

# Comportamiento de las centrales nucleares: Apoyando iniciativas para el progreso

*El comportamiento de las centrales nucleares ha venido mejorando de manera sostenida y los países ponen en práctica iniciativas para garantizar que el avance no se detenga*

La energía nucleoelectrica es en la actualidad, en muchos países, un avanzado componente de la mezcla energética. Para fortalecer su papel, las autoridades nucleares nacionales hacen más hincapié en perfeccionar todos los aspectos del comportamiento de las centrales, lo que no sólo redundará en el aumento de la eficiencia en la producción de electricidad, sino también inspirará más confianza en la seguridad, la competitividad económica y las ventajas de las centrales nucleares desde el punto de vista ambiental.

Uno de los indicadores básicos del comportamiento técnico y económico de una central eléctrica es el que se conoce como factor de disponibilidad de energía (FDE). Este factor es el coeficiente de la generación neta de energía de una central en un período dado, expresado como el porcentaje de la energía máxima que se habría podido producir si la central hubiese estado funcionando ininterrumpidamente durante ese período. Según los datos notificados al Sistema de Información sobre Reactores de Potencia (SIRP) del OIEA, en el último decenio, ha habido una mejora sostenida del FDE de las centrales nucleares del mundo, el que aumentó del 70,1%, en 1989, al 76,8%, en 1995. (Véase el gráfico de la página 10).

Otro indicador del comportamiento es el relacionado con las denominadas pérdidas de energía. El grado en que éstas puedan reducirse al mínimo es un indicador de la eficiencia del comportamiento de la central. Las pérdidas de energía pueden ser planeadas (es decir, controladas por la dirección de la central), o no planeadas, y, por lo general, tienen que ver, por ejemplo, con las paradas de reabastecimiento de combustible, el mantenimiento, o los ensayos. En los últimos tres años las pérdidas de energía han venido disminuyendo en las centrales nucleares

de todo el mundo, evidencia del continuo perfeccionamiento de las actividades de mantenimiento y gestión de las centrales.

En general, estas mejoras en el comportamiento y la gestión pueden atribuirse, en gran medida, al enriquecimiento de la experiencia de las compañías eléctricas, aunque también han desempeñado un papel importante diversas iniciativas emprendidas por algunos países que colaboran asiduamente mediante programas técnicos del OIEA.

## Iniciativas nacionales para mejorar el comportamiento y la seguridad

Muchas iniciativas de los Estados Miembros del Organismo se han centrado en mejorar la explotación, el mantenimiento y la gestión de las centrales nucleares, mejoras que también se traducen en el aumento de los niveles de seguridad de esas centrales. Las iniciativas pueden dividirse en cinco esferas, que se describen a continuación:

**Aumento de la producción.** Adopción de medidas para mantener la central en buenas condiciones materiales mediante la creación de elevadas expectativas y una actitud de cero tolerancia con los defectos que pueden corregirse de inmediato; la reducción del tiempo de las paradas programadas mediante una planificación más eficaz; la realización del mantenimiento en línea, cuando proceda, a fin de disminuir la duración y el costo de las paradas programadas; y la reducción de la frecuencia de las paradas forzadas, con la ayuda de medidas como programas de modificación/mejoramiento de gran alcance, el uso de equipo de observación moderno, la capacitación del personal de la central, y el aprovechamiento de la experiencia de otras unidades similares.

**Reducción del volumen de trabajo.** Adopción de medidas destinadas a evitar cargas reglamentarias innecesarias modificando o eliminando los requisitos superfluos; la supervisión del estado del equipo de la central como base para optimizar el mantenimiento preventivo; la supervisión del mantenimiento y la aplicación de técnicas de análisis

por Boris  
Gueorguiev y  
K.V. Mahadeva  
Rao

El Sr. Gueorguiev es Jefe de la Sección de Ingeniería Nucleoelectrica, División de Energía Nucleoelectrica y Ciclo del Combustible del OIEA, y el Sr. Rao es funcionario de la Sección. También hicieron contribuciones al artículo los señores Fausto Calori, Nestor Pieroni, Thomas Mazour, Vladimir Neboyan y la Sra. Rejane de Spiegelberg Planer.

### Factores de disponibilidad de energía de las centrales nucleares del mundo

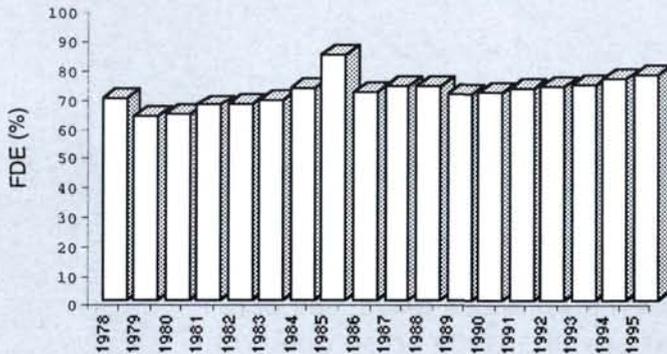


Foto: Las centrales nucleares proporcionan alrededor del 17 % de toda la electricidad mundial. (Cortesía: Gundremmingen, Alemania)

que permitan identificar las necesidades del equipo de acuerdo con las consecuencias de las fallas para la seguridad y las operaciones, así como el mecanismo de degradación que las provoca.

**Mejoramiento de los procesos de trabajo.** Mejor planificación y programación a corto, mediano y largo plazos; uso de sistemas computarizados de gestión de la información para apoyar la planificación del trabajo y conservación de datos sobre el expediente del equipo, los controles de costos y la contabilidad, incluida la gestión de las piezas de repuesto; aplicación de controles de trabajo progresivos que permitan adaptar el proceso de control del trabajo a la importancia y complejidad de cada actividad; y ensayos posteriores a la labor de mantenimiento para verificar si el comportamiento del equipo y los sistemas cumplen con el objetivo de diseño.

**Aumento de la productividad.** Aspecto relacionado con la actuación humana en lo tocante a la adopción de medidas tales como mejorar la competencia del personal, ajustar los procesos de trabajo para facilitar el desempeño del personal y el ejercicio de un liderazgo eficaz; perfeccionar el trabajo de equipo mediante la creación de grupos multidisciplinarios dentro de una estructura orgánica diseñada específicamente para reducir las interfaces y aumentar la satisfacción en el empleo y mejorar el estado de ánimo de los empleados; compartir diversos recursos humanos entre distintas dependencias y emplazamientos; intercambiar información y experiencia; compartir equipo costoso e inventarios de piezas de repuesto; compartir programas e instalaciones de capacitación; buscar de fuentes externas y contratar de servicios de apoyo necesarios para realizar labores de mantenimiento y explotación de las instalaciones, excluidas las operaciones y tareas de mantenimiento principales de una compañía eléctrica; mejorar la gestión para reducir las dosis de radiación ocupacional del personal, y minimizar la contaminación, así como el volumen de desechos radiactivos derivados de los trabajos de mantenimiento.

**Medición del comportamiento.** Establecimiento de parámetros de comportamiento objetivos, que puedan cumplirse y medirse, y que ten-



gan en cuenta los resultados y no los esfuerzos; el uso de procedimientos de referencia, incluidas la comparación del comportamiento del trabajo con el de la mejor compañía eléctrica, la identificación de las mejores prácticas y la aplicación de un programa dirigido a perfeccionar de manera continua el comportamiento.

Cabe destacar que estas esferas no se refieren de manera explícita a la seguridad y la garantía de calidad de las centrales, que, con toda razón, han sido objeto de atención considerable en las compañías nucleoelectricas. Se ha reconocido que la seguridad y la calidad son requisitos fundamentales de la utilización con éxito de la energía nucleoelectrica y son inseparables de todas y cada una de las actividades que realice el personal de las centrales nucleares. La experiencia ha demostrado que los esfuerzos dirigidos a aumentar la eficiencia y mejorar la eficacia de los programas de explotación y mantenimiento de las centrales nucleares, así como a elevar la calidad de su aplicación, también han redundado en el aumento de la seguridad y fiabilidad de los sistemas de las centrales.

### Foco de atención de las actividades del OIEA

En el plano internacional, el OIEA ha venido participando activamente en una serie de actividades en esferas clave relacionadas con el perfeccionamiento de las operaciones de las centrales nucleares, que incluyen las siguientes:

**Creación de programas de garantía de calidad eficaces.** La implantación de un programa de garantía de calidad (GC) eficaz es un instrumento esencial para lograr el mejoramiento sostenido del comportamiento de una central. El Organismo ha actualizado sus normas de seguridad, de manera que reflejen el concepto moderno de garantía de calidad basada en el comportamiento. Este trabajo se realizó en cinco años, en cooperación con los Estados Miembros y su resultado específico fue la versión revisada de las Normas de Seguridad Nuclear, Código de garantía de calidad y sus catorce Guías de seguridad conexas.

Durante el proceso de revisión, el OIEA se valió de la experiencia más reciente y de considerables recursos de países y de tres organizaciones, a saber, la Comisión Europea, el Foro Atómico Europeo y la Organización Internacional de Normalización. Todos los documentos fueron objeto de la revisión crítica de los Estados Miembros del OIEA antes de ser aprobados en marzo de 1996.

**Gestión de las actividades de adquisición en una instalación nuclear.** La gestión de los servicios y suministros de contratistas exige la aplicación de controles eficaces que garanticen calidad y seguridad. La experiencia ha demostrado que de otro modo pueden surgir dificultades. Este tema se ha analizado en el marco de los proyectos regionales de cooperación técnica que el OIEA ejecuta en América Latina, Asia y el Pacífico, y en Europa oriental, y se ha puesto de relieve en varias misiones realizadas en virtud del programa del Grupo de examen de la seguridad operacional (OSART) del OIEA.

Para responder a las necesidades existentes, el Organismo ha formulado una guía sobre las prácticas de gestión para controlar la calidad y la seguridad cuando se empleen proveedores y contratistas. También ha publicado un documento técnico sobre el tema destinado a directores superiores, directores de línea y supervisores de línea de las instalaciones nucleares.

**Gestión de la vida útil de la central.** A medida que el equipo y los principales sistemas de las centrales envejecen, la gestión y prolongación de la vida útil de una planta nuclear pasan a ser esferas de interés cada vez más importantes. Las actividades del OIEA tienen como objetivo facilitar el intercambio de información y experiencia para conocer y supervisar los mecanismos de envejecimiento que afectan a los sistemas y componentes principales, así como proporcionar orientación técnica.

En 1996, concluyó un amplio proyecto coordinado de investigación sobre la gestión de la vida útil de la tobera primaria de la vasija de presión del reactor. El trabajo incluyó un análisis del proceso de envejecimiento, los métodos de vigilancia del proceso, las medidas para mitigar sus consecuencias y la identificación de lagunas en los conocimientos de éste. Los resultados de los estudios permitieron determinar diferentes factores que afectan el comportamiento de los componentes. Ya se comenzó a trabajar en la creación de una base de datos internacional sobre gestión de la vida útil de las centrales nucleares y sus componentes principales. La primera parte se refiere a los materiales de las vasijas de presión de los reactores, y el primer conjunto de datos incluye unos 1500 registros sobre las propiedades de los materiales de esas vasijas.

**Gestión de la interfaz compañía eléctrica-órgano regulador.** La gestión de esta interfaz puede presentar dificultades, y, en muchos casos, es preciso perfeccionarla. No se ha dispuesto de una guía específica. Como el tema está relacionado con la seguridad de las centrales, el OIEA

convocó a un grupo asesor de expertos formado por directores de compañías nucleoelectricas y funcionarios de órganos reguladores. El grupo identificó un conjunto genérico de dificultades, prácticas satisfactorias y posibilidades de mejoramiento. Las buenas prácticas se refieren a la independencia del órgano regulador y la clara definición del papel y las funciones de este órgano; el empleo de un método de reglamentación no normativo; la adecuada determinación de procedimientos de comunicación; la celebración de frecuentes reuniones de las compañías eléctricas con los órganos reguladores; las actividades conjuntas en esferas como la capacitación y el examen de los resultados de los trabajos de investigación y desarrollo; y el establecimiento de normas para la prestación de los servicios de reglamentación.

**Garantía de calidad en la gestión de las funciones de reglamentación.** La aplicación de requisitos formales de garantía de calidad a las funciones de reglamentación es una esfera delicada que debe atenderse para mejorar el comportamiento de las centrales nucleares. Paulatinamente este aspecto está recibiendo más atención y fue tema de una reunión de especialistas organizada por el Organismo en 1996.

Las principales conclusiones son las siguientes: las dificultades clásicas que se tienen para cumplir las funciones de reglamentación (como, por ejemplo, la falta de procedimientos y normas para el trabajo, la ausencia de un sistema de documentación y las deficientes prácticas de comunicación) denotan la necesidad de aplicar un programa de garantía de calidad. Se identificó una serie de limitaciones en la aplicación de la garantía de calidad a las funciones de reglamentación, que incluyen la normal resistencia al cambio; las necesidades de recursos adicionales (humanos y financieros) para la introducción de la garantía de calidad; y la errónea impresión de que el funcionamiento sistemático limitaría las capacidades creadoras y de discernimiento y la eficiencia. Los especialistas participantes en la reunión convinieron además en la necesidad de formular una guía específica sobre el tema.

**Apoyo técnico a las operaciones.** Un factor clave para mejorar el comportamiento de las centrales nucleares es la calidad y organización de los servicios de apoyo técnico a la entidad explotadora. Para proporcionar una guía sobre el tema, el OIEA ha preparado un documento técnico en el que se exponen prácticas satisfactorias que se aplican en varios países. Las funciones básicas del apoyo técnico son el examen periódico de los procedimientos de las centrales nucleares para comprobar su conformidad con las directrices en materia de gestión, las modificaciones permanentes y los cambios en el estado de las centrales. Los exámenes deben incluir la verificación y validación de procedimientos nuevos o modificados, así como de los registros y sistemas de información. El apoyo técnico debe servir además como programa eficaz para detectar deficiencias, determinar sus causas profundas, e identificar acciones correctivas para evitar que

éstas se repitan. También debería ser parte de la preparación de la documentación para la concesión de licencias, incluidas las revisiones derivadas de modificaciones.

Además de su participación en el trabajo cotidiano, el personal de apoyo técnico debe abordar problemas a largo plazo, como los relacionados con la optimización de las operaciones de las centrales; la retroalimentación de la experiencia operacional para poder aprender de sucesos ocurridos en la central y en centrales similares de otros lugares; la vigilancia de los programas de cualificación del equipo; y la supervisión del programa de prolongación de la vida útil de la central.

**Sistemas computadorizados y conexos.** En el pasado decenio, se observó la creciente necesidad de resolver el problema de la obsolescencia de los sistemas de instrumentación y control, perfeccionar la actuación humana y cumplir con requisitos de reglamentación cada vez más estrictos. Como resultado de ello, las centrales nucleares han sustituido los obsoletos sistemas analógicos por sistemas digitales e introducido sistemas de bases de datos y de gestión amplios y asequibles. Estos sistemas apoyan las operaciones y las actividades de mantenimiento para lograr aumentar en general la garantía de calidad y la productividad. Los avances que se han registrado en la tecnología de la información y la comunicación han contribuido a que las compañías eléctricas exploten las centrales nucleares con más eficiencia integrando medios informáticos y aumentando la disponibilidad de información para satisfacer las necesidades del personal de las centrales y de la estrategia comercial de las empresas. En respuesta a las necesidades actuales de modernizar los sistemas de instrumentación y control, en 1996 el Organismo inició un proyecto destinado a analizar de manera integral los problemas de la modernización.

El principal objetivo de emplear computadoras en la explotación y el mantenimiento de las centrales nucleares es aumentar la seguridad y reducir el riesgo para las inversiones de capital; disminuir el costo de las operaciones y del mantenimiento; aumentar la producción de energía; y elevar la productividad de los empleados. Las computadoras ofrecen una serie de ventajas, como la fácil introducción de funciones complejas de protección y bloqueo; el control automático del estado de la central, que, de otro modo, no podría realizarse con facilidad; su empleo para cálculos complejos y rápidos que permiten evaluar en línea el estado del reactor, aumentando la seguridad y el ahorro; y la disponibilidad de unidades de vídeo que muestran en pantalla el estado de la planta, lo que permite reducir las dimensiones del panel de control y aumentar la eficacia operacional.

Para ayudar a los operadores de la sala de control, se utilizan varios sistemas de apoyo computadorizados, como instrumentos de lectura que muestran gráficamente parámetros críticos o datos operacionales para las actividades de vigilancia. En la esfera del mantenimiento, se han creado siste-

mas computadorizados de apoyo para reducir las fallas del equipo, los que permiten detectar la falla y hacer un diagnóstico más rápido, y proporcionan la capacidad para mejorar el mantenimiento planificado del equipo. Se han creado otros tipos de sistemas para ayudar, por ejemplo, a planificar el reabastecimiento de combustible y analizar las causas profundas de los sucesos.

En 1995, el OIEA creó una base de datos mundial con sistemas de apoyo informatizados. En 1996, también se concluyó la primera versión de una base de datos con sistemas de apoyo al operador, que se distribuyó a centrales nucleares, entidades de diseño, y otras instituciones nacionales interesadas.

---

### Direcciones y desafíos futuros

El desarrollo de la energía nucleoelectrica y el mejoramiento del comportamiento de las centrales precisan del apoyo de iniciativas aún más vigorosas a nivel mundial. A corto plazo, el OIEA planifica hacer hincapié en cuestiones importantes para adoptar decisiones respecto del papel de la energía nuclear en los planes de energía nacionales. Las actividades entrañarán la participación de las autoridades nacionales y la realización de esfuerzos para fortalecer la cooperación regional con miras a utilizar con eficacia los conocimientos especializados y los recursos existentes.

Uno de los aspectos más importantes será apoyar el continuo perfeccionamiento del comportamiento operacional y la fiabilidad de las centrales nucleares. Ello entrañará mejorar todavía más las prácticas de gestión y aumentar el intercambio de experiencia operacional e información a escala mundial. Por su parte, el OIEA trabaja para ampliar sus bases de datos sobre operaciones con reactores de potencia y gestión de la vida útil de la central.

Mediante un programa coordinado de investigaciones, el Organismo también se centrará en actividades para asegurar la integridad estructural de las vasijas de presión de los reactores. Ese programa incluirá la elaboración de un procedimiento uniforme para el ensayo de pequeños especímenes, a fin de obtener datos que permitan analizar la posibilidad de fracturas. Otras actividades tendrán como finalidad la capacitación del personal de las centrales nucleares, a la luz de los avances tecnológicos y la reestructuración y reorganización asociadas a la privatización y la racionalización.

En los últimos años, el OIEA y las compañías nucleoelectricas de sus Estados Miembros han dado una serie de pasos positivos, con buenos resultados, para mejorar el comportamiento de las centrales nucleares. En los próximos años, un desafío importante será asegurar que se mantengan estas mejoras y se emprendan nuevas iniciativas para seguir avanzando en la competitividad económica, la fiabilidad y la seguridad de las centrales nucleares de todo el mundo.