

Limpieza de lodos en los generadores de vapor: *Sludge Lancing* e IBL

E. Montoro, S. González y N. Calderón

Iberdrola Ingeniería y Construcción se ha hecho eco de la necesidad de las plantas para eliminar la acumulación de compuestos (lodos) situados en el lado del secundario, sobre la placa inferior y dentro del haz tubular de los generadores de vapor. Por ello, y con su socio SRA SAVAC ha desarrollado un sistema específico consistente en la aplicación de un capilar de agua a muy alta presión aplicado directamente en la localización de estos óxidos.

IBERDROLA Engineering and Construction has echoed the need for plants to remove oxide deposits (sludge) located on the secondary side, on the bottom plate and into the tube bundle steam generators. Therefore, and with its partner SAVAC SRA has developed a specific system consisting of applying a capillary water at very high pressure applied directly to the location of these oxides.

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas en los generadores de vapor es la acumulación de compuestos (lodos) en el lado secundario del generador. Estos depósitos se forman debido a procesos de erosión corrosión y a la química del agua, que bajo condiciones de presión, temperatura, flujo etc. existentes durante el ciclo, se depositan y adhieren a las superficies del generador: los tubos, la placa de distribución, las rejillas y principalmente en la placa tubular (Figuras 1 y 2).

La acumulación de estos depósitos de lodo tiene consecuencias importantes en el generador de vapor:

- Se generan tensiones en los tubos, especialmente cuando se crean "puentes" (el óxido crece hasta unirse con el tubo adyacente), ya que crea un punto solidario con otro tubo.
- La zona de depósitos de lodos es propensa a la aparición de *denting* en los tubos. Hoy en día, varios estudios demuestran una correlación directa entre el depósito de lodo y el *denting*. Como consecuencia del *denting* producido, se puede llegar a inutilizar el tubo, taponándolo para tal efecto.
- Existe una pérdida de eficiencia del generador de vapor, bien sea por la obstaculización del intercambio de calor, bien porque se inutilizan tubos debido al *denting* y/o fisuración.
- La consecuencia final es una reducción de la vida útil del generador de

vapor, debido a la pérdida de eficiencia en el intercambio de calor. Cuando se sobrepasa cierto umbral, será más conveniente y rentable cambiar el generador, con el coste que conlleva.

Las medidas más efectivas para paliar estos efectos no deseables en los generadores de vapor son la limpieza de estos lodos y las inspecciones de los tubos periódicas, de forma que se pueda controlar la acumulación de depósitos y sus efectos.

INNER BUNDLE LANCING (IBL)

Una vez que los depósitos se han solidificado sobre las superficies del secundario de los generadores de vapor existen dos sistemas para desprenderlos: limpieza química (con aditivos químicos se intenta disgregar los depósitos de lodos) y limpieza mecánica (un chorro de agua a presión que impacta sobre los depósitos).

Iberdrola Ingeniería y Construcción, con su socio SRA SAVAC, se ha centrado en el sistema mecánico, por considerarlo mucho más eficaz principalmente con los lodos más duros, que no son fácilmente disgregables con otros sistemas.

Iberdrola Ingeniería y Construcción y SRA SAVAC trabajan conjuntamente desde 2003 en la limpieza de lodos de los generadores de vapor (*Sludge Lancing*) en las centrales nucleares españolas. El sistema empleado consiste en la proyección de un chorro de agua desde el carril central del generador



ESTEBAN MONTORO

es ingeniero agrónomo por la UPM, de la especialidad de Construcción. Posteriormente, ha cursado el Executive MBA del IE. Desde 2006 colabora con Iberdrola Ingeniería y Construcción donde, actualmente, es responsable del Área de Construcción y Servicios del negocio nuclear.



SARA GONZÁLEZ

es ingeniera de Minas por la UPM, especialidad Energía y Combustibles. Trabaja desde 2005 en Iberdrola Ingeniería y Construcción en el Departamento de Generación Nuclear. Desde 2009 ha realizado las funciones de Coordinación en planta de las actividades de Limpieza e Inspección de los generadores de vapor.



NOEL CALDERÓN

es ingeniero de Materiales por la UCM. Posteriormente, ha cursado el máster de Ingeniería Internacional de Soldadura, en CESOL. Desde 2008 colabora con Iberdrola Ingeniería y Construcción donde actualmente trabaja en el área de construcción y servicios del negocio nuclear.

de vapor, entre el espacio existente entre los tubos hacia las áreas donde se encuentra depositado el lodo (Figura 3). El agua se proyecta a una presión de hasta 250 bares.

Este método se utiliza de manera preventiva para el arrastre de los depósitos hasta la periferia del generador de vapor, en donde son extraídos mediante un circuito cerrado que permite la recuperación y posterior estudio de los mismos. La eficiencia de este método disminuye a medida que el lodo se encuentra más alejado del carril central y a medida que se va solidificando sometido a las condiciones del ciclo de operación, puesto que es más difícil atacar los depósitos de lodo y el agua pierde velocidad, afectando todo ello a la capacidad de desprender el lodo solidificado, en definitiva al rendimiento.

Las centrales españolas nos plantearon entonces la necesidad de atacar el lodo solidificado directamente en el corazón del haz tubular, proyectando el chorro de agua allí directamente donde se encuentra. De esta necesidad surgió el *Inner Bundle Lancing* (lanceado en el interior del haz tubular) en España (Figura 4), metodología que se viene utilizando conjuntamente con el *Sludge Lancing* en España desde 2010.

DESARROLLO DEL IBL Y HOMOLOGACION

El *Inner Bundle Lancing* consiste en la proyección del chorro de agua directamente en el interior del haz tubular. Para ello, hubo que desarrollar un cabezal de robot específico a la geometría de los generadores de vapor, y una lanza que fuera capaz de introducirse entre los tubos de los generadores de vapor para llegar allí donde es necesario realizar la limpieza (Figuras 5 y 6).

El desarrollo del equipo consistió en el diseño de un cabezal especial aplicable al robot normalmente utilizado en este tipo de limpiezas, con un sistema de precisión de extensión y recogida de la lanza por medio de una rueda dentada. Esto es muy importante, porque en todo momento se ha de saber cuál es la posición donde se está lanceando. La limpieza se realiza a 590 bares de presión. La distancia entre los tubos (espacio libre) es de unos 3 mm

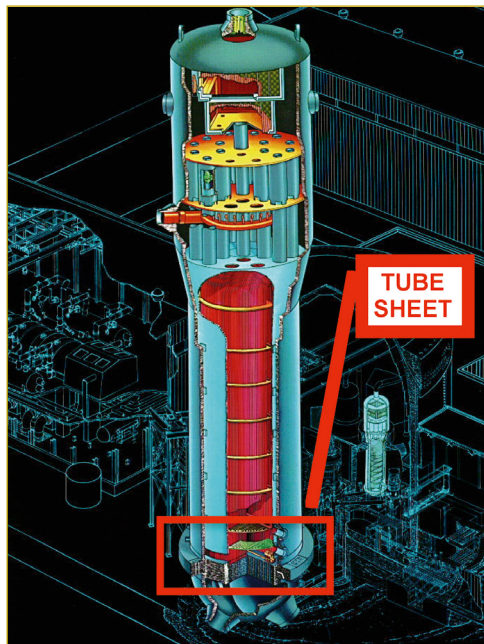


Figura 1. Situación de la placa de distribución donde se realiza el *Sludge Lancing*.



Figura 2. Lodo adherido a la placa de distribución y a los tubos del GV.

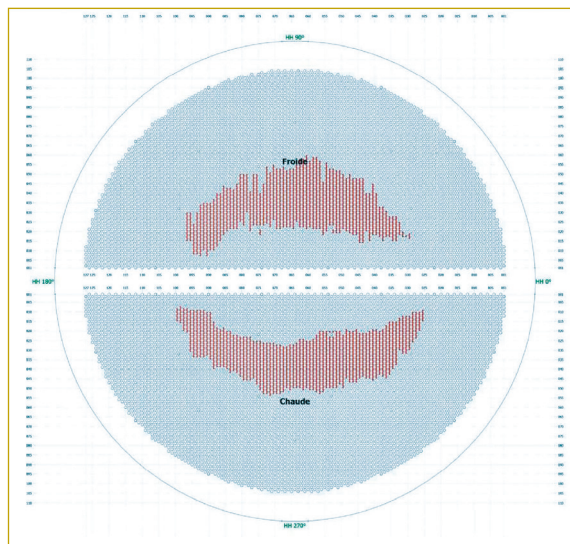


Figura 3. Mapa de GV. Se aprecia el carril central desde donde se realiza la limpieza y las áreas con lodo depositado (en rojo).

aproximadamente, dependiendo del diseño del generador de vapor. La lanza, por tanto, tiene que tener un espesor inferior a estos 3 mm, tener la suficiente rigidez para aguantar 590 bares de presión, y ser lo suficientemente flexible como para "serpentea" entre los tubos del generador.

Una vez diseñado el robot y la lanza a utilizar, el siguiente paso es comprobar el rendimiento de prototipo y homologar el sistema para ser utilizado en las plantas españolas.

El proceso de homologación consistió en la comprobación de la no nocividad (inocuidad) del sistema hacia los tubos del generador y de la eficiencia del sistema de limpieza para desprender los depósitos más solidificados. El proceso que se siguió para comprobarlo fue el siguiente:

- Se construyó una maqueta de la zona de los generadores de vapor donde se iba a aplicar el IBL.
- Se dispusieron de tubos de idénticas características a los existentes en los generadores de vapor de las plantas españolas.
- Antes de la colocación de los tubos en la maqueta, se comprobó en laboratorio que los tubos no tenían daños que pudieran perturbar los resultados.
- Se dispuso de un lodo artificial a base de cemento, magnetita y sílice.
- Se ensayó el sistema de IBL en la maqueta.
- Después del ensayo se comprobó en laboratorio que los tubos no habían sufrido daño alguno.

SISTEMATICA DE EJECUCION DEL IBL

Una vez realizada la homologación del sistema, se estableció la secuencia de actividades a utilizar en las paradas de las centrales que mejor se adapta para poder eliminar los lodos dentro del haz tubular. La secuencia que actualmente se utiliza es la siguiente:

1. *Sludge Lancing*. Inicialmente se realiza un *Sludge Lancing* para eliminar la mayor acumulación posible de depósitos, ya que éstos cubren toda la superficie, impidiendo visualizar la zona de lodos solidificados sobre la que se actuará localmente.
2. **Inspección televisual antes del IBL**. Una vez realizado el *Sludge*

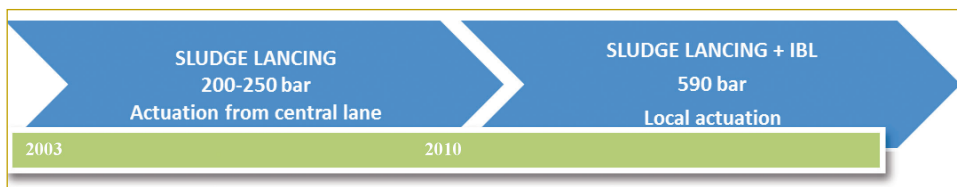


Figura 4: Evolución del SL e IBL en España.

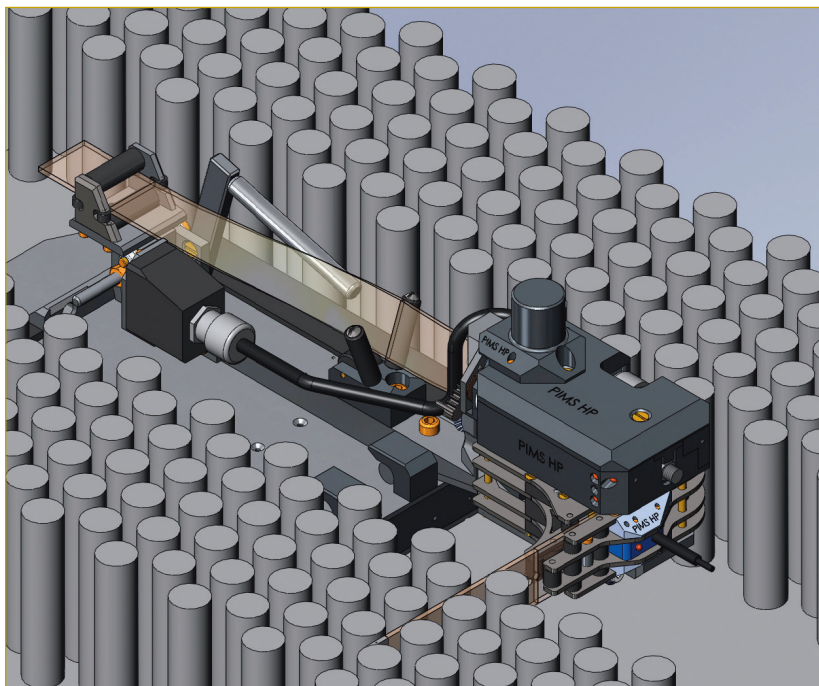


Figura 5: Robot IBL con la lanza introduciéndose en el haz de tubos.

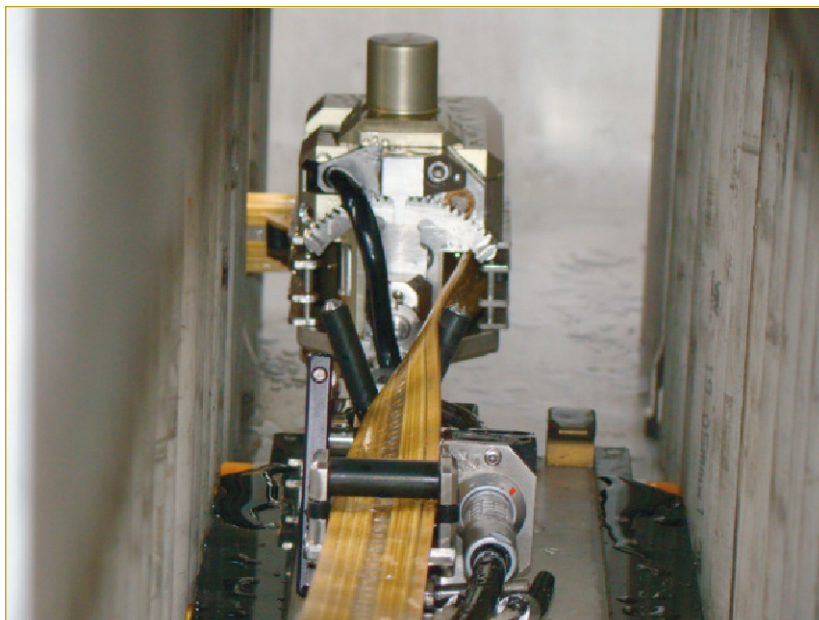


Figura 6: Foto del robot dentro de la maqueta.

Lancing se realiza una inspección televisual para determinar las áreas con lodo solidificado. Se genera un mapa del haz tubular (Figura 2), evaluando la cantidad y altura de los lodos remanentes. Estas áreas serán

tratadas intensivamente con el IBL, fijando las pasadas y el tiempo de intervención requerido.

3. **Inner Bundle Lancing.** Se realiza únicamente en las zonas del haz tubular que presentan lodos solidificados.

4. **Rinsing o aclarado.**

Una vez efectuada la limpieza se realiza un aclarado, consistente en lavar y arrastrar los lodos hacia la periferia del generador de vapor, donde son succionados por

una bomba, y enviados a un circuito cerrado en el que un sistema de filtración permite su recuperación. Así es posible conocer el peso de los lodos extraídos y la toma de muestras para análisis. Si no se consiguiera extraer los lodos, éstos facilitarían la formación de una nueva capa de lodo duro durante la fase de operación de la planta.

5. **Inspección televisual después del IBL.** Se realiza una segunda inspección televisual para determinar el resultado y la eficiencia de la intervención, y comparar el mapa previo al IBL con el de después del IBL. Esta inspección se aprovecha a su vez para determinar si existen partes sueltas y su localización.
6. **FOSAR (Foreign Object Search And Retrieval).** Extracción de pequeñas piezas sueltas. Se aprovecha la intervención para que con el robot utilizado para el IBL se extraigan las pequeñas partes sueltas, que de estar en la fase de operación, podrían dañar los tubos.

CONCLUSIONES

Las conclusiones de la aplicación del sistema combinado de *Sludge Lancing* e *Inner Bundle Lancing* son:

- La limpieza mecánica con SL+IBL del secundario e inspección es el método más eficaz para el mantenimiento del secundario del generador de vapor.
- La inspección televisual permite determinar las áreas con depósitos de lodos y partes sueltas.
- El sistema de limpieza ha incrementado sustancialmente su eficacia con el desarrollo del IBL.
- El sistema ha sido homologado.
- La experiencia desde 2010 en la central nuclear de Almaraz y la central nuclear de Ascó ha supuesto un éxito en términos de reducción del área con lodos duros remanentes, incremento del peso de lodos recuperados y reducción de la cantidad de partes sueltas.

Todo esto ha supuesto que desde el año 2010, tanto en CN Ascó I y II como en CN Almaraz I y II, las actividades de *Sludge Lancing* e *Inner Bundle Lancing* sean habituales durante las recargas en los trabajos que se realizan en los generadores de vapor. ■