

Aplicación de soluciones digitales para la ayuda a la operación segura y eficiente de las centrales nucleares

Fernando Ortega Pascual & Sara Fernandez Fernández
Tecnatom

Av. Montes de Oca, 28703 San Sebastián de los Reyes (España)
fortega@tecnatom.es, sfernandez_fernandez@tecnatom.es

Resumen

En la búsqueda de la excelencia, la aparición de soluciones para digitalizar las centrales nucleares, supone una oportunidad para optimizar la operación y la seguridad de las mismas. Las nuevas tecnologías disponibles hoy en el mercado, aplicadas bajo una visión global de la operación, pueden contribuir a la excelente operación de las centrales nucleares en términos de eficacia y eficiencia. Tecnatom dispone de una larga experiencia en diversas áreas relacionadas con la operación de las centrales, dotándole de la visión global citada, imprescindible para desarrollar soluciones globales que persiguen la operación segura y eficiente de la operación.

1. INTRODUCCIÓN

La explotación excelente de las centrales nucleares implica una explotación segura, fiable y predecible. Las bases sobre las que se establece esta excelencia están relacionadas con las personas, los activos y los procesos. De este modo se afirma que tanto una buena cultura organizativa como un adecuado sistema de entrenamiento son claves para asegurar contar con el equipo humano necesario. En lo que se refiere a los activos o equipos tanto las actividades de mantenimiento, monitorización como la gestión de vida constituyen los aspectos relevantes. Finalmente, los procesos se relacionan directamente con la operación de la central y constituyen una parte de gran impacto sobre la explotación excelente de la instalación. La aplicación de las nuevas tecnologías en esta área, lo que se conoce por digitalización, implica a su vez aplicar el concepto de interconectividad entre sistemas de una forma amplia.

La operación de la central involucra diversos sistemas y documentos que están interrelacionados y que en la mayoría de los casos son utilizados de forma conjunta. En este sentido se destacan, entre otros:

- Los sistemas de control distribuido
- Los sistemas de señalización y gestión de alarmas
- Las aplicaciones de seguimiento del rendimiento de la central y cálculo de la potencia
- Los procedimientos de operación
- Los procedimientos de requisitos de vigilancia
- Los libros de operación
- El computador de planta y sus displays de supervisión
- El sistema de gestión de históricos

En realidad, todos estos elementos contienen información que está interrelacionada entre sí. La aplicación eficiente de la tecnología debe proporcionar soluciones específicas para facilitar la gestión de cada uno de estos elementos a la vez que proporciona un sistema interconectado que facilita al operador centrar su tiempo y su atención en aquellos aspectos más importantes de la operación donde su aportación es más crítica para la seguridad de la planta, permitiendo a su vez conseguir ahorros en tiempo.

En esta ponencia se plantean las soluciones de digitalización para la mejora de la operación que Tecnatom propone, en la línea de avanzar hacia la excelencia operacional de las centrales nucleares.

2. SOLUCIONES DE DIGITALIZACIÓN PARA LA MEJORA DE LA OPERACIÓN

La experiencia de Tecnatom se demuestra que, en la línea de digitalizar la operación de las centrales nucleares, destacan entre otras, las siguientes tres herramientas: el sistema de procedimientos computarizados, el gestor de alarmas y avisos de operación y la aplicación de monitorización online del rendimiento de planta y diagnóstico de desviaciones. Todas ellas, en esencia, digitalizan tareas críticas desde el punto de vista de la seguridad y eficiencia de la planta, con un amplio campo para la optimización de las mismas.

A continuación, se desarrolla cada una de las herramientas en mayor detalle, destacando los beneficios que cada una aporta a la seguridad y eficiencia de la planta.

2.1. Sistema de Procedimientos Computarizados

Tecnatom ha desarrollado su propio sistema de procedimientos computarizados en base a la experiencia en la utilización de otros sistemas, teniendo en cuenta la problemática de las centrales nucleares híbridas. Se entiende por central híbrida aquella que combina tecnología analógica con herramientas digitales más modernas, consecuencia de la creciente digitalización y modernización de las instalaciones actuales a causa de la obsolescencia.

La herramienta desarrollada por Tecnatom se centra en optimizar la ejecución y gestión de procedimientos de una central nuclear híbrida. Se decidió centrarse en este tipo de instalaciones porque son las que más campo de mejora presentan, tanto en la ejecución de procedimientos como en la gestión propiamente dicha de la documentación (nuevas revisiones, revisión y aprobación de ejecuciones, etc).

2.1.1. Descripción del sistema

El Sistema de Procedimientos Computarizados está basado en un software dinámico que guía a los operadores por los procedimientos de operación y soluciona las limitaciones que presenta la operación con procedimientos en papel; donde la información mostrada es estática y no refleja las condiciones en tiempo real de planta. Esto exige a los operadores obtener información de distintos instrumentos o pantallas en diferentes ubicaciones.

Este sistema constituye una ayuda en la ejecución de los procedimientos permitiendo la navegación entre ellos, la monitorización de parámetros y facilitando la toma de decisiones, pero sin intervenir en los roles de los miembros del turno, sus responsabilidades y las comunicaciones entre ellos, que permanecerán tal como hasta ahora.

A continuación, se citan algunas de las características más importantes que presenta el Sistema de Procedimientos Computarizados:

- *Supervisión de las ejecuciones:* tanto el Supervisor como el Jefe de Turno pueden utilizar sus estaciones para supervisar y verificar la correcta ejecución de cualquier maniobra realizada por los operadores. El Supervisor puede verificar el estado de cualquier paso, mejorándose así la supervisión de las tareas.
- *Monitorización continua:* durante la ejecución de un procedimiento o la realización de una tarea, el sistema permite mostrar de forma continua cualquier parámetro que requiera una atención especial o un seguimiento de su evolución.
- *Información para la ejecución de un paso:* al seleccionar un paso, aparece un cuadro de línea discontinua para indicar que se trata del paso en activo. Los pasos en activo vienen acompañados de cuadros de ayuda, que aparecen debajo con información útil para la ejecución de los pasos correspondientes.
- *Registro de procedimientos:* la herramienta se actualiza de forma continua y muestra la última versión de los procedimientos. Una vez un procedimiento se finaliza, se registrará una copia, que podrá ser consultada en cualquier momento y desde cualquier ubicación.

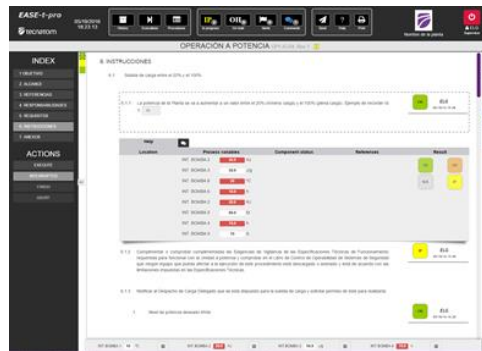


Figura 1. Sistema de Procedimientos Computarizados de Tecnatom

2.1.2. Ventajas principales

Como resultado de la implementación del Sistema de Procedimientos Computarizados, se presentan las siguientes ventajas. El sistema ayuda a los operadores en la toma de decisiones, en la navegación por los procedimientos y en la transición entre ellos, así como en la operación paso a paso con información en tiempo real. Además, el uso de este sistema tiene un impacto positivo en la operación: las tareas se pueden realizar de forma más segura y la carga de trabajo se ve reducida, incrementando la eficiencia y mejorando la coordinación.

Concretamente, las ventajas principales del sistema se pueden agrupar en dos grandes grupos:

- **Beneficios económicos:** pueden provenir de la disminución de costes asociada a la optimización de los procesos de planta y/o al incremento de la producción de la misma por la mejora de la operación.
 - *Ahorros de costes en Operación y Mantenimiento:* al facilitar y simplificar los procesos de mantenimiento de procedimientos, se reducen el tiempo y los recursos dedicados a la edición y revisión de procedimientos, así como la gestión de copias controladas.
 - *Incremento de la producción:* dicho incremento se deriva de la optimización del proceso de ejecución de procedimientos y/o de la reducción de eventos que afectan a la disponibilidad de la planta. En este sentido, tras la revisión de la experiencia operativa de INPO, se identifican 19 eventos relacionados con la

ejecución y gestión de procedimientos que con una herramienta como la que se plantea en esta ponencia, se hubieran podido evitar.

- **Mejoras de la seguridad:** consecuencia de los siguientes factores.
 - *Reducción del error humano:* la herramienta cuenta con mecanismos para disminuir el error humano, por ejemplo, verificando que todos los pasos se han ejecutado y firmado o que las precauciones se han leído.
 - *Prevención de ejecución de procedimientos obsoletos:* lo cual puede suceder por una gestión deficiente de las copias controladas tanto en sala de control como fuera de ella. Con un sistema como la herramienta que se plantea, el procedimiento sólo existe en una única base de datos por lo que todas las modificaciones se llevan a cabo sobre la misma copia. Cuando dicha copia se aprueba, es la única existente en el sistema con posibilidad de ser ejecutada. Así, se evita que puedan coexistir por error diferentes versiones del mismo procedimiento.
 - *Reducción de la carga de trabajo del personal de operación:* las tareas del personal de operación, tanto asociadas a la ejecución como a la revisión posterior, así como la actualización de procedimientos, se pueden llevar a cabo de forma más segura y eficiente.
 - *Aumento de la coordinación del turno de operación:* la herramienta centraliza la información relativa a las ejecuciones de procedimientos operativos en curso. Esta información es accesible a todo el personal del turno, por lo que contribuye a una mejor coordinación de estas personas.

El objetivo final del Sistema de Procedimientos Computarizados es contribuir a la reducción del error humano y, por ende, a la seguridad de la planta, promoviendo la excelencia en la operación.

2.2. Gestor de alarmas y avisos de operación

Actualmente, los operadores en las salas de control de las centrales nucleares híbridas operan con las alarmas que aparecen en los paneles de alarmas y las alarmas que derivan de los sistemas digitales, instalados con posterioridad. Esto da lugar a una serie de inconvenientes; entre los que se encuentran los siguientes:

- *Diferente disposición física de las alarmas:* los operadores conviven con las alarmas presentadas en paneles de alarmas (alarmas convencionales) con las alarmas que aparecen en los sistemas de control recientemente instalados para mejorar el control de alguno de los sistemas de planta (alarmas en un puesto de operación). Por ello, se pierde perspectiva lo que puede dar lugar a distracciones por parte del operador, disminuyendo o dificultando su capacidad de respuesta.
- *Diversos criterios de definición de alarmas:* inicialmente, durante el diseño y construcción de las plantas, los ingenieros de sistemas definieron una serie de alarmas con unos criterios predefinidos y uniformes; y se plasmaron en paneles de alarmas. A lo largo de la vida de la central, a medida que los equipos y componentes se quedaron obsoletos, se sustituyeron por nuevos sistemas digitales. Dichos sistemas contaban con una serie de alarmas definidas por el fabricante del sistema, con criterios de definición de alarmas diferentes a los establecidos por los ingenieros de sistemas en el diseño de la central. Por ello, con la introducción de estos nuevos sistemas digitales, el número de alarmas aumentó exponencialmente. Finalmente, en la situación actual conviven las alarmas de

panel con todas las alarmas proporcionadas por los sistemas digitales, definidas con criterios totalmente diferentes a las primeras.

- *Alarmas duplicadas*: además de lo comentado anteriormente, algunas de las alarmas introducidas a posteriori en los sistemas digitales, ya estaban representadas en los paneles de alarmas y con puntos de tarado diferentes a los que actualmente poseen los sistemas digitales. Esto da lugar a alarmas duplicadas, incrementando la carga de trabajo del personal de operación puesto que deben reconocer y fijar ambas cuando dichas alarmas se activan en un determinado transitorio. Además, no solo se incrementa la carga de trabajo de los operadores, también ocurre que tener información redundante dificulta el diagnóstico rápido de los transitorios lo que puede llevar a cometer errores.

Todo ello, supone un gran reto para la supervisión puesto que los operadores deben centrar su atención tanto en las alarmas digitales (asociados a los sistemas digitales introducidos) como en las alarmas de los paneles convencionales.

Por otra parte, los sistemas de alarmas existentes no resuelven este gran reto al que se enfrentan las centrales híbridas. Tecnatom, conocedor de estos problemas y apoyándose en el conocimiento de la operación y de la Ingeniería de Factores Humanos, ha diseñado un sistema para la gestión de las alarmas y los avisos de operación. Dicho sistema se sustenta sobre la *Metodología de Priorización de Filtrado de Alarmas*, también desarrollada por Tecnatom.

2.2.1 Descripción del sistema

El gestor de alarmas y avisos de operación que se propone, se centra en solucionar las necesidades de las centrales híbridas. Concretamente, el sistema se apoya en los siguientes cuatro pilares fundamentales:

- *Integración*: se agregan todas las alarmas que tienen lugar como consecuencia de cualquier transitorio de planta; tanto las alarmas que provienen de los paneles de alarmas como las que proporcionan los sistemas digitales. Para llevar a cabo un tratamiento de la información relevante y que aporte valor, es imprescindible tener todas las alarmas recogidas en una misma interfaz.
- *Priorización y Filtrado*: basándose en las experiencias y trabajos previos desarrollados por EPRI así como en la propia experiencia de Tecnatom de utilización de otros sistemas, se ha desarrollado su propia *Metodología de Priorización y Filtrado de Alarmas*. Aplicado dicha metodología, se uniformiza la categorización de las alarmas, resolviendo así el problema derivado de la aplicación de *diferentes criterios de definición de alarmas*, en las centrales nucleares híbridas.
- *Visualización*: una vez la información está integrada y tratada de forma uniforme, se define una interfaz de operación que ayuda a los operadores a visualizar la información relevante en relación con las alarmas. Concretamente, para las centrales híbridas se proponen dos pantallas para representar dicha información (ver Figura 2).
- *Operación*: por último, el gestor de alarmas y avisos puede llevar a cabo cálculos importantes para la operación que ayuden en el seguimiento de maniobras, permitir representar tendencias, acceso a información relevante, etc. Todas estas cuestiones que van más allá de la funcionalidad propiamente dicha de un el gestor de alarmas y avisos, se contemplan en este apartado.



Figura 2. Interfaz del Gestor de Alarmas y Avisos de Tecnatom

2.2.2. Ventajas principales

La ventaja más importante que ofrece el Gestor de Alarmas y Avisos es que está diseñado para resolver la problemática asociada a las alarmas de las centrales nucleares híbridas. Se plantea una solución integrada, hecha a medida para centrales híbridas y apoyada en el conocimiento de operación y de Ingeniería de Factores Humanos. Con ella, se resolverían los problemas citados anteriormente relacionados con la *diferente disposición física de las alarmas*, *los diversos criterios de definición de alarmas* y el inconveniente de *las alarmas duplicadas*.

2.3. Sistema de monitorización online y optimización de rendimientos

El Sistema de monitorización online y optimización de rendimientos (TecSOLCEP) forma parte de las soluciones desarrolladas en la línea de digitalizar la operación de las centrales nucleares con el objetivo de conseguir una operación optimizada y excelente.

Se trata de un sistema de optimización en línea y de contabilidad energética que ayuda a los operadores a identificar las desviaciones de rendimiento que tienen lugar durante la operación normal de la planta; y a elegir la mejor estrategia de operación posible según la condición operativa en que se encuentre la planta con el objetivo de optimizar al máximo la instalación.

2.3.1. Descripción del sistema

TecSOLCEP permite la monitorización online del rendimiento de una central nuclear comparando el rendimiento real proporcionado por la instrumentación de planta con el rendimiento teórico de la misma proporcionado por un modelo hecho a medida para cada planta; identificando los sistemas y/o equipos donde se está perdiendo eficiencia. Las desviaciones individuales de cada sistema, componente y parámetro operativo contribuyen a aumentar a la desviación global de la potencia máxima.

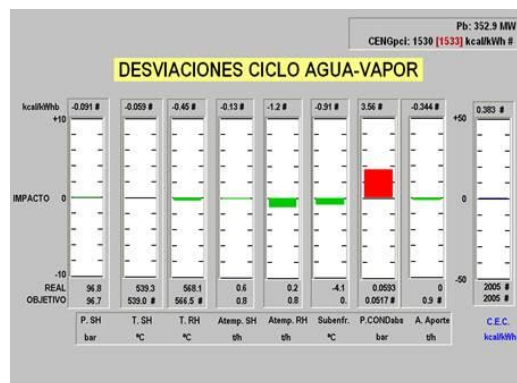


Figura 3. TecSOLCEP

Finalmente, dicha pérdida de rendimiento se representa tanto en unidades de potencia (megavatios) como monetarias lo que facilita la toma de decisiones según la estrategia de operación que se persiga.

En relación con ello, TecSOLCEP integra un simulador de estacionarios (*what if*) para la simulación de diferentes estrategias de operación, lo que facilita la toma de decisiones a la operación de la planta.

Por otra parte, una vez se identifican los problemas más relevantes por los que la planta está perdiendo eficiencia, TecSOLCEP permite hacer un diagnóstico de la situación de la planta e identificar las posibles causas de la pérdida y se proporcionan soluciones para solventarlas.

2.3.2. Ventajas principales

Los beneficios principales asociados a la implementación de esta herramienta, son los siguientes:

- **Visión Integrada:**
 - De la potencia: una de las principales ventajas que proporciona esta herramienta es una visión integrada de la planta desde el punto de vista de optimización del rendimiento. Sin la herramienta se puede llegar a identificar una disminución de potencia comparando la potencia real con la potencia objetivo por no se puede ir más allá. Con TecSOLCEP, no sólo se puede identificar la procedencia de esa pérdida, las posibles causas y sus potenciales soluciones, sino que se pueden simular otras condiciones operativas y ayudar al operador a identificar la mejor estrategia de operación. El objetivo final es optimizar tanto cada sistema individualmente como la operación global de planta todo ello de forma on-line.
 - De las tareas de Operación y Mantenimiento: TecSOLCEP ayuda en la toma de decisiones conjunta integrando tanto la visión de operación como del mantenimiento de equipos.
- Ayuda a la toma de decisiones: por otra parte, TecSOLCEP no sólo hace un diagnóstico técnico de la situación de la planta, sino también un análisis económico.

3. CONCLUSIONES

En la búsqueda de la excelencia a través de la introducción de soluciones digitales y en base a la experiencia de Tecnomat en este campo, se demuestra que mejoran la seguridad y la eficiencia de las centrales nucleares.

Cada una de las herramientas presentadas en este trabajo individualmente, aportan un valor diferencial y contribuyen a optimizar la operación y la seguridad de las plantas. Sin embargo, el verdadero valor reside en la integración de todas ellas en una solución única, que permita la interconectividad e intercambio de datos entre ellas, ya que contienen información que está interrelacionada entre sí.

La aplicación eficiente de la tecnología debe proporcionar soluciones específicas para facilitar la gestión de cada una de ellas, a la vez que proporciona un sistema interconectado que facilita al operador centrar su tiempo y su atención en aquellos aspectos más importantes de la operación donde su aportación es crítica para la seguridad de la planta, permitiendo a su vez conseguir ahorros en tiempo.

REFERENCIAS

1. EPRI 1015313, “Computerized Procedures. Design and Implementation Guidance for Procedures, Associated Automation and Soft Controls”, Electric Power Research Institute. (2007).
2. IEC 62646, “Nuclear power plants. Control rooms. Computer-based procedures”, International Electrotechnical Commission (2016).
3. EPRI TR-1003662, Technical Report “Alarm Processing Methods – Improving Alarm Management in Nuclear Power Plant Control Rooms”, Electric Power Research Institute (November 2003).
4. EPRI TR-1010076, “Advanced Control Room Alarm System: Requirements and Implementation Guidance”, Electric Power Research Institute (December 2005).
5. IEC 62241, “Nuclear power plants – Main control room – Alarm functions and presentation”, International Electrotechnical Commission (2004-11).
6. ASME, PTC PM-1993 “Performance Monitoring Guidelines for Steam Power Plants”, American Society of Mechanical Engineers (2010).