

MODERNIZACION DEL SISTEMA DE CONTROL DEL REACTOR

Las centrales nucleares de Ascó y Vandellós han llevado a cabo durante 2015 y 2016 la modernización del sistema de control del reactor basado en la plataforma WDPF (Ascó) y W7300 (Vandellós), original de Westinghouse. La nueva plataforma Ovation ha supuesto una mejora sustancial que aporta mayor fiabilidad y robustez al sistema, además de dotar al operador de una Interfase Hombre-Máquina que permite centralizar la información de los procesos y facilitar su interpretación.

INTRODUCCIÓN

Entre finales de 2015 y durante todo 2016, ANAV ha llevado a cabo en las centrales de Ascó y Vandellós la fase final (implantación) de uno de los proyectos más significativos de los últimos tiempos en materia de modernización y mejora de los sistemas de control, el proyecto de sustitución del sistema de control del reactor y control de velocidad de la turbobomba de agua de alimentación principal (SCDR).

El SCDR forma parte del plan de modernización de los sistemas de control y supervisión de Ascó y Vandellós, puesto en marcha en 2008, y que contempla entre otros además del SCDR, la sustitución del control electrohidráulico de turbina (DEH), el control de nivel de la cadena de calentadores y tanques de drenaje (BOP), el ordenador de procesos (PC/SAMO), o el sistema de control de las torres de descarga al río Ebro. Dicho plan persigue los siguientes objetivos:

- Anticiparse a los problemas de obsolescencia de componentes.
- Evitar las degradaciones funcionales e indisponibilidades a corto plazo, minimizando así las intervenciones por parte de la Unidad de Mantenimiento.
- Unificar la tecnología permitiendo conectividad entre sistemas y simplificando la gestión de repuestos con la optimización del inventario al hacer uso de componentes comunes e intercambiables entre los sistemas de ambos emplazamientos.
- Modernizar la Interfase Hombre-Máquina (IHM) de la Sala de Control de manera que se le facilite al operador la interpretación de la información de procesos.

Si bien el objetivo final del proyecto SCDR es similar para ambas centrales, las bases de partida son diferentes en cada emplazamiento debido a que el sistema de control del reactor de Ascó, originalmente basado en la plataforma W7300, fue digitalizado en los años 1995 y 1996 con la instalación del sistema WDPF, no así la central nuclear de Vandellós que ha mantenido el sistema analógico W7300 hasta hoy. Esta base de partida marca diferencias en as-

pectos como el número de instrumentos nuevos a instalar en planta para posibilitar el cálculo de mediana de las variables de procesos que aportan redundancia y robustez al sistema ante indisponibilidades de equipos de medida, o las actuaciones en el sistema de protección derivadas de la eliminación del "disparo del reactor por bajo nivel de los generadores de vapor coincidente con desequilibrio de caudales vapor /agua". Estas actividades, que en la central nuclear de Ascó ya fueron llevadas a cabo durante la primera digitalización del sistema; en la central nuclear de Vandellós han sido acometidas durante la última recarga junto con la sustitución del W7300 por el sistema Ovation.

SISTEMA DE CONTROL DIGITAL DEL REACTOR

Los sistemas de control del reactor actúan para restablecer la operación en régimen permanente ante cualquier desequilibrio que se produzca en los procesos, previendo de la superación de los valores establecidos en las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento (ETF), y eventualmente de la actuación de los sistemas de protección del reactor. Los controles más significativos del sistema encargados de realizar estas funciones son:

- Sistema de control de presión del presionador.
- Sistema de control del nivel del presionador.
- Control de la temperatura media y Sistema de control de barras.
- Control del bypass de vapor o Steam Dump.
- Control de nivel de los generadores de vapor.

Con la modificación, estos controles, con excepción del control de nivel de los generadores de vapor como se verá más adelante, no se han visto modificados funcionalmente, limitando el cambio a la sustitución de la plataforma tecnológica pero manteniendo las estrategias de control así como su parametrización. Sin embargo, y aprovechando la mayor flexibilidad



GONZALO SÁEZ DE MONTAGUT REVENA

ASOCIACIÓN NUCLEAR
ASCÓ-VANDELLÓS II (ANAV)

En 2008 se incorporó a ANAV, donde continúa hoy gestionando los proyectos de I&C.

Ingeniero Industrial por la Universidad Pontificia de Comillas (ICAI) y graduado en el Máster en Dirección y Gestión de Empresas por IESE.



MARC BALDRICH CARCELLER

ASOCIACIÓN NUCLEAR
ASCÓ-VANDELLÓS II (ANAV)

En 2004 se incorporó a ANAV en el Departamento de Sistemas Digitales de Proceso colaborando en proyectos de I&C.

Ingeniero técnico de Telecomunicaciones por la Universidad Politécnica de Cataluña.

REACTOR DIGITAL CONTROL SYSTEM UPGRADE

Ascó and Vandellós nuclear power plants have carried out during the years 2015 and 2016 the upgrade of the reactor control system based on Westinghouse's original WDPF (Ascó) and W7300 (Vandellós) platform. The new Ovation platform has been a substantial improvement that brings greater reliability and robustness to the system, as well as providing the operator with a Human-System Interface that centralizes processes information and facilitates its the interpretation.

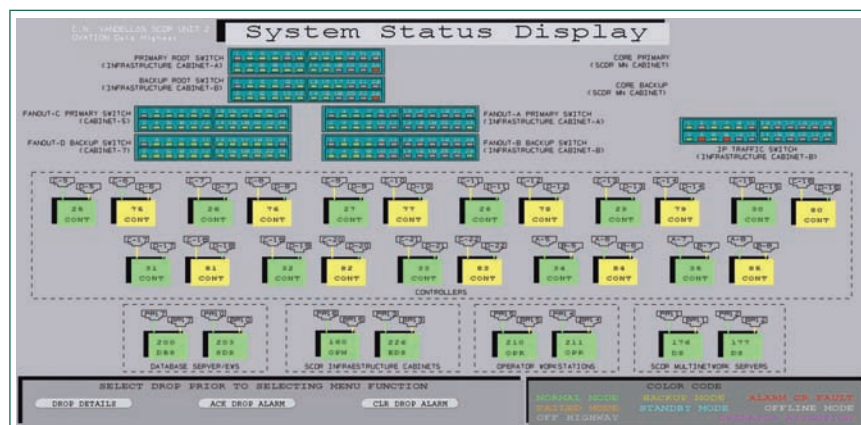
de gestión y procesamiento de señales del nuevo sistema Ovation, se han incorporado en el SCDR los lazos de control de aporte de N_2 e H_2 a tanques y acumuladores así como la monitorización de los caudales de refrigeración de las bombas de refrigerante del reactor. Estos lazos que anteriormente eran lazos locales, pasan a ser controlados por Ovation, proporcionando al operador en Sala de Control la información de proceso así como la opción de operación manual en caso de requerirlo.

Entre todos los cambios que se han realizado con la implantación del nuevo SCDR, se destaca la modificación de la estrategia de control de nivel de los generadores de vapor, el cambio de control de velocidad de las turbobombas (TBAAP) así como sus protecciones, y la nueva Interfase Hombre-Máquina.

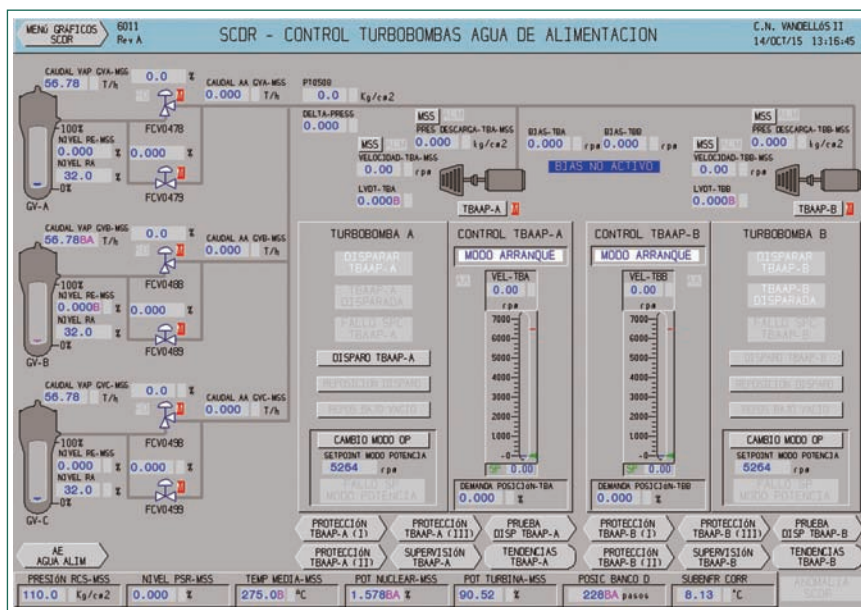
Sistema de control de agua de alimentación a los generadores de vapor

En el control de nivel de los generadores de vapor entran en juego la posición de las válvulas de agua de alimentación (AAP) así como la velocidad de las TBAAP. Con el sistema antiguo, la variable de proceso utilizada para determinar la posición de las válvulas era el nivel de rango estrecho de los generadores de vapor a la vez que la diferencia de caudales agua-vapor, mientras que la velocidad de las TBAAP se calculaba haciendo uso del Delta de presión entre vapor principal y el AAP.

Con esta estructura de controles en paralelo existía la posibilidad de que la demanda de velocidad no siguiese en el mismo sentido, o a la misma velocidad, a la demanda de posición de válvulas de AAP, entorpeciendo la actuación de un control sobre el otro a la hora de alcanzar la referencia de nivel establecida para los generadores de vapor. El SCDR modifica el sistema de control de posicionamiento de válvulas de AAP y el de velocidad de las TBAAP haciendo que ambos controles trabajen con el mismo parámetro de demanda de caudal obtenido a partir de las señales de rango estrecho y rango ancho de nivel, la diferencia de caudales de agua-vapor, y temperatura de AAP. La utilización de una misma variable para el cálculo de demanda de ambos controles permite una respuesta más rápida ante un transitorio al hacer trabajar las válvulas de AAP y las TBAAP en el mismo sentido. Además el sistema introduce ganancias varia-



System Status Display.



Control turbobombas. Agua de alimentación.

bles que proporcionan una respuesta más estable del sistema ante diferentes condiciones de planta, así como la incorporación del parámetro de rango ancho que proporciona una compensación anticipada del control a baja potencia. Con todo ello, el nuevo sistema de control proporciona una mejora operativa al permitir la operación en automático desde la transferencia de agua de alimentación auxiliar al 100% de potencia nominal, eliminando la intervención del operador tanto en la transferencia de válvulas de bypass a principales como en el paso de manual a automático de las TBAAP.

Sistema de protección de las TBAAP

Además de las mejoras incorporadas en el sistema de control, el sistema de protección de las TBAAP se ha visto modificado de la siguiente manera:

- Se ha instalado un controlador digital por cada TBAAP para el procesamiento de señales y generación de actuaciones de disparo.
- Se ha instalado un bloque de disparo electrohidráulico, o *Testable Dump Manifold* (TDM), que permite una lógica de disparo 2 de 3, con independencia tanto de los circuitos como de sus alimentaciones.
- Transmisores de presión en sustitución de los presostatos de los circuitos hidráulicos
- Tres sistemas de protección por sobrevelocidad independientes (DOPS, Ovation generado en tarjeta de I/O y Ovation a través del controlador) con alimentación redundante y sensores de velocidad dedicados.

La incorporación en el sistema de protección de una lógica de actuación 2 de 3, controladores redundantes para la generación de señales de



disparo de las TBAAP (sin contar las señales externas como, por ejemplo, aislamiento de agua de alimentación) y con suministro eléctrico independiente para cada canal, hace que este sistema aumente su robustez y fiabilidad ante fallos de equipos. Por otra parte, la sustitución del disparo de sobrevelocidad mecánico por tres disparos electrónicos proporciona mejoras operativas, no siendo necesario exponer a la TBAAP a la prueba de sobrevelocidad real (6.358 rpm), ya que el sistema electrónico permite modificar el *setpoint* de disparo y validar la prueba con disparos a velocidades menores. Por último, la sustitución de los antiguos presostatos por transmisores de presión posibilita realizar un seguimiento continuo del estado del sistema hidráulico, advirtiendo posibles derivas en su comportamiento y permitiendo una planificación de mantenimiento preventivo del sistema.

Interfase Hombre-Máquina (Estaciones de operación)

En el diseño original de las Salas de Control de Ascó y Vandellós, la interfase con los operadores del sistema de control del reactor se realiza a través de estaciones automático-manual, selectores de canal, y dispositivos de información tales como indicadores, registradores y ventanas de alarma distribuidos en consolas y paneles de Sala de Control. Ahora, con el SCDR, se incrementan los dispositivos de interfase con el operador del sistema de control introduciendo, en paralelo a la interfase original, una estación de trabajo para cada operador que integra toda la información de los sistemas, realizando una gestión centralizada de los procesos. Esta información se representa en sinópticos, diagramas lógicos, pantallas de alarmas, y demás aplicativos que permiten obtener un rápido diagnóstico del estado de

la planta y actuar en consecuencia cuando es requerido.

Para llevar a cabo el diseño de la nueva interfase se ha desarrollado un plan específico que permita utilizar herramientas y técnicas de diseño que tengan en cuenta el factor humano como desencadenante de errores, de tal forma que el diseño obtenido minimice al máximo la ocurrencia de esta tipología de error. Dicho plan se ha basado en la metodología del NUREG 711 *Human Factors Engineering Program Review Model*. La prueba final de que se ha realizado un diseño óptimo es, según el NUREG 711, llevando a cabo una validación de la interfase en el simulador de alcance integral. En dicha validación se ha puesto a prueba la interfase gráfica simulando escenarios a los que los operadores se exponen día a día en la planta, así como mal funciones y transitorios que requieren de una rápida identificación y actuaciones de repuesta. Del informe de la validación realizado por una empresa independiente se extrae la conclusión de que "el sistema es plenamente utilizable y ayuda al operador a realizar las tareas asociadas a los operadores, ya que le aporta recursos para que los operadores puedan desarrollar los elementos cognitivos que son las bases para la ejecución de las tareas de operación".

VENTAJAS QUE OFRECE EL NUEVO SISTEMA SCDR

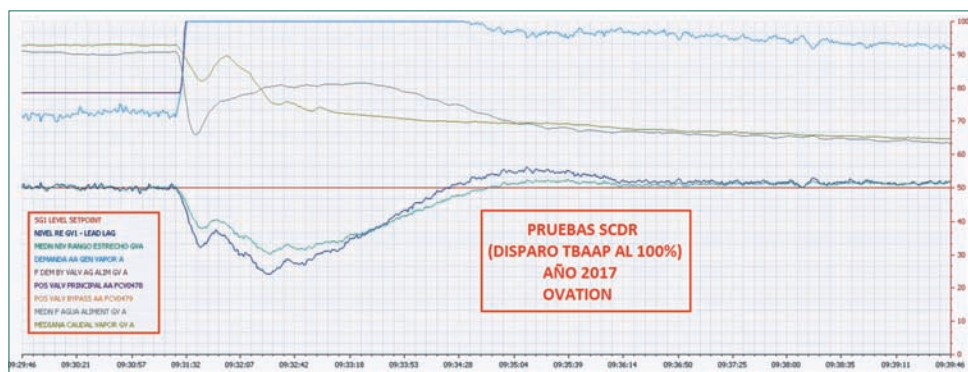
Las ventajas que ofrece el sistema SCDR se pueden sintetizar de la siguiente manera:

- Se mejora la fiabilidad y disponibilidad del sistema debido al incremento del nivel de redundancia tanto en la instrumentación como en los controladores que albergan la lógica de lazos de control y que permite mitigar la vulnerabilidad al fallo único.

- Desvincular la instrumentación del sistema de protección de la del control gracias a incorporación módulos de cálculo de mediana, lo que ha permitido la eliminación del disparo del reactor por bajo nivel de los generadores de vapor coincidente con desequilibrio de caudales vapor/agua.
- En caso de fallo de los controladores y sus redundantes, el sistema permite la actuación directa, e independiente de los controladores, de elementos de campo, posibilitando así el control del sistema hasta la recuperación del controlador inoperable.
- Modernizar la instrumentación de control de las TBAAP, así como sus protecciones, solucionando problemas de obsolescencia a la vez que se logra un sistema más robusto y fiable ante fallos de equipos.
- Se dota a la Sala de Control de una interfase gráfica que centraliza la información y permite la operación vía *software*, posibilitando una mejor interpretación del estado de planta.
- Se dispone de herramientas de autodiagnóstico que facilitan la identificación y diagnóstico de fallos del sistema.
- Se incorpora un sistema de alarmas con herramientas de filtrado y configuración de prioridades que permite una rápida identificación de anomalías en los procesos, aumentando la capacidad de respuesta del personal de planta para corregir dichas anomalías.
- Se minimizan las actuaciones manuales del operador, automatizando las operaciones más complejas y sensibles para evitar errores humanos.
- Con la mejora del comportamiento del control de nivel de los generadores de vapor se reduce la probabilidad de disparos del reactor, o transitorios severos en el primario, asociados a transitorios en el secundario de planta.

- Unificar la tecnología utilizada para los sistemas de supervisión y control de la planta.

- Conexión del SCDR vía multired con el sistema de supervisión *Plant Computer* y el sistema EDS para traspaso de información y alarmas y que permite la monitorización del sistema SCDR desde cualquier ordenador dentro de las instalaciones de ANAV (que disponga de los permisos activados).



Disparo de TBAAP.



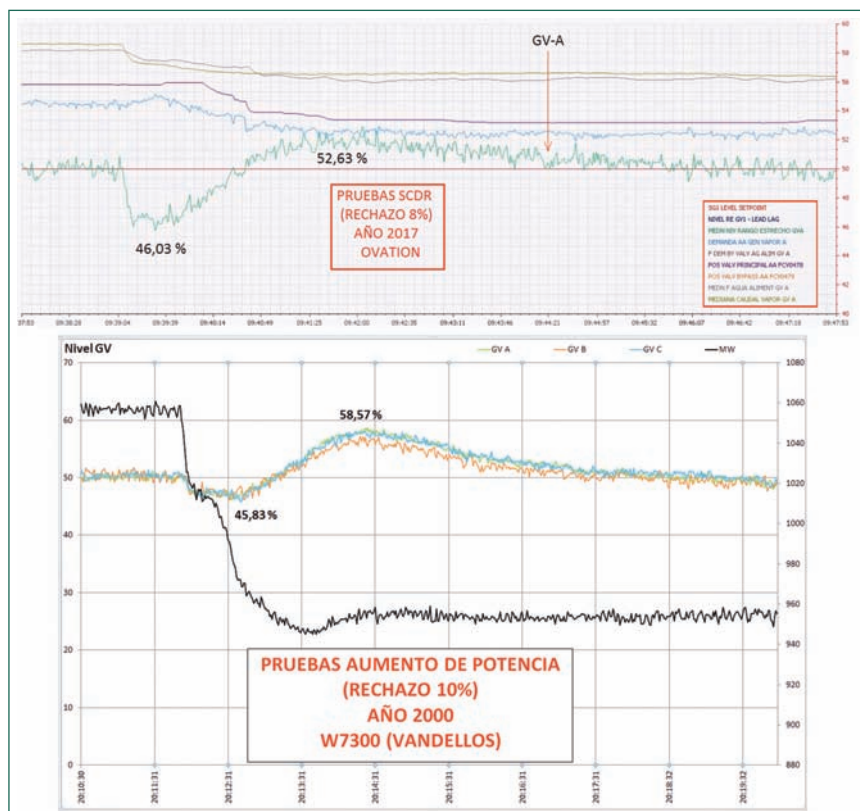
- Recuperar las tarjetas electrónicas del W7300 que puedan ser utilizadas para los aun operables sistemas W7300 (control del secundario y sistema de protección).

GESTION DEL PROYECTO

El proyecto del SCDR, como se ha dicho anteriormente, es uno de los proyectos más significativos de los últimos tiempos llevados a cabo en las instalaciones de Ascó y Vandellós, por ello la organización de ANAV ha puesto todos los recursos necesarios para lograr que el proyecto cumpliera con todos los objetivos marcados tanto en materia de plazos, costes y calidad de la documentación generada. Un factor decisivo en el éxito del proyecto ha sido contar desde un inicio con un equipo de profesionales dedicado a tiempo completo en la definición, desarrollo, montaje y puesta en servicio del sistema. Dicho equipo multidisciplinar formado por personal de ingeniería, mantenimiento, operación, licenciamiento y logística entre otros, ha permitido que ya desde una etapa muy temprana del diseño fuese posible identificar y minimizar los riesgos y debilidades que podrían afectar a cada una de las fases críticas del proyecto, como podían ser la solicitud de autorización, el montaje del sistema, la operación del mismo o su mantenibilidad. En este punto, hay que hacer una mención especial al buen trabajo de los profesionales de las empresas colaboradoras, que con su experiencia y esfuerzo han hecho posible que, con los ajustados plazos de tiempo de que se disponían, el proyecto del SCDR haya salvado todas las dificultades que han surgido durante su desarrollo.

En el plano temporal, los hitos remarcables del proyecto SCDR han sido los siguientes:

- **Junio de 2011.** Reunión de lanzamiento del proyecto C.N. Ascó 1&2 con el suministrador Westinghouse.
- **Octubre de 2012.** Reunión de lanzamiento del proyecto C.N. Ascó 1&2 con la ingeniería de diseño.
- **Octubre de 2014.** Reunión de lanzamiento del proyecto de C.N. Vandellós II con el suministrador Westinghouse y con la ingeniería de diseño.
- **Diciembre 2014.** Finalización del diseño de CN Ascó 1.
- **Abril 2015.** Envío del informe de solicitud de autorización al CSN de C.N. Ascó 1.
- **Junio 2015.** Finalización del diseño de C.N. Ascó 2.
- **Agosto 2015.** Inicio del montaje del SCDR en C.N. Ascó 1.



Rechazo de carga.

- **Octubre 2015.** Envío del informe de solicitud de autorización al CSN de C.N. Ascó 2.
- **Diciembre 2015.** Puesta en servicio del SCDR en C.N. Ascó 1.
- **Diciembre 2015.** Finalización del diseño de C.N. Vandellós II.
- **Marzo 2016.** Inicio del montaje del SCDR en C.N. Ascó 2.
- **Mayo 2016.** Envío del informe de solicitud de autorización al CSN de C.N. Vandellós II.
- **Junio 2016.** Puesta en servicio del SCDR en C.N. Ascó 2.
- **Julio 2016.** Inicio del montaje del SCDR en C.N. Vandellós II.
- **Diciembre 2016.** Puesta en servicio del SCDR en C.N. Vandellós II.

A continuación se detallan diversos indicadores que permiten cuantificar la dimensión del proyecto SCDR:

- La inversión en el proyecto SCDR ha supuesto el 7% de la inversión en modificaciones realizada por ANAV desde 2010.
- Se han invertido más de 50.000 horas de ingeniería (sin contar la ingeniería del suministrador de equipos) para emitir las tres modificaciones de diseño.
- En el momento de mayor carga de trabajo durante la fase de diseño han sido necesarios más de 30 ingenieros.
- Se han modificado más de 230 hojas de control por unidad.

- La modificación de diseño de las tres unidades, sin contar modificaciones en procedimientos, constaba de más de 30.000 hojas.
- Del total de las ordenes de trabajo emitidas durante la recarga, el 5% han correspondido al SCDR.
- Durante la fase de montaje de cada unidad se han visto involucradas directamente más de 130 personas.
- Se han instalado más de 80 Km de cable nuevo entre las tres unidades.
- Durante la implantación han participado más de 20 empresas colaboradoras.

CONCLUSIONES

Los proyectos de digitalización en los tres grupos nucleares de ANAV, Ascó 1 y 2 y Vandellós II han sido un éxito en cuanto al diseño, implantación y pruebas, no habiéndose producido ningún transitorio no esperado y las pruebas de rechazo de carga del 10% y 30% han resultado completamente satisfactorias y los lazos de control de nivel de los generadores de vapor han tenido un comportamiento excelente.

Este cambio pone a las Plantas de Ascó I y II y a Vandellós II, con la mejor tecnología disponible en el mercado para afrontar los futuros retos de operación de nuestras plantas. ■