

# PANEL DE PARADA ALTERNATIVA (PPA). CENTRAL NUCLEAR DE ALMARAZ

Entre los años 2010 y 2014 la central nuclear de Almaraz llevó a cabo uno de los proyectos más complejos en su historia: la instalación de un Panel de Parada Alternativa (PPA) con la capacidad de llevar la planta a parada en caso de incendio en la sala de cables o la sala de control. Este proyecto representó un gran esfuerzo económico y organizativo para la central, pero al mismo tiempo ha supuesto una gran mejora en la seguridad de la instalación, que fue demostrada con la consecución de un gran hito en la historia de Almaraz: la parada real desde fuera de la sala de control.

## INTRODUCCIÓN

En el año 2010, el Ministerio de Industria renovó el permiso de explotación de la central nuclear de Almaraz (en adelante, CNA) por 10 años. Como condición para esta renovación, CNA debía acometer mejoras en sus instalaciones y, entre éstas, uno de los más relevantes es el proyecto del Panel de Parada Alternativa (en adelante, PPA).

La central nuclear de Almaraz consta de dos unidades idénticas, gobernadas desde dos salas de control independientes que se sitúan, físicamente, en una estancia común. De la misma manera, todos los cables de control de equipos y de lazos de instrumentación que llegan a las salas de control, pasan previamente por una sala común a ambas unidades que se denomina como sala de cables.

La hipótesis de partida del proyecto PPA es que un incendio en cualquiera de las salas (de cables o de control) podría dejar ingobernable la central, pues afectaría a las dos redundancias (o "trenes") de ambas unidades al mismo tiempo.

El objetivo del proyecto consistía, por tanto, en la instalación de dos Paneles de Parada Alternativa (PPA) (uno por unidad) con la capacidad de llevar a la central a la situación de parada fría en caso de incendio en cualquiera de las salas ya mencionadas.

Se debe hacer notar que la probabilidad de un incendio masivo y

descontrolado en cualquiera de estas salas, es muy remota dado que se dispone de sistemas de detección y extinción de incendios, y presencia de personal 24 horas al día en la sala de control. No obstante, la implantación de los paneles de parada alternativa, capaces de detener la central desde fuera de la sala de control supondría una mejora muy sustancial de la seguridad de las instalaciones.

Aunque Almaraz ya dispone de paneles de emergencia, estos no están diseñados para hacer frente a circunstancias como las recogidas en las hipótesis de partida que dieron origen al proyecto PPA.

Además, el requisito del Consejo de Seguridad Nuclear (en adelante, CSN) exigía que se hiciese una prueba real de parada desde el PPA, comprobando que se puede mantener la central en una condición de "disponible caliente" y llegar finalmente a parada fría.

Este requisito supuso un gran reto para el personal de la central, pues esta maniobra no se había realizado anteriormente en ninguna central similar a Almaraz.

## INICIO DEL PROYECTO

En la primera fase del proyecto, se formó un grupo de trabajo con personal de los departamentos de operación, seguridad, ingeniería, combustible, experiencia operativa y factores humanos cuyo cometido fue el siguiente:

- Definir las funciones necesarias para la parada segura.



**JAVIER SÁENZ DE SANTA MARÍA VALÍN**

Jefe de la Sección de Planificación. Departamento de Ingeniería y Proyectos Especiales.

CENTRALES NUCLEARES ALMARAZ-TRILLO

Ingeniero industrial por la Universidad Pontificia de Comillas (ICA).

## ALTERNATIVE SHUTDOWN PANEL. ALMARAZ NUCLEAR POWER PLANT

Between 2010 and 2014 the Nuclear Power Plant of Almaraz conducted one of the most complex projects in its history: The installation of an Alternative Shutdown Panel with the capability to stop the plant in case of fire in the Control room or in the Cable room.

This project represented a great economic and organizational effort for the plant, but at the same time has been a great improvement in the safety of the installation, which was demonstrated by the achievement of a major milestone in the history of Almaraz: The actual shutdown from outside of the Control room.

- Identificar los sistemas y equipos necesarios para el cumplimiento de dichas funciones.

- Identificar aquellos circuitos requeridos para la operación o cuyo fallo pudiera causar una actuación espuria de los equipos necesarios para la parada segura.

Para el diseño se partió de varias hipótesis. Cabe destacar las siguientes:

- No se consideran otros accidentes o sucesos adicionales al incendio, salvo la pérdida de las alimentaciones eléctricas exteriores (aunque no se toma ventaja de la misma).
- No se requiere postular fallo único aleatorio adicional al incendio.
- La parada de los reactores se hace antes de abandonar la sala de control o localmente. También se habrán disparado las turbinas.
- Se considera que la parada segura es "Disponible caliente" y que, dentro de las 72 horas siguientes, se debe poder llegar a la situación de "Parada Fría".
- Se da crédito a la realización de acciones manuales en equipos locales.
- Las válvulas manuales y las tuberías no se ven afectadas por el incendio.
- Los instrumentos fallan en el peor de los modos posibles.
- Se postula la ocurrencia de sucesos espurios.

A partir de este conjunto de hipótesis, se realizaron múltiples análisis.

Por una parte, se definió un listado de equipos y sistemas necesarios para la parada segura que permitiesen controlar la reactividad, el inventario, la presión y la temperatura del circuito primario, así como también realizar la vigilancia de todo el proceso (instrumentación para la visualización de variables relevantes). Asimismo, se identificaron los sistemas soporte (eléctrico, aire comprimido, refrigeración y gasoil).

Por otra parte, se hicieron múltiples análisis de posibles sucesos espurios, así como análisis termohidráulicos para poder definir el tiempo en que era requerido actuar los equipos de planta. Gracias a estos estudios se pudieron determinar los equipos que debían poder controlarse desde el panel de parada alternativa y aquellos otros que podrían ser operados mediante acciones manuales locales.

Paralelamente a todos estos trabajos fue fundamental la realización de un análisis de la experiencia operativa, realizado en colaboración con



Figura 1.



Figura 2.

Westinghouse, que había participado en procesos similares en otras centrales de EE.UU. También se realizaron intercambios técnicos con la central de Santa María de Garoña.

## DISEÑO

Como ya se ha citado, los cables de control de equipos y de lazos de instrumentación que llegan a la sala de control, pasan previamente por una sala común a ambas unidades: la sala de cables. La hipótesis del proyecto es que un incendio en la sala de cables o en la sala de control dejaría ingobernable la central, pues afectaría a las dos redundancias de ambas unidades.

De lo anterior se deduce que es necesario instalar unos Paneles de Transferencia (en adelante, PT), cuya función es, en primer lugar, aislar los circuitos de control y de instrumentación de la salas para transferirlos al

PPA y, en segundo lugar, aislar aquellos otros circuitos que, si bien no se transfieren al PPA, requieren de aislamiento para evitar sucesos espurios y actuaciones indeseadas durante el proceso de parada.

El funcionamiento de los PT es el siguiente:

- En operación normal, los equipos se controlan desde la sala de control (Figura 1).
- En caso de incendio en las salas, los paneles de transferencia aíslan los circuitos de control (abriendo una serie de contactos) y los transfieren al PPA (cerrando otros contactos) (Figura 2).

Los PT son, por tanto, el elemento clave del diseño pues permiten que se pueda gobernar la planta desde el PPA, independientemente de lo que esté sucediendo en la sala de cables o en la sala de control.



Figura 3.



Figura 4.

Respecto a la instrumentación necesaria para la vigilancia de las variables relevantes, se duplicaron los instrumentos en origen, de manera que el incendio en las salas, no afectaría a las señales que se envíasen al PPA (Figura 3).

Sólo en los casos en que los instrumentos no se podían duplicar, la señal del instrumento original se envía, primero, al PPA y desde éste a la sala de control, pasando previamente por un aislador que protege el circuito en caso de incendio en la sala de control para que la señal no se pierda en el PPA (Figura 4).

El desarrollo de detalle de las Modificaciones de Diseño fue realizado por Empresarios Agrupados y llevó tres años de trabajo por un grupo de más de 30 ingenieros.

### EQUIPOS PRINCIPALES

El diseño del PPA y de los PT se hizo teniendo en cuenta las necesidades de los operadores y los criterios de Ingeniería de Factores Humanos. Se usó como

referencia la normativa NUREG700 de cara a diseñar la disposición de los componentes del PPA. La disposición de los indicadores y las manetas está agrupada por sistemas, con una diferenciación por colores para que el operador pueda encontrar fácilmente el sistema y el componente a operar o, bien, la variable a vigilar (Figura 5).

El diseño mecánico del PPA fue realizado por Empresarios Agrupados. Se fabricó una estructura muy rígida para que el panel no provocase amplificaciones en caso de sismo y asegurar, de este modo, que todos los componentes internos sufriesen lo mínimo posible. Internamente, existen conducciones para garantizar la separación mecánica de los cables de distintas redundancias (Figura 6).

Uno de los condicionantes de diseño del PPA es su estructura modular. Se proyectaron cuatro módulos para poder transportar el conjunto hasta su ubicación definitiva sin necesidad de abrir huecos en los muros de la cen-

tral, ni retirar equipos en el camino de transporte.

Un diseño tan compacto presentó múltiples complicaciones durante su ejecución y supuso un importante esfuerzo en la fase de fabricación y en el montaje en planta. En efecto, en la instalación el espacio interior es muy limitado pero, las características del PPA, permitieron realizar la implantación de los paneles sin interrumpir la operación normal. De este modo se pudo adelantar en los trabajos de cableado y conexionado. Así, el impacto del montaje del PPA durante la fase de recarga fue el mínimo posible.

Por su parte, los PT son cabinas de relés con una serie de manetas en el frente. Al actuar las manetas se energizan los relés que transfieren los controles al PPA y aíslan circuitos para evitar sucesos espurios provocados por el incendio (Figura 7).

El diseño de los PT permite, por un lado, realizar transferencias parciales (equipo por equipo) para la ejecución de pruebas o, por otro lado, una transferencia total para que, en caso de situación real, el operador pueda completar rápidamente esta transferencia. Ambos equipos fueron fabricados por Inabensa en su taller de Sevilla.

También se fabricaron unos prototipos que fueron ensayados en las instalaciones de Virlab, en Guipúzcoa, para verificar el comportamiento del conjunto y de los márgenes existentes sobre el sismo base de diseño (Figura 8).

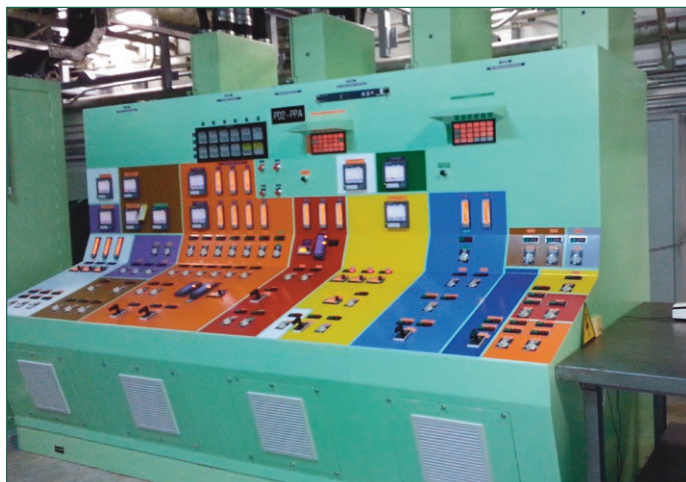


Figura 5.

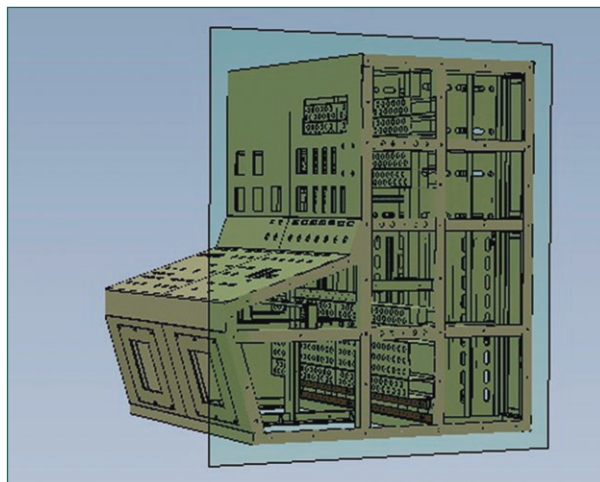


Figura 6.



Figura 7.



Figura 8.

## PLAN DE FACTORES HUMANOS Y FORMACIÓN EN SIMULADOR

El desarrollo de la PPA es un proyecto en el que la ingeniería de factores humanos tiene una importancia capital. Ya se ha mencionado que la interfaz hombre-maquina de los paneles se hizo de acuerdo a las directrices del NUREG 700, pero la participación de factores humanos no se limitó a esta parte.

Se hizo un análisis de funciones y tareas para verificar que los operadores dispondrían de todos los controles necesarios. También se ejecutaron varios simulacros de las acciones manuales a realizar, comprobando que el dimensionamiento de la plantilla era adecuado y que el personal tenía la formación y cualificación necesaria. Estos simulacros fueron, asimismo, de gran utilidad para el desarrollo de los procedimientos y en la elaboración de un programa de entrenamiento del personal de operación.

Para poder llevar a cabo la formación y el entrenamiento del personal

en el manejo del PPA, fue necesario fabricar una réplica que fue instalada en el simulador de alcance total que la central nuclear de Almaraz dispone en las instalaciones de Tecnatom.

El mayor reto que hubo que superar en la implantación y puesta a punto del simulador del PPA, fue el escaso plazo de tiempo de que se dispuso para tal fin. La preparación de los procedimientos de parada y el entrenamiento de los equipos de control de la CNA también adoleció de un plazo de tiempo muy ajustado, aunque se llevó a cabo con éxito. Las experiencias y observaciones de los operadores durante su entrenamiento en el simulador sirvieron para detectar problemas que condujeron a mejoras sustantivas del PPA y que fueron implantadas posteriormente en la central.

## INSTALACIÓN Y PRUEBAS

La fase de instalación y pruebas del proyecto PPA, supuso un gran reto para toda la organización de CNAT.

Se creó un grupo de montaje y pruebas, liderado por el Departamento de

Ingeniería de planta, que incluyó personal de las áreas de Mantenimiento Eléctrico, Instrumentación (I&C), Operación y Factores Humanos. Asimismo, contamos con la colaboración de un grupo de trabajadores de la central nuclear de Garoña que participaron en la labor de supervisión y pruebas realizadas por el Departamento de Ingeniería de la planta.

Durante el montaje del PPA, los turnos de operación de la planta se organizaron de manera que fuera posible liberar a un equipo completo de operadores que pudiera dedicarse con exclusividad al proyecto.

Se ejecutaron varias fases:

Durante la operación normal de la planta se ubicaron en su posición los paneles (PPA y PT), se adelantó el tendido de cables y conexionado entre el PPA y el PT. También se adelantó, en buena medida, el tendido de cables desde el PT hasta las cabinas de control de los equipos. Para hacerse una idea de la magnitud de los trabajos basta con decir que se tendieron 50 km de cables y se conectaron 35.000 puntas (Figura 9).



Figura 9.



Figura 10.



Posteriormente, durante la el periodo de recarga de la central se llevó a cabo la conexión de los cables en las cabinas de los equipos, la instalación de nuevos instrumentos y el tendido de cables hasta el PPA desde los mismos (Figura 10).

Terminada la instalación del PPA fue necesario realizar varios tipos de pruebas: pruebas de montaje y pruebas funcionales. Ambas se describen a continuación.

Las pruebas de montaje consistieron en un chequeo del correcto conexiónado de cada una de las puntas, megado de cables, medidas de continuidad, calibración de los instrumentos y alineamiento de los lazos. Se hacen pruebas simulando diferentes parámetros (como presión o temperatura) y verificando que el instrumento calibrado indica el valor correctamente en el PPA, coincidiendo la medida con la indicación presente en la sala de control principal.

Las pruebas funcionales consistieron, por una parte, en verificar la correcta operabilidad de cada uno de los componentes que se gobiernan desde el PPA, mediante la realización de transferencias parciales de los mismos; por otra parte, se comprobó que era imposible gobernar estos componentes desde sala de control una vez realizada la transferencia.

También se comprobó el funcionamiento de bombas, válvulas Todo-Na-



**Figura 12.**

da, estaciones de control manuales y automáticas, alarmas y luces monitoras. Asimismo, se verificó el correcto aislamiento de aquellos circuitos de equipos que, no siendo necesarios para la parada, su actuación espuria puede provocar un comportamiento no deseado de la central.

#### **LA PARADA DESDE EL PPA**

La parada desde el PPA constituyó la prueba definitiva de este proyecto, una vez realizadas y probadas todas las modificaciones realizadas en la planta. Esta prueba se realizó al final de la recarga de la central y en presencia de la inspección del CSN. La prueba tuvo lugar el 20 de enero del año 2014 en la Unidad 2 y el 14 de agosto de 2014 en la Unidad 1.

En primer lugar, se puso en marcha la central hasta alcanzar las condi-

ciones de temperatura y presión nominal. A partir de este punto, comenzó la prueba (Figura 11).

El equipo de personal de operación abandonó la sala de control y se desplazó a la sala de interruptores (donde se ubica el PPA y los PT). Allí se realizó la transferencia al PPA y se iniciaron las acciones manuales correspondientes coordinando a los equipos auxiliares a través de la megafonía y se supervisó el cambio de los parámetros de planta hasta llegar a la condición de "disponible caliente". Alcanzada esta situación se consideró que el PPA funcionaba correctamente y podía llevar la central a la situación de parada fría por lo que, de común acuerdo con los inspectores del CSN, se devolvió el control de la central a la sala de control y se volvió a arrancar la central. ■