



ACTUALIZACIÓN TECNOLÓGICA

Las mejoras tecnológicas y cambios de diseño que se han implantado en Central Nuclear de Trillo en los últimos años, han surgido del objetivo permanente por mantener la central en óptimas condiciones de seguridad y fiabilidad así como el cumplimiento riguroso de nuevos requisitos regulatorios y

la sustitución de equipos que ha brindado la oportunidad de mejorar los procesos e incrementar los márgenes operativos y de seguridad.

Todas las actuaciones realizadas han estado siempre contempladas dentro de las líneas estratégicas plasmadas en planes operativos que se han desarrollado con cumplimiento

en calidad, plazo y coste en la mayoría de las ocasiones.

La actualización del diseño, incrementando la fiabilidad de los sistemas, estructuras y componentes, adaptándolos progresivamente a los nuevos requisitos de seguridad, pretende facilitar la gestión de los activos a largo plazo, garantizando la



Personal del Departamento de Ingeniería de Planta junto con personal colaborador de empresas contratistas



Departamento de Ingeniería y Proyectos Especiales de Almaraz-Trillo

operación segura, fiable y económica de la central.

En este artículo se pretende aportar una visión de algunos cambios llevados a cabo en los últimos años, dentro de la actualización tecnológica emprendida.

PLANTA DE PRETRATAMIENTO DE AGUA

Introducción

La planta de pretratamiento del agua de aporte de la central nuclear de Trillo tiene como función principal realizar una clarificación del agua captada del Río Tajo para el acondicionamiento de su calidad en cuanto a contenido de sólidos y material orgánica, a través de un proceso físico-químico que permite separar los sólidos en suspensión del agua de entrada con la ayuda de aditivos químicos, obteniéndose por una parte fangos y, por otra parte, agua clarificada con la calidad adecuada para ser utilizada tanto en los circuitos de refrigeración abiertos de la planta esenciales y no esenciales como, tras tratamientos adicionales de desmineralización, en la totalidad de los circuitos cerrados de la central.

El proceso de clarificación permite que los sólidos en suspensión que se encuentran en el agua, que no son filtrables y requieren largos tiempos de sedimentación, formen partículas de mayor tamaño mediante un proceso químico de desestabilización de la carga iónica superficial de estas partículas por adición de sales metálicas que favorecen su separación (coagulación) y, la posterior formación de agregados denominados flóculos de mayor tamaño al inicial, utilizando polímeros de alto peso molecular denominados floculantes (floculación), ambos procesos se acompañan de agitación mecánica para favorecer el contacto entre aditivos y partículas. En una tercera etapa del proceso, los flóculos se separan del agua en un proceso físico de sedimentación basado en la ley de Stokes en decantadores donde se facilita la separación con estructuras lamelares de alta superficie específica y el tiempo de residencia suficiente.

Antecedentes

Las instalaciones de pretratamiento de agua existentes previamente a la implantación del Proyecto de Actualización Tecnológica se pusieron en servicio (año 1986) previamente a la explotación comercial de la central y, estaban constituidas por un total de tres líneas de pretratamiento en pa-

ralelo de cámara de coagulación-cámara de floculación-decantadores estático lamelares rectangulares de dimensiones 10x40x4,5 mts, que permitían un equirreparto y pretratamiento de caudal máximo de consumo previsto de la central de 1,5 m³/s. La planta estaba dotada de instalaciones de almacenamiento y dosificación de reactivos (hipoclorito sódico al 15 % como biocida, policloruro en base aluminio como coagulante y una poliacrilamida aniónica como floculante). Los sólidos sedimentados se acumulaban como fango en el fondo de los decantadores y, se evacuaban por la fuerza impulsora de la gravedad a través de las válvulas de purga localizadas en la parte inferior de dichos decantadores, incorporándose a la red general de vertidos de la central para su evacuación al Río Tajo.

Origen del proyecto de actualización tecnológica

Después de 25 años de funcionamiento se presentaban serias dificultades para la operación con fiabilidad y sin pérdidas de rendimiento de la planta de pretratamiento que, en casos de altos valores de carga de sólidos en el agua de aporte obligaban a disminuir el caudal de agua para evitar el colapso de los decantadores por obstrucciones, debido al alto grado de envejecimiento tanto de las tuberías de evacuación del agua clarificada como las lamelas al ser de materiales plásticos (PVC), como a las características del diseño de la evacuación de los fangos de los decantadores que originaba acumulaciones excesivas de fango y el empeoramiento de la calidad del agua clarificada.

Este hecho repercutía en el estado y mantenimiento de los componentes de los circuitos de refrigeración de la central (ensuciamiento del relleno de las torres de refrigeración, formación de depósitos en condensador, etc.), así como un mayor consumo de reactivos. El alto grado de obsolescencia de la planta de pretratamiento coincidió con un empeoramiento de la calidad media del agua del Río Tajo detectada en los últimos años (mayor contenido en sólidos en suspensión y turbidez) respecto a la caracterización considerada como *input* en el diseño original (20 mg/l), tanto por el menor caudal del cauce del Río Tajo como por la mayor variabilidad de la calidad del agua, originándose con carácter estacional puntas de valores de sólidos en suspensión de hasta 1000 mg/l. Para paliar esta situación se acometían frecuentes limpiezas, con la consiguiente indisponibilidad de las líneas de pre-

tratamiento y disminución de la capacidad de respuesta ante riadas.

Simultáneamente, la evolución legislativa planteó el cumplimiento de nuevos requisitos medioambientales en la Revisión del Condicionado de Vertido de la central acometida por la Confederación Hidrográfica del Tajo en diciembre de 2011, incluyendo límite en los valores de sólidos en suspensión en el agua de vertido (30 mg/l).

En base a lo anterior, se desarrolló el diseño del Proyecto de Actualización Tecnológica de la planta de pretratamiento de agua de CN Trillo entre el 2008 y 2009, siendo implantado en el periodo 2010-2012 con los objetivos de garantizar la calidad del agua de aporte y el cumplimiento de los requisitos del condicionado de vertido de la planta.

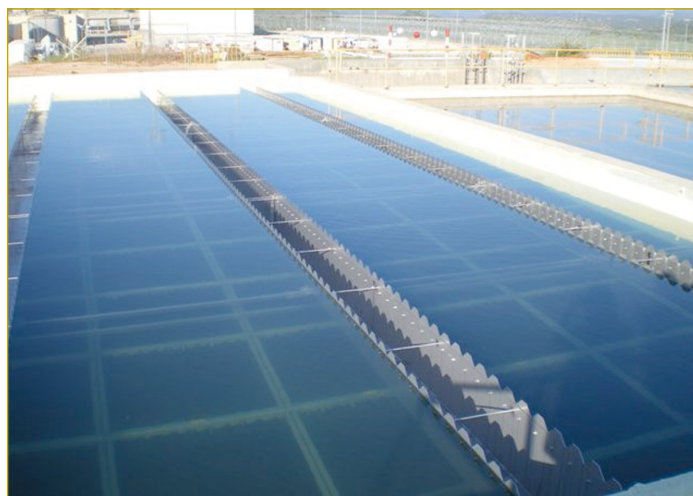
La actualización y ampliación realizada en colaboración con la empresa AEMA (Agua, Energía y Medio Ambiente Servicios Integrales, S.L.) como suministrador principal, se ha enfocado siguiendo los estándares de la tecnología del agua actuales en la optimización del rendimiento de la clarificación, en la ampliación de las instalaciones existentes con una línea de pretratamiento adicional, así como una planta de recogida y tratamiento del fango procedente de los decantadores en lugar de su evacuación al vertido de la planta. Con la actualización se ha implementado en el diseño la filosofía medioambiental de "vertido cero" tanto para minimizar el volumen de fangos procedentes del proceso de decantación como para garantizar la recuperación del agua sobrante de las distintas etapas del proceso para su incorporación nuevamente al ciclo del pretratamiento

Mejora y ampliación de la planta de pretratamiento de agua

La primera etapa de implantación del proyecto acometió la construcción de la cuarta línea de coagulación-floculación-decantación de geometría similar y paralela a las tres líneas existentes, aprovechando una zona reservada desde el inicio para futuras ampliaciones de la planta de agua. De esta forma, se facilitó la implantación de las modificaciones en las líneas existentes y se ha dotado a la planta de mayor flexibilidad de operación. Esta línea con capacidad hidráulica de tratamiento de 0,5 m³/s, contempla cambios en la distribución del flujo hidráulico que han mejorado el rendimiento del proceso, la conducción del agua clarificada por canales abiertos en acero inoxidable, paquetes lamelares de poliestireno rígido atóxico pro-



Vista de línea de pretratamiento 1 en 2012.



Vista decantador línea de pretratamiento 4.

visto de carbón-black para protección de rayos UV y un barredor hidráulico para la evacuación mecánica del fango del fondo del decantador. Posteriormente, se acometió de forma secuencial, la modificación de las tres líneas de pretratamiento existentes finalizando su puesta en servicio en septiembre del 2012, con idéntico diseño al implementado en la cuarta línea.

Las cuatro líneas de pretratamiento funcionan en número variable según la demanda, pero siempre con equiparación de caudales, manteniéndose el criterio de diseño de caudal máximo $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Así mismo, durante la fase de proyecto básico se desarrollaron estudios del rendimiento de los procesos de coagulación-floculación-decantación con el objeto de comprobar su eficacia mediante la realización de ensayos *jar-test* en laboratorio que sirvieron para determinar la idoneidad de los aditivos químicos empleados y las dosis más adecuadas para un

adecuado diseño y dimensionamiento de los equipos de dosificación de la instalación. Se concluyó la idoneidad de mantener los aditivos empleados hasta ese momento, aunque no así de los puntos de dosificación y equipos de bombeo existentes.

En estos ensayos *jar-test* también se confirmó la necesidad de incluir una dosificación de ácido sulfúrico para corregir el pH del agua de aporte y, así mejorar el rendimiento del proceso de coagulación-floculación, disminuyendo el consumo de reactivos y la concentración del aluminio soluble residual en el agua clarificada. Se ha implantado un nuevo edificio de Almacenamiento de Ácido Sulfúrico (ZG4), con dos depósitos de almacenamiento de doble pared con $18,4 \text{ m}^3$ de capacidad unitaria, incluyendo equipos de dosificación y zona de descarga de camiones, siguiendo los criterios establecidos en el Reglamento de Almacenamiento de

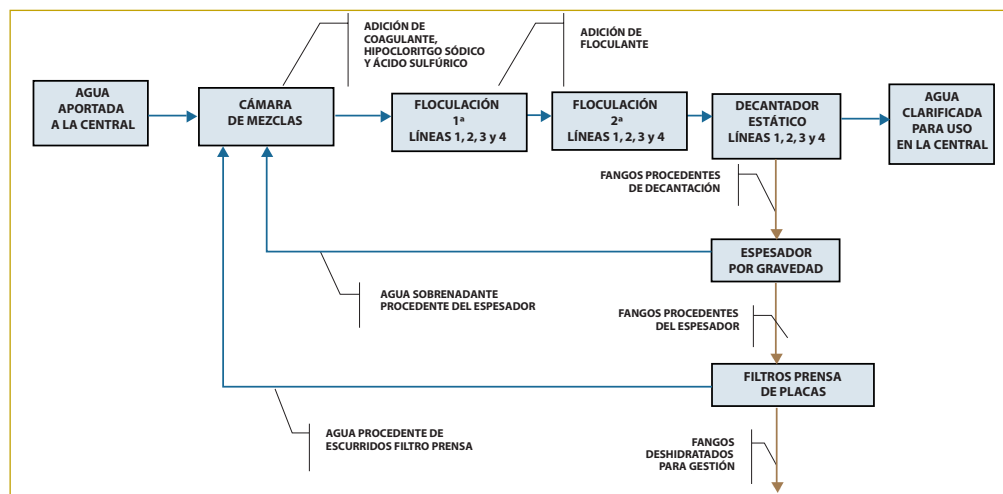
Productos Químicos Corrosivos (ITC-MIE-APQ-006).

Indicar, que se aprovechó la implantación del proyecto como oportunidad de mejora dotando a las líneas de pretratamiento y dosificación de redundancia tanto física como en la alimentación eléctrica de todos los componentes de dosificación.

Planta de tratamiento de fangos

La nueva planta de tratamiento y recuperación de los fangos ha requerido la sustitución de los colectores de evacuación de fango de los decantadores, construcción de estaciones de bombeo y un espesador por gravedad circular de 1.319 m^3 de capacidad, que facilita la concentración del fango previamente a la etapa final de deshidratación. Con el objeto de obtener el mínimo volumen de fango deshidratado se ha optado por implantar la tecnología de filtros prensa para la etapa final de deshidratación,

procediéndose a montar dos filtros prensa automáticos con traslado superior de placas, equipados cada uno con 70 placas e incluyendo doble alimentación y sistema de soplado de colector con agua y aire. Se obtienen así lodos deshidratados con una sequedad mínima del 30 % desde la puesta en servicio de la instalación en marzo de 2012, lo que los hace aptos para su posterior gestión tanto con fines agrícolas como por tratamiento por valorización en vertedero controlado. Para la instalación de los filtros prensa, así como equipos de bom-



Esquema de proceso del proyecto de actualización tecnológica de pretratamiento.



Lodo deshidratado obtenido en los filtros prensa.

beo de fangos y de aditivos químicos adyuvantes del proceso de deshidratación, se ha dotado a la planta de un edificio específico, incluyendo paneles y armarios para el control de la planta de tratamiento de fango en local a través de un autómata S7 operado desde pantalla táctil.

Migración de la plataforma de control y sistemas soporte auxiliares

Para la integración de los nuevos equipos en la central ha sido necesario acometer la disposición de equipamientos e instalaciones soporte adicionales, incluyendo un edificio de control con un centro de transformación de 630 KVA, cabinas de 10 KV para la integración en el anillo de distribución eléctrica de la central, además de un nuevo centro de control de motores, armarios de control e instalaciones de generación y suministro de aire comprimido. Incluido en el alcance del proyecto es de destacar la migración a la plataforma de control de la planta de pretratamiento siguiendo el Plan de Modernización de los Sistemas de Control de CN Trillo al sistema Teleperm T-2000 de Siemens y la plataforma de supervisión OM690, siendo proyecto piloto para la migración de la tecnología de instrumentación existente en la central basada en Iskamatic y su integración con el control actual con Iskamatic-B, Simatic S5, Contronic y sistema de alarmas MS3.



Vistas generales planta pretratamiento.

Conclusiones

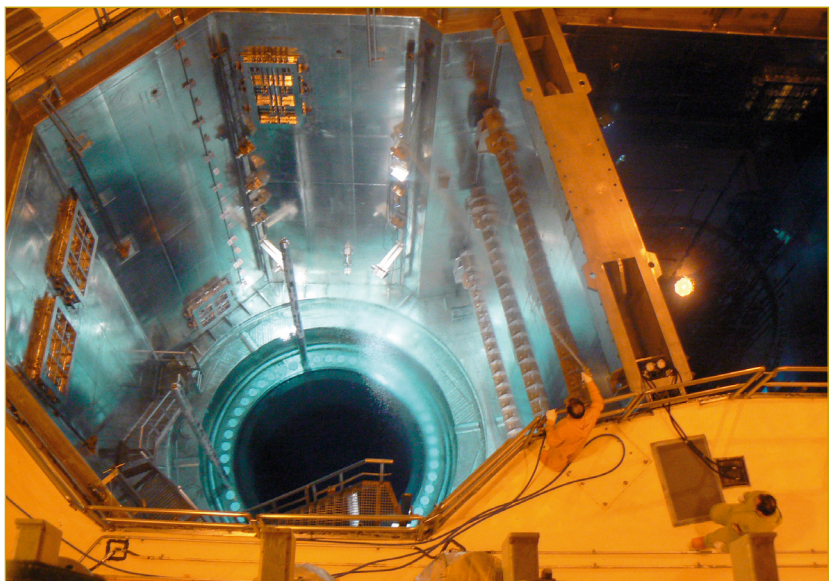
El proyecto de actualización tecnológica ha supuesto 26 meses de actividades de obra civil, montaje mecánico, eléctrico y de instrumentación de más de 500 componentes, siendo 150 accionamientos motorizados, tendido de unos 20.000 m. de cable y la dotación de nuevas estructuras civiles. Con su implantación, CN Trillo está preparada para hacer frente a posibles fluctuaciones tanto en el caudal (0 a 5.400 m³/h) como en la calidad del agua de aporte que pudieran darse a medio y largo plazo, estableciéndose como parámetro de diseño de la planta puntas de carga de sólidos de 100 mg/l en el agua de aporte continuas durante 72 horas, ya habiéndose comprobado la idoneidad de su funcionamiento con situación de riadas con valores de turbidez superiores a 200 mg/l durante 100 horas, además de la capacidad de tratar altos volúmenes de fango que minimicen el impacto ambiental de la central según las exigencias medioambientales actuales.

NUEVAS TAPAS PARA LOS HUECOS DE LA CAVIDAD REACTOR

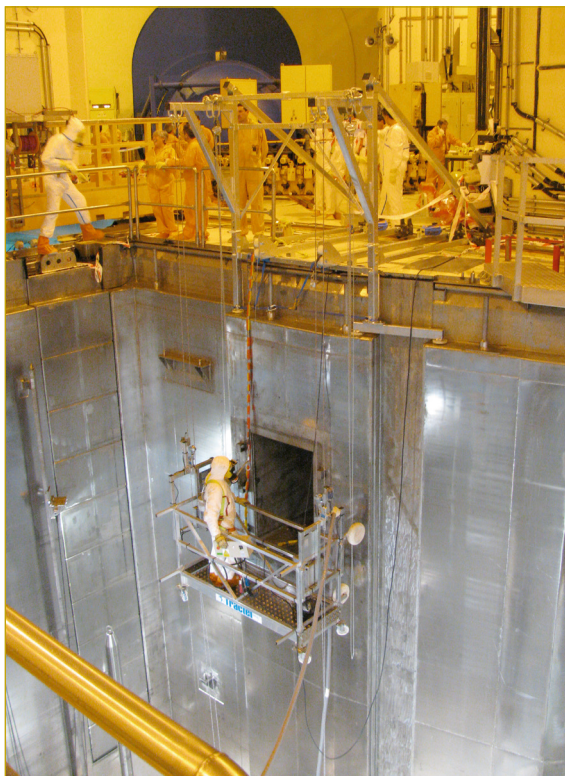
En la recarga de 2007, se inició la sustitución de las tapas de cierre de los huecos de la cavidad del reactor, fruto de la experiencia operativa interna y buscando la mejora de la fiabilidad de la planta.

En el inicio del proyecto se establecieron tres objetivos claros para el nuevo diseño:

- Garantizar la estanqueidad de las tapas, evitando con ello pérdidas de agua y filtraciones de la cavidad. Dicha estanqueidad debe poder verificarse in situ en cada tapa antes de la inundación de la cavidad.
- Incorporar un sistema de recogida y canalización de las hipotéticas fugas de las tapas, paralelo al sistema PS (control de fugas de piscina y cavidad) ya existente, hacia el sistema TZ (drenajes edificios nucleares), que evite filtraciones y asegure la conservación de las estructuras de seguridad, evitando la posibilidad de degradación a largo plazo.



Tapas instaladas en la cavidad del reactor.



Andamio colgante cavidad recubrimiento huecos.

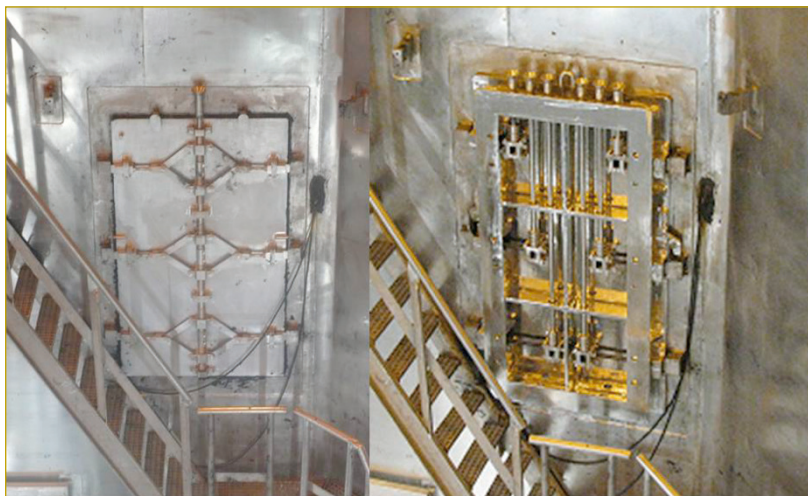
- Facilitar y acortar las tareas de instalación / desinstalación de dichas tapas.

Todo ello, teniendo en cuenta sus requisitos básicos de diseño, ya que son componentes relacionados con la seguridad y con cualificación símica I.

Las tapas de cierre de los huecos de la cavidad del reactor se instalan sobre el *liner* durante los trabajos de recarga, previamente a la inundación de la cavidad del reactor, con el fin de impedir la salida de agua por estos ocho conductos (entrada/salida de aire del sistema TL3, paneles de alivio de presión y paneles de conexión de instrumentación intranuclear), mantener el nivel de agua requerido como protección radiológica durante la descarga/carga del núcleo e impedir la contaminación o daños a otros equipos y/o estructuras de seguridad.

Tras la evaluación de varias alternativas, y teniendo en cuenta tanto los criterios de diseño como la complejidad de su instalación y el impacto que pudiera tener en la recarga, la solución finalmente elegida fue la presentada por ENSA, cuyas principales características son:

- Tapa desmontable, rigidizada y que distribuye uniformemente los esfuerzos de cierre a toda la superficie de la tapa gracias a los seis mecanismos de cierre independientes



ANTES

DESPUÉS

Sustitución tapa panel de alivio PQ99G002.

en cada tapa, haciendo que las superficies en contacto sean plano inclinado contra rodadura, minimizando rozamientos y disminuyendo la fuerza necesaria de cierre y, con ello, el riesgo de posteriores deformación del marco de sellado.

- Tapa con mecanizado interior del perfil de planitud del marco de cada tapa.
- Doble junta hueca de EPDM con una dureza de 50A y fuerza/rigidez línea < 5,37 N/mm.
- Tapas electropulidas que favorecen la descontaminación.
- Tapas con sistema que permite verificar estanqueidad (prueba de vacío entre juntas) tras su instalación.
- Recubrimiento de los huecos de la cavidad con chapa de acero inoxidable con sistema de recogida de fugas y conducción a sistema TZ.

Se inicia el proyecto, en su fase de ingeniería y diseño, a finales del año 2005 con la definición de la especificación técnica de compra y con la medición, mediante fotogrametría, de la planitud de los marcos de cada una de las tapas (origen de la falta de estanqueidad de las compuertas existentes).

Tras los trabajos de diseño y fabricación de las tapas se llevó a cabo un programa exigente de pruebas funcionales en fábrica en una maqueta en la que se reprodujeron las condiciones de contorno y accidente (presión y temperatura) para las que están especificadas dichas tapas y con una reproducción de los marcos imperfectos de la propia planta.

La experiencia de estas pruebas permitió corregir imprevistos del diseño y verificar la validez de la solu-

ción adoptada, así como el sistema de prueba de estanqueidad instalado en el nuevo diseño, minimizándose al máximo las incertidumbres de cara a la instalación en planta.

Debido a la complejidad de la instalación de la modificación de diseño (sustitución de las ocho tapas, recubrimiento de seis de los ocho huecos -se exceptuó el de los paneles de conexión por su complejidad- e instalación del sistema alternativo de recogida y conducción de fugas); y a que se debía ejecutar en ruta crítica de vasija, ya que requería del uso de la grúa polar para el montaje de las tapas y la instalación de andamios colgantes en la cavidad para los trabajos de revestimiento de los huecos, la modificación se dividió en tres anexos que se planificaron a su vez para ser ejecutados durante las recargas 2007, 2008 y 2009.

Esto permitió repartir en el tiempo la carga de trabajo de diseño, fabricación y pruebas, y consolidar poco a poco en planta los cambios ejecutados.

Los resultados obtenidos han sido totalmente satisfactorios en todos los sentidos, desde el punto de vista de los requisitos de diseño y desde el punto de vista del montaje e impacto en los trabajos de recarga.

Las claves del éxito de este proyecto han sido la buena planificación y coordinación, así como el seguimiento constante que se ha hecho del mismo en todas sus fases. También ha sido determinante el trabajo realizado por el principal suministrador, ENSA, y la estrecha comunicación que ha existido en todo momento entre él y todas las secciones implicadas, en especial, ingeniería de planta, validación y mantenimiento.

NUEVOS AISLAMIENTOS DEL PRIMARIO: FIABILIDAD Y VERSATILIDAD EN RECARGA

Dentro del plan de actualización tecnológica de la central, y siguiendo la tendencia de las plantas alemanas, en el año 2009, durante la recarga, se modificaron los internos de las válvulas TH12/22/32S006 (motorizadas) fabricadas por SEMPELL y TH11/21/31S002 (manuales) fabricadas por WWP, primer aislamiento del primario con el sistema TH (refrigeración de emergencia y evacuación residual) de la rama fría y caliente.

Las modificaciones consistieron básicamente en suprimir los enclavamientos laterales, y dotar a las válvulas de un enclavamiento central en el husillo. Adicionalmente se sustituyeron los actuadores eléctricos de las válvulas motorizadas.

La finalidad de este proyecto fue el aumentar la fiabilidad y las prestaciones de estas válvulas, de acuerdo al último estado de la técnica y subsanando las deficiencias detectadas en su funcionamiento.

Las funciones principales de estas válvulas son las siguientes:

- Retención, que en modo de operación a potencia, debe garantizar estanqueidad y aislamiento del refrigerante primario, así como la apertura para la alimentación en caso de accidentes con pérdida de refrigerante.
- Apertura y cierre en modo de evacuación de calor residual durante el arranque y la parada de la planta. Durante la parada deberá abrir contra una diferencia de presión de hasta 35 bares.
- Aislamiento hacia el primario (estanqueidad del obturador en contraflujo desde TH) contra mínimo 2,5 bares de presión durante el periodo en el que la planta está la parada.

Hasta el momento, estas funciones se llevaban a cabo mediante un actuador eléctrico (en el caso de las válvulas motorizadas) así como con los dispositivos de enclavamiento laterales manuales.

El reacondicionamiento de las válvulas de aislamiento del primario con el nuevo diseño de FANP-SEMPPELL de enclavamiento central ofrece las siguientes mejoras:

A) Desde el punto de vista estructural:

- Se suprimen los enclavamientos laterales por un bloqueo central, con lo que se reducen los puntos de posible fuga de 3 a 1 por válvula.
- Se centraliza la dirección de la fuerza de bloqueo y se aplica de una

forma dosificada, con lo que se mejora la estanqueidad del obturador y se evita la sobrecarga de los componentes internos.

- Presenta un obturador basculante, es decir, su unión con el husillo permite movilidad en todas las direcciones. Con ello se garantiza una estanqueidad óptima del obturador ante desviaciones angulares del asiento del cuerpo de la válvula, tanto en operación a potencia como en la acción de aislamiento mediante el bloqueo central.
- Asegura integridad estructural y funcionalidad completa de la válvula, tras fallo de desconexión a rotor bloqueado del actuador, no siendo necesario ninguna verificación ni control dimensional inmediatamente después. De acuerdo a la guía de cálculo de válvulas motorizadas de seguridad de la VGB.
- Permite un tensionado seguro de la tapa de la carcasa por medio de un dispositivo hidráulico especial.
- Se sustituyen los actuadores eléctricos de las válvulas de aislamiento de la rama caliente por otros con mayor capacidad de par de apertura, asegurando así la función de aislamiento y reapertura de las válvulas.

B) Desde el punto de vista de proceso:

- La función de aislamiento es posible frente a sobrepresiones de hasta 15 bares en lugar de los 2 bares actuales. Esto ofrece a su vez una serie de ventajas:
 - Asegura el doble aislamiento del circuito primario durante el mantenimiento a cero lazo, el cual es requerido en las centrales alemanas, durante la operación de refrigeración de la piscina de combustible.
 - Facilita la recuperación de las bombas de evacuación de calor residual (RHR), permitiendo pruebas funcionales, con el reactor despresurizado, de las bombas, de las válvulas de retención y de las válvulas de segundo aislamiento.
 - Permite el llenado y purga de aire de la tubería de alimentación en dirección al circuito primario, mientras éste está sin presión, una vez se han realizado los trabajos de mantenimiento.

C) Desde el punto de vista de operación y mantenimiento:

- Se reducen y facilitan tanto mantenimiento correctivo como el preventivo.
- Se reduce la dosis recibida al disminuir los tiempos de intervención de

mantenimiento y el número de intervenciones debidas a correctivos de los enclavamientos laterales.

- Posibilita una mayor flexibilidad en la programación de los trabajos de mantenimiento de las válvulas de segundo aislamiento, lo que cobra mayor importancia después de las restricciones derivadas de los resultados del APS en parada.
- Asegura el cierre del primario para reparaciones del segundo aislamiento sin necesidad de bajar nivel.

Las modificaciones se realizaron en los internos de las válvulas, manteniéndose los cuerpos originales de las mismas. Adicionalmente con la modificación de diseño se eliminaron interferencias de montaje de estas válvulas, y se dotó a los recintos afectado de medios -vigas carrileras, orejetas, polipastos- para facilitar los trabajos de mantenimiento.

La ejecución y pruebas de la modificación se realizaron, de forma satisfactoria, durante la recarga R421 del año 2009 modificándose en paralelo las dos válvulas de cada redundancia (manual y motorizada), redundancia tras redundancia, y completándose con un completo programa de pruebas de componentes y pruebas funcionales, que junto con las realizadas en fábrica, verificaron con condiciones de diseño que se cumplían todas y cada una de las funciones de seguridad requeridas a estos equipos (conjunto válvula y actuador).



TH Aislamientos manuales 014 S002.

PLAN DE INSTRUMENTACIÓN DE LA CENTRAL NUCLEAR DE TRILLO

Introducción

Central Nuclear de Trillo definió hace 10 años un conjunto muy ambicioso de modificaciones a largo plazo sobre sus sistemas de control, instrumentación e información de proceso, con el fin de prevenir su obsolescencia y mejorar su facilidad de mantenimiento y operación mediante la introducción de tecnología digital. El plan, desarrollado de forma consistente con el realizado para Central Nuclear de Almaraz, involucra a muchos departamentos de Almaraz-Trillo.

Ese plan se ha ido revisando y se sigue revisando de cara al futuro de forma anual, a la vista de la evolución de la obsolescencia los diferentes sistemas y de los ejemplos de modernizaciones previas realizados en otras plantas. El objetivo es el de mantener en un adecuado estado del arte de la instrumentación y control para asegurar su operación a largo plazo.

Las principales hipótesis del plan son:

- Retrasar en lo posible el cambio de equipos de seguridad clase 1E, por las incertidumbres actuales en el licenciamiento como clase 1E de los sistemas digitales. Abordando en cualquier caso la realización de modernizaciones clave para estar preparados en el caso de necesitarse cambios en esta área. En determinados casos se debe apostar por la sustitución de tarjetas similares a las antiguas retrasando así la necesidad de hacer un cambio de tecnología.
- Distribuir los cambios a lo largo del tiempo para laminar su impacto económico y posibilitar su integración con el resto de proyectos de modernización realizados en CN Trillo.
- Incluir en cada parada de recarga los cambios que puedan ser asumidos sin incrementar el tiempo de recarga.
- Aprovechar la experiencia de los cambios ya realizados por otras centrales de la misma tecnología que CN Trillo.
- Se asume que la sala de control de CN Trillo tendrá una interfase hombre máquina híbrida debiendo convivir la tecnología analógica que la conformaba al principio del plan con la incorporación de nuevos sistemas. Estos nuevos sistemas se han integrado con visión global minimizando el número de interfases diferentes con el objetivo de facilitar la operación de la central.

- Se selecciona una plataforma de control de no seguridad instalada en otras centrales que tenga el sector nuclear como objetivo claro. La plataforma seleccionada ha sido la plataforma SPPA-T2000 de Siemens (antiguamente conocido como Teleperm XP). En fases posteriores del plan se elegirá una plataforma de seguridad para los sistemas de protección, con el objetivo de mantener y potenciar los requisitos de defensa en profundidad y diversidad con los que está diseñada la instrumentación y control de CN Trillo.
- A la vista de los resultados de otras empresas, se evita una adjudicación completa del plan, debiéndose de adjudicar por separado los distintos sistemas, buscando eso sí una maximización del valor añadido obtenido por los diferentes participantes en la modernización.
- Los cambios se implementarán con anterioridad en el simulador de alcance total y en los simuladores de ingeniería disponibles con objeto de optimizar el diseño, la interfase hombre máquina, la implantación, el ajuste y la formación de los diferentes perfiles de personal relacionados con los sistemas de instrumentación y control.

Los sistemas más importantes que se han modernizado hasta la fecha son:

- Sistema de Telemando para la Captación de Agua.
- Ordenador de neumobolas y cálculos nucleares.
- Ordenador de Proceso.
- Interfase Hombre-Máquina (IHM).
- Máquina de recarga.
- Nuevo pretratamiento de agua.
- Sistema de monitorización de vibraciones del primario (se pretende realizar en la parada para recarga de mayo de 2014).
- Sistema de control y protección de turbina y *bypass*, incluyendo el sistema de vapor de cierres. (En curso).
- Modernización actuadores H&B. (Comenzando).

Análisis: evaluación de sistemas, espacio disponible para el cambio y selección de plataforma para la I&C de no seguridad

En la primera fase del plan se ha realizado un análisis con Areva de los diferentes sistemas que constituyen la I&C de CN Trillo, su ubicación actual en las diferentes redundancias y la posible ubicación una vez modernizados, en base a las referencias existentes en plantas como CN Trillo.

En la primera fase se ha elegido como plataforma de control de no se-

guridad, la plataforma SPPA-T2000 de Siemens, con el sistema de visualización y control OM690, diseñado de forma exclusiva para centrales nucleares. Esta plataforma es la misma que se está utilizando en las nuevas plantas desarrolladas por Areva.

La instalación de una única plataforma de control y supervisión permite optimizar:

- Las tareas del personal de Mantenimiento/Operación (así como sus necesidades de formación).
- El número de repuestos específicos.
- La gestión del mantenimiento a futuro.

Detalle de la modernización del ordenador de proceso

El ordenador de CN Trillo, a diferencia del de otras centrales enfocados a la supervisión de señales de planta, está muy ligado a la instrumentación y control de planta, constituyendo una extensión del sistema de alarmas del panel principal, presentando detalles del estado de los equipos de automatización incorporados en la central (a través de un bus común) y proporcionando permisos en pruebas automáticas de la misma, lo que hace que su modernización sea más compleja que el de otras plantas.

La Figura 1 presenta el aspecto del sistema de adquisición de datos y procesamiento de los equipos modernizados.

El ordenador de CN Trillo, a diferencia del de otras centrales enfocados a la supervisión de señales de planta, está muy ligado a la instrumentación y control de planta, constituyendo una extensión del sistema de alarmas del panel principal, presentando detalles del estado de los equipos de automatización incorporados en la central (a través de un bus común) y proporcionando permisos en pruebas automáticas de la misma, lo que hace que su modernización sea más compleja.

Todos estos subsistemas (y por lo tanto sus funciones) se integrarán en un único sistema de ordenadores basado en el sistema SPPA-T2000 de Siemens (anteriormente denominado como Teleperm XP).

Las principales mejoras del nuevo ordenador han sido:

- La incorporación de tendencias en tiempo real y mejora sustancial del sistema de archivos.
- Exportación de datos históricos de forma unidireccional a la red de gestión (permitiéndose un aislamiento del sistema).
- Posibilidad de trabajo con las alarmas en impresoras virtuales.



Figura 1: Cabinas del sistema modernizado.

- Automatización de la medida de pruebas de los temporizados del sistema de protección del reactor equipados con módulo de pruebas.
- Incorporación de un sistema de apoyo para el seguimiento del posible incumplimiento de los objetivos de protección reflejados en Manual de Operación 3/0/2.

La Figura 2 presenta el aspecto de una de las pantallas del sistema de apoyo al seguimiento de los objetivos de protección.

Interfase Hombre Maquina (IHM) de la sala de control

Dentro del plan se han evaluado las necesidades a futuro de la sala de control y se ha realizado una modernización de la misma incorporando un número elevado de monitores de 42 pulgadas.

La Figura 3 presenta el aspecto del sistema de adquisición de datos y procesamiento de los equipos modernizados.

La ubicación de monitores en los puestos de trabajo se ha realizado considerando tener una sala de tecnología híbrida en la que se aprovechen las ventajas del empleo de sistemas digitales con un mando adicional desde panel a los equipos más importantes (manteniendo las ventajas del diseño original).

Detalle de la modernización de la máquina de recarga

La modernización persiguió el cumplimiento de la última normativa ale-

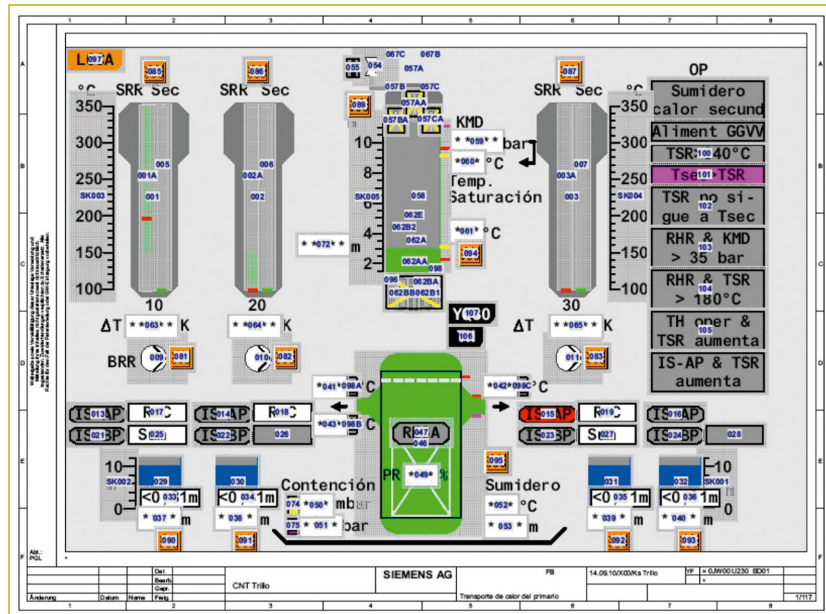


Figura 2: Ejemplo de pantalla de seguimiento de los objetivos de protección.



Figura 3: Aspecto de la IHM de la sala de control de CN Trillo tras el cambio del ordenador.

mana para la realización de pruebas, incrementando además en gran manera las características de la máquina (KTA 3902 y 3903 6/99).

La modernización incluye componentes mecánicos, eléctricos y de I&C: Nuevo freno de seguridad, mejoras en los engranajes, nuevos motores, actuadores, sensores de posición redundante, medida de carga, I&C de seguridad-protección completa, I&C operacional completa, nueva IHM, etc.

Se incorpora un nuevo sistema automatizado para la realización de pruebas periódicas.

El nuevo sistema incorpora función autopiloto, facilitando y haciendo más seguro el proceso de recarga.

La protección de la máquina (I&C de seguridad-protección) incluye un sistema SIL3 de fallo seguro.

La actualización, que es el último estándar de Areva para PWR, ha seguido el mismo proceso de desarrollo utilizado en las modernizaciones realizadas con anterioridad en plantas alemanas.

La Figura 4 resume el aspecto del sistema de operación de la nueva máquina de recarga de CN Trillo.

Personal del TÜV con experiencia en modernizaciones previas en Alemania ha participado en el proyecto desempeñando el papel de experto independiente requerido por la regulación KTA. Ha aprobado las especificaciones de diseño, la docu-

mentación de fabricación, los procedimientos de pruebas y la ejecución de los mismos.

Siguiendo la experiencia alemana y la regulación española, la máquina de recarga de CN Trillo se ha categorizado como un sistema importante para la seguridad (en la categoría de relevante para la seguridad), fuera de clasificación respecto a la regulación RSK.

Detalle de la modernización de la monitorización de vibraciones del primario (YG20)

Cuando se publique el presente artículo se habrá implantado en la central un nuevo sistema de monitorización de vibraciones del primario. El sistema, instalado por Areva y TSI (referentes ambas en la monitorización de vibraciones), incrementa la capacidad actual de análisis, permitiendo una monitorización *on line*.

La modernización actualizará las actuales cabinas de acondicionamiento de señal y de evaluación. Se mantienen las medias existentes de: ruido neutrónico, desplazamiento vertical de la vasija y sus componentes internos, desplazamiento relativo en las tuberías de refrigerante primario y en las bombas principales de refrigeración y fluctuaciones de presión del refrigerante primario.

Incorpora un sistema de alerta temprana basado en análisis en el dominio de frecuencia y fijaciones de montaje rápido para sensores de desplazamiento.

Detalle de la modernización del control y protección de turbina y *bypass*

En la actualidad se está desarrollando la modernización de los sistemas electrohidráulicos de control y protección de turbina y del *bypass* de turbina, integrándolos en la plataforma de control ya elegida para CN Trillo el sistema SPPAT2000-OM690, que incorpora en este caso actuación segura ante fallos. El sistema modernizado tendrá una configuración redundante, que elimina la existencia de disparos ocasionados por fallos simples.

El sistema incorpora además un sistema diverso en la protección de sobrevelocidad de la turbina.



Figura 4: Sistema de Operación de la nueva máquina de recarga de CN Trillo.

Se incorporan sistemas de protección certificados como SIL3. La asignación de los criterios de protección a niveles de requisitos de seguridad se basa en análisis de la seguridad del sistema y la última normativa disponible. Los criterios de protección que deban satisfacer un requisito de seguridad SIL1 o mayor se registran y procesan a prueba de fallos.

El alcance del proyecto, que contempla la renovación de los instrumentos y equipos de automatización es:

- Regulación y protección de la turbina.
- Regulación y protección de *bypass*.
- Regulación de vapor de cierres de la turbina.
- Aparato de control de temperatura en las paredes.
- Automatismo de prueba de la turbina.
- Sistema hidráulico para el alcance de suministro, incluye reguladores de presión redundantes para la regulación del *bypass* y válvulas magnéticas para el disparo del *bypass* y para la activación de las válvulas de inyección de agua.

Detalle de la modernización de actuadores H&B

La modernización de los actuadores H&B que se está lanzando en la actualidad, es el sistema de seguridad que se ha elegido para modernizar

en primera opción. Este cambio permite tener experiencia en el cambio de sistemas de seguridad.

El plan contempla la obtención de repuestos para los actuadores actuales, la modernización de ejemplos clave y la obtención de repuestos constituidos por nuevos actuadores.

Por la alta integración que tiene estos actuadores con el sistema de control actual, se ha considerado que los nuevos actuadores de H&B son la mejor opción para la modernización.

También se modernizarán actuadores de no seguridad.

Conclusiones

El Plan de Instrumentación de CN Trillo, como el de CN Almaraz, es un plan vivo que pretende mantener en un adecuado estado del arte de la instrumentación y control de la central para asegurar su operación a largo plazo.

El objetivo del plan es el facilitar los cambios, permitiendo una adecuada distribución de los mismos en el tiempo, involucrando a muchos departamentos de Almaraz-Trillo.

La situación de las centrales alemanas, dificulta las referencias para CN Trillo, pero la elección de soluciones que se están incorporando en las nuevas centrales, permite seguir aprovechando experiencia previa. El sistema de regulación del reactor o las cabinas de adquisición de señales de flujo neutrónico, son parte de los sistemas que se están evaluando para los próximos pasos.

Parte importante del trabajo del plan consistirá en encontrar una adecuada combinación de modernizaciones completas y modernizaciones de tarjetas electrónicas.

CN Trillo como miembro de la asociación de operadores VGB, dispone de un análisis actualizado de las tasas de fallos de tarjetas electrónicas de los sistemas actuales (existiendo laboratorios de reparación vinculados a la VGB).

Para finalizar, es importante señalar que CN Trillo posee desde 2010, un plan de ciberseguridad que tiene entre sus objetivos el de mantener un adecuado aislamiento y una adecuada diversidad y diseño en profundidad de la instrumentación y control de la planta. ■