

Sistema de vídeo integrado por módulos (MIVS): Nueva generación de equipo de vigilancia por vídeo

Se utilizarán nuevas unidades de vídeo en instalaciones nucleares salvaguardadas en todo el mundo

por K.-J. Gärtner y E.W. Dawes

Uno de los pilares del sistema de salvaguardias del OIEA ha sido, durante años, la cámara filmadora de 8 mm que se ha empleado con fines de vigilancia en muchas instalaciones nucleares salvaguardadas en todo el mundo.* Sin embargo, en los últimos tiempos el Organismo ha comenzado a dejar de emplear este tipo de equipo y a utilizar sistemas avanzados de vídeo que en la actualidad dominan el mercado. La producción de cámaras y películas de 8 mm ha cesado prácticamente en todo el mundo. El tránsito del Organismo hacia los modernos sistemas de vídeo, y la sustitución de las viejas cámaras de 8 mm emplazadas en cerca de 290 instalaciones nucleares, ha resultado ser una tarea complicada y difícil desde el punto de vista de la tecnología, la garantía de calidad, la eficacia en función de los costos y la planificación.

En el presente artículo se describen tres sistemas de vídeo alternativos, destinados a sustituir las cámaras de 8 mm, los cuales se están desarrollando en el Japón, la República Federal de Alemania y los Estados Unidos por conducto de los programas de apoyo a las salvaguardias del OIEA. Además, se examinan los progresos alcanzados en diversas esferas, y se describen las características y ventajas de uno de los sistemas: el sistema de vídeo integrado por módulos (MIVS), que habrá de ser emplazado como un instrumento primario de salvaguardia en el decenio de 1990.

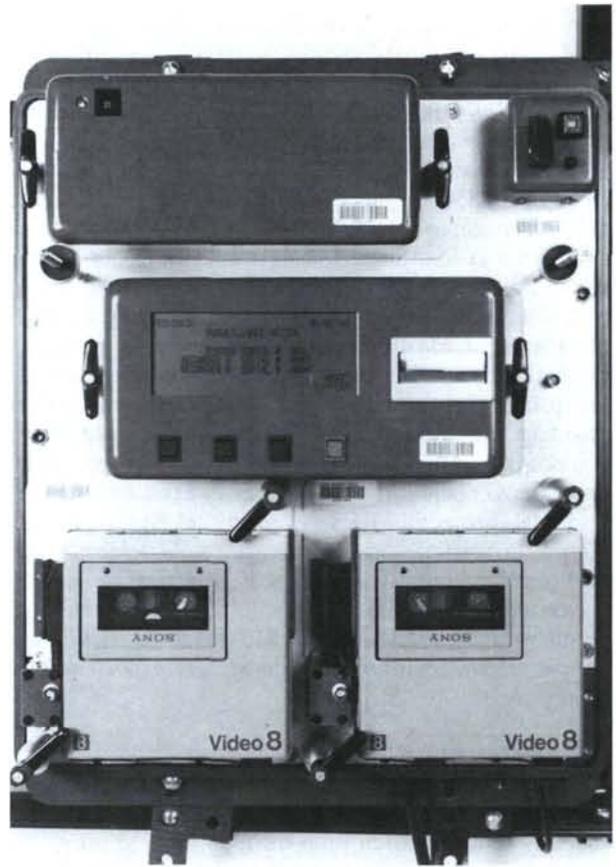
Desarrollo de sistemas de vídeo alternativos

La disponibilidad de los sistemas de vídeo alternativos que se desarrollan actualmente en el marco de los programas de apoyo a las salvaguardias es un factor cada vez más importante. Cada uno de los tres sistemas se encuentra en una etapa evolutiva distinta, lo que refleja enfoques conceptuales y fechas de comienzo de las actividades de investigación y desarrollo diferentes:

- El MIVS es el sistema de los Estados Unidos que comenzó a desarrollarse a mediados del decenio de 1980 en virtud de un acuerdo concertado entre el OIEA y los Estados Unidos. El contratista principal para el diseño fue el Sandia National Laboratories (SNL) de Albuquerque.

El Sr. Gärtner es funcionario del Departamento de Salvaguardias del OIEA. El Sr. Dawes es un experto de los Estados Unidos que presta servicios en el Departamento.

* El sistema de cámaras fue fabricado por la firma Minolta.



El MIVS, que se muestra en la foto sin su cubierta protectora, tiene módulos de fácil mantenimiento. En orden descendente, se encuentran el módulo de control, el módulo de visualización y dos módulos de registradores de vídeo.

que, Nuevo México. El MIVS utiliza una tecnología de registro en vídeo de 8 mm y un innovador sistema de autenticación por vídeo. Recientemente, tras una intensa fase de ensayo y mejoramiento, el OIEA hizo un pedido de 50 unidades que dentro de poco serán emplazadas en instalaciones nucleares de todo el mundo.

- El sistema japonés es el denominado COSMOS, sigla que en inglés significa sistema compacto de vigilancia y control. Se espera que las unidades estén listas en 1991, luego de que finalicen las evaluaciones que se llevan a cabo actualmente.

● La República Federal de Alemania casi ha concluido la labor de desarrollo del sistema denominado Enlace de Televisión a Prueba de Interferencias Extrañas (TRTL). Se trata de un sistema de cámaras múltiples con autenticación de señal de vídeo en cada canal de vídeo y una consola única.

El Organismo analiza los tres sistemas, aunque está adoptando las medidas necesarias para el emplazamiento del MIVS atendiendo a sus características y fiabilidad y a la disponibilidad del equipo. Por consiguiente, el resto de este artículo se dedica al examen del MIVS.

Misión y necesidades

Durante los 18 años de experiencia acumulada en la utilización de las cámaras de 8 mm para fines de vigilancia de salvaguardias, este equipo se ha ido transformando hasta convertirse en un sistema altamente fiable, económico y cómodo para el usuario.* Para ello fueron necesarios largos años de esfuerzos técnicos y el mejoramiento continuo de los componentes del equipo.

Desde 1976, el Organismo también ha acumulado experiencia con los sistemas compactos de televisión en circuito cerrado (CCTV)**, que ofrecen varias ventajas en comparación con las cámaras de 8 mm, incluso una mayor capacidad y calidad de fotografía, mayor sensibilidad a la luz, anotación de fecha y hora, y menor sensibilidad a las radiaciones.*** Además, gracias al CCTV es posible examinar de inmediato in situ la información registrada sin necesidad de revelar la película.

Hacia fines del decenio de 1990, el MIVS será uno de los principales instrumentos de vigilancia de salvaguardias. Reconociendo la importancia de este nuevo equipo, personal del OIEA y el SNL se enfrascaron en un esfuerzo conjunto para asegurar el éxito en todas las fases del proyecto MIVS, es decir, el desarrollo del diseño, la verificación de los ensayos, la selección del fabricante y el empleo de prácticas avanzadas de investigación sobre el terreno y de sustitución que garantizaran el mantenimiento de un elevado nivel de fiabilidad. (Véase en el recuadro un resumen de las actividades principales.)

Cómo asegurar el éxito

Dada la importancia que reviste la sustitución de las cámaras filmadoras, en julio de 1988 se creó un grupo especial de trabajo de carácter temporal encargado de formular recomendaciones con miras a coordinar las actividades necesarias para el proceso de sustitución, que comenzaron en 1989 y concluirán en 1994. El grupo estuvo integrado por personal avezado en desarrollo de sistemas, operaciones de salvaguardias, garantía de calidad, y adquisición. La iniciativa incluyó necesariamente la realización de numerosas actividades conjuntas entre diversas organizaciones.

El grupo se encargó directamente de adoptar todas las medidas necesarias para definir y formular las recomendaciones relativas a las actividades del proyecto, las necesidades de recursos, el cronograma del proyecto y la asignación de responsabilidades. En enero de 1989 se aprobó el programa general de ejecución. Todas las actividades encaminadas a la aplicación del programa se están realizando en el marco de una estructura administrativa normal. El presidente del grupo continúa su labor de vigilancia y presentación de informes sobre los progresos alcanzados y aspectos concretos, según proceda.

La complejidad del programa exigió la aplicación de un conjunto de soporte lógico avanzado para computadoras personales a fin de lograr un plan de proyecto bien estructurado y adecuado que actualmente abarca más de 200 tareas.* El soporte lógico incluye técnicas de administración de proyectos probadas y acertadas y es capaz de establecer, de manera efectiva y eficaz, la dependencia entre las distintas tareas, es decir, las relaciones (vínculos) de precedencia entre las tareas, que hacen que la estructura del proyecto de respuesta a cualquier demora crítica en el programa.

Plan del programa MIVS

En 1986 el Organismo aprobó un plan propuesto por el SNL en que se incluían diez pasos específicos para hacer avanzar el MIVS hasta su satisfactoria puesta en práctica in situ. Un grupo asesor establecido en 1982 definió inicialmente esos pasos como actividades generales necesarias para la creación y aplicación eficaz del equipo de salvaguardias. Aplicados al MIVS, los diez pasos se clasificaron de manera general en las siguientes categorías: definición de las necesidades; evaluación de las necesidades del Estado y del explotador de la instalación; formulación y aprobación de las especificaciones del sistema; formulación y aprobación de las características de comportamiento y fiabilidad del sistema; programa de ensayos de certificación; creación, ensayo y prueba de exhibición del prototipo; selección de un proveedor comercial que fabricara 16 unidades para la evaluación sobre el terreno; ensayos de certificación de comportamiento y fiabilidad, incluida la evaluación sobre el terreno; pedido de producción, y puesta en práctica.**

El MIVS ha avanzado con éxito por todas esas etapas y ya se ha instalado in situ la primera unidad comercial.

Sistema de transición de bajo riesgo (LRTS) del MIVS

Como ya se indicó, la importancia y el costo del programa MIVS exigió que el Organismo tuviera de antemano la certeza de que se había logrado un nivel de bajo riesgo en las fases de transición del MIVS (se

* "IAEA Film Camera Surveillance Development and Practice", por D.E. Rundquist y R.E. Kerr, *ESARDA Proceedings* (1980).

** "Future Trends in Compact TV Surveillance Systems", por K.-J. Gärtner, B. Heaysman, y P. Vodrazka, *INMM Proceedings* (1985).

*** "Transition to CCTV Surveillance for Safeguards", por K.-J. Gärtner, B. Heaysman, R.E. Kerr, y D.E. Rundquist, *INMM Proceedings* (1987).

* "Replacement Programme Safeguards Surveillance Units", por K.-J. Gärtner, *INMM Proceedings* (1989).

** "Program Plan for the Modular Integrated Video System", por K.-J. Gärtner, B. Heaysman, R. Holt, y C.S. Sonnier, *INMM Proceedings* (1986); y "The Modular Integrated Video System (MIVS) Program in Perspective", por S.L. Schneider, C.S. Sonnier, y K.-J. Gärtner, *INMM Proceedings* (1988).

Cronología del programa MIVS, 1985-1990: Resumen de las actividades principales

Octubre de 1985: El OIEA solicita la inclusión del programa del MIVS en el marco del programa de apoyo de los Estados Unidos.

Febrero de 1986: Sandia National Laboratories (SNL) presenta una propuesta en que se incluyen las especificaciones de diseño y comportamiento.

Junio de 1986: Se determinan todas las especificaciones en una reunión celebrada en el SNL.

Julio de 1986: El Director General Adjunto del OIEA a cargo del Departamento de Salvaguardias, acepta oficialmente las especificaciones.

Diciembre de 1986: El OIEA acepta el plan de pruebas de certificación propuesto por el SNL.

Febrero de 1987: Pruebas de exhibición de una unidad prototipo del MIVS en el OIEA.

Julio de 1987: El SNL firma un contrato con un contratista para la producción de 16 unidades que serían utilizadas en pruebas prácticas y de exhibición de la fiabilidad. Consultor independiente comienza la labor de planificación con vistas a la creación de un sistema de transición de bajo riesgo para el MIVS.

Agosto de 1987: El SNL realiza amplias pruebas con el VTR (registrador de vídeo).

Marzo de 1988: Dieciséis unidades MIVS pasan con éxito las pruebas de aceptación, las que tuvieron una duración de 168 horas.

Abril de 1988: Comienza en el OIEA un ensayo de fiabilidad de 5 meses de duración con 10 unidades MIVS.

Julio de 1988: El OIEA crea un grupo de trabajo con miras a la sustitución de las cámaras filmadoras existentes por el nuevo sistema de vídeo.

Agosto de 1988: Comienza la planificación automatizada del proyecto MIVS.

Septiembre de 1988: Concluye el ensayo de fiabilidad de 5 meses de duración con el MIVS con resultados positivos. Declaración conjunta OIEA/SNL sobre la fiabilidad.

Noviembre de 1988: Comienza la capacitación del Cuerpo de inspectores del OIEA en el MIVS.

Diciembre de 1988: El SNL y el OIEA comienzan a elaborar un documento de solicitud de ofertas para la producción del MIVS. El SNL comienza a incorporar mejoras al diseño del MIVS, y concluye el ensayo ambiental de dos unidades del MIVS. Se inicia una prueba práctica de puesta en marcha con la primera instalación in situ del MIVS.

Febrero de 1989: Continúan las pruebas prácticas de puesta en marcha y la capacitación de inspectores.

Abril de 1989: Se publica la solicitud de ofertas para la producción del MIVS. En el documento figuran los requisitos especiales de calidad.

Junio de 1989: Se define y aprueba la función de apoyo del SNL en el marco del programa de apoyo de los Estados Unidos.

Julio de 1989: El OIEA comienza a evaluar los posibles proveedores. Se otorga un contrato para la producción del MIVS.

Agosto de 1989: Se introducen nuevos cambios en el MIVS a fin de aumentar su productividad.

Septiembre de 1989: El contratista recibe una primera unidad "prototipo". Se examinan los planes iniciales de fabricación y calidad.

Noviembre de 1989: Prosigue la planificación y se incluye el suministro de piezas de repuesto, la elaboración de proyecciones sobre la fiabilidad in situ, la aceptación de los ensayos del OIEA y las prácticas de instalación sobre el terreno.

Diciembre de 1989: El OIEA examina la primera unidad de producción en la sede del contratista y la expide al Organismo.

Enero de 1990: Se preparan la segunda y tercera unidades de producción para la prueba ambiental planificada previamente.

Febrero de 1990: Se instala en el lugar la primera unidad comercial.

Marzo de 1990: Se examina la versión definitiva de los planes de fabricación y de calidad del contratista.

El MIVS fue construido por un equipo del Aquila Technologies Group Inc., de los Estados Unidos, en virtud de un contrato firmado con el OIEA.



entiende por fases de transición los diez pasos descritos anteriormente).

En abril de 1987 se contrataron los servicios de un consultor en el marco del programa de los Estados Unidos de apoyo a las salvaguardias para que trabajase con el personal del OIEA en la elaboración de dicho sistema de transición de bajo riesgo.* El trabajo de planificación exigía una evaluación en profundidad de los riesgos asociados a cada fase de transición, lo que a su vez requirió la aplicación de la mejor práctica existente (o, de no existir, la creación de una nueva práctica y su aplicación) hasta lograr el riesgo mínimo.

Con este instrumento de planificación se logró definir 73 riesgos posibles en el proyecto MIVS, muchos de los cuales ya habían sido evaluados mediante las mejores prácticas aplicadas y, por consiguiente, podían ser excluidos. Otros exigían la creación de nuevas y mejores prácticas para el MIVS, las que ya se han aplicado y, con excepción de algún trabajo que queda por hacer con respecto a la documentación y la verificación del LRTS, se considera que esta fase del proyecto MIVS está concluida.

El empleo del LRTS demostró ser un instrumento inapreciable, especialmente al aplicarse a las fases de producción y puesta en práctica. Por consiguiente, el Organismo prevé aplicar, de manera selectiva, la metodología del LRTS al futuro desarrollo y aplicación del equipo.

El contratista para la producción del MIVS

Antes de otorgar el contrato, los Departamentos de Salvaguardias y de Administración del Organismo, con el apoyo del personal de diseño y garantía de calidad del SNL, redactaron una propuesta de solicitud de oferta, en la que se incluían requisitos detallados de servicios técnicos y de mantenimiento de alta calidad durante la fabricación del MIVS. Posteriormente se enviaron las solicitudes de oferta a varias empresas de los Estados Unidos y Europa.

El 27 de julio de 1989 marcó un hito, ya que en esa fecha el Organismo hizo un pedido para la producción del MIVS a Aquila Technologies Group Incorporated, de Albuquerque, Nuevo México. Esta empresa fue seleccionada por tres razones: se dedica principalmente al desarrollo de sistemas avanzados de tecnología de vídeo que utilizan métodos basados en discos y cintas de vídeo; había aceptado de manera incondicional los requisitos del OIEA que en materia de controles de fabricación, técnicos y de calidad se habían especificado en la solicitud de ofertas del Organismo y en los documentos complementarios sobre la calidad, y su oferta era sumamente competitiva desde el punto de vista económico.

En apoyo del contratista seleccionado, el SNL fue designado órgano supervisor técnico y de garantía de calidad del Organismo en el lugar de producción. Esta actividad fue realizada en el marco del programa de apoyo de los Estados Unidos y mantenida después mediante las visitas que el personal del Departamento de

Salvaguardias del OIEA efectuó al contratista seleccionado. Por su parte, el personal directivo del contratista ha realizado dos visitas al Organismo desde que se otorgó el contrato.

Estos esfuerzos proseguirán durante una buena parte del presente decenio a medida que se produzcan otros MIVS y piezas de repuesto. Vistas en retrospectiva, estas reuniones de comunicación y coordinación han resultado decisivas, dada la complejidad del proyecto MIVS.

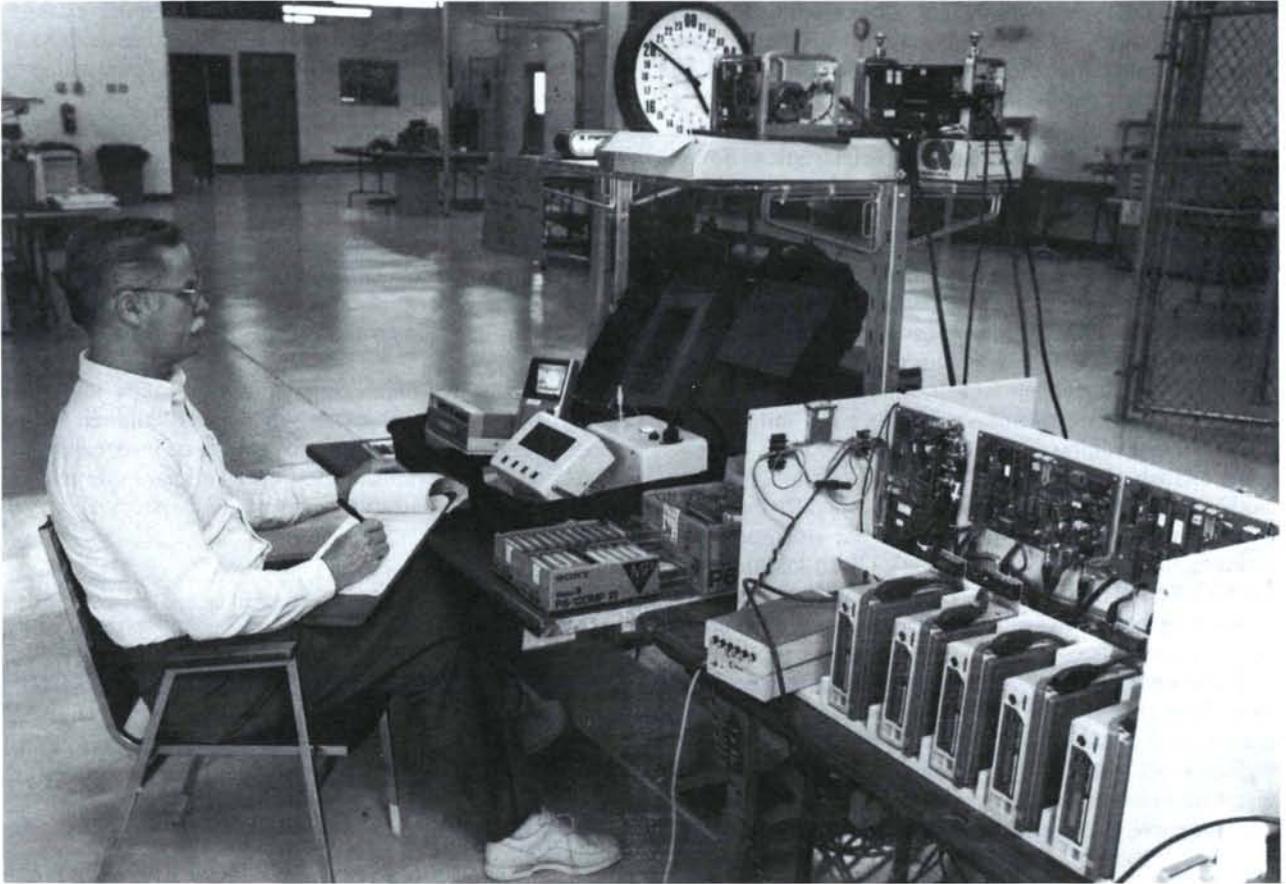
Diseño del equipo

El MIVS es un sistema de televisión en circuito cerrado (CCTV) controlado por un microprocesor, diseñado para que funcione a intervalos de cinco minutos, en un régimen de vigilancia automático durante

Comparación entre el MIVS y el sistema de cámara de 8 mm

Características	Cámara de 8 mm (gemelas Minolta)	MIVS
Principio del registro	Dos cámaras filmadoras de 8 mm	Dos registradores de TV de 8 mm
Vistas registradas por cada unidad	7200 (monocromáticas) 3600 (en colores)	26 000 (monocromáticas) (monocromáticas)
Intervalo de servicio de inspección	25 días a intervalos de 5 minutos entre una y otra vista	90 días a intervalos de 5 minutos entre una y otra vista
Sensibilidad a la luz	25 lux, aproximadamente	0,05 lux, aproximadamente
Anotación hora/fecha	No	Sí
Ubicación de la cámara	Fijada al equipo de registro y control en una consola única	Puede ubicarse hasta a 60 m de la consola de registro y control
Fuente de energía	2 baterías secas tamaño AA	Corriente alterna, 100-240 voltios CA, con batería de reserva de 3 horas
Estrategia de reparación sobre el terreno	Sustitución del sistema completo	Módulos de resorte para las funciones de visualización, suministro de energía y registro en vídeo
Fiabilidad	0,98 al 90% de nivel de seguridad en 7000 vistas	Más de 0,98 al 90% de nivel de seguridad en 26 000 vistas
Costo de inversión	Cerca de 2300 dólares de los Estados Unidos	Cerca de 13 000 dólares de los Estados Unidos
Costo de manipulación Película-cinta 90 días	10 dólares de los Estados Unidos (sin revelar)	20 dólares de los Estados Unidos
Tamaño (L x A x A) (mm ²)	330 x 200 x 230	Unidad de control: 640 x 500 x 160 Cámara: 300 x 200 x 230
Peso operacional	6,5 kg	28 kg en total

* "Development of a Plan for Ensuring a Low-Risk Transition of the MIV System for Design, Test, Production into IAEA Implementation", por E. Karlin, Report POTAS, Task D.60 (mayo de 1989).



El MIVS fue sometido a extensos ensayos. En la foto, un técnico comprueba el registrador de vídeo. (Foto: Aquila Technologies Group Inc.)

un período de inspección de 3 meses.* Puede situarse en las instalaciones salvaguardadas en que ya exista canalización de energía, y en situaciones en que sea conveniente que la cámara de televisión esté separada del equipo de registro y control. En caso de que falle el suministro de energía, el sistema dispone de una batería de reserva que puede durar por lo menos 3 horas. (Véanse en el cuadro adjunto las características y ventajas del MIVS en relación con el sistema de cámaras de 8 mm.)

Concepto modular y componentes del sistema. El MIVS tiene una estructura modular que simplifica el mantenimiento y la reparación. Sus dos componentes fundamentales son el módulo de la cámara y la unidad de control de registro, que están contenidos en una caja a prueba de interferencias extrañas protegida por precintos del Organismo.

El módulo de la cámara consiste en una cámara de televisión con CCD (dispositivos de acoplo de carga) y un sistema de circuitos de autenticación por vídeo. La unidad de control de registro incluye cuatro módulos de fácil sustitución durante la inspección normal, que constan de un módulo de suministro de energía, un módulo de visualización y dos módulos de registro idénticos. El módulo de suministro de energía incluye una fuente CA/CC universal, una batería de reserva y una impresora para registrar sucesos tales como el número

de registros dentro de un período de inspección y los casos de interferencias extrañas. En el módulo de visualización se incorpora el control de todo el sistema, una pantalla de cristal líquido (LCD) para apoyar el montaje e inspección del sistema y la parte receptora del sistema de circuitos de autenticación.

Autenticación por vídeo. El módulo de la cámara y la unidad de control de registro están conectados por un cable híbrido (cable coaxial y un par de alambres de cobre) con una longitud máxima de 60 metros. Se supone que terceras partes tengan acceso al cable. Por consiguiente, para asegurar que las señales de vídeo generadas por las cámaras de televisión del OIEA se registren sin falsificación, se ha incorporado al MIVS un sistema de autenticación perfeccionado.* Los sucesos detectados que indiquen la existencia de interferencias extrañas quedan registrados en una memoria no volátil y en la cinta de vídeo conjuntamente con la señal de vídeo. Todos los datos de la memoria son transferidos a la impresora durante cada visita de inspección.

Vigilancia y registradores redundantes. El subsistema de registradores de vídeo (VTR) es un importante aporte a la fiabilidad general del sistema MIVS. En la etapa inicial de diseño se comprendió que este tipo de VTR, de gran capacidad de trabajo, debería tener redundancia para asegurar la continuidad de la vigilancia del MIVS.

* "The Modular Integrated Video System (MIVS)", por S.L. Schneider y C.S. Sonnier, *INMM Proceedings* (1987).

* "A Video Authentication Technique", por C.S. Johnson, *INMM Proceedings* (1987).

El concepto de continuidad de la vigilancia es estricto: los dos VTR registran las vistas de manera alterna (e independiente) y el requisito es que no se pueden perder dos vistas sucesivas. La redundancia asegura prácticamente que no se produzcan fenómenos de esta índole por fallas mecánicas o electrónicas de los VTR.

El cumplimiento de este requisito se evaluó minuciosamente durante las pruebas de fiabilidad realizadas en conjunto por el OIEA y el SNL con más de 3 millones de vistas registradas entre abril y septiembre de 1988. Durante estas pruebas nunca se interrumpió la vigilancia. Bajo el control del SNL, 165 VTR registraron otros 10 millones de vistas en el período 1986-1989, mientras se evaluaba la durabilidad mecánica del equipo.

El análisis de estos datos, así como el de los resultados de las pruebas ambientales de los VTR, indujo al Organismo a formular una política de sustitución y mantenimiento de 2 años para los VTR en las unidades del MIVS emplazadas in situ. En esta política también se tuvieron en cuenta los aspectos de la eficacia en función de los costos.*

Estación de registro y examen de vigilancia. Una parte importante del MIVS es la estación de examen creada por el SNL para evaluar las actividades de vigilancia del MIVS.** El sistema puede registrar las vistas de vídeo a cualquier intervalo que oscile entre 1 y 99 minutos. Cada registro va acompañado de la anotación de la fecha y la hora, el número de la vista y los casos de interferencia extraña.

* "Video Tape Recorder Reliability Requirements for the Modular Integrated Video System (MIVS)", por E. Dawes, *INMM Proceedings* (1989).

** "Modular Integrated Video System (MIVS) Review Station", por M.L. García, *INMM Proceedings* (1989).

Se han definido cuatro casos de interferencia extraña, a saber, apertura de la consola del MIVS, falla de la energía eléctrica, falla de la autenticación por vídeo y registro deliberado de un suceso.

La estación de examen es capaz de procesar esta información para el inspector, y puede resumir vistas no registradas, cualquier caso de interferencia extraña, así como cualquier pérdida de vídeo superior a los quince segundos. Asimismo, el sistema puede ajustarse para que se detenga automáticamente al detectar una de estas situaciones y permita la verificación manual, o puede actualizar el número de situaciones detectadas sin detenerse.

Como se ha dicho anteriormente, todos los datos relativos a los sucesos se almacenan también en la memoria electrónica. Durante la visita de inspección, los datos son transferidos a una impresora para que puedan pasar a formar parte del informe de inspección.

Resumen

El MIVS constituye un nuevo e importante sistema de vigilancia que en breve será emplazado por el Departamento de Salvaguardias del OIEA. Su desarrollo es fruto de un positivo esfuerzo de colaboración entre el gobierno, firmas privadas y el Departamento de Salvaguardias.

El desarrollo y el éxito de este sistema estuvieron reflejados por el empleo de técnicas probadas de gestión de proyectos y programas, así como por la aplicación de los instrumentos técnicos y de garantía de calidad idóneos.

Estos esfuerzos no decaerán cuando el MIVS entre en su fase de emplazamiento y puesta en práctica.

