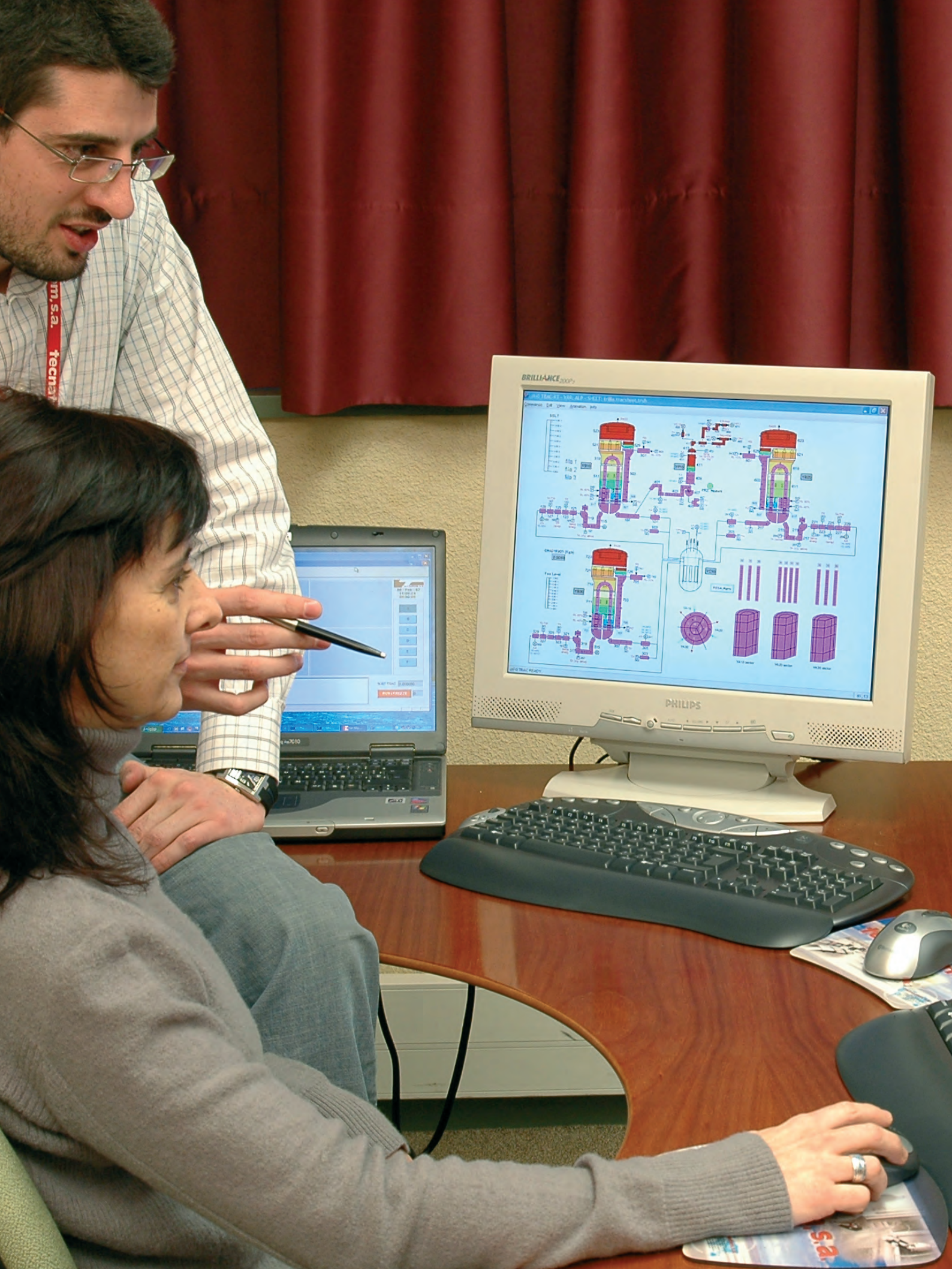




La Simulación en TECNATOM, una tecnología clave en el Adiestramiento y la Ingeniería

Simulation in TECNATOM: a key technology in Training and Engineering

Durante más de 25 años Tecnatom ha venido desarrollando una parte importante de sus actividades en el área de simulación. Inicialmente ligadas al adiestramiento en el mercado nuclear nacional estas actividades se extienden en la actualidad a otros mercados nacionales e internacionales.

Las capacidades de Tecnatom en el área de simulación se asientan sobre tres pilares: recursos humanos cualificados, tecnología propia, y metodología basada en la experiencia acumulada. Estas capacidades se orientan hacia tres áreas de aplicación: el desarrollo y modernización de simuladores de adiestramiento, la eficiente explotación de los mismos, y el soporte a las actividades de ingeniería, tanto durante el diseño como la validación.

For more than 25 years, Tecnatom has been carrying out a large part of its activities in the area of simulation. Initially linked to training in the national nuclear market, these activities are now being extended to other national and international markets.

Tecnatom's capabilities in the area of simulation are based on three fundamentals: qualified human resources, own technology, and methodology based on accumulated experience. These capabilities focus on three areas of application: development and modernization of training simulators, efficient simulator operation, and support for engineering activities during both design and validation.

EVOLUCIÓN HISTÓRICA

Corrían los primeros días de Junio de 1978 cuando el simulador réplica de la central nuclear de Lemóniz llegó a las nuevas instalaciones de Tecnatom en San Sebastián de los Reyes desde Estados Unidos. Seis meses más tarde llegaría el simulador réplica de la central de Cofrentes. Tras la instalación y un exhaustivo periodo de pruebas, se iniciaron en 1979 los primeros cursos de adiestramiento impartidos por instructores de Tecnatom a personal de operación de las distintas centrales nucleares. Se cumplía así un hito importante en la historia de Tecnatom: el centro de entrenamiento se ponía en marcha con los potentes simuladores que por aquel entonces estaban al alcance de pocos centros.

Pero en torno a este hito se articulaban otras muchas actividades necesarias para alcanzar el posicionamiento objetivo de Tecnatom: por un lado los simuladores requerían de unos instructores cualificados, de unos planes de formación, de una metodología de impartición y de un material didáctico, y por otra parte era necesario disponer del adecuado conocimiento del software y hardware del simulador para poder garan-

tizar la correcta operación de los mismos y disponer de autonomía tecnológica para mantenerlos adecuadamente.

La compleja tecnología empleada en los simuladores, desarrollada sobre plataformas informáticas complejísticas en aquel entonces y que hoy en día contrastan con las actuales plataformas, obligaban también al uso de lenguajes de programación muy poco desarrollados, configurando de este modo un entorno solo apto para grandes especialistas. En estas circunstancias la estrategia de Tecnatom se fundamentó en una primera fase de familiarización y dominio de la tecnología para a continuación mejorar los simuladores aplicando nuevas tecnologías propias.

El accidente de *Three Mile Island* sacudió la industria nuclear empujando hacia la búsqueda de mayores niveles de seguridad. En el ámbito del entrenamiento se identificó la necesidad de desarrollar modelos de simulación más precisos basados en ecuaciones físicas asociadas a la fenomenología termohidráulica y neutrónica y se desarrolló normativa específica (ANSI-3.5) para asegurar la adecuación de los simuladores a las necesidades del entrenamiento en cada momento.

HISTORIC EVOLUTION

In early June 1978, the replica simulator of the Lemóniz nuclear power plant was delivered from the United States to Tecnatom's new facilities in San Sebastián de los Reyes. The replica simulator of the Cofrentes power plant arrived six months later. In 1979, after installation and an exhaustive testing period, the first training courses were begun. These courses were given by Tecnatom instructors to operating personnel from the different nuclear power plants. This was an important milestone in the history of Tecnatom; the training center was launched with powerful simulators that back then were within reach of very few centers.

But along with this milestone there were many other activities required for Tecnatom to position itself as planned; on one hand the simulators required qualified instructors, training plans, a teaching methodology and didactic material, and on the other a good understanding of the simulator software and hardware was needed to be able to ensure proper operation and acquire the technological autonomy to properly maintain them.

The complex technology used in the simulators, developed on what were then extremely complex computing platforms in comparison to today's platforms, also required the use of relatively underdeveloped programming languages in an environment understood only by very specialized experts. Under these circumstances, Tecnatom's strategy was based on an early phase of familiarization with and mastery of the technology and, subsequently, improvement of the simulators by applying its own new technologies.

The Three Mile Island accident shocked the nuclear industry and drove it to set higher standards of safety. In the area of training, there was an identified need to develop more accurate simulation models based on physical equations associated with

thermohydraulic and neutronic phenomenology, and specific standards were developed (ANSI-3.5) to assure that the simulators were suited to the training needs at all times.

In this framework, Tecnatom, with the support of the Electricity Sector, undertook an ambitious project to develop advanced simulation models (MAS) based on the adaptation of best-estimate codes to the NSS in training simulators. This required an enormous computing capacity and necessitated the installation of a CRAY supercomputer.

In addition to the above, multiple developments and enhancements have been made since then: instructor's console, interactive graphic simulators, input/output interface, change of computing platforms, improved models, etc. As a result, practically nothing is left of the original simulators that Tecnatom acquired in the decade of the 1970s, except for the simulator panel racks of the Cofrentes power plant.

In the decade of the 1990s, to further its goal of improved training, Tecnatom decided to provide specific simulators for each plant to train the licensed personnel. It first adapted the replica simulator of Lemóniz to Almaraz NPP, and then developed new simulators for the Ascó, Vandellós-II and Trillo NPPs, mostly using its own technology.

At present, Tecnatom has its own consolidated simulation technology, and it focuses its activities on three areas: operation of the Spanish simulators, i.e. maintenance and updating, development of new simulators and upgrading of existing ones, and support for engineering activities. The following sections discuss each of these areas.

OPERATION OF TRAINING SIMULATORS

The use of replica control room simulators for training personnel with operating licenses is based on two fundamental requirements: fidelity and reliability. Fidelity refers to physical fidelity in reproducing the environment in which operators have to work and the equipment and instruments they have to operate, and to functional fidelity to ensure that the response and evolution of the parameters that the simulator displays accurately reproduce the plant response. Reliability means that training sessions and licensing exams can be developed without interruptions or incidents.

Since fidelity must be maintained throughout the lifetime of the simulator for a reference facility that is subject to continuous modifications, a methodology is required to measure and control the level of fidelity and reliability. The key tool for this is the simulator configuration control.

In order to tailor training services to the specific needs of each customer, the simulators are distributed among three different geographic locations, which will be extended to four sometime this year. Tecnatom maintains all these Spanish power plant simulators in operation in this distributed environment.



Ordenadores GOULD del Sistema de Lemóniz (1979).
GOUld computers of the Lemóniz System (1979).

En este marco Tecnatom, con el apoyo del Sector Eléctrico, abordó un ambicioso proyecto para el desarrollo de modelos avanzados de simulación (MAS), basados en la adaptación de códigos "best-estimate" para el NSSS en los simuladores de adiestramiento y que requerían una enorme capacidad de cálculo que obligó instalar un super computador CRAY.

Además de lo anterior, múltiples desarrollos y mejoras se han venido realizando hasta nuestros días: consola del instructor, simuladores gráficos interactivos, interfase de entradas salidas, cambio de plataformas informáticas, mejora de modelos, ... de modo que prácticamente no queda ya nada de los iniciales simuladores que Tecnatom adquirió en la década de los 70, salvo los bastidores de los paneles del simulador de la central de Cofrentes.

En la década de los 90, continuando con el objetivo de me-

jora del entrenamiento, se plantea el disponer de simuladores específicos de cada central para la formación del personal de licencia y Tecnatom adapta en primer lugar el simulador réplica de Lemóniz a Almaraz y desarrolla los nuevos simuladores de las centrales de Ascó, Vandellós II y Trillo, empleando en un alto porcentaje tecnología propia de primera línea.

En la actualidad Tecnatom posee una tecnología de simulación propia y consolidada, y orienta sus actividades en tres líneas: la explotación de los simuladores españoles, esto es, el mantenimiento y la actualización, el desarrollo de nuevos simuladores y modernización de los existentes, y el apoyo a las actividades de ingeniería. En los siguientes apartados se tratan cada uno de ellos.

LA EXPLOTACIÓN DE LOS SIMULADORES DE ADIESTRAMIENTO

El uso de simuladores réplica de sala de control para el entrenamiento del personal con licencia de operación se basa en dos requisitos básicos: fidelidad y fiabilidad. Fidelidad física para reproducir el entorno en el que los operadores tienen que desempeñar su trabajo y los equipos e instrumentos que tienen que operar, y fidelidad funcional para asegurar que la respuesta y evolución de los parámetros que el simulador muestra reproducen la respuesta de la central. La fiabilidad permite el desarrollo de las sesiones de entrenamiento y los exámenes de licencia sin interrupciones ni incidencias.

Puesto que es necesario mantener esa fidelidad a lo largo de toda la

Parque de Simuladores Español.
Spanish Simulator Fleet.



vida del simulador, frente a una instalación de referencia que se va continuamente modificando, se requiere una metodología que permita medir y controlar el nivel de fidelidad y fiabilidad. La herramienta clave para asegurarlo es el control de la configuración de los simuladores.

Con el objeto de acomodar los servicios de adiestramiento a las necesidades específicas de cada cliente, los simuladores se encuentran distribuidos geográficamente en tres distintas localizaciones geográficas, que se ampliarán a cuatro a lo largo de este año. Tecnatom mantiene todos los simuladores de las centrales españolas en operación en este entorno distribuido.

Las labores de mantenimiento de los simuladores incluyen una amplia variedad de actividades como son: realización de pruebas de validación periódicas, análisis de cambio de diseño de la planta de referencia, identificación de discrepancias, mantenimiento correctivo y preventivo de la instrumentación, gestión de repuestos, incorporación de modificaciones de planta, resolución de anomalías, actualización documental, análisis de transitorios de planta, etc. Todas ellas requieren de personal cualificado de distintos perfiles y conllevan una dedicación aproximada superior a cuatro hombres-año por simulador.

La explotación eficiente de los simuladores en un entorno distribuido se basa en tres pilares básicos: la tecnología, los recursos humanos y los procesos.

La tecnología

En lo que se refiere a la tecnología se han establecido conexiones con gran ancho de banda que, junto con el desarrollo de herramientas de simulación específicas, permiten realizar una gran cantidad de actividades asociadas al software de forma remota. Estos canales de comunicación configuran una red que se extiende desde las instalaciones centrales de Tecnatom en Madrid hasta las nuevas instalaciones de los simuladores e incluso llegan hasta las centrales nucleares accediendo a información necesaria para el mantenimiento de los simuladores. Esta infraestructura permite máxima flexibilidad en la asignación de los recursos humanos mas idóneos en cada caso, utilizándose incluso en régimen de teletrabajo.

Al objeto de permitir unos altos índices de fiabilidad de los simuladores, Tecnatom ha desarrollado un sistema de



Sistema de Monitorización Remota de Simuladores en PDA.
Remote Simulator Monitoring System in PDA.

monitorización y operación remota automatizada de los simuladores. Este sistema está disponible a través de internet en cualquier ordenador, y bajo criterios de movilidad se ha hecho accesible también a dispositivos PDA.

El sistema permite el arranque y parada del simulador de forma automática en modo remoto. Este sistema monitoriza el estado de los distintos componentes de cada simulador, como son: la alimentación eléctrica a paneles, el sistema de entradas salidas, la consola del instructor, la ejecución de los modelos, las comunicaciones, la iluminación de la sala, el sistema de detección contraincendios, etc. Todos ellos pueden ser monitorizados y operados en modo remoto. Adicionalmente, cualquier incidencia en cualquier simulador es transmitida en tiempo real al responsable mediante llamada telefónica a teléfono móvil y envío de mensaje SMS, quien tratará de tomar las acciones pertinentes para resolver el incidente a cualquier hora del día desde su localización.

Los recursos humanos

Los recursos humanos constituyen uno de los pilares sobre los que debe asentar la efectividad y eficiencia de la explotación de los simuladores. En este sentido se identifican tres aspectos claves: dimensionamiento, organización y formación y capacitación. Los conocimientos que se requieren son muy profundos y centrados en áreas tan diversas como: sistemas de la central de referencia, instrumentación y control, sistemas operativos, bases de datos, protocolos y sistemas de comunicación, electrónica, códigos termohidráulicos, física nuclear, herramientas de modelación, lenguajes de programación, interfaces

The simulator maintenance tasks include a wide range of activities such as the following: periodic validation tests, analysis of reference plant design changes, identification of discrepancies, corrective and predictive maintenance of instrumentation, spare part management, implementation of plant modifications, resolution of anomalies, document updating, plant transient analysis, etc. All these require different profiles of qualified personnel and approximately four man-years or more of work per simulator.

Efficient simulator operation in a distributed environment depends on three basic factors: technology, human resources and processes.

Technology

In terms of technology, connections have been made to a high bandwidth that, together with the development of specific simulation tools, make it possible to remotely carry out a large number of software-related activities. These communication channels form a network that extends from Tecnatom's central offices in Madrid to the new simulator facilities and even to the nuclear power plants, providing access to information required for simulator maintenance. This infrastructure permits full flexibility in the assignment of the most suitable human resources in each case, and can even be used on a telework basis.

In order to achieve high reliability indexes for the simulators, Tecnatom has developed an automated remote operating and monitoring system. This system is available via Internet in any computer, and in accordance with mobility criteria it is also accessible from PDA devices.

The system automatically starts and stops the simulator in remote mode. This system monitors the status of the different components of each simulator, e.g.: electric power supply to panels, input/output system, instructor console, model execution, communications, room lighting, fire detection system, etc. All these can be remotely monitored and operated. In addition, any incident in any simulator is reported in real time to the person in charge via a telephone call to a cell phone and transmission of an SMS message. This person will take the pertinent actions to resolve the incident at any hour of the day from his/her location.

Human Resources

One of the pillars on which simulator operating effectiveness and efficiency are based are human resources. In this respect, three key aspects are identified: dimensioning, organization, and training and qualification. Very broad knowledge is required in different areas, e.g.: reference plant systems, instrumentation and control, operating systems, databases, communication protocols and systems, electronics, thermohydraulic codes, nuclear physics, modeling tools, programming languages, graphic interfaces, etc. Therefore, specific training plans are annually designed and carried out; these include retraining in previously taught skills, as well as familiarization with and study of new technologies.

All this requires a great flexibility and availability of resources to undertake the tasks outside normal working hours, since the simulators are so heavily used that some days may even extend to 20 training hours.

Processes

Processes are defined through a general methodology in accordance with standards, resulting in a series of procedures where these processes are

explained and regulated. A significant part of the methodology is related to Simulator Configuration Control, which includes the following aspects:

- Identification of the simulator configuration.
- Identification of changes to be made in the simulator through different channels, e.g.: analysis of reference plant modifications, anomalies found during courses, verification and validation tests, operating experience, improvement proposals, comparison to plant data, etc.
- Prioritization of the changes to be made, considering the impact on training.
- Process of incorporating modifications and resolving discrepancies, throughout the different phases of analysis, design, implementation, testing, acceptance and documentation.
- Periodic validation tests in accordance with standards and that include testing of training scenarios.

To help track this methodology, Tecnatom has developed the computing tool called "Simulator Configuration Control System" (SICOSIS) with the following objectives:

- Facilitate maintenance and updating of the simulators and enforce standard requirements with a comprehensive focus.
- Facilitate operation in a distributed environment, so that any person can connect to the system from any location, even on a telework basis.
- Knowledge management, centralizing and sharing all existing information.
- Zero paper, such that most documentation is generated in the application and transferred to the corporate Document Management System, where it is filed in digital format without requiring printing.

Some features of this tool are as follows:

- Covers the needs of all the simulators, and for each simulator contains more than 30 databases of the different job areas.
- The application is developed in a Web environment.
- Automatically generates different reports associated with simulator maintenance.
- Provided with automated, workflow type tracking mechanisms with personalized notices for each user according to profile and level of responsibility.
- Equipped with management help tools for project directors and organizational managers.
- Integrates the different organizations involved, allowing both maintenance personnel and the instructors and directors of the power plant Training Schools to obtain online information on the simulator's status.

This tool has been developed in Tecnatom by addressing the needs of different users in various work groups, and every year it is subject to an improvement process based on user proposals.

Finally, simulator operating performance is annually assessed on the basis of a series of well established indicators that cover different aspects, e.g.: simulator unavailability, delays in incorporating plant



Sistema TESIS.
TESIS System.

gráficas, etc. Por ello anualmente se establecen planes específicos de formación que contemplan tanto el reentrenamiento en conocimientos ya impartidos como la familiarización y el estudio de nuevas tecnologías.

Todo ello se completa con una alta flexibilidad y disponibilidad de los recursos para acometer las tareas fuera

del horario normal de trabajo, puesto que la alta ocupación de los simuladores llega incluso a jornadas con mas de 20 horas de entrenamiento.

Los procesos

Los procesos vienen definidos a través de una metodología general que asegura el cumplimiento de la normativa y que se concreta en un conjunto de procedimientos donde éstos se exponen y regulan. Una parte importante de la metodología está relacionada con el Control de la Configuración de los Simuladores que contempla los siguientes aspectos:

- Identificación de la configuración del simulador.
- Identificación de cambios a realizar en el simulador a través de diversas vías como son: el análisis de las modificaciones de la planta de referencia, las anomalías encontradas durante los cursos, las pruebas de verificación y validación, la experiencia operativa, las propuestas de mejora, la comparación con datos de planta, etc.
- Priorización de los cambios a realizar teniendo en cuenta el impacto en el entrenamiento.
- Proceso de incorporación de modificaciones y resolución de discrepancias, a través de las distintas fases de análisis, diseño, implantación, pruebas, aceptación y documentación.
- Pruebas de validación periódicas de acuerdo a la normativa y que incluyen pruebas de escenarios de entrenamiento.

Para facilitar el seguimiento de esta metodología Tecnatom ha desa-

rollado la herramienta informática "Sistema de Control de Configuración de los Simuladores" (SICOSIS) con los siguientes objetivos:

- Facilitar el mantenimiento y actualización de los simuladores y dar cumplimiento a los requisitos de la normativa con un enfoque global.
- Facilitar el funcionamiento en un entorno distribuido de modo que cualquier persona se pueda conectar al sistema desde cualquier localización incluso en régimen de teletrabajo.
- Gestión del conocimiento, permitiendo centralizar y compartir toda la información existente.
- Papel cero, de modo que la mayor parte de la documentación se genera en la aplicación y se trasfiere al Sistema de Gestión Documental corporativo donde se archiva en formato digital sin requerir la impresión de la misma.

Algunas características de esta herramienta son:

- Cubre las necesidades de todos los simuladores conteniendo para cada simulador mas de 30 bases de datos de las distintas áreas de trabajo.
- La aplicación está desarrollada en entorno web.
- Genera automáticamente diversos informes asociados al mantenimiento de los simuladores.
- Dispone de mecanismos de seguimiento automatizado tipo workflow con avisos personalizados para cada usuario en función de su perfil y responsabilidad.
- Dispone de herramientas de ayuda a la gestión para los jefes de proyecto y responsables organizativos.
- Integra a las distintas organizaciones involucradas permitiendo tanto al personal de mantenimiento como a los instructores y a los responsables de las Escuelas de Formación de las Centrales obtener información on-line sobre el estado del simulador.

Esta herramienta ha sido desarrollada en Tecnatom, integrando las necesidades de los distintos usuarios en diversos grupos de trabajo y sigue anualmente un proceso de mejora basado en las propuestas de los usuarios.

Finalmente, el desempeño de la explotación de los simuladores se evalúa anualmente en base a un conjunto de indicadores bien establecidos y que cubren aspectos tan variados como: indisponibilidad del

simulador, retraso en la incorporación de modificaciones de planta al simulador, satisfacción de los turnos de operación e instructores, etc. Los Planes Operativos establecen anualmente los objetivos para dichos indicadores y señalan las acciones de mejora que en cada caso se consideran convenientes.

DESARROLLO Y MODERNIZACIÓN DE SIMULADORES

Como se comentó anteriormente durante la década de los 90 y principios de los 2000 Tecnatom abordó el desarrollo de simuladores específicos para las plantas españolas utilizando en gran medida tecnología propia y metodologías de trabajo desarrolladas internamente. Dicha combinación permitió obtener unos simuladores en plazo con un alcance amplio en condiciones muy competitivas.

Como parte del desarrollo tecnológico experimentado en esos años cabe señalar: la mejora y consolidación del código TRAC-RT, el desarrollo de un nuevo entorno de simulación de tiempo real, y el desarrollo de una nueva consola del instructor y nueva interfase gráfica del simulador gráfico interactivo (SGI) con nuevas funcionalidades que facilitan el entrenamiento. Mención especial merece el diseño y desarrollo del nuevo sistema de interfase de entradas/salidas TESIS que comunica el servidor de la simulación con la instrumentación de los paneles. El sistema permite manejar más de 60.000 señales de entrada/salida con una frecuencia de 50 milisegundos, disponiendo de funciones de autochequeo que facilitan las labores de mantenimiento y la detección de anomalías, redu-

ciendo en definitiva en una mayor disponibilidad de la instalación.

Consecuencia de la experiencia acumulada en el desarrollo de simuladores en el mercado nacional, y la disponibilidad de una tecnología propia, se planteó a mediados de los 90, una estrategia de promoción de los productos y servicios de simulación en el mercado exterior.

Fruto de esta iniciativa, Tecnatom ha estado presente en diferentes proyectos internacionales en los que se ha conseguido una acreditada reputación. Merecen destacar, como más representativas, las experiencias de:

- Alemania: en el suministro de nuevos modelos de la isla nuclear y la modernización del simulador de la C.N. Grafenrheinfeld, para el centro de entrenamiento de operadores de KSG-GfS (Essen).
- México: suministro del simulador de alcance total, réplica de la C.N. Laguna Verde II. Desatar que este proyecto supuso un hito industrial de entrega del nuevo simulador, a los 26 meses de comienzo del proyecto.
- Taiwan: participación en el simulador de alcance total de la C.N. Lungmen (reactor avanzado de agua en ebullición-ABWR), en el cual se suministró el modelo de la isla nuclear.
- Argentina: donde se suministró un simulador de alcance parcial, de acuerdo con el concepto de Simulador Gráfico Interactivo, para la C.N. Atucha I.
- Rusia: con la modernización del simulador de C.N. Smolensk.
- Francia: en donde Tecnatom está participando en el proyecto del reactor experimental "Jules Horowitz Reactor", mediante el suministro de un simulador de lazos de experimentación.

modificaciones into the simulator, operating shift and instructor satisfaction, etc. Every year, the Operating Plans define the targets for these indicators and indicate the improvement actions deemed advisable in each case.

SIMULATOR DEVELOPMENT AND MODERNIZATION

As commented above, during the decade of the 1990s and early 2000s, Tecnatom started developing specific simulators for the Spanish power plants, mostly using its own technology and in-house developed work methodologies. Thanks to this combination, broad-scope simulators were completed on schedule and under very competitive conditions.

The technological development that took place during those years included the following: improvement and consolidation of code TRAC-RT, development of a new real-time simulation environment, and development of a new instructor console and new graphic interface for the interactive graphic simulator (SGI), with new functionalities that facilitate training. Special mention should be made of the design and development of the new input/output interface system TESIS, which communicates the simulation server with the panel instrumentation. The system can handle more than 60,000 input/output signals with a frequency of 50 milliseconds, and it is provided with auto-check functions that facilitate maintenance work and troubleshooting, thus improving the facility's availability.

As a result of the experience gained in simulator development for the national market and the availability of own technology, in the mid-90s it was decided to launch a strategy of simulation product and service promotion on the foreign market.

Thanks to this initiative, Tecnatom has been present in different international projects in which it has gained a good reputation. As the most representative experiences, the following are noteworthy:

- Germany: supply of new nuclear island models and upgrading of the Grafenrheinfeld NPP simulator, for the KSG-GfS operator training center (Essen).
- Mexico: supply of the full-scope simulator, a replica of Laguna Verde II NPP. This project marked an industrial milestone, as the new simulator was delivered 26 months after beginning the project.
- Taiwan: participation in the full-scope simulator for Lungmen NPP (advanced boiling water reactor-ABWR), with the supply of the nuclear island model.
- Argentina: supply of a partial-scope simulator, in accordance with the Interactive Graphic Simulator concept, for Atucha I NPP.
- Russia: modernization of the Smolensk NPP simulator.
- France: Tecnatom is taking part in the experimental "Jules Horowitz Reactor" project by supplying an experimentation loop simulator.

Accessing international markets requires not only a proven credibility as a supplier, but also one's own advanced technology supported by competitive processes. In this respect, development and innovation plans for simulation technology are continuously being proposed in Tecnatom. As a result of these, Tecnatom presently has a complete map of simulation technology, including everything from simulation development and execution environments, advanced thermohydraulic and neutronic codes, to tools for generating hydraulic, electric or logic and control networks. All these

Simulador de Laguna Verde (México).
Laguna Verde Simulator (México).



tools have effective, intuitive graphic interfaces designed on the basis of the experience gained with their use.

With regard to simulation codes, strategic agreements have recently been reached with General Electric and Global Nuclear Fuel to access design codes TRACG04 and PAN-ACEA, which Tecnatom is adapting to real-time simulation. Their use in training simulators provides engineering precision, and they can be used as an engineering tool.

It is in the area of ease of use and productivity, as well as providing a better understanding of the model results, where significant efforts have been made to improve the man-machine interfaces of the simulation technology as a whole.

On the other hand, the high features provided by today's personal computers, and the possibility of remotely accessing applications, favor novel concepts of simulator use, which Tecnatom is now working on. These include the following:

- Design and development of new functionalities that help to develop and manage new training scenarios, as well as facilitate instructor supervision, recording and documentation tasks.
- Accessibility by a remote connection via Internet to a simulation server, to be able to start any graphic simulator and even receive courses that will be given by instructors who, from a centralized location, will supervise and tutor the student.
- Use of increasingly accurate models not only for the NSSS, but also for the BOP systems where the most simplified models have historically been concentrated.

All these improvements will lead to a more extensive use of more accurate, reliable simulators within reach of the operating and engineering personnel of the nuclear power plants.

SIMULATION AT THE SERVICE OF ENGINEERING

Real-time simulation has traditionally been associated with a limited application to training simulation. The limited computing capacities of computers have meant that valid models are used for training, but their accuracy was insufficient for use in engineering. However, thanks to a progressive elimination of existing computing barriers, as well as the implementation of a culture based on the need to have interactive, versatile simulation platforms that can be used in early design phases and in any other engineering phase, a progressively common approach to and use of simulation technology is expected.

Even though they generally do not attain the accuracy of engineering models, training simulators have certain features that can be of great use in engineering tasks:

- They represent an integrated series of models that can display the overall performance of the plant by accounting for the interrelation between the different systems.



Construcción del Simulador de Vandellós
Vandellós Simulator Construction.

Para acceder a los mercados internacionales se requiere, no solo contar con una credibilidad contrastada como proveedor, sino de una tecnología avanzada propia sustentada por unos procesos competitivos. En este respecto, y de manera continua, se proponen en Tecnatom planes de desarrollo e innovación relativos a la tecnología de simulación. Resultado de éstos, se dispone en la actualidad de un mapa completo de tecnología de simulación, integrando desde entornos de desarrollo y ejecución de simulación, a códigos avanzados termohidráulicos y neutrónicos, pasando por herramientas generadoras de modelos de redes hidráulicas, eléctricas o de lógica y control. Todas estas herramientas disponen de interfaces gráficas eficaces e intuitivas, cuyo diseño se basa en la experiencia acumulada en su uso.

En cuanto a códigos de simulación, hay que destacar los acuerdos estratégicos establecidos recientemente con General Electric y Global Nuclear Fuel, para acceder a los códigos de diseño: TRACG04 y PAN-ACEA, que Tecnatom está adaptando a la simulación en tiempo real. Su utilización en simuladores de entrenamiento proporciona una precisión de ingeniería y posibilita su uso como herramienta de ingeniería.

Es el aspecto de facilidad de uso y productividad, así como en el de posibilitar una mejor comprensión de los resultados de los modelos, donde se han realizado importantes esfuerzos orientados a la mejora de las interfaces hombre-máquina de toda la tecnología de simulación.

Por otra parte las altas prestaciones que proporcionan hoy día los ordenadores personales, y la posibilidad de acceso en remoto a la explota-

ción de aplicaciones, favorecen conceptos novedosos de uso de los simuladores, en los que Tecnatom está presente, como son:

- Diseño y desarrollo de nuevas funcionalidades que faciliten el desarrollo y gestión de nuevos escenarios de entrenamiento así como las labores de supervisión, registro y documentación del instructor.
- Accesibilidad mediante conexión remota, por internet, a un servidor de simulación para poder arrancar cualquier simulador gráfico, pudiendo incluso recibir cursos que serán impartidos por instructores que desde una localización centralizada, supervisarán y tutorizarán al alumno
- Utilización de modelos cada vez más precisos no solo ya para el NSSS sino también para los sistemas del BOP en los que se concentran históricamente los modelos más simplificados.

Todas estas mejoras redundarán en un uso más extensivo de simuladores más precisos y fiables al alcance del personal de explotación e ingeniería de las centrales nucleares.

LA SIMULACIÓN AL SERVICIO DE LA INGENIERÍA

Tradicionalmente se ha asociado simulación en tiempo real a una aplicación restringida de simulación al entrenamiento. Las limitaciones en la capacidad de cálculo de los ordenadores han fomentado el uso de modelos válidos para entrenamiento, pero de precisión insuficiente para su uso en ingeniería. Sin embargo, la progresiva eliminación de las barreras existentes en el cálculo, así como la implantación de una cultura basada en la necesidad de disponer de plataformas de simulación, interactivas y polivalentes, capaces de ser usadas en fases tempranas del diseño, y en cualquier otra fase de ingeniería, hacen visualizar un progresivo acercamiento y un uso común de la tecnología de simulación.

Aun sin llegar a alcanzar en general la precisión de los modelos de ingeniería, los simuladores de adiestramiento presentan ciertas características que pueden resultar de gran utilidad para las labores de ingeniería:

- Representan un conjunto integrado de modelos que permite mostrar el comportamiento global de la planta teniendo en cuenta la

interrelación entre los distintos sistemas.

- Los modelos de los simuladores de adiestramiento permiten la interacción "on line" durante la ejecución de cualquier transitorio.
- Los modelos son en general fácilmente ajustables.
- Disponen diversas funcionalidades específicas que pueden ser especialmente atractivas para optimizar los recursos y facilitar la capacidad de análisis en estudios de ingeniería y ajuste de lazos de control (salva de condiciones iniciales, retroceder, parar la simulación, reanunciar, graficar, grabar condiciones iniciales, etc.).

Tecnatom ha favorecido siempre el uso de la simulación para ingeniería, a través de sus simuladores de entrenamiento o por medio del desarrollo de modelos específicos de alta precisión. Entre las aplicaciones más relevantes mencionamos:

- Evaluación y análisis de modificaciones mediante el uso de simuladores o modelos de ingeniería existentes:
 - Comportamiento dinámico de la planta ante sustituciones de componentes principales: por ejemplo Generadores de Vapor de CCNN Almaraz y Ascó.
 - Ajuste de lazos de control, validación de lógicas e Interfaz Hombre-máquina ante la modernización de los sistemas de Instrumentación y Control: Sistema de control del reactor de C.N. Almaraz, Modernización de I+C de C.N. Cofrentes, etc.
 - Análisis de operación. Por ejemplo, de nuevas secuencias de eventos.

- Validación de Procedimientos de operación de emergencia (diferentes CCNN).

- Apoyo a análisis de seguridad, entre ellos los relacionados con los análisis probabilistas de seguridad (APS de diferentes CCNN).

- Apoyo a la certificación del diseño de nuevas plantas (Reactores avanzados: AP600).

- Análisis de viabilidad de pruebas de inspección ("Fouling" en los generadores de vapor de CN Ascó).

- Evaluación de modificaciones mediante el desarrollo de modelos de ingeniería limitados al alcance del proyecto:

- Validación del comportamiento dinámico de diversas modificaciones a sistemas de tratamiento de gases y evaluación de su impacto en la planta.

Podemos constatar que en breve se impondrá un patrón de uso polivalente de los simuladores con un aprovechamiento en entrenamiento e ingeniería. Será en el diseño de nuevas plantas, donde desde sus etapas más preliminares, existirán sistemas de simulación, interactivos y probablemente en tiempo real, con interfaces hombre-máquina de alta productividad, que permitan validar las diferentes etapas del diseño, pasando estas plataformas a constituir posteriormente el núcleo de los simuladores de entrenamiento.

No cabe duda que llevar a cabo esta visión seguirá requiriendo esfuerzos de inversión y de asimilación tecnológica en las empresas que quieran compartir los beneficios futuros que se deriven de la misma.

- *Training simulator models permit online interaction during the execution of any transient.*
- *The models are usually easily adjustable.*
- *They have different specific functionalities that could be especially appealing for the optimization of resources and support of analysis capabilities in engineering studies and control room adjustments (save initial conditions, go back, stop simulation, restart, graph, record initial conditions, etc.).*

Tecnatom has always supported the use of simulation for engineering through its training simulators or by developing specific, high-precision models. The most relevant applications include:

- *Evaluation and analysis of modifications by using existing engineering models or simulators:*
 - *Dynamic plant performance in the face of main component replacements: e.g., Steam Generators of Almaraz y Ascó NPPs.*
 - *Control loop adjustment, logic and man-machine interface validation for upgrading Instrumentation & Control systems: Almaraz NPP reactor control system, I&C upgrading in Cofrentes NPP, etc.*
 - *Operating analysis: e.g., new event sequences.*
 - *Validation of emergency operating procedures (different NPPs).*
 - *Safety assessment support, including those related to probabilistic risk assessments (PRA of different NPPs).*
 - *Support for design certification of new plants (advanced reactors: AP600).*
 - *Inspection test viability assessment (fouling in the Ascó NPP steam generators).*
- *Evaluation of modifications by developing engineering models limited to the project scope:*
 - *Validation of the dynamic performance of different modifications to gas treatment systems and assessment of their impact on the plant.*

We can expect that a pattern of all-purpose use of simulators in training and engineering will shortly prevail. It will be in the design of new plants where, from the very earliest stages, there will be interactive and probably real-time simulation systems with high-productivity man-machine interfaces that will be used to validate the different design stages, and these platforms will subsequently come to form the core of training simulators.



Fernando Ortega, Jefe División Simulación; **Norberto Rivero**, responsable de Desarrollo Tecnológico de la División de Simulación y su equipo.

Fernando Ortega, Simulation Division Director; **Norberto Rivero**, head of Technological Development of the Simulation Division, and his team.

