

SIMULADORES EN LAS CLASES

ENSEÑANZA PRÁCTICA DE FÁCIL USO CON SIMULADORES DE REACTORES NUCLEARES

POR AURORA BADULESCU Y ROBERT LYON

Los instrumentos asistidos por computadora se están convirtiendo en componentes normalizados de los programas de capacitación. En la industria nuclear, se han hecho importantes progresos en los últimos años, que proporcionan servicios de enseñanza y capacitación más amplios a partir del uso de simuladores de reactores nucleares.

Por conducto de sus programas, el OIEA patrocina el desarrollo de simuladores de reactores nucleares que funcionan en computadoras personales y simulan las respuestas de algunos tipos de reactores durante su explotación y en situaciones de accidentes. Los simuladores constituyen instrumentos de capacitación para profesores universitarios e ingenieros que imparten temas de energía nuclear, y también se les facilitan directamente a estudiantes, ingenieros noveles e ingenieros y científicos de experiencia interesados en ampliar su comprensión del tema. El Organismo coordina el suministro o el desarrollo de esos programas de simulación y materiales de capacitación, patrocina cursos y talleres de capacitación, y distribuye documentación y programas de computadora.

Desde 1997, se han celebrado diez talleres del OIEA en Viena (Austria), Egipto, Arabia Saudita, la República de Corea e Italia. En general, se ha ofrecido capacitación y se han distribuido simuladores a más de 181 participantes de 42 países.

La capacitación con simuladores ha permitido que los

participantes adquieran un nivel adecuado de conocimientos prácticos sobre el funcionamiento de los códigos de los simuladores. Quedó claro que la combinación de conferencias sobre la física y el control de los reactores, conjuntamente con la oportunidad de poner a prueba lo aprendido en los simuladores, resultó muy eficaz para mantener el interés de los participantes y proporcionar conocimientos acerca de las características operacionales de los diversos sistemas de reactores. En algunos casos, los simuladores se están incorporando, o se incorporarán, en los programas de estudios o cursos de capacitación de las universidades a escala nacional.

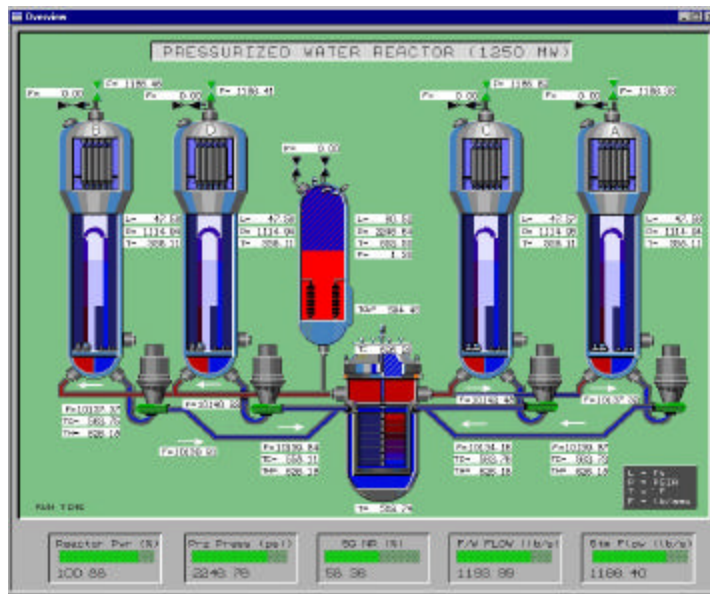
En el presente artículo se describen los programas de simulación patrocinados por el OIEA. Existen cuatro programas diferentes que abarcan distintos tipos de reactores, incluidos los reactores de agua a presión (PWR), los reactores de agua en ebullición (BWR), y los reactores de agua pesada (HWR). La aplicación de los programas de simulación se limita a proporcionar las características de respuesta generales de tipos seleccionados de sistemas de reactores de potencia y no se prevé que se utilicen para fines específicos de la central, tales como el diseño, la evaluación de la seguridad, la concesión de licencias o la capacitación de los operadores.

Demostradores en clase de reactores avanzados (CARD). Conocidos como CARD, en su forma abreviada, son un conjunto de simuladores de centrales

nucleares desarrollados por la Canadian Aviation Electronics (CAE) Ltd. El conjunto está integrado por simuladores de PWR, BWR y HWR y funciona en una computadora personal clásica. Los simuladores se fundamentan en principios básicos y están reproducidos al nivel de componente discreto. La lógica de control se basa en los diagramas elementales de la central, y se incorporan los modelos dinámicos de los circuitos hidráulicos de ésta. Los simuladores están totalmente calibrados respecto de los datos del diseño y de la central.

Los simuladores de los CARD utilizan gráficos en colores para mostrar en pantalla datos como flujo del núcleo, temperaturas y vacíos, así como el estado de dispositivos como bombas y válvulas. Cada uno de los tres reactores se considera un "CARD". El paquete de los CARD actúa como un demostrador y no como un simulador de capacitación. Aunque los modelos utilizados en los CARD son subconjuntos de simuladores avanzados de tamaño natural de la CAE, el paquete se ha reducido sólo al soporte lógico (software) necesario para demostrar el comportamiento general de la central tal como se ve desde el sistema nuclear de alimentación de vapor, y reproduce todos los límites de

La Sra. Badulescu y el Sr. Lyon son funcionarios de la División de Energía Nucleoeléctrica del Departamento de Energía Nuclear, del OIEA.



este sistema para proporcionar la respuesta dinámica total.

Los demostradores contienen el modelo termohidráulico de la CAE, y el modelo del reactor. Los demostradores están integrados por el modelo neutrónico y termohidráulico completo del reactor y los sistemas de refrigeración del reactor. Se reproducen las interfaces con los sistemas contiguos para proporcionar una retroalimentación realista. Los

demostradores emplean una interfaz hombre-máquina con gráficos y de uso fácil, a fin de manipular la información aportada, insertar defectos de funcionamientos y mostrar en pantalla el comportamiento de los sistemas.

El visualizador gráfico del circuito de refrigeración del reactor consta de cuatro bucles de transferencia calorífica conectados en paralelo a la vasija del reactor. Cada bucle contiene una bomba

del circuito de refrigeración del reactor y un generador de vapor. El sistema incluye un presurizador, un tanque de alivio de presión del presurizador, tuberías interconectoras, válvulas e instrumentación necesarios para el control operacional. (Véase la foto.)

Simulador de reactor avanzado. Este simulador fue desarrollado por tecnologías de microsimulación en los Estados Unidos de América y funciona en una computadora personal típica. Representa los modelos de un PWR, un BWR y un HWR del orden de los 600 MWe. En el caso de los modelos de PWR, el simulador incluye centrales con generadores de vapor verticales de curva en U invertida de diseño occidental, centrales con generadores de vapor horizontales conforme a los diseños de la ex Unión Soviética, y un PWR de la próxima generación con características de seguridad pasiva.

El simulador funciona en tiempo real o acelerado y abarca el sistema nuclear de alimentación de vapor, la contención, los sistemas de control y los sistemas de seguridad. Se pueden seleccionar los defectos de funcionamiento y los parámetros para elaborar modelos de las condiciones de la base de diseño normales y anormales, pertinentes a cada tipo de reactor. También se pueden simular condiciones ajenas a la base de diseño.

El visualizador representa el sistema controlable en forma de pequeños paneles, cuyos

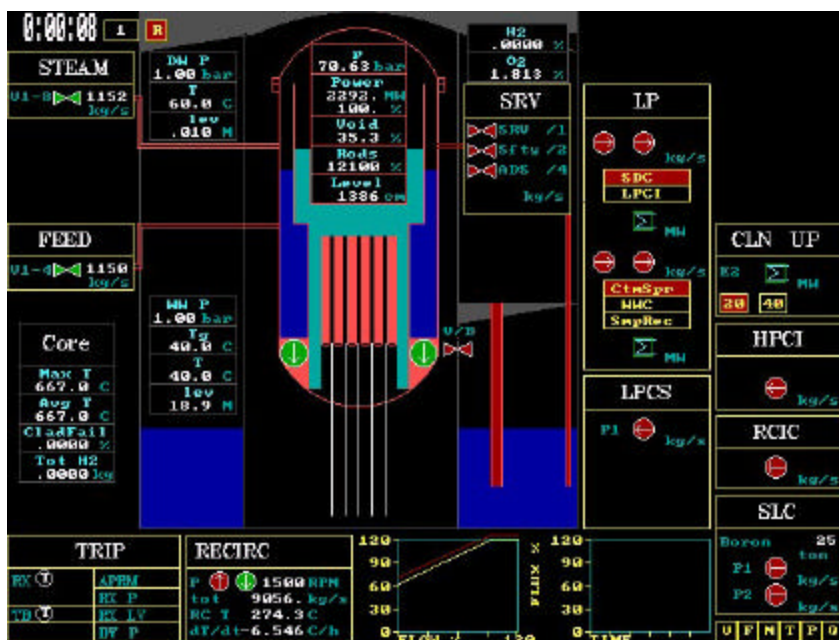
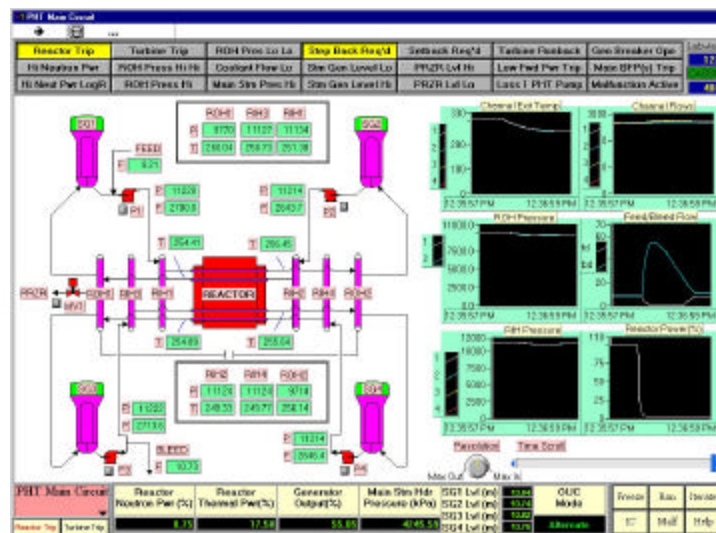


Foto: Arriba, visualización en computadora del circuito del refrigerante del PWR utilizado en el Demostrador de Reactor Avanzado para capacitación en la clase. A la izquierda, la pantalla de computadora del Simulador de Reactor Avanzado BWR, que funciona con una computadora personal clásica.

principales componentes se muestran como iconos. Se visualizan componentes como válvulas de escape y válvulas de seguridad motorizadas del presurizador y de las líneas de vapor, válvula de aspersión del presurizador y calentadores, las principales válvulas de aislamiento del vapor, válvulas de desviación de turbina (descarga de vapor), válvulas de alimentación de agua y bombas del refrigerante del reactor. Su situación se indica con color y puede ser anulada por el operador utilizando el ratón, a fin de seleccionar objetos para que entren en acción (por ejemplo, presionar un botón, encender una bomba). Sólo se requiere acceso con el teclado para acciones como dar entrada a válvulas defectuosas, especificar una nueva condición inicial y dar entrada a valores de escala para las tendencias de los datos. En pantalla aparecen la posición y el desplazamiento de la barra de control, y las roturas de las tuberías se presentan con rociados intermitentes en el punto de la rotura y el flujo de la fuga se indica digitalmente.

El programa normal comienza con la selección de un conjunto de circunstancias iniciales que corresponden a diversas potencias, flujo y momento de vida útil. Durante la operación, el imitador visualiza de manera dinámica la situación de la central y el explotador puede introducir los desperfectos que abarcan todas las categorías analizadas en el informe sobre el análisis de la seguridad de la central (y otras en algunos casos). Se da entrada a la gravedad, la demora y el tiempo rampa de cada desperfecto. El explotador puede activar la turbina o el reactor y puede anular la posición de las válvulas o bombas en el imitador, ocasionando una situación de encendido/apagado o fallo parcial en fracciones de la capacidad total. Por ejemplo, el explotador puede anular el inicio



automático de las bombas del sistema de refrigeración de emergencia del núcleo y asumir el control manual. Se ha preparado, y puede seleccionarse, un conjunto de defectos de funcionamiento derivados del informe del análisis de seguridad en cada reactor, conjuntamente con la gravedad (por ejemplo, el tamaño de la fractura). Entre los defectos de funcionamiento típicos cabe mencionar: pérdida de refrigerante; fractura de la línea de vapor; pérdida de agua de alimentación; y pérdida de flujo.

Se visualiza la situación del sistema de protección del reactor y el sistema activo de características de seguridad. El reactor se disparará automáticamente cuando las condiciones excedan cualquiera de los puntos establecidos del sistema de protección del reactor. El símbolo correspondiente se pondrá rojo y se insertarán todas las barras de control.

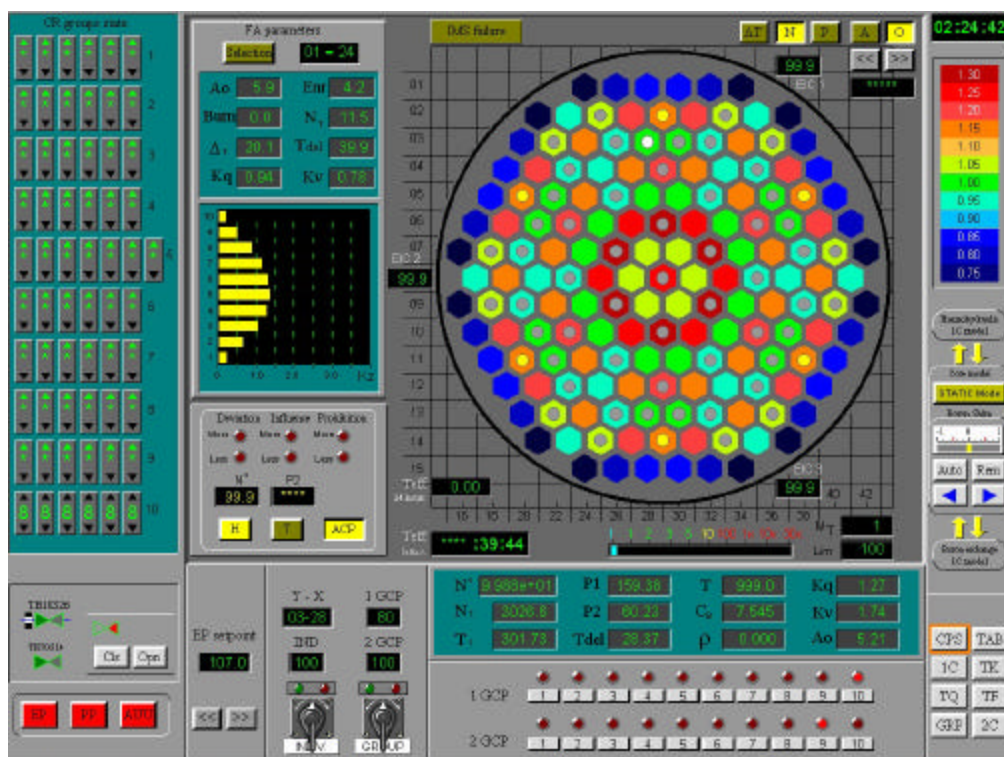
Las variables de potencia pueden verse en los gráficos de "tendencias" a medida que la simulación avanza. Los gráficos se pueden imprimir al final de la simulación. El explotador puede decidir que los parámetros transitorios calculados queden registrados en los expedientes de potencia con miras a realizar un

análisis detallado después de la simulación.

Simulador compacto de reactor CANDU-9. Este simulador, desarrollado por Cassiopeia Technologies Inc., tiene 16 pantallas visualizadoras interactivas, que muestran todos los sistemas, subsistemas y sistemas de control y de seguridad de la central. Cada pantalla muestra, en los extremos superior e inferior del visualizador, 21 alarmas y señalizaciones de la central, la situación del simulador, así como las actividades y los parámetros más importantes de la central. La interacción entre el usuario y el simulador es a través de una combinación de monitor, ratón y visualizador. Los instrumentos del panel de control y los dispositivos de control, como botones e interruptores manuales, se muestran en forma de cuadros estilizados, y se utilizan mediante menús especiales que salen automáticamente y recuadros de diálogos en respuesta a la información de entrada del usuario.

El simulador utiliza un enfoque orientado al objeto, y responde a las condiciones que suelen

Foto: Visualización en computadora del simulador compacto de reactor CANDU-9.



encontrarse durante la explotación de la central, y a las muchas situaciones de funcionamiento defectuoso.

Cuando se visualiza toda la central, el circuito principal de transporte de calor, la presión y los sistemas de control del inventario se muestran como un circuito único. Se representan individualmente modelos de cuatro generadores de vapor. El control de la reactividad tiene una pantalla independiente que muestra los diagramas de control del límite y la situación de los tres dispositivos de control de la reactividad que están bajo el control del sistema de regulación del reactor.

Hay una interacción totalmente dinámica entre todos los sistemas simulados, el regulador de potencia de la unidad, sus sistemas de señalización y el control computarizado de todas las principales funciones del sistema.

Simulador informático compacto de VVER-1000. Este simulador, desarrollado por el

Departamento de Reactores del Instituto Estatal Moscovita de Ingeniería Física, proporciona tres regímenes principales de trabajo: la preparación (configuración) de una sesión de simulación, el funcionamiento de los modelos, así como la visualización y el análisis de los resultados de la simulación. El simulador incluye ocho pantallas que muestran los principales sistemas tecnológicos, y representa el modelo de la operación normal y las situaciones anormales referentes a la respuesta de los sistemas de seguridad y las fallas del equipo.

El simulador se basa en un paquete de software integrado que proporciona un amplio conjunto de funciones que abarcan el desarrollo y funcionamiento de los complejos de simulación. El sistema proporciona las siguientes posibilidades: forma ordenada de almacenamiento y presentación de archivos de trabajo; fácil funcionamiento de otros componentes; método sencillo para configurar las sesiones de

simulación; y almacenamiento de los archivos de destino.

El combustible se representa en modelos de tres dimensiones y se proporciona un modelo termohidráulico homogéneo para el refrigerante del núcleo. El modelo cinético neutrónico se puede ejecutar 30 000 veces más rápido que en tiempo real, lo cual es muy útil para investigar los procesos de quemado de combustible y del xenón.

También posee un modelo de un regulador de boro, útil para regular manualmente la concentración de boro durante un período largo. En el simulador también se puede desconectar el sistema de regulación de la central, y operarla en el modo manual.

Se proporciona un proceso de vigilancia para evaluar el desempeño del aprendiz que utiliza el simulador. □

Foto: Visualización en computadora del simulador informático compacto de VVER - 1000.