toda nuestra información cuantitativa sobre los materiales nucleares sujetos a salvaguardias, pues se utiliza bien sea directamente para obtener los resultados, o bien para calibrar los patrones requeridos por las técnicas de análisis no destructivo.

Análisis no destructivo

En muchos casos el muestreo y análisis químico no son posibles porque los materiales nucleares se encuentran contenidos en vainas, barras, agujas, conjuntos combustibles, botellas u otros recipientes de UF₆, de los cuales no es fácil sacar una muestra sin destruir la integridad del contenedor. Desde luego no es posible estropear un conjunto combustible que cuesta unos 100 000 dólares para averiguar si contiene verdaderamente los materiales nucleares declarados. En consecuencia, es preciso utilizar técnicas de análisis no destructivo (AND) para que el inspector pueda verificar el tipo y cantidad de los materiales nucleares contenidos. Para esta clase de medición el hecho de que el uranio y el plutonio sean elementos radiactivos resulta una ventaja. En la práctica es imposible alterar el proceso de desintegración radiactiva continua

*Director de la División de Desarrollo y de Servicios Técnicos del Departamento de Salvaguardias del Organismo. El presente artículo se basa en una disertación que pronunció en la sesión científica celebrada durante la Conferencia General del Organismo, en septiembre de 1980.

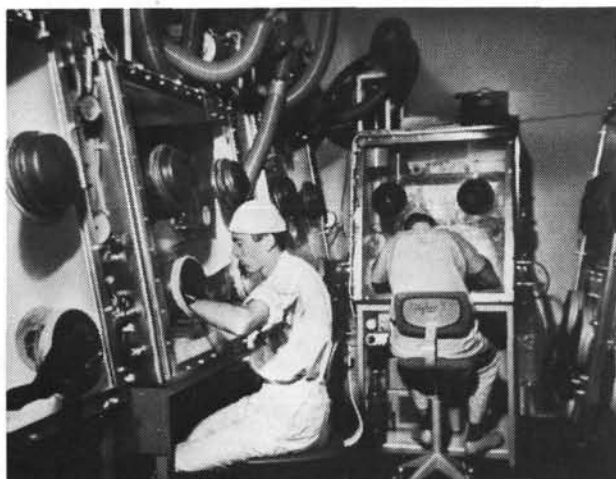


Fig. 1. Laboratorio diseñado y equipado para el análisis químico de materiales que contienen plutonio.

acompañado de la emisión de radiación característica, que permite determinar el tipo y cantidad de material radiactivo.

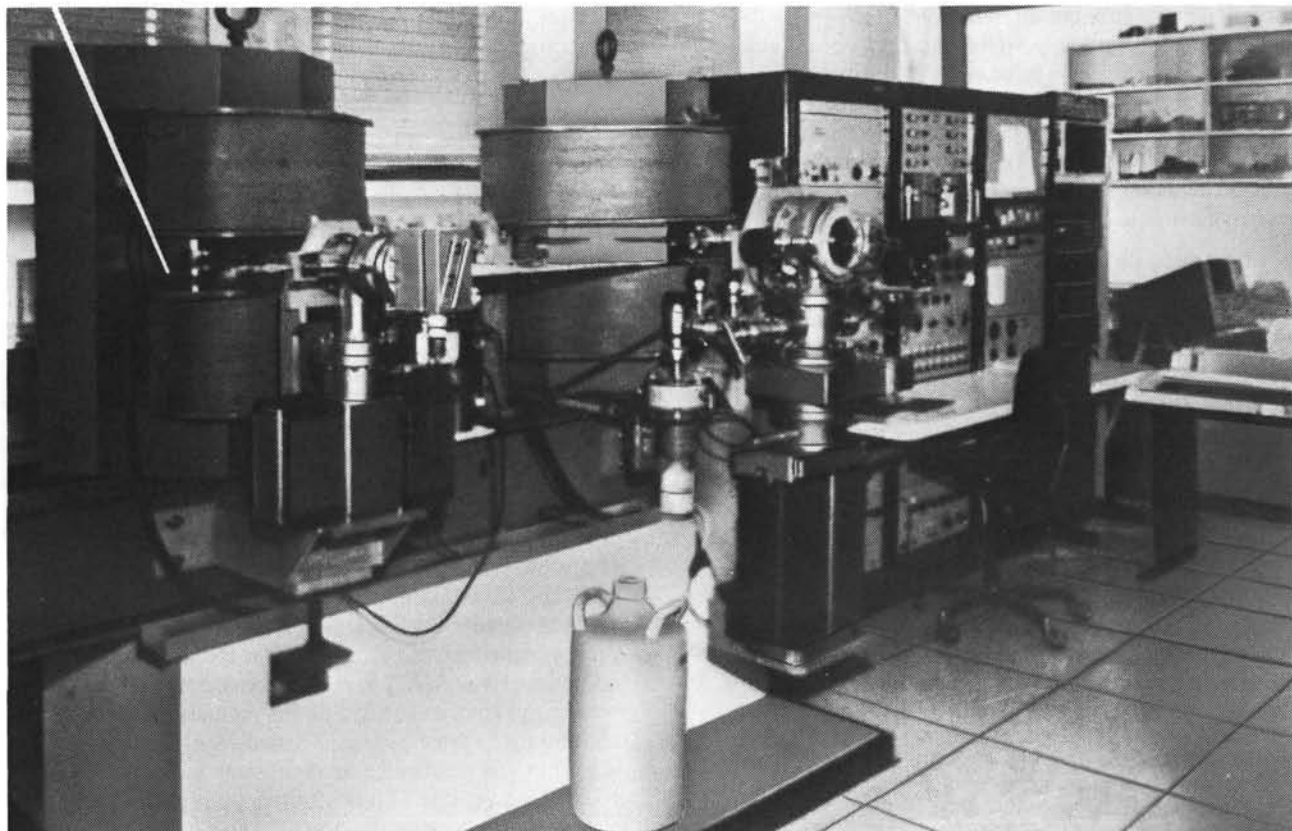
Las técnicas de AND empleadas más corrientemente en salvaguardias se basan en la medición de la radiación gamma que interacciona con el material del detector. Los impulsos eléctricos causados por esta interacción se clasifican en memorias especiales de una computadora, según su energía. Los instrumentos que efectúan esta tarea se llaman analizadores multicanales. El tipo de materiales se identifica por la energía de las líneas observadas; su cantidad por la intensidad de esas líneas.

La Figura 3 muestra un analizador perfeccionado de 1000 canales, que permite identificar los materiales nucleares y medir su cantidad. Con este instrumento es posible visualizar el espectro gamma en un tubo de rayos catódicos y registrarlo en una cinta magnética. La visualización permite inmediatamente la identificación y determinación semicuantitativa de los materiales nucleares. Tratando la información registrada en la cinta magnética en la computadora central del Organismo, se puede calcular la composición isotópica y la cantidad de uranio o de plutonio. El analizador multicanal que aparece en la fotografía se combina con un detector gamma de gran poder de resolución, que ha de refrigerarse con nitrógeno líquido durante las mediciones. El detector es de germanio puro.

Como todos los otros dispositivos electrónicos, los instrumentos de AND se han perfeccionado mucho gracias al empleo de componentes de estado sólido sumamente fiables, poco costosos y muy compactos. Con componentes de estado sólido más avanzados, es posible mejorar aún más dichos instrumentos de modo que permitan el control automático de calidad de las mediciones, el análisis completo de los datos e incluso cierto grado de diálogo con el inspector. Aunque no es posible medir directamente con esta técnica el tenor de uranio o de plutonio de los elementos combustibles irradiados de gran radiactividad, se puede medir el espectro gamma de los productos de fisión — lo que indica el grado de quemado — y calcular sobre esta base el contenido de uranio o de plutonio del combustible agotado.

Otro tipo de instrumento que utilizan los inspectores del OIEA para la determinación cuantitativa de los

Fig. 2. Espectrómetro de masas de ionización térmica totalmente automático, utilizado para el análisis de uranio y plutonio en muestras tomadas en las inspecciones.



materiales nucleares — particularmente del plutonio — es el contador de coincidencias neutrónicas de alto nivel (CCNAN) que aparece en la Figura 4. Este instrumento mide los neutrones emitidos por fisión espontánea de ciertos isótopos del plutonio o por fisión inducida del uranio-235 o del uranio-233. Al escindirse, un átomo suele emitir dos o tres neutrones al mismo tiempo. Como llegan al detector simultáneamente, los neutrones de fisión del átomo pueden distinguirse de los neutrones “de fondo” que no están correlacionados en el tiempo. Se añade al nombre la calificación de “alto nivel” porque los mecanismos electrónicos de recuento y clasificación se han diseñado especialmente para funcionar a tasas sumamente elevadas, por ejemplo de 100 000 neutrones por segundo. Se requieren elevadas tasas de recuento cuando las mediciones se hacen en presencia de cantidades de plutonio del orden de kilogramos, con un elevado contenido de plutonio-240. El CCNAN se conecta directamente con una pequeña calculadora programable (HP 97). El sistema se ha utilizado para analizar in situ agujas y muestras de plutonio bien caracterizadas, habiéndose obtenido resultados que concuerdan con una exactitud superior al 2% con los datos de producción.

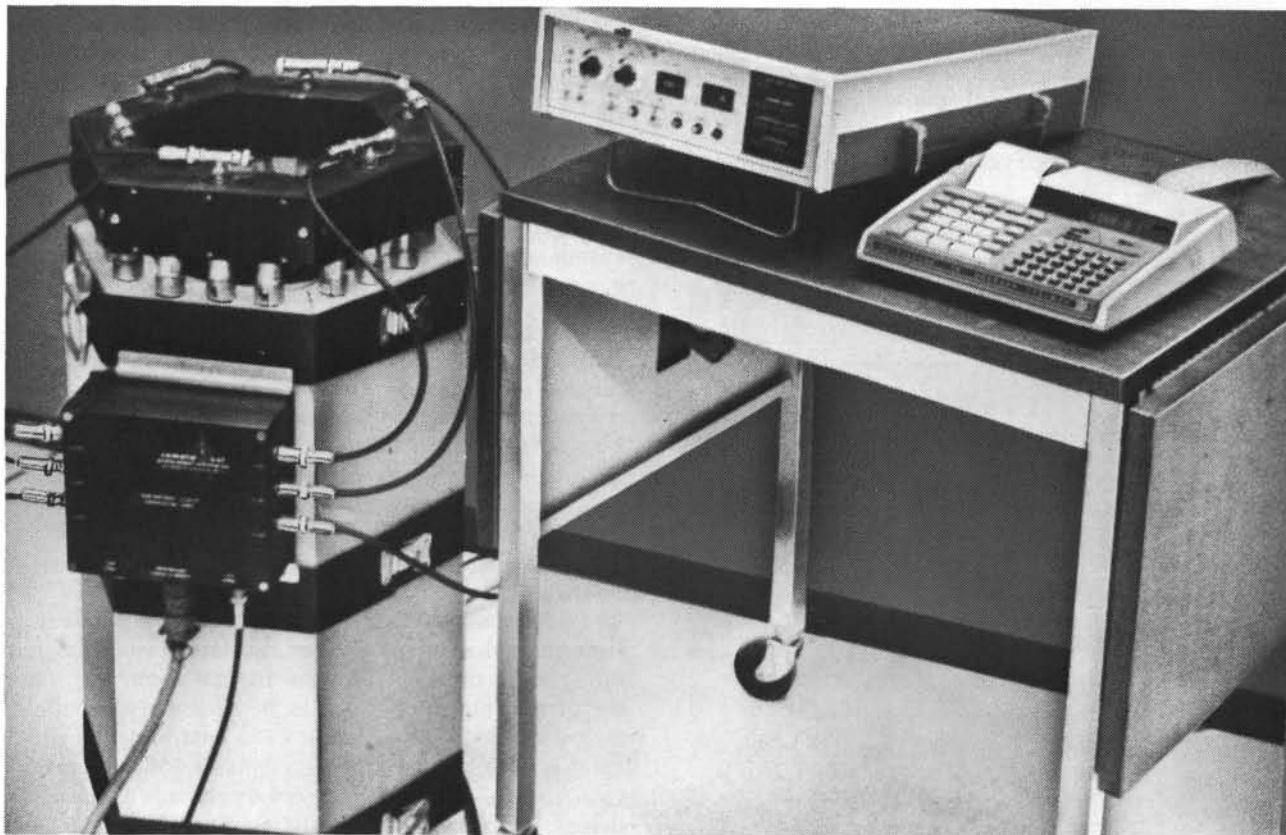
Recientemente se ha perfeccionado una técnica sumamente sencilla para verificar el tenor de combustible del núcleo de un reactor de investigación, a fin de obtener resultados más sensibles y semicuantitativos. La técnica se basa en el bien conocido efecto de Cerenkov. Cuando un reactor de investigación de tipo piscina se encuentra en funcionamiento, se puede ver un brillo intenso (brillo de Cerenkov) que emana del núcleo. Esta luz intensa indica que el reactor está funcionando,



Fig. 3. Analizador de 1000 canales utilizado por los inspectores del OIEA.

lo que demuestra la presencia de la cantidad crítica mínima de combustible nuclear. En muchos casos esto es una prueba suficiente de que no se ha desviado la cantidad de materiales nucleares necesaria para fabricar por lo menos un dispositivo explosivo nuclear. El brillo de Cerenkov se atenúa notablemente cuando se para el reactor, y a los 3 o 5 meses de haberse retirado el combustible del núcleo, apenas es perceptible a simple vista. Utilizando intensificadores de luz especiales o dispositivos de visión nocturna, dicho brillo se puede ver y fotografiar, incluso tras un período de enfriamiento de 10 años o más. La Figura 5 muestra una versión muy

Fig. 4. Un contador de coincidencias neutrónicas de alto nivel conectado con una pequeña calculadora programable.



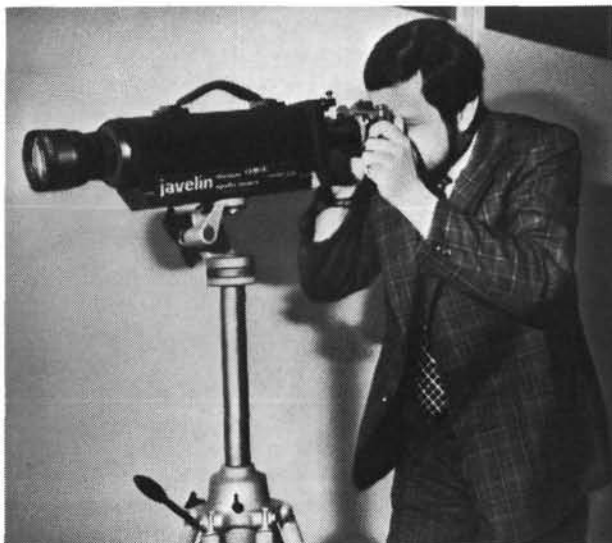
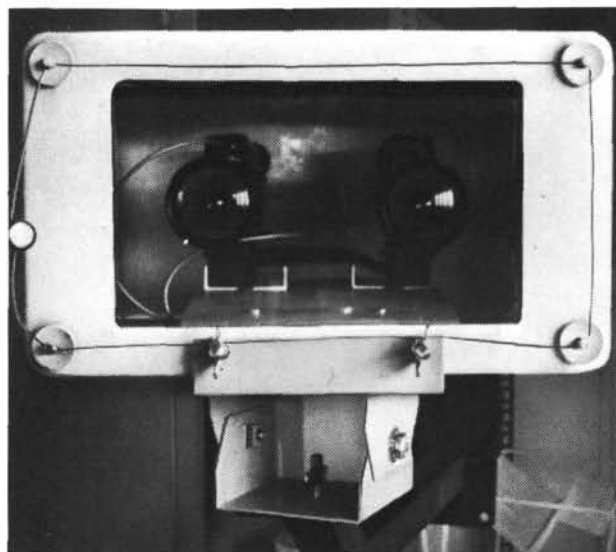


Fig. 5. Intensificador de luz que se puede utilizar para fotografiar el brillo de Cerenkov de los elementos combustibles agotados.

sensible del intensificador de luz que permite obtener fotografías. Esta técnica es particularmente útil para verificar la condición de irradiado del combustible agotado conservado en almacén. Actualmente se están poniendo a punto dispositivos basados en el brillo de Cerenkov, que permitirán efectuar medidas semicuantitativas. Si bien no se puede determinar con esta técnica la cantidad de uranio o de plutonio contenida en el combustible agotado, es posible verificar el número de barras de combustible presentes y el nivel de radiación de cada conjunto.

La exposición de todas estas innovaciones y adelantos no debe crear la falsa impresión de que las técnicas de ensayo no destructivo brindan un medio para verificar fácilmente los materiales nucleares. Cada técnica sirve normalmente para verificar una característica particular del material. La determinación fiable del tipo y cantidad de material nuclear solo es posible si se utilizan varias técnicas no destructivas combinadas y si éstas se calibran adecuadamente. El instrumento ideal de ensayo no destructivo sería el que permitiese la

Fig. 6. Sistema normal de cámara doble del OIEA para vigilancia de la contención.



verificación fiable, sencilla y fácil del tipo y cantidad de material nuclear contenido en un conjunto combustible, una botella de UF_6 o cualquier otro recipiente o en un almacén de combustible agotado. Un instrumento así continuará siendo nuestro objetivo durante muchos años todavía.

Medidas de contención y de vigilancia

Para evitar la repetición innecesaria y costosa de la medición del material nuclear situado dentro de un sistema de contención, el Organismo emplea medidas de contención y vigilancia. Un precinto, por ejemplo, es un medio muy sencillo para asegurarse de que el material conservado en un recipiente ha permanecido inalterado desde que se puso el precinto. Solo es necesario verificar la integridad de la contención y del precinto, lo cual suele ser mucho más económico y fácil que verificar de nuevo los materiales.

El principal precinto de uso general empleado actualmente por el OIEA es el precinto metálico tipo E. Los inspectores del OIEA utilizan cada año unos 8000 precintos de esta clase. En los dos últimos años se han realizado considerables esfuerzos para mejorar los precintos de tipo E y reducir su vulnerabilidad a la manipulación. Estos precintos son baratos, pequeños y fáciles de poner, y ahora son relativamente resistentes a manipulaciones indebidas. Una desventaja importante es que no se pueda verificar su integridad *in situ*. Se están investigando nuevos precintos de uso general, en particular los verificables *in situ* por medio de ultrasonidos, los de fibras ópticas y los electrónicos.

El Organismo utiliza con frecuencia cámaras filmadoras o sistemas de televisión en circuito cerrado que funcionan de manera intermitente para vigilar los movimientos del combustible que sale de los depósitos de combustible irradiado ubicado en los centros de reactores o en las plantas de reelaboración. Para sacar el combustible agotado de esas piscinas de almacenamiento, es necesario entrar en el recinto y bajar a la piscina un contenedor fuertemente blindado como protección contra la intensa radiación del combustible irradiado. Se introduce uno o más conjuntos combustibles en el contenedor, el cual, una vez cerrado, se saca de la piscina y se transporta fuera de la instalación. Esta es una operación difícil y prolongada fácilmente detectable examinando las películas de vigilancia, impresionadas de manera intermitente a intervalos de 10–20 minutos.

La Figura 6 muestra el sistema corriente de doble cámara del OIEA que consiste en dos cámaras filmadoras Minolta XL 401 super 8 mm, cada una con su propio temporizador de cuarzo, una caja precintable resistente a la manipulación y un soporte de montaje que permite fijar las cámaras en la posición adecuada. Para mayor fiabilidad se utilizan unidades gemelas. Este sistema, provisto de película especial MFX muy delgada, tiene una capacidad de 7200 fotogramas — suficiente para 100 días de funcionamiento impresionando un fotograma cada 20 minutos. Actualmente el OIEA tiene en servicio en instalaciones nucleares, con fines de salvaguardia, unos 150 de estos sistemas. Son completamente independientes, no necesitan alimentación eléctrica de la instalación y son relativamente baratos, pues cuestan aproximadamente 1500 dólares cada uno. Ahora bien, el empleo de película especial delgada ha causado algunos problemas de fiabilidad. Se

han realizado recientemente pruebas que han demostrado que cuando la humedad ambiental es alta la película tiende a atascarse. El Organismo está actualmente reacondicionando todos sus sistemas de cámaras filmadoras con materiales hermetizantes e higroscópicos especiales.

Se puede introducir en este sistema varias mejoras. Las mismas comprenden el empleo de un nuevo cartucho de película de 60 mm con una capacidad de 14 400 fotogramas, la anotación automática de la fecha y hora en cada fotograma, el control del tiempo de exposición de la película para compensar las muy variables condiciones de luminosidad, el aumento de la fiabilidad y el perfeccionamiento del diseño de la caja para facilitar el acceso de los inspectores y mejorar las características de resistencia a la manipulación y de ensayo. Muchas de estas mejoras se están introduciendo en un sistema de cámara filmadora basado en el concepto Polaroid de revelación instantánea. Tales características serían particularmente útiles en los casos en que no se permite que el inspector saque la película de la instalación nuclear o del Estado en cuestión para su revelado y observación.

Para que la vigilancia óptica sea una técnica de salvaguardia fiable es necesario que los datos resultantes de la misma sean examinados cuidadosamente por los inspectores, en general en la sede del Organismo. Esta es una tarea particularmente laboriosa que plantea muchas incertidumbres, y el volumen de trabajo ha llegado a ser enorme. Actualmente las cámaras del OIEA hacen fotografías a un ritmo global de más de diez por minuto. En el curso del año pasado, el Organismo ha puesto en servicio un explorador semiautomático especial de películas super 8 mm. Este dispositivo proyecta la película sobre una cámara de televisión y analiza la señal video con un detector de movimiento. Un videodisco registra únicamente aquellas fotos en que existe movimiento y, más tarde, los inspectores las estudian cuidadosamente en una pantalla de observación. Utilizando este aparato, las películas de vigilancia se pueden examinar más rápidamente y con mayor precisión.

A veces se utilizan circuitos cerrados de televisión (CCTV) en lugar de las cámaras filmadoras cuando se necesita una vigilancia continua, cuando el nivel de radiación en torno a la cámara es elevado y puede estropear la película, o cuando las fotos registradas se han de examinar in situ. El sistema de CCTV utilizado actualmente por el Organismo funciona de manera muy parecida al sistema de cámara filmadora. Se graban periódicamente las imágenes en un registrador videooscópico y se reproducen en un monitor para su examen; también se puede retirar la cinta para examinarla más tarde en la sede. Estos sistemas innovadores eran relativamente poco fiables al principio, pero gracias a un mejor mantenimiento el año pasado se han reducido notablemente la frecuencia de fallos. Se van desgastando algunos componentes de los sistemas más antiguos, especialmente los grabadores videooscópicos. Actualmente existen 12 unidades de CCTV en funcionamiento en instalaciones sometidas a salvaguardias del OIEA.

Se están examinando para su utilización por el Organismo nuevos sistemas de CCTV controlados por microprocesores. Estos sistemas han sido diseñados expresamente para aumentar su fiabilidad y simplificar su instalación y manejo. El microprocesor de control se

programa de manera que ofrezca la posibilidad de vigilancia básica, aunque un inspector cometa un error en sus operaciones.

Otra técnica que puede permitir un uso más fiable de la instrumentación de contención/vigilancia consiste en verificar a distancia la situación operacional del equipo. Esta técnica se está investigando en el marco de un programa llamado RECOVER (REmote CONTinual VERification, es decir, verificación continua a distancia). El sistema RECOVER está formado por unidades de observación conectadas directamente con el dispositivo de contención/vigilancia; multiplexores montados en la instalación que interrogan periódicamente a las unidades de observación y, a petición, envían información sobre la situación a la sede del OIEA; así como unidades locales de verificación situadas en la sede del OIEA o en las oficinas regionales, que interrogan a los multiplexores de la instalación y analizan y almacenan los datos transmitidos. La recepción de datos anormales causaría una alarma y el personal del OIEA podría investigar. La información sobre la situación se cifra antes de transmitirla por las líneas telefónicas normales.

Los resultados de las interrogaciones se pueden presentar inmediatamente en la pantalla de televisión de la unidad de verificación a distancia, o bien reproducirse posteriormente tomándolos de la memoria. De esta manera se pueden detectar automáticamente y a distancia del dispositivo los fallos de funcionamiento o la manipulación indebida de los dispositivos de contención/vigilancia. Actualmente se está probando una primera versión del sistema RECOVER en instalaciones nucleares de Australia, Austria, Bulgaria, Canadá, Estados Unidos de América, Japón, Reino Unido y República Federal de Alemania.

Cooperación internacional

Para el desarrollo de los dispositivos y técnicas de salvaguardia el Organismo depende en gran medida de la cooperación de los Estados Miembros. A diferencia de la EURATOM, de la Comisión de Reglamentación Nuclear de los Estados Unidos o de autoridades similares en materia de salvaguardias, el Organismo no cuenta con instalaciones propias de investigación y desarrollo. Su personal sigue de cerca y coordina las actividades de investigación y desarrollo de salvaguardias llevadas a cabo por los Estados Miembros. Los Estados Unidos de América, Canadá y la República Federal de Alemania han establecido amplios programas de apoyo de las salvaguardias del OIEA, y de otros Estados tales como el Reino Unido, la URSS, Australia y Japón, así como la EURATOM, han anunciado que están dispuestos a aportar ayuda suplementaria. Japón, Francia y los Estados Unidos de América han invitado al Organismo a participar en el programa TASTEX, cuyo fin es mejorar las salvaguardias nacionales e internacionales para las instalaciones de reelaboración. El OIEA ha sido invitado también a participar junto con la EURATOM, el Reino Unido, los Países Bajos, la República Federal de Alemania, los Estados Unidos, Japón y Australia en un proyecto de desarrollo, cuyo objetivo es facilitar la aplicación de salvaguardias internacionales a las plantas de enriquecimiento de uranio del tipo de centrifugación gaseosa. El Organismo está muy reconocido por este respaldo, que ya ha contribuido de manera significativa a mejorar la eficacia de las salvaguardias del OIEA.