



MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE MEDIDA DE NEUMOBOLAS EN LA CENTRAL NUCLEAR DE TRILLO

Dentro del plan de modernización y renovación de la I&C de la central nuclear de Trillo (CNT) se está procediendo a la modernización del Sistema de mapeado del núcleo a través del Sistema de neumobolas. Este sistema permite obtener de forma rápida la distribución de flujo neutrónico 3D del núcleo y de potencia térmica. Esta modernización permitirá a la central de Trillo disponer de un Sistema de I&C que empleará la última tecnología desarrollada por Areva, y solventar cualquier problema referente a la obsolescencia en cuanto a piezas de repuesto. Gracias a la experiencia previa de Areva en la modernización de estos sistemas en centrales de diseño similar, el sistema estará completamente renovado en el tercer trimestre de 2016.

MONITORIZACIÓN DEL NÚCLEO EN CNT

El concepto de instrumentación intra-nuclear desarrollado por Areva (Siemens/KWU en su día) combina dos sistemas complementarios que realizan tareas diferentes: el Sistema de mapeado del flujo neutrónico mediante neumobolas AMS, y un sistema de monitorización que usa detectores fijos dentro del núcleo, llamados PDDS (*Power Density Detectors*). Ambos sistemas están ligados funcionalmente por el proceso de calibración; las señales de monitorización están calibradas a intervalos regulares en condiciones de referencia usando los resultados de las mediciones del Sistema de neumobolas. El Sistema AMS está únicamente presente en centrales de diseño KWU/EPR y permite hacer un mapeado del núcleo de forma muy rápida y así poder tener una imagen bastante fiel del flujo neutrónico y distribución de potencia en un momento determinado en el núcleo.

Estos sistemas están instalados en 13 reactores y cuentan con una experiencia operacional de más de 530 reactores-año. Además, en los próximos años se incorporará esta tecnología a los nuevos reactores EPR™ actualmente en construcción.

Comparada con el Sistema de instrumentación Ex-core, el sistema intra-

nuclear posee una mayor precisión en la medida para permitir detectar incertidumbres de densidad de potencia local. Esto proporciona mayores márgenes a la hora de realizar el diseño del núcleo y una mayor flexibilidad en la operación. El Sistema ha sido un factor esencial en la implementación de esquemas avanzados de diseño de núcleo (patrones de carga de combustible con bajas fugas) y, además, estos sistemas permiten la capacidad de seguimiento de carga en este tipo de centrales.

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE NEUMOBOLAS

El Sistema de neumobolas utiliza detectores de activación móviles en forma de bolas de acero de 1,7 mm de diámetro. Estas bolas son guiadas por unos tubos de 3 mm de diámetro exterior donde forman pilas. Los tubos de guiado de las neumobolas se insertan en vertical en elementos combustibles seleccionados del núcleo.

Las bolas están fabricadas con una aleación de acero con un 1,5 % de vanadio, que actúa como un material sensible a los neutrones. Las pilas de bolas están generalmente fuera del núcleo, pero para realizar una medición, todas las pilas son transportadas al mismo tiempo dentro del núcleo donde se extienden a lo largo de la totalidad de la altura activa del



DANIEL DE LORENZO

Marketing Manager for Nuclear Business
AREVA MADRID



ÓSCAR CARABIAS

Subjefe de Mantenimiento I&C
de C.N. Trillo
CENTRALES NUCLEARES ALMARAZ-TRILLO

VERÓNICA TORRE

Ingeniero de I&C en Ingeniería de
Diseño y Componentes de C.N. Trillo
CENTRALES NUCLEARES ALMARAZ-TRILLO

MODERNIZATION OF THE AEROBALL MEASUREMENT SYSTEM (AMS) IN TRILLO NPP

In the frame of the Trillo NPP I&C renovation and modernization Plan, the core mapping system (Aeroball Measurement System - AMS) is in the process to be modernized. This system allows to obtain in a very short period of time a 3D distribution of the neutron flux and thus of the thermal power in the core. This modernization will allow Trillo NPP to get a system with AREVA's latest I&C developments, and will address any potential obsolescence issue related to spare parts. Based on AREVA's previous experience in the modernization of these systems in NPPs with similar design, the system will be fully replaced in the 3Q 2016.



núcleo. Las bolas son transportadas neumáticamente mediante un gas circulante (N_2) a presión. Una vez en el núcleo, son activadas por el flujo neutrónico durante tres minutos (Figura 1).

Durante la irradiación, un ordenador de proceso registra todos los datos necesarios para su posterior evaluación. Una vez completo el proceso de irradiación, la presión del propio gas circulante es aplicada en sentido inverso, dirigiendo las pilas de bolas fuera del núcleo hacia una mesa de medición en forma de matriz que está situada fuera del blindaje biológico (Figura 2).

La actividad latente en las bolas muestra una imagen de la distribución de flujo neutrónico del núcleo. Esta imagen es entonces leída por la matriz de sensores de la mesa de medición que recoge y graba el dato de radiación gamma emitida por las bolas. Detectores situados en la mesa de medida guardan la actividad del vanadio como una cantidad de rayos gamma por intervalo de tiempo. La tasa de impulsos obtenido es una medición de la tasa de activación del vanadio (Figuras 3 y 4).

Este dato de radiación gamma emitida es el principal *input* que será posteriormente evaluado por un ordenador Powertrax/S. Mientras las neumobolas están siendo irradiadas, el ordenador de proceso de la planta genera a su vez un balance de transmisión de calor. La potencia térmica resultante es entonces usada

para convertir los valores relativos de densidades de potencia obtenidos de las mediciones de actividad en valores absolutos (W/cm) para generar la distribución de potencia 3D y otros parámetros representativos de las condiciones del núcleo.

La secuencia completa de medición y evaluación está controlada por un ordenador y es totalmente automática. Al cabo de unos 15 minutos tras el comienzo de la irradiación, el ordenador genera la información completa de las condiciones nucleares y termohidráulicas en el reactor. Como se comentó anteriormente, estos resultados se usan en la calibración del sistema de detectores fijos del núcleo (PDD).

EXPERIENCIA DE AREVA EN RENOVACIÓN DEL AMS

El Sistema de Medida por Neumobolas (AMS) actualmente instalado en la central de Trillo ha mostrado en los últimos años un funcionamiento inestable debido a problemas de obsolescencia y envejecimiento en alguno de sus componentes, especialmente algunos módulos que son muy sensibles a pequeños cambios. Algunos de los recambios necesarios en la electrónica de medida son difíciles de obtener por su antigüedad y una modificación parcial del sistema no resultaría sino en una degradación del mismo. Por lo tanto, y con el objetivo de garantizar el correcto funcionamiento y el man-

tenimiento del sistema a largo plazo se decidió la modernización completa del sistema.

Para esta modernización se utilizará la más moderna tecnología basada en la implementada en el reactor EPR™ de Areva. Esto implica el cambio completo de la parte de I&C, desde detectores hasta el ordenador del sistema, así como dos cabinas de instrumentación de contención y la caja de instrumentación de la mesa de medida.

Esta modernización ya se ha llevado a cabo con éxito en centrales del mismo diseño que Trillo, en las centrales de Grohnde (KWG) en 2011, Gösigen (KKG-D) en 2012, Emsland en 2014 y Angra 2 en 2015. Un sistema igual está en proceso de implementación en los nuevos reactores EPR™ de Olkiluoto 3, Flamanville 3 y Taishan 1 y 2, y además se está procediendo a su sustitución en las centrales de Brodckdorf (KBR) y se instalará en la futura central de Angra 3.

ALCANCE DEL PROYECTO

La modernización del Sistema de Medida de Neumobolas AMS conllevará:

- Sustitución del ordenador del AMS.
 - Suministro de un ordenador del AMS (HP Linux Server) y los módulos de comunicación que conectan el Sistema de I/O actual con el nuevo ordenador vía la conexión existente Teleperm XS SES1 Ethernet switch. A través de este Sistema de I/O el ordenador recibe las órdenes del operador desde el panel

Figura 1. Representación esquemática del sistema AMS.

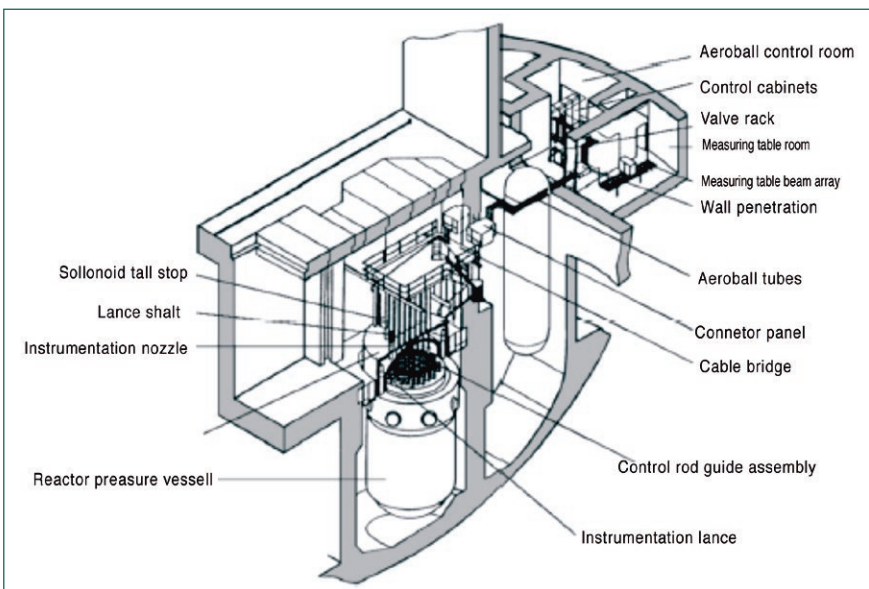
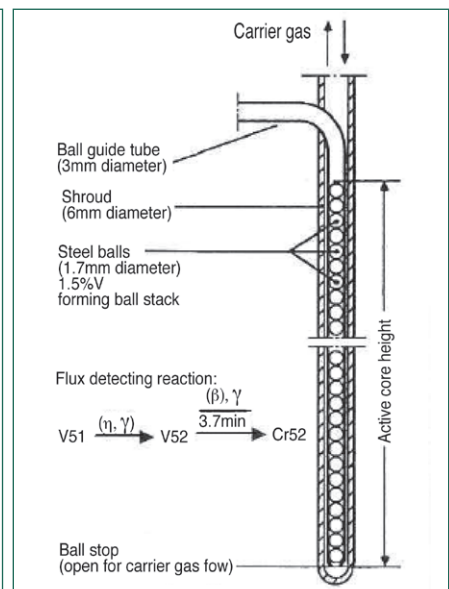


Figura 2. Representación de un tubo del AMS en un elemento combustible.



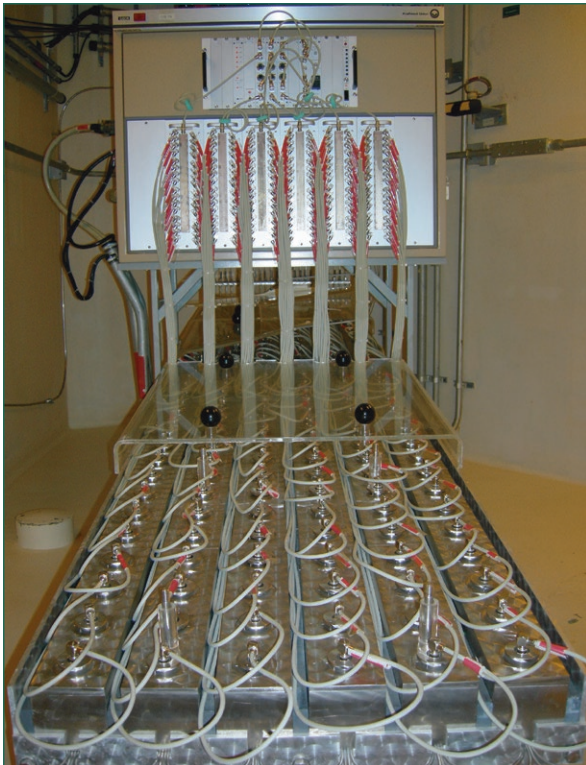


Figura 3. Mesa de medida actualmente instalada en C.N. Trillo.

- de control y genera los mensajes de error al sistema de alarmas.
- Sustitución de los armarios de potencia y de control.
 - Cambio de las cabinas del ASM 0JQ02 (armario de potencia) y el 0JQ03 (armario de control) situados en la sala de armarios de control del AMS A0633. Los armarios tendrán las mismas dimensiones que los actualmente existentes y se fijarán en la misma posición, empleando unos bastidores intermedios diseñados por Areva.
- Cambio de la mesa de medidas, detectores, instrumentación, cableado, etc.
 - Sustitución de la totalidad de los componentes de medida de la Mesa de Medida del AMS situada en el cubículo A0634:
 - Un nuevo armario de instrumentación que será montado encima de la mesa de medidas. Seis nuevos canales de medida y un generador de señal de test (impulsos) se instalarán en el armario. Estos componentes tienen una interfaz RS485.
 - Suministro de los detectores (192 nuevos detectores PIPS CAM-LT07-500AB de Canberra), sus respectivos amplificadores de señal, relés de conexión, cableado integral, un nuevo panel de



Figura 4. Ejemplo real de una mesa de medidas similar a la que se instalará en C.N. Trillo.

calibración móvil que permite el control de la calibración en diferentes puntos de la mesa.

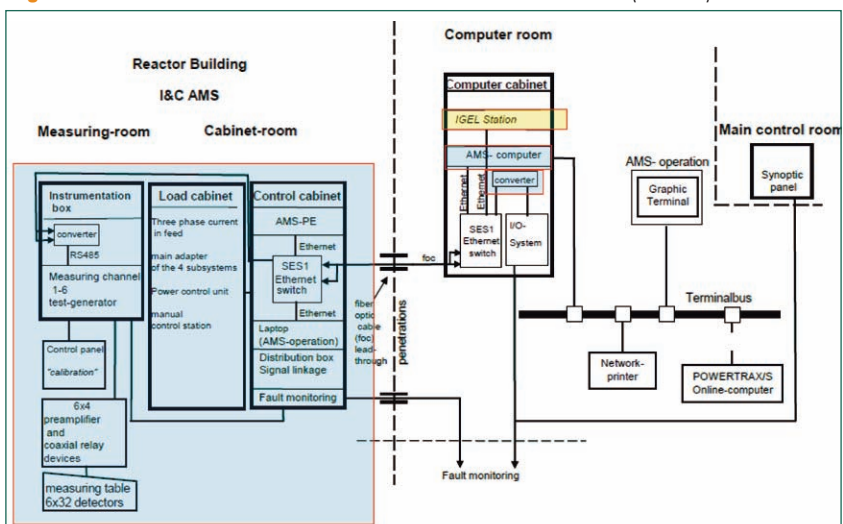
- Desarrollo del software de control.
 - Desarrollo, validación y suministro del software de operación del AMS bajo sistema operativo LINUX. La interfaz de usuario será tanto en Español como en Inglés. El software envía los valores de activación vía Ethernet al Sistema Powertrax/S, por lo tanto el AMS necesariamente debe estar sincronizado con el ordenador de planta vía protocolo NTP a través de conexión Ethernet.
- Programación del sistema.
 - El Sistema seguirá contando con las funcionalidades presentes en el sistema actual (como

el programa de inicialización, preselección de subsistemas, medida de actividad residual, medida de las neumbolas, medida del fondo, medida del decaimiento y su evaluación, medida del tiempo de transporte y test de correlación con los sensores inductivos, calibración tanto individuales como del conjunto, corrección del tasa de pulsos, etc) a las que se añadirán nuevas capacidades (un test de medida, test del contador de pulsos, medida del umbral de discriminación, nuevas funciones de exportación, etc.).

El alcance de la modificación incluye las siguientes actividades:

- Generación de toda la documentación de proyecto:

Figura 5. Alcance de la modificación de la I&C del sistema AMS (en azul).





Figuras 6 y 7. Nuevas cabinas de I&C del sistema de Neumobolas para C.N. Trillo.

Fases del proyecto	Comienzo	Finalización
Kick-Off	Oct 2014	
Diseño Básico	Nov 2014	Marzo 2015
Diseño de detalle del Hardware y Software	Abril 2015	Sept 2015
Implementación del Software	Jul 2015	Febrero 2016
Fabricación de los componentes mecánicos	Sept 2015	Enero 2016
Fabricación de las cabinas	Octubre 2015	Enero 2016
FAT test	Feb 2016	Julio 2016
Transporte	Julio 2016	Agosto 2016
Montaje, SAT and puesta en marcha del Sistema en planta	Sept 2016	Oct 2016
Cierre documental /Fin del proyecto	Octubre 2016	Enero 2017

Tabla 1. Cronograma del proyecto.

- Ingeniería básica, de detalle, procedimientos, diseño de la interfaz hombre/máquina del software, etc.
- Suministro de todo el hardware, pruebas del sistema en las instalaciones de Areva (FAT), transporte de los equipos a la planta, desmontaje del sistema antiguo y montaje del nuevo, pruebas on-site (SAT) y puesta en marcha.
- Suministro de repuestos.
- Entrenamiento al personal de Ingeniería del Reactor y Mantenimiento I&C. (Figuras 5, 6 y 7).

PLANIFICACIÓN Y PRINCIPALES HITOS

Este proyecto tiene una duración prevista de dos años. Las diferentes etapas así como las fechas de los hitos principales del proyecto se pueden ver en la Tabla 1.

SITUACIÓN ACTUAL DEL PROYECTO

El proyecto está cumpliendo los hitos arriba mostrados sin que haya habido ningún retraso. Tras la fase de diseño básico y de detalle, se suministraron todos los componentes que fueron montados en las instalaciones de Areva. Tras un completo montaje, actual-

mente el proyecto se encuentra en la fase de inicio de pruebas en fábrica. Esta fase llevará varios meses y se espera una aceptación del sistema en junio para su posterior montaje, prueba y puesta en marcha en planta, con una aceptación final por CNAT entre octubre 2016 y enero 2017.

RELACIÓN CON EL PLAN DE I&C DE CNT

El proyecto forma parte del plan de renovación de la I&C de CNT, en el que se llevan planificando inversiones importantes desde hace aproximadamente 10 años. Las modernizaciones del ordenador de proceso, el sistema de monitorización de vibraciones del primario, la máquina de recarga y el sistema de control y protección de Turbina, son las modernizaciones más significativas ya realizadas.

La modernización en curso más significativa, que se está desarrollando junto a la de la mesa de neumobolas, es la modernización del sistema de medida de nivel en vasija. Además se está estudiando una solución para la renovación de actuadores de regulación Hartmann&Braun.

CONCLUSIÓN

La Instrumentación y Control es una de las especialidades de Areva con mayor éxito a nivel mundial. Los sistemas de I&C digitales de Areva están siendo implantados en centrales por todo el mundo y, por supuesto, en las centrales EPRtm de nueva construcción; lo que brinda a Areva una experiencia y unas competencias técnicas reconocidas por todos nuestros clientes.

Para la modernización de las centrales actuales, Areva suministra su última tecnología para la renovación de sistemas en operación. El caso de la sustitución del sistema AMS de la central nuclear de Trillo es un ejemplo claro de lo descrito anteriormente. Gracias a la exitosa experiencia adquirida en la instalación de sistemas análogos en varias plantas de diseño similar a Trillo, el proyecto está progresando satisfactoriamente y sin retrasos. Esta modernización permitirá a la central de Trillo disponer de un sistema de mapeado del núcleo mediante neumobolas puesto al día tecnológicamente y asegura el suministro de piezas de repuesto durante el funcionamiento de la planta.■