

SIMULACIÓN DEL CIRCUITO SECUNDARIO CNAT PARA MEJORA DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO



DAVID DE CASTRO GARCÍA

Ingeniero/Desarrollador de Software
EMPRESARIOS AGRUPADOS
INTERNACIONAL



RAÚL AVEZUELA

Simulation Engineer
EMPRESARIOS AGRUPADOS
INTERNACIONAL



BERNARDO DE BLAS

Software Engineer
EMPRESARIOS AGRUPADOS
INTERNACIONAL

El uso de modelos teóricos o simuladores se ha convertido en una práctica cada vez más extendida y fundamental en diversos campos de la ingeniería, y particularmente en el ámbito de la energía nuclear. Estos modelos permiten realizar comparaciones entre valores reales de diferentes sistemas y valores teóricos esperados, lo que resulta invaluable para la monitorización, diagnóstico y mejora continua de las operaciones en plantas nucleares.

Empresarios Agrupados ha liderado este movimiento en la industria nuclear, dedicando esfuerzos considerables al desarrollo de herramientas de simulación avanzadas. A lo largo de los últimos años, la empresa ha logrado obtener modelos teóricos precisos y sofisticados para una variedad de sistemas críticos. Este esfuerzo ha culminado en la integración de estos modelos en una única plataforma de simulación llamada EcosimPro, proporcionando así una solución robusta y versátil para la evaluación y optimización de sistemas nucleares complejos.

Entre los logros más destacados de Empresarios Agrupados se encuentran los modelos teóricos desarrollados para los circuitos secundarios de las centrales nucleares Almaraz U1 & U2 (CNA) y Trillo (CNT). Estos modelos representan un avance significativo en la capacidad de entender y predecir el comportamiento de estos sistemas críticos, lo que se traduce en mejoras tangibles en la eficiencia operativa y la seguridad de las instalaciones nucleares.

El proyecto en cuestión tiene como objetivo principal el desarrollo de una herramienta integral capaz de realizar tareas de monitorización y diagnóstico en tiempo real de los

circuitos secundarios de CNA y CNT. Esta herramienta no solo permite un seguimiento continuo del estado operativo de la planta, sino que también facilita la comparación con el comportamiento teórico esperado. Esto es crucial para la identificación temprana de posibles degradaciones y la implementación ágil de medidas correctivas para mejorar el rendimiento y la fiabilidad de las centrales nucleares.

La importancia de esta herramienta radica en su capacidad para proporcionar una visión general del funcionamiento de las centrales nucleares, integrando datos operativos en tiempo real con modelos teóricos avanzados. Esto permite a los operadores e ingenieros tomar decisiones informadas y proactivas para garantizar la seguridad y eficiencia de las instalaciones nucleares, al tiempo que se minimizan los riesgos operativos y se optimiza el rendimiento a largo plazo.

En resumen, el desarrollo de herramientas de simulación avanzadas como la descrita en este proyecto es fundamental para impulsar la innovación y la excelencia en la industria nuclear. Al aprovechar el poder de los modelos teóricos y la tecnología de simulación, multitud de empresas del sector nuclear están liderando el camino hacia un futuro más seguro, eficiente y sostenible en la generación de energía nuclear.

MODELO ECOSIMPRO

La base de los modelos desarrollados para simular el comportamiento de los circuitos secundarios de las centrales nucleares Almaraz U1 & U2 (CNA) y Trillo (CNT) reside en la plataforma de simulación EcosimPro. Esta herramienta versátil ha sido fundamental en la creación de modelos preci-

sos y sofisticados que permiten calcular el balance térmico de estas instalaciones.

El proceso de desarrollo de estos modelos comienza con la recopilación meticulosa de datos técnicos de los componentes que componen los circuitos secundarios. Estos datos incluyen características detalladas de equipos como intercambiadores de calor, turbinas, condensadores y otros elementos clave que influyen en el funcionamiento térmico de la planta. Una vez recopilados, estos datos se integran cuidadosamente en el entorno de desarrollo de EcosimPro.

El modelo resultante se convierte en una representación virtual altamente precisa de la planta, capaz de calcular el funcionamiento teórico de la misma a partir de un conjunto reducido de parámetros de entrada. Estos parámetros son medidas reales tomadas directamente de las plantas nucleares, lo que garantiza que el modelo esté calibrado y ajustado para reflejar con precisión las condiciones operativas actuales.

Sin embargo, dado que no todas las variables de proceso pueden ser medidas directamente, el modelo también incorpora algoritmos sofisticados para estimar estas variables en función de los datos disponibles y las relaciones físicas y termodinámicas conocidas. Esto garantiza que el modelo pueda proporcionar una representación completa y detallada del comportamiento de la planta, incluso en ausencia de mediciones directas de ciertas variables.

El resultado final es un modelo computacionalmente robusto y altamente fiable que permite simular el comportamiento de los circuitos secundarios de CNA y CNT con un alto grado de precisión y detalle. Esta capacidad no solo facilita la comprensión del funcionamiento térmico de las plantas,

sino que también proporciona una herramienta invaluable para la optimización del rendimiento y la identificación de posibles áreas de mejora en la operación de las instalaciones nucleares.

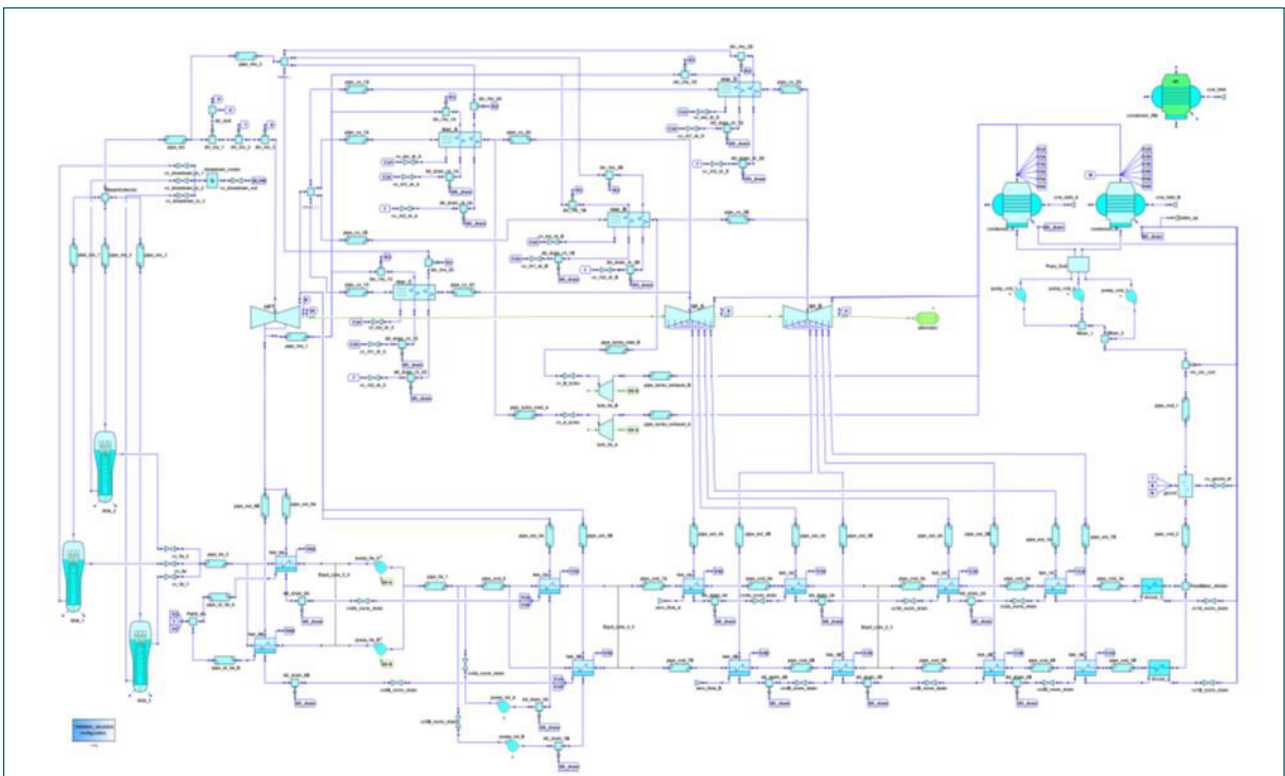
El uso de EcosimPro como plataforma de desarrollo para los modelos de simulación de los circuitos secundarios de CNA y CNT es un testimonio de la capacidad de esta herramienta para abordar los desafíos más complejos en el campo de la ingeniería nuclear. Al integrar datos técnicos detallados con algoritmos avanzados de estimación, estos modelos proporcionan una herramienta poderosa y precisa para la evaluación y optimización de las operaciones en plantas nucleares, contribuyendo así a la seguridad, eficiencia y fiabilidad.

Parámetro de entrada al modelo

Los modelos de los circuitos secundarios de CNA y CNT en EcosimPro dependen de una serie de parámetros de entrada fundamentales que son medidas directas de variables clave de la planta. Estos datos, esenciales para la precisión y fiabilidad de las simulaciones, son actualizados en tiempo real, con una frecuencia de actualización que garantiza la representación más precisa posible del comportamiento de la planta en cada momento.

Las variables de entrada para el modelo de CNA incluyen:

- Potencia térmica aportada por el reactor
- Presión de vacío del condensador.
- Flujo de Purgas del Generador de Vapor.
- Presión atmosférica.
- Presión de vapor a la salida del Generador de Vapor.



- Temperatura de entrada del Sistema de agua de Circulación (CCW).
- Velocidad de la turbobomba del Sistema de agua de alimentación principal.

Por otro lado, los parámetros de entrada para el modelo de CNT son similares e incluyen:

- Potencia térmica aportada por el reactor.
- Presión de vacío del condensador.
- Flujo de Purgas del Generador de Vapor.
- Presión atmosférica.
- Presión de vapor a la salida del Generador de Vapor.

La actualización en tiempo real de estos parámetros de entrada es esencial para garantizar la precisión y relevancia de las simulaciones realizadas por los modelos de EcosimPro. Esta capacidad permite a los operadores e ingenieros de planta tener una comprensión actualizada y detallada del comportamiento de la planta en todo momento, lo que facilita la toma de decisiones informadas y la implementación de medidas correctivas en caso de desviaciones o anomalías en el funcionamiento de la planta.

Variables de salida simuladas por el modelo

Una vez que la herramienta de simulación ha llevado a cabo los cálculos pertinentes, el modelo resultante es capaz de generar una amplia gama de variables de proceso que describen el comportamiento del circuito secundario de las centrales nucleares. Estas variables proporcionan una visión detallada y exhaustiva de todos los aspectos relevantes del sistema, desde la presión y la temperatura hasta el caudal y la potencia, en puntos estratégicos a lo largo del circuito.

Sin embargo, en el marco específico del proyecto de monitorización, se seleccionan cuidadosamente solo algunas de estas variables simuladas para su análisis y seguimiento continuo. Esta selección se basa en la relevancia de las variables para los objetivos del proyecto y la capacidad operativa de los sistemas de adquisición de datos existentes en las plantas nucleares.

Las variables simuladas se agrupan en categorías que incluyen datos de presión, temperatura, caudal y potencia, capturando así los aspectos fundamentales del rendimiento y la operación del circuito secundario en ambas centrales nucleares. Estos datos se recopilan en puntos estratégicos del sistema, seleccionados por su importancia en la evaluación del funcionamiento y la eficiencia de la planta.

Por ejemplo, se pueden monitorizar la presión y temperatura en la entrada y salida del generador de vapor, el caudal de agua de refrigeración en diferentes puntos del circuito, o la potencia térmica generada por el reactor nuclear. Estos datos proporcionan una instantánea precisa del estado operativo de la planta en todo momento, lo que facilita la detección temprana de posibles desviaciones o anomalías que puedan requerir atención por parte del personal de operaciones.

Aunque el modelo de simulación es capaz de generar una gran cantidad de variables de proceso, en el contexto del

proyecto de monitorización se centra en un conjunto específico de datos clave. Estos datos, relacionados con la presión, temperatura, caudal y potencia en puntos de interés del circuito secundario, ofrecen una visión completa y detallada del rendimiento de las centrales nucleares, permitiendo así una gestión eficiente y proactiva de las operaciones.

Descripción de la herramienta

La herramienta desarrollada, representa un avance significativo en la capacidad de monitorización y análisis de los sistemas de las centrales nucleares. Esta herramienta se compone del modelo/simulador descrito anteriormente, el cual ha sido integrado cuidadosamente en la plataforma ID-BOX para permitir la explotación eficiente de los resultados obtenidos.

La funcionalidad principal de esta aplicación es la realización de análisis comparativos de una serie de variables de interés, basados en medidas reales de planta versus los resultados generados por simulaciones con el modelo teórico de EcosimPro. Esto se traduce en la capacidad de proporcionar información gráfica del rendimiento real del sistema y su comparación con el comportamiento esperado a nivel preliminar, lo que facilita una comprensión clara y rápida del estado operativo de la planta.

A través de esta nueva herramienta, los usuarios pueden realizar un seguimiento sencillo del estado operativo de la planta y compararlo con el estado teórico de comportamiento.

Una característica destacada de esta herramienta es su capacidad para cargar datos históricos registrados en la planta, lo que permite una comparativa detallada con el modelo teórico disponible de simulación. Esto proporciona una perspectiva invaluable para comprender la evolución del rendimiento de la planta a lo largo del tiempo y para identificar tendencias emergentes que podrían afectar a su funcionamiento.

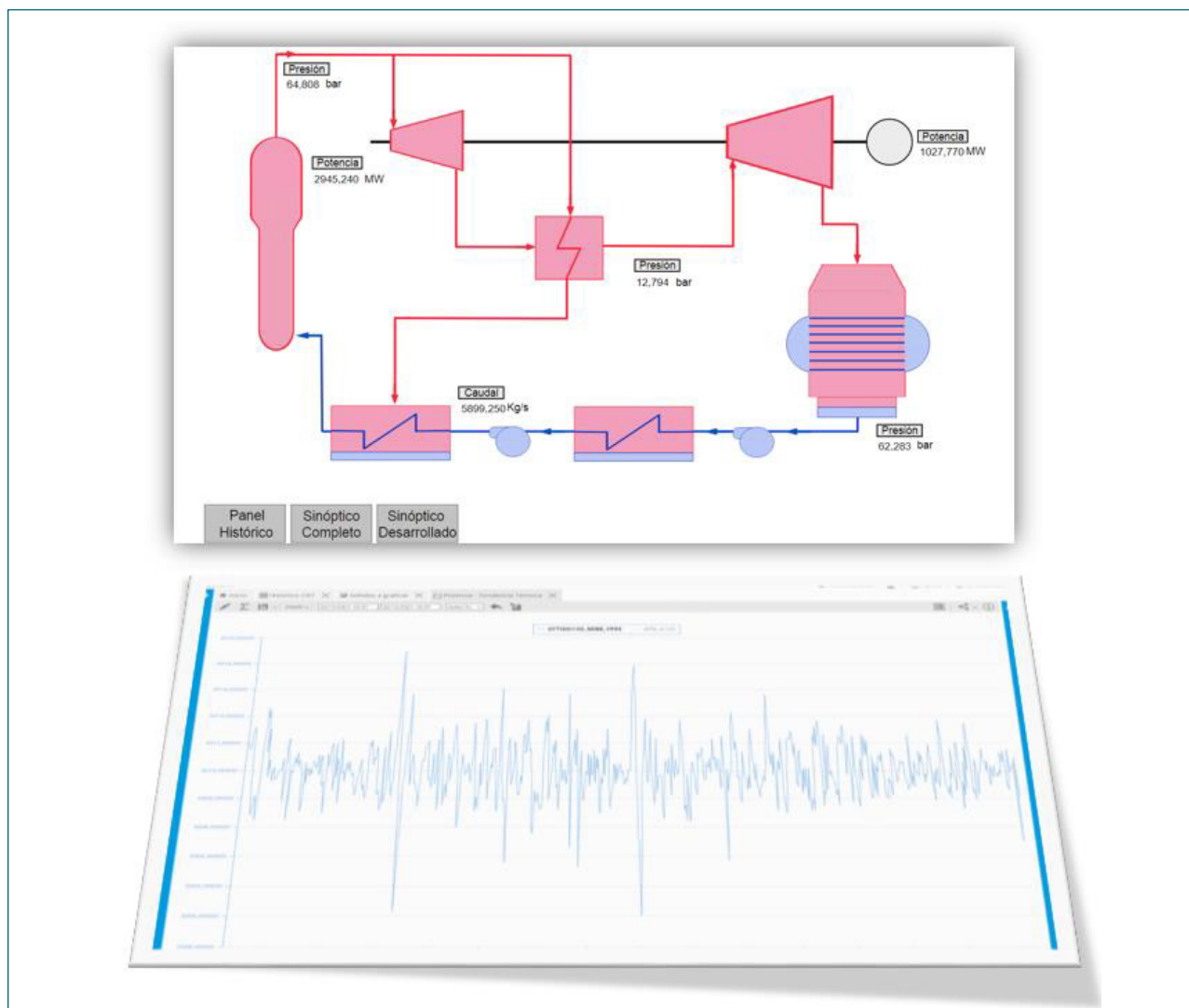
Además, la herramienta dispone de un modo predictivo "what-if", que permite a los usuarios realizar simulaciones teóricas del comportamiento de la planta al variar determinados parámetros principales de operación. Esto proporciona una valiosa capacidad de anticipación, permitiendo explorar diferentes escenarios y tomar decisiones informadas para optimizar el rendimiento y la seguridad de la planta.

Los tres modos de uso de la herramienta son:

- **Modo histórico:** Permite cargar datos históricos registrados en la planta para su comparativa con el modelo teórico disponible de simulación.
- **Modo monitorización:** Facilita un seguimiento continuo del estado operativo de la planta y la comparación con el comportamiento teórico esperado.
- **Modo predictivo:** Habilita la realización de simulaciones teóricas del comportamiento de la planta, permitiendo a los usuarios explorar diferentes escenarios operativos y anticipar posibles problemas.

Modo histórico

El modo histórico proporciona una herramienta para analizar la evolución temporal de variables de planta a lo largo del



tiempo. Este modo permite representar de manera clara y concisa la historia operativa de la planta, leyendo la información de diversas fuentes de almacenamiento de datos de planta disponibles.

La visualización de estos datos históricos se realiza a través de una serie de gráficas de tendencia, que muestran la evolución de las variables clave a lo largo de varios años. Estas gráficas ofrecen una perspectiva única sobre cómo han variado las condiciones operativas de la planta con el tiempo, lo que puede proporcionar información invaluable para comprender patrones, identificar tendencias y evaluar el rendimiento histórico de la planta.

Al recopilar datos de diferentes fuentes de almacenamiento de datos de planta, el modo histórico permite una representación completa y exhaustiva de la evolución temporal de las variables de interés. Esto incluye datos recopilados no solo durante períodos cortos, sino a lo largo de varios años, lo que proporciona una visión a largo plazo del comportamiento de la planta y su respuesta a diferentes condiciones operativas y eventos externos.

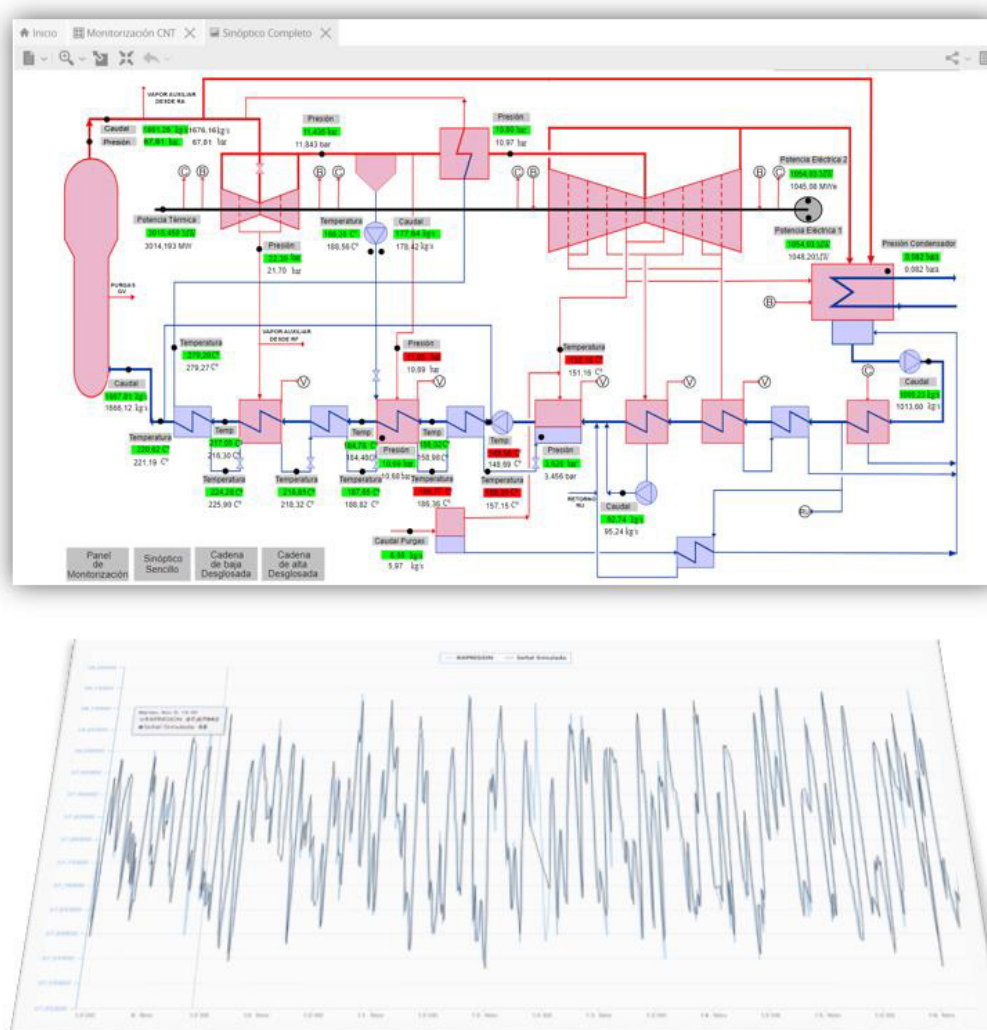
Modo monitorización

En el modo de monitorización, se realiza una comparación

exhaustiva entre el funcionamiento en tiempo real de la planta y las predicciones proporcionadas por el modelo. Para ello, se compara directamente las señales obtenidas de la planta con los resultados de la simulación ejecutada por el modelo de EcosimPro. Es importante destacar que, para llevar a cabo esta comparativa, se requiere el preprocesamiento de ciertos valores de planta para extraer la información necesaria para el modelo.

Desde este modo, los usuarios tienen la capacidad de visualizar información histórica en conjunción con los valores simulados por el modelo. Esto significa que pueden observar la evolución de variables clave a lo largo del tiempo y comparar cómo se han comportado realmente en la planta con las predicciones del modelo.

Para llevar a cabo esta comparación, el usuario puede llamar al modelo para calcular el funcionamiento del sistema dentro de un rango de fechas definido o en tiempo real, según sus necesidades específicas. Los resultados de esta comparativa se presentan de manera clara y accesible, permitiendo a los operadores y personal de planta identificar posibles desviaciones entre el funcionamiento real y las predicciones del modelo.



Los resultados de la comparativa se muestran a través de:

- Gráficas de análisis estadísticos de las diferencias entre los resultados del modelo y las variables medidas
- Sinópticos o esquemáticos con la comparación de las señales de planta contra los resultados del modelo.
- Posibles mensajes de alarma cuando se detecta que ciertas variables se alejan del comportamiento estimado por el modelo.

Modo predictivo

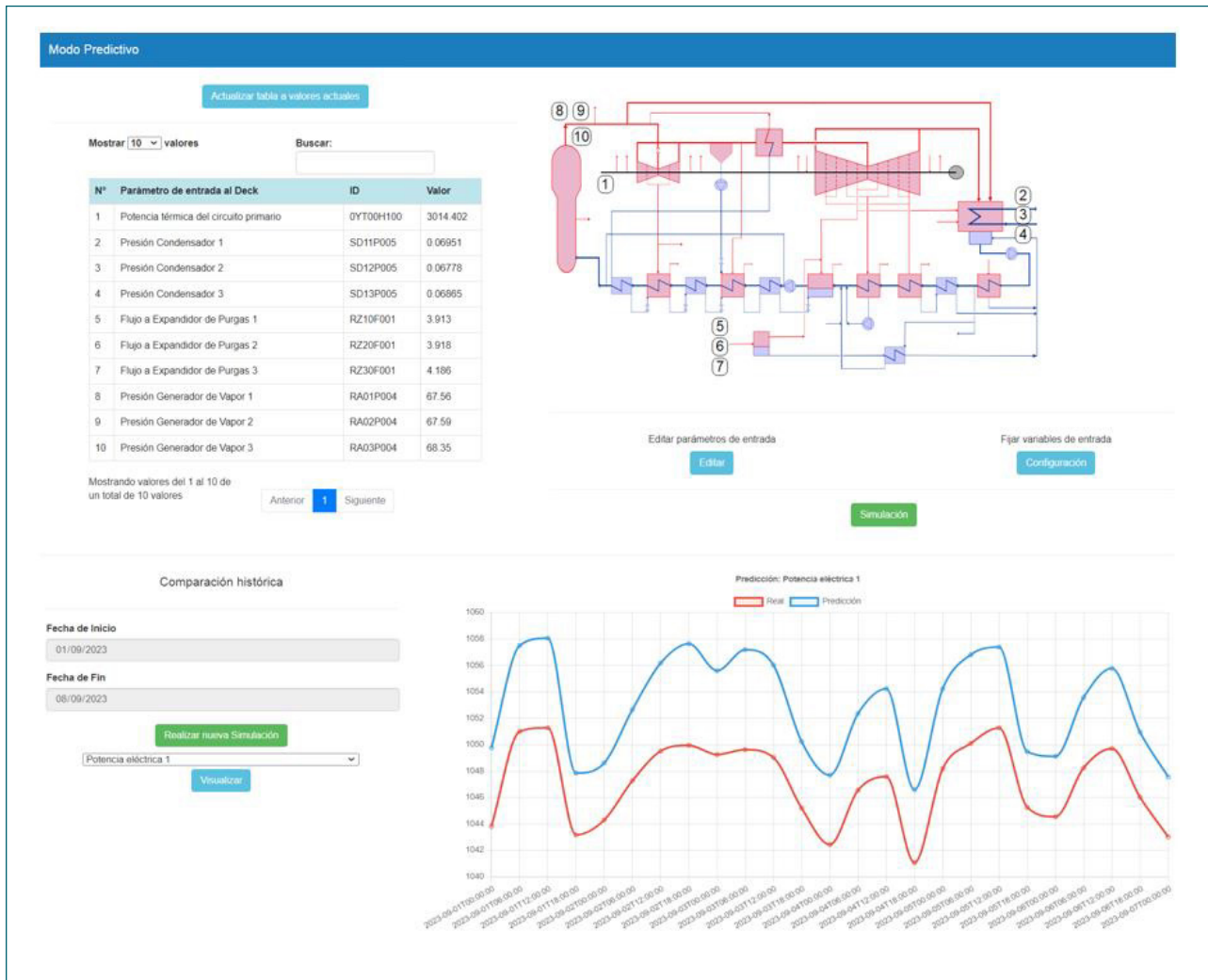
El modo predictivo es una herramienta que permite a los usuarios explorar diferentes escenarios operativos y anticipar posibles problemas en las centrales nucleares. A través de esta aplicación, los usuarios tienen la opción de introducir datos de entrada al modelo y visualizar los resultados obtenidos, lo que les proporciona una valiosa perspectiva sobre el comportamiento futuro de la planta bajo diferentes condiciones de operación.

Los valores configurables en este modo son diversos y abarcan una amplia gama de parámetros clave que influyen en el rendimiento y la operación de la planta. Estos incluyen:

- Potencia térmica / Caudal FW (de forma excluyente).
- Presión de vacío del condensador.
- Caudales de purgas de los Generadores de Vapor.
- Temperatura de entrada del Sistema de agua de Circulación (CCW).
- Velocidad de Turbobomba del Sistema de agua de alimentación principal.

Una vez que se han introducido estos datos de entrada, se ejecuta el cálculo y se muestran distintos escenarios que representan posibles condiciones futuras de operación de la planta. Además, se generan gráficos que permiten la comparación de los valores obtenidos por la simulación con respecto a valores de referencia de señales reales de planta, lo que facilita la identificación de posibles desviaciones o anomalías que requieran atención por parte del personal de operaciones.

En resumen, el modo predictivo ofrece a los usuarios una herramienta poderosa y flexible para explorar diferentes escenarios operativos y anticipar posibles problemas en las centrales nucleares. Al permitir la introducción de datos de



entrada configurable y la visualización de resultados comparativos, esta herramienta proporciona una valiosa capacidad de planificación y toma de decisiones para optimizar el rendimiento y la seguridad de la planta.

CONCLUSIONES

Con el uso de esta herramienta de monitorización y predicción, se facilita en gran medida el seguimiento del estado operativo de la planta. Gracias a la visualización en tiempo real de los valores de presión, caudal, temperatura y potencia en cada uno de los puntos críticos del circuito secundario de las centrales nucleares Almaraz y Trillo, los operadores pueden mantener una vigilancia constante sobre el funcionamiento de los sistemas.

La capacidad de visualizar esta información de manera rápida y efectiva a través de diferentes gráficas y esquemáticos proporciona a los usuarios una herramienta invaluable para identificar cualquier anomalía o detalle fuera de lo común en el funcionamiento de la planta. Además, la inclusión

de funcionalidades como el "Modo Predictivo" permite a los usuarios explorar diferentes escenarios y comparar los resultados con datos históricos, lo que proporciona una valiosa perspectiva para la toma de decisiones operativas.

Esta herramienta no solo facilita la toma de decisiones al agregar datos de manera sencilla y rápida, sino que también hace un uso efectivo del "big data", aprovechando la gran cantidad de información disponible para generar insights y agregar valor al cliente. El ahorro en tiempo y la capacidad de prever posibles problemas en la planta hacen de esta aplicación una herramienta esencial para mejorar la eficiencia y la seguridad de las operaciones nucleares.

En conclusión, la combinación de monitorización en tiempo real, visualización efectiva de datos y análisis predictivo hacen de esta herramienta una solución eficaz para optimizar el rendimiento y la seguridad de las centrales nucleares Almaraz y Trillo. Su capacidad para proporcionar información detallada y procesable de manera rápida y eficiente la convierte en una herramienta muy útil. ■