

Sistemas computadorizados avanzados de apoyo al operador en la RFA

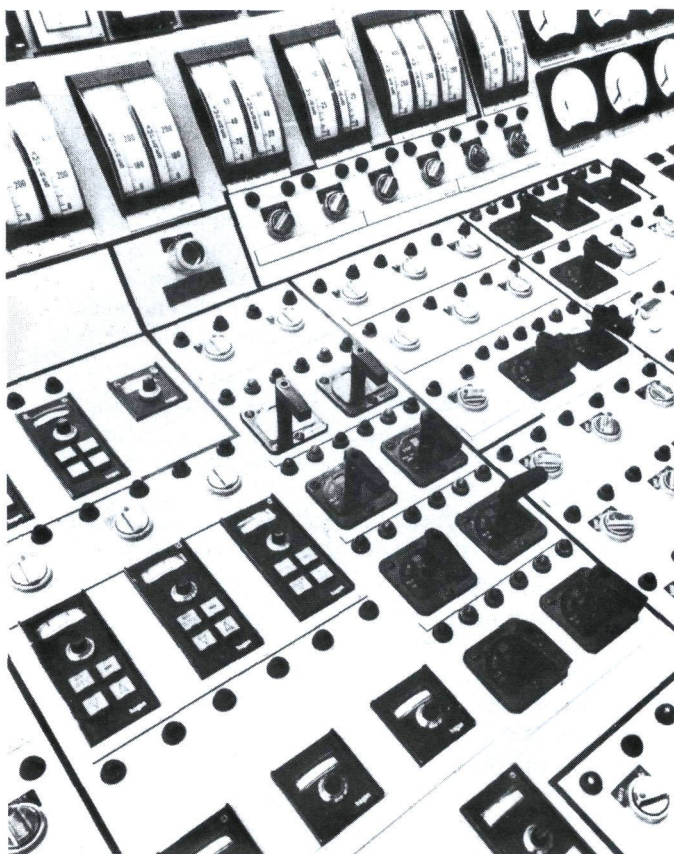
En la República Federal de Alemania se hace cada vez más hincapié en la automatización

por W.E. Büttner

Con el desarrollo de las centrales nucleoelectricas, los sistemas de instrumentación y control —y las representaciones visuales de la información, las pantallas de señalización y los dispositivos de la sala de control— han venido aumentando sustancialmente. En la República Federal de Alemania existe un moderno reactor de agua a presión (PWR) de 1300 megavatios en cuya sala de control y estaciones locales de control hay aproximadamente 7500 módulos de interfaz, 12 000 señales o lecturas binarias, 1400 registradores de valores medidos, 10 pantallas de tubos de rayos catódicos (CRT) y 8 dispositivos de registro.

Para aliviar al personal de turno se ha elevado el grado de automatización, principalmente con el fin de asistirlo tanto durante las operaciones normales como durante los incidentes y accidentes. El grado de automatización es mayor en las centrales nucleoelectricas de la República Federal de Alemania que en las centrales nucleares del mundo angloparlante. Sin embargo, en general se ha aceptado la necesidad de crear nuevos sistemas de apoyo al operador para el tratamiento, compresión y presentación de la información, de la misma manera que se reconoce mundialmente el desarrollo de tales sistemas*.

En este artículo se describe el desarrollo de algunos de los sistemas computadorizados de apoyo al operador que existen en la RFA y se hace hincapié fundamental-



Tablero de instrumentos de la sala de mandos.

mente en los aspectos de seguridad. Los sistemas realizan las siguientes tareas:

- Anotar y registrar las alteraciones y los accidentes
- Reducir el volumen de información y presentar sólo las alarmas y mensajes indispensables
- Mejorar la vigilancia y verificación de las señales
- Permitir un examen rápido de la situación en la central (especialmente en caso de accidente) y de la naturaleza y localización de las alteraciones
- Realizar el diagnóstico automático de las alteraciones
- Computar los parámetros del proceso que no se pueden medir directamente
- Asistir a los operadores en la aplicación de los procedimientos indicados en el manual de operaciones.

Examen de las tareas del operador

El desarrollo y la aplicación de los sistemas computadorizados de apoyo al operador se basan en el análisis de las tareas que éste debe realizar. Por eso se describirán brevemente las tareas de los operadores en relación con la protección automática y los sistemas de limitación.

El tamaño mínimo de un equipo de control depende de la organización y gestión de la central. Normalmente, el equipo está compuesto, como mínimo, por un jefe de turno, dos operadores de reactor de los cuales uno tiene conocimientos equivalentes a los del jefe de turno y es su sustituto, dos electricistas de turno y dos mecánicos de turno. En la práctica el personal de turno de las centrales nucleares modernas es más amplio, en lugar de dos operadores de reactor hay tres o cuatro. Además, hay uno o dos operadores en la pizarra de control y cuatro trabajadores que atienden la carga eléctrica. Esto se debe a que el personal de turno desempeña muchas funciones organizativas y administrativas (por ejemplo: definir los documentos de autorización para los trabajos

El Sr. Büttner es director de proyecto de Gesellschaft für Reaktorsicherheit en Garching, República Federal de Alemania.

* Véase el informe del autor presentado en el Simposio del OIEA sobre control e instrumentación de centrales nucleares celebrado en Munich en octubre de 1982 y, para más información, "Leichttechnik in Kernkraftwerken — eine Übersicht", por P. Freymeyer, etz. 102 (marzo de 1981).

de mantenimiento y las desconexiones necesarias), o realiza ensayos o repeticiones de ensayos funcionales.

El personal de turno tiene que hacer funcionar la central durante las operaciones de suministro de potencia, puesta en marcha y apagado y en el tiempo inactivo, y es responsable de coordinar todas las actividades operacionales de la central energética, incluidas las instalaciones auxiliares conexas, tanto en condiciones normales como de accidente. En caso de incidente o accidente, deben:

- Evitar las consecuencias adversas de las alteraciones durante un período breve
- Poner la central en condiciones de seguridad y estabilidad a largo plazo
- Atenuar las consecuencias de la alteración y controlar las situaciones provocados por alteraciones complejas.

De conformidad con la Regla 3501 KTA alemana, es un criterio de diseño que el sistema de protección de los reactores ponga en marcha automáticamente las operaciones de protección requeridas*. Por consiguiente, las operaciones manuales sólo se disponen excepcionalmente y no deben ser necesarias en los primeros 30 minutos (no obstante, es posible que el operador realice operaciones manuales). Esto tiene por objeto mantener libres a los operadores para que puedan determinar el estado de la central (comportamiento basado en los conocimientos).

Durante el período breve, los operadores deberán analizar las causas del accidente, supervisar las medidas de seguridad que se iniciaron automáticamente y preparar las medidas necesarias para poner la central en condiciones de seguridad y estabilidad. Sin embargo, el turno podría adoptar otras medidas, tales como:

- Accionar alarmas (por ejemplo: alarma contra incendios para los edificios afectados)
- Verificar si permanecen personas en la zona de peligro
- Empezar a prestar primeros auxilios o iniciar operaciones de rescate si fuere necesario
- Notificar al servicio de emergencia de guardia y a la administración de la central si fuere necesario
- Registrar los sucesos (por ejemplo: en el registro de incidentes del turno o en el registro de cambio de turno).

Sistemas computadorizados de apoyo al operador

En el presente artículo sólo se describirán los sistemas computadorizados de apoyo al operador en sus aspectos relacionados con la seguridad. Algunos sistemas pueden ser útiles tanto para las condiciones normales como para condiciones de alteración o accidente. En tales casos no se mencionarán las funciones de apoyo de las modalidades de operación normales. Todos los sistemas descritos están en preparación, ensayo o puesta en servicio.

Sistemas de anotación y registro de alteraciones y accidentes

Los registros de conmutaciones y alarmas y las reseñas de incidentes de las centrales actuales son valiosos tanto para el análisis ulterior de las alteraciones

y su esclarecimiento como para la constante vigilancia de los incidentes y accidentes. Utilizando más máquinas de escribir, se puede extraer de los registros de conmutaciones y de alarmas, por ejemplo, un registro separado de todos los mensajes recibidos de las instalaciones eléctricas y de control (aproximadamente el 50 por ciento de los mensajes anotados en los registros de conmutación y alarmas). También se podría llevar por separado los registros de alarmas y los mensajes de los subsistemas (por medio del número de identificación del sistema).

Otra idea sería trazar curvas de tendencia de las variables de los procesos importantes (unas 200 como primera etapa). De esta forma es mucho más fácil comprobar las variables del proceso en relación con los límites de seguridad y compararlos entre sí. También el tiempo de resolución que se obtiene es mejor que con la lista tabulada de las actuales reseñas de incidentes. Estos proyectos pueden ponerse en práctica en un plazo breve y sin grandes gastos, pero las condiciones ideales para su realización requieren crear un grupo en la empresa de electricidad que se ocupe exclusivamente del mantenimiento, la actualización y el desarrollo de soporte lógico de la computadora.

Reducción del volumen de información

En toda central nucleoelectrica moderna, cualquiera que sea su importancia, casi todos los sucesos se anuncian a los operadores para que los evalúen y clasifiquen. De la habilidad, conocimientos y flexibilidad de los operadores depende que seleccionen entre el cúmulo de mensajes los que son realmente importantes. El volumen de información aumentará mucho, especialmente si se producen incidentes. Esta situación no es conveniente.

En consecuencia, se está elaborando un método de selección destinado a limitar el número de mensajes y alarmas emitidas por la computadora de proceso.* Es necesario garantizar que la presentación de los mensajes siga siendo viable y lógica, aun cuando la central se vea afectada por alteraciones importantes o inesperadas.

La reducción del volumen de información se hará de la manera siguiente:

- Suprimiendo las alarmas consiguientes, es decir, las alarmas que necesaria e inevitablemente seguirán al anuncio de un suceso.
- Suprimiendo las alarmas superfluas, es decir, las alarmas de subsistemas que no están disponibles dentro de la modalidad de operación corriente de la central, o de subsistemas que no se requieren o no se requerirán más.

Ambos procedimientos se usan combinados. Luego las alarmas finales restantes aparecerán en pantalla. Esta supresión no afectará el registro de alarmas.

Verificación de la señal y vigilancia con sensores

Es necesario que toda la información que suministren los sistemas avanzados de ayuda al operador sea segura y fiable. Para aumentar la fiabilidad de la información

* Reactor Protection System and Monitoring of Engineered Safeguards, KTA 3501 (marzo de 1977).

* Véase "KWU Alarm Analysis Concept: A Means to Reduce Information Load for the Operators in Nuclear Power Plants", por J.R. Goethe en IFAC Workshop Modelling and Control of Electric Power Plants, Como, septiembre de 1983.

primaria —en particular mediante el procedimiento intensivo de mezclar, combinar y comprimir los datos mediante computadoras— se adaptarán nuevos métodos de verificación de señales y vigilancia con sensores. Las investigaciones acerca de la aplicación de esos métodos en las centrales nucleares se encuentran en una fase inicial. Hay tres métodos que parecen ofrecer buenas perspectivas.

Uno de los métodos consiste en vigilar los sensores o las cadenas medidoras investigando la credibilidad mediante dependencias lógicas o físicas de señales. Otro método consiste en usar los análisis de ruido comparando la información estadística de las señales o canales de medición con sus pautas de señales típicas. Por último, es posible computar los estados del proceso mediante modelos matemáticos (redundancia analítica o funcional) y compararlos con los que han sido medidos en un sentido lógico o de decisión. Se pueden combinar los métodos, por ejemplo: usar una redundancia analítica de los parámetros del proceso que no puedan ser medidos directamente para verificar la credibilidad.

Panorama general de la central: el PRINS

Se han propuesto diversas medidas para permitir que los operadores obtengan un rápido panorama general de la situación de la central. Esto se relaciona estrechamente con los proyectos de reducción de alarmas y de análisis de alarmas que se describen en este artículo.

La Kraftwerk Union (KWU) está diseñando un nuevo sistema de tratamiento de la información denominado PRINS para los tres reactores Konvoi alemanes*. El PRINS es un sistema integrado que proporciona información para todas las modalidades de operación de la central. Incluye las funciones de los sistemas de representación visual de los parámetros de seguridad, y de

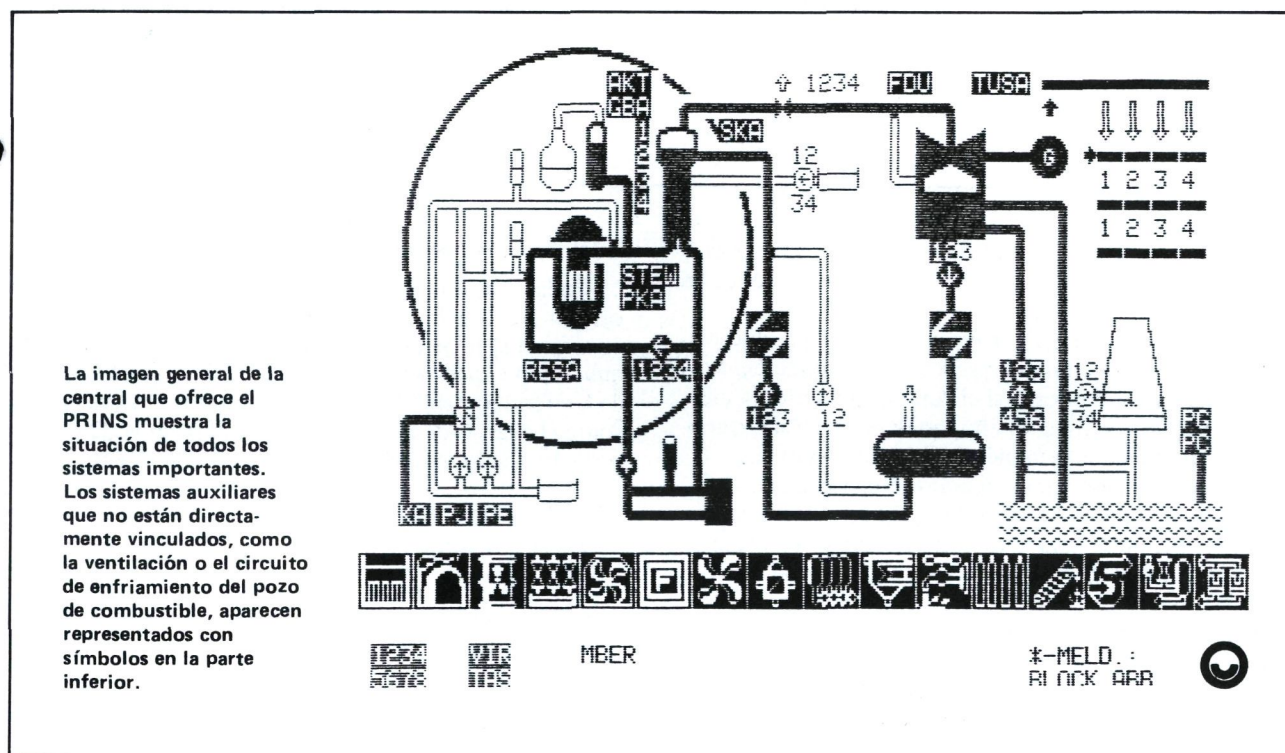
los sistemas de análisis de las alteraciones y vigilancia de las operaciones.

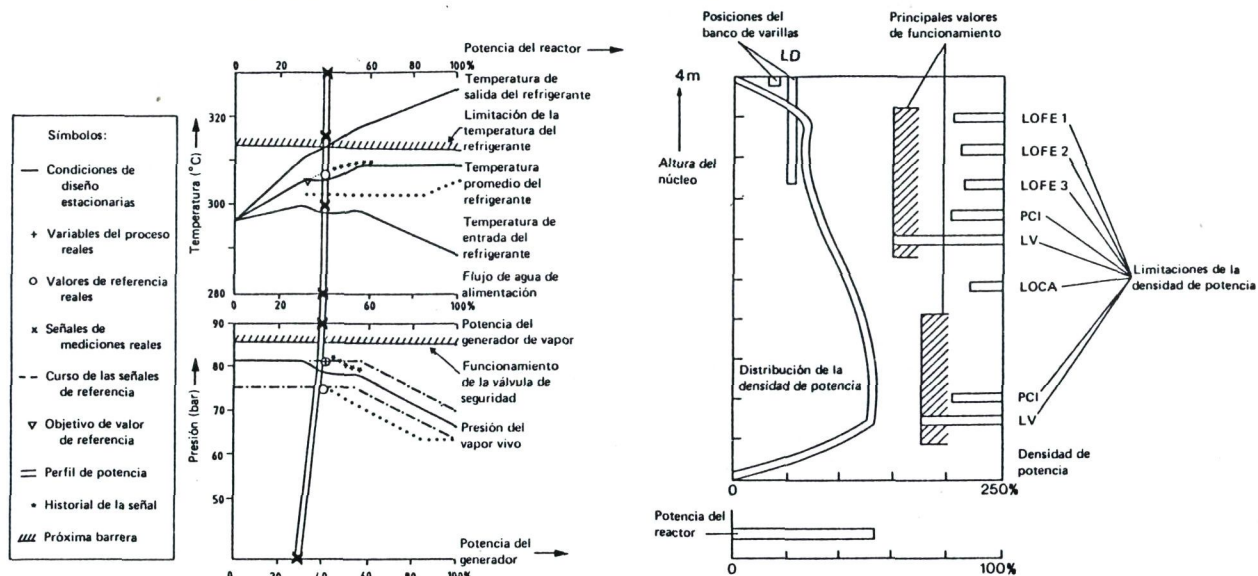
Para la representación visual de la información se dispondrá de hasta 32 unidades de representación de video en colores (URV). Entre los formatos de representación visual figuran fundamentalmente imágenes generales y diagramas de los sistemas, pero también pueden figurar registros de tendencias, gráficos de barras, representaciones alfanuméricas, alarmas y representaciones lógicas. La representación visual de la información cumple los objetivos siguientes:

- Permite ejecutar operaciones manuales calificadas para poner la central en condiciones de seguridad en caso de accidente
- Mantiene la central en condiciones de seguridad
- Reduce las consecuencias de un accidente o incidente
- Permite comprender el funcionamiento de complicados sistemas automáticos (en particular de los sistemas de limitación)
- Facilita y garantiza las operaciones como, por ejemplo, los procedimientos de repetición de ensayos o de puesta en marcha y cierre
- Permite hacer fácilmente un análisis postmortem.

En las ilustraciones que acompañan a este artículo figuran algunos ejemplos de presentación de información en el PRINS. En cada una de estas representaciones

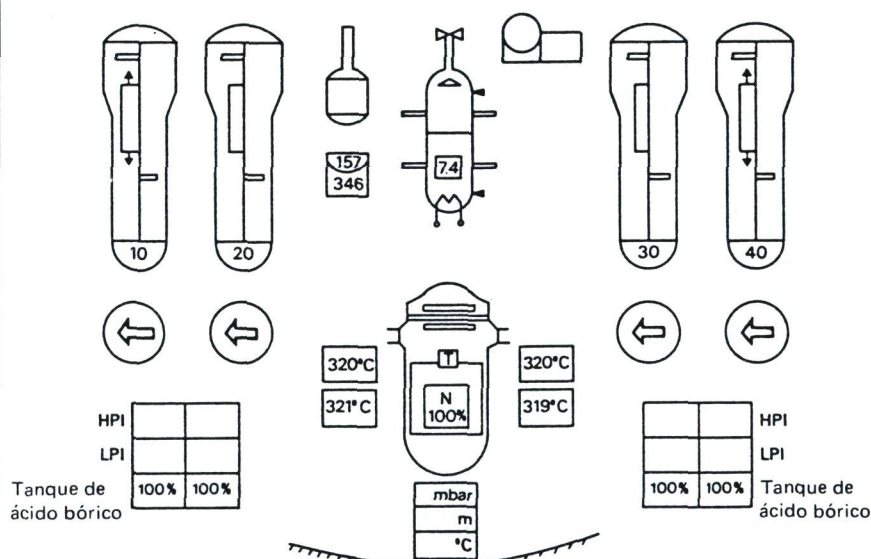
* Véase “Safety Parameter Display Functions are Integrated Parts of the KWU-Konvoi-Process Information System (PRINS)”, por W. Aleite y K.H. Geyer, documento preparado para presentar en la Quinta Reunión Internacional sobre Seguridad de los Reactores Termonucleares, Karlsruhe, septiembre de 1984; y “Video Display Units in Nuclear Power Plant Main Control Rooms: The Process Information System KWU-PRINS”, por W. Aleite, H.W. Bock y E. Rubbel, Siemens Forschungs- und Entwicklungsbericht, Bd.13, No.3 (1984).





En el diagrama de carga reducida del PRINS se muestran todas las condiciones de diseño estacionarias junto con los parámetros del proceso reales y el historial del proceso.

El diagrama de distribución y limitación de la densidad de potencia del PRINS muestra las posiciones actualizadas del banco de varillas, la potencia del reactor, la distribución de la densidad de potencia en relación con la altura del núcleo, y las limitaciones de la densidad de potencia para el núcleo superior y el inferior.



Todos los parámetros importantes del proceso que son necesarios para determinar si las funciones relativas a la seguridad "inventario del refrigerante" y "extracción del calor" están garantizadas, aparecen gradualmente en la información que brinda el PRINS.

visuales se procesa un promedio de 100 señales binarias y 30 analógicas, de ahí que se pueda lograr una reducción del volumen de información.

Se está ensayando otro proyecto piloto cuyo objetivo es lograr un rápido panorama general de la situación de la central. Para comprobar si el comportamiento de un sistema responde o no al diseño, no debería ser necesario comprobar todos los mensajes de conmutación y las variables del proceso para asegurar el funcionamiento normal de un sistema de seguridad. En consecuencia, la comprobación se hará automáticamente y se enviará un mensaje solamente cuando los resultados sean inadecuados. Lo mismo es válido para los procedimientos de parada. Por ejemplo, cuando se produce el disparo de una turbina tienen que llegar muchos mensajes con una secuencia fija. La comprobación manual de los mensajes es muy lenta, de modo que se hará automáticamente en la forma descrita supra.

Análisis de alteraciones: el STAR

En la central nucleoelectrica de Biblis se ha comenzado otro proyecto piloto denominado STAR*, destinado a ensayar el sistema de análisis de alteraciones. La primera aplicación experimental se efectuó en la central nuclear de Grafenrheinfeld**. Ya existen muchas publicaciones sobre el análisis de las alteraciones y el sistema STAR, por tanto sólo se hará un breve esbozo al respecto.

* "STAR - A concept for the Orthogonal Design of Man-Machine Interfaces with Application to Nuclear Power Plants", por W.E. Büttner, L. Felkel, R. Manikarnika y A. Zapp, Conference on Analysis Design and Evaluation of Man-Machine Systems, Baden-Baden, septiembre de 1982.

** "STAR Disturbance Analysis System: Results from the Grafenrheinfeld PWR Application", Simposio internacional sobre control e instrumentación de centrales nucleoelectricas, Munich, octubre de 1982.

Para detectar alteraciones se usan los llamados modelos de alteraciones, que se representan mediante modelos lógicos (por ejemplo: diagramas de causa-efecto), modelos físicos (por ejemplo: balance de masas, características de los sistemas o componentes) o modelos matemáticos (por ejemplo: el filtrado lineal de memoria fija a cinco puntos). Los modelos prevén el surgimiento de sucesos durante las alteraciones y se inician a partir de una base de datos de antecedentes; después se incorporan los datos reales de la central.

En el análisis de alteraciones habitual se exploran los modelos y se descubren las alteraciones, si existen. Los objetivos principales del sistema STAR son los siguientes:

- Reconocer cuanto antes las alteraciones que se produzcan en la central, determinar sus causas principales y su posible propagación y proporcionar información acerca de la situación del proceso
- Señalar cuál es la medida de recuperación más adecuada o la idónea para dominar la alteración si es posible hacerlo inequívocamente (estas recomendaciones no deberían comprometer las acciones del operador)
- Permitir el suministro de información al sistema de análisis de alteraciones
- Proporcionar modelos flexibles que puedan ampliarse o modificarse fácilmente, lo cual podría ser necesario para tener en cuenta la experiencia adquirida o las modificaciones en la central.

Apoyo a los procedimientos del manual de operaciones

Muchos de los procedimientos que se describen en el manual de operaciones consisten en verificar el valor o la situación de variables de la central específica, combinándolas de manera lógica y adoptando las medidas que exijan los resultados de la verificación. Es obvio que a tales procedimientos se les puede aplicar sistemas computadorizados de ayuda. Se realizaron investigaciones para preparar una aplicación experimental en la supervisión de los sistemas de seguridad de los reactores de agua a presión y de agua en ebullición*.

Con este sistema se persiguen los principales objetivos siguientes:

- Supervisar los sistemas de seguridad del reactor junto con el suministro de potencia y los sistemas auxiliares correspondientes, de manera que, de producirse fallos de componentes o no disponibilidad, se realice una comprobación para determinar si los demás sistemas cumplen los requerimientos de seguridad que aparecen en los manuales de operación.
- Cuando se produzcan fallos, deben anunciarse las medidas preventivas necesarias o las medidas para

contrarrestarlos si se violaron los requisitos de seguridad (por ejemplo: tiempo admisible de reparación, reducción de los intervalos de repetición de ensayos de los sistemas redundantes).

- Vigilar el tiempo de reparación restante.
 - Se apoyará al operador mediante la elaboración de documentos de trabajo o de desconexión para los procedimientos de mantenimiento, y mediante la documentación de las repeticiones de ensayos o de los resultados de los ensayos funcionales (por ejemplo, de conformidad con las Reglas KTA 1202 y 3506 alemanas)**.
- Se puede presentar en forma lógica la forma de transferir los requisitos del manual de operaciones a una computadora y de que ésta los verifique.

Condiciones necesarias para obtener buenos resultados

En resumen, las razones que sustentan todas las actividades en la esfera de los sistemas computadorizados de apoyo al operador son el sustancial aumento de la instrumentación y los equipos de control; la necesidad de librar a los operadores de la carga de las tareas rutinarias y reservarlas para las tareas inherentes al control y supervisión de la central; el requisito de reducir y ordenar la cantidad de información y la intención de apoyar a los operadores en casos de incidentes o accidentes mediante el diagnóstico y la supervisión.

La mayoría de las funciones no se puede llevar a cabo con los equipos convencionales. No obstante, los nuevos sistemas tienen que ser compatibles con el diseño convencional de la sala de control, la representación visual de la información y los procedimientos del manual de operaciones. Es necesario garantizar que todos los sistemas, viejos y nuevos, funcionen en conjunto y respondan a una concepción general. Debe realizarse una aplicación piloto y completarse con una fase de ensayo en un simulador de central en que participen ampliamente los operadores de los turnos. Esto es necesario para vencer la dificultad de lograr que los sistemas avanzados funcionen como un todo, aunque se conciben individualmente por razones de garantía de calidad, documentación, ensayo u opinión de expertos.

Otra condición necesaria para que estos sistemas den buenos resultados es realizar un análisis pormenorizado de las tareas del operador y definir claramente las tareas del sistema. Los sistemas de apoyo tienen que brindar nuevas facilidades a los operadores. Cuando se cuenta con sistemas o procedimientos de fácil acceso no se necesita ayuda. Los sistemas no deben impartir órdenes a los operadores, sino asesorarlos.

Por último, es necesario prestar atención a los aspectos ergonómicos.

* "Überwachung von Sicherheitsparametern durch Prozess-rechnereinsatz", por H. Schüller y W.E. Büttner, Informe GRS-A No. 916 (marzo de 1984).

** Requirements for the Inspection Manual, KTA 1202 (junio de 1984), y Test of Electrotechnical Control Systems of the Safety System of Nuclear Power Plants; KTA 3506 (noviembre de 1984).

