

INSTALACIÓN DE DISPOSITIVO ESPIGA EN COMBUSTIBLE NO ACCESIBLE VERTICALMENTE



DANIEL BLANCO GONZÁLEZ

Ingeniero de Gestión de Equipos de Servicios en Central ENUSA INDUSTRIAS AVANZADAS S.A. S.M.E.



ÓSCAR JIMÉNEZ

Ingeniero de Gestión de Equipos de Servicios en Central ENUSA INDUSTRIAS AVANZADAS S.A. S.M.E.



ALICIA SÁNCHEZ

Jefa de Gestión de Equipos de Servicios en Central ENUSA INDUSTRIAS AVANZADAS S.A. S.M.E.

INTRODUCCIÓN

El objetivo de este proyecto de desarrollo ha sido encontrar una solución a la necesidad de acondicionar más de 160 elementos combustibles ubicados en posiciones bajo balcón (no accesibles verticalmente) en las piscinas de almacenamiento de combustible gastado de diversas centrales españolas. Estos elementos combustibles ubicados en posiciones sin acceso vertical tienen limitaciones de manejo debido a estar afectados por corrosión intergranular en los maguitos que unen la estructura del propio elemento con el cabezal superior del elemento, que a su vez es su parte de enganche. Este problema imposibilita su movimiento y por lo tanto el desplazar el elemento combustible a una zona con acceso vertical de la piscina. Para la solución del problema de corrosión, Enusa lleva utilizando el dispositivo ESPIGA desde 2017 consiguiendo realizar el acondicionamiento del elemento y desbloqueando sus limitaciones de manejo. La ESPIGA, desarrollada por Enusa, es un componente formado por dos ejes descentrados que, una vez introducido por el tubo de instrumentación del elemento, es capaz de hacer solidarios el cabezal superior y el inferior del elemento, de manera que en caso de fallo de los manguitos

de unión afectados por corrosión, la ESPIGA mantiene la integridad estructural del mismo. Existen más de 470 elementos reparados con este dispositivo en centrales nacionales. Por la propia complejidad del proceso de instalación de la ESPIGA, inicialmente los esfuerzos se centraron en desarrollar unas herramientas y un proceso de instalación robusto en zonas accesibles verticalmente. En 2019 se inició el desarrollo de las herramientas necesarias para el montaje de ESPIGAS en elementos no accesibles desde la vertical debido a distintos obstáculos como estructuras o tuberías sumergidas. Además de ser necesaria la adaptación de las herramientas de instalación del dispositivo ESPIGA, es relevante considerar que el proceso de montaje requiere que el elemento combustible se encuentre libre de inserts (venenos neutrónicos, fuentes y dispositivos obturadores de flujo). Al no ser posible el uso de las herramientas de manejo disponibles en las centrales nucleares (herramientas concebidas para manejos en vertical) el proyecto de desarrollo ha tenido la dificultad adicional de incluir dentro del equipamiento de instalación de ESPIGA en posiciones no accesibles verticalmente, herramientas específicas para la extracción de los *inserts* y su traslado a otros elementos combustibles antes de la operación de instalación propiamente dicha.

DESCRIPCIÓN DE LA HERRAMIENTA Y DEL PROCESO DE INSTALACIÓN

Durante el desarrollo se consideraron dos premisas: mantener el proceso de instalación de ESPIGAS en posiciones no accesibles verticalmente lo más fiel al proceso de instalación en vertical y optimizar el equipamiento a utilizar en central. Por ello se llegó al concepto de que la herramienta utilizada para las diferentes etapas fuera modular, y permitiera diferentes configuraciones mediante el montaje de útiles específicos para cada trabajo. La parte principal de la herramienta está formada por una estructura en forma de T invertida que trabaja suspendida de la grúa de la instalación. En los extremos horizontales se montan los útiles necesarios para llevar a cabo los diferentes trabajos necesarios para la instalación del dispositivo ESPIGA dejando el extremo vertical para el control de su funcionamiento, es decir:

- Manejo *inserts*
 - Dispositivo tapón
 - Venenos y fuentes neutrónicas
- Instalación dispositivo ESPIGA

Configuración para manejo de *inserts*

Para la instalación del dispositivo ESPIGA en un elemento, es requisito que éste no tenga ningún *insert* en su interior o apoyado en el cabezal superior. Dado que los elementos susceptibles de acondicionar con ESPIGA se encuentran en posiciones bajo balconcillo, no es posible utilizar las herramientas de manejo normales. Por ello, es necesario el uso de estas herramientas específicas que retirarán el componente y permitirán su ubicación segura en otro elemento combustible libre. Para este proyecto se ha analizado la población de elementos bajo balcón afectados por corrosión intergranular en los manguitos, siendo necesario retirar dispositivos tapón, venenos y fuentes neutrónicas, para los cuales se han diseñado las configuraciones necesarias de la herramienta. Todo el proceso es controlado mediante una cámara subacuática que permite controlar posibles interferencias de las herramientas con el entorno, y guiar las operaciones de retirada e inserción de *inserts*.

Dispositivos tapón

Un dispositivo tapón es un *insert* cuya función es reducir el flujo de refrigerante por los tubos guía del elemento combustible. Está formado por una placa, con un asa en su parte superior, de la cual cuelgan 24 dedos de corta longitud, que van insertados en los tubos guía del elemento (Figura 1).

Debido a las características del dispositivo tapón, la herramienta en configuración para su manejo debe cumplir las siguientes características:

- Sistema que permita captura y liberación del asa del tapón.
- Sistema que evite la liberación involuntaria del tapón durante el transporte.
- Indicador de la correcta captura del tapón.
- Estructura de protección para no dañar el tapón durante el transporte.
- Sistema de contrapesos variable para compensar las variaciones de peso.
- Sistema de guiado del tapón durante la inserción.

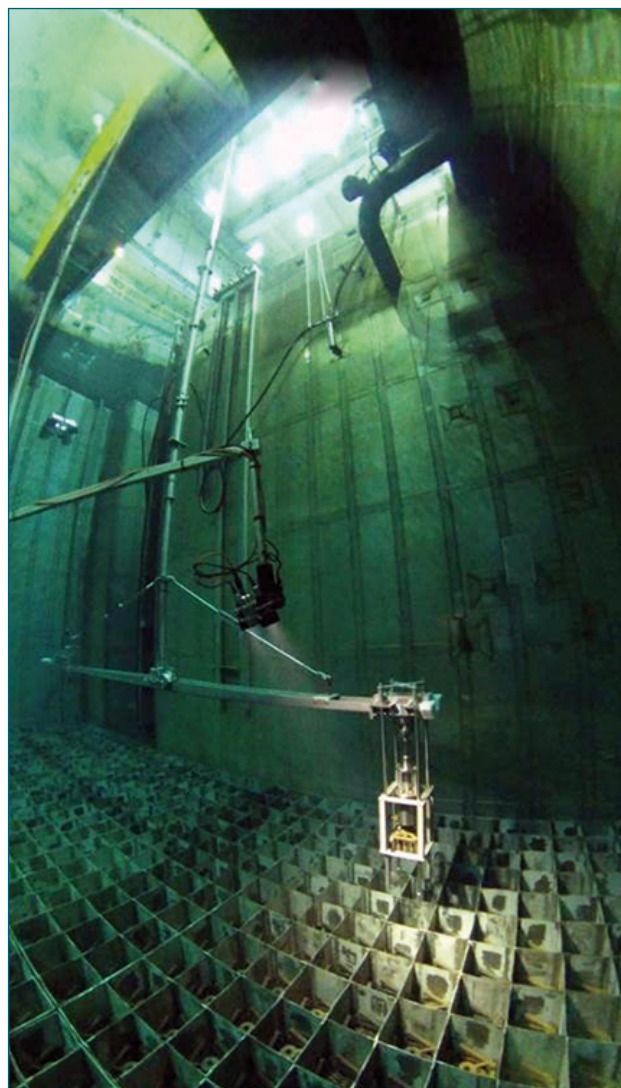


Figura 1. Dispositivo tapón transportado por la herramienta para su manejo en posiciones no accesibles verticalmente de la piscina de combustible gastado.

Venenos y fuentes neutrónicas

Un veneno es un *insert* de estructura superior similar a un tapón, con la diferencia de que algunos de sus dedos tienen una longitud similar a la de una barra combustible. Su función, además de obturar los tubos guías, es la de actuar como veneno neutrónico para controlar la reactividad en el núcleo del reactor. Las fuentes neutrónicas estructuralmente son similares a los venenos pero tienen la función de suministrar neutrones en los ciclos iniciales de un reactor nuclear. Debido a que el volumen del cuerpo de captura es similar al del veneno y su peso está comprendido dentro de los pesos de los venenos a desplazar hace que la configuración de la herramienta para el movimiento de las fuentes neutrónicas será la misma que el veneno (Figura 2).

Debido a que el tamaño de un veneno está próximo a los 4 metros de longitud el módulo para su captura y control es mucho mayor en tamaño y complejo para la orientación de los dedos en comparación con el del dispositivo tapón. Las diferencias con las exigencias que tiene el movimiento de un dispositivo tapón se resumen en:

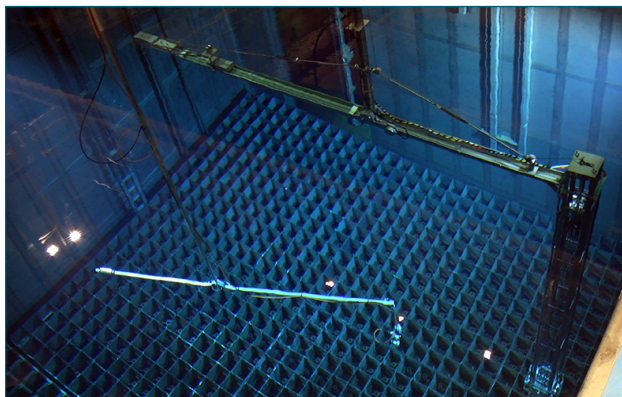


Figura 2. Herramienta para el manejo de Venenos y Fuentes neutrónicas en la piscina de combustible gastado.



Figura 3. Herramienta para el montaje de dispositivos ESPIGA en posiciones no accesibles verticalmente.

- Dimensiones mayores del componente – Mayores dimensiones de la herramienta de manejo
- Dedos largos muy poco rígidos – Requiere de un guiado muy preciso en la inserción.
- Dedos largos más frágiles – Movimiento de inserción más suave y controlado para evitar daños a los dedos.
- Mayor peso (>20 kg) – Requiere de un sistema de contrapesos mayor.

Instalación dispositivo ESPIGA

Una vez el elemento se encuentra libre de *inserts*, se continúa con el proceso de instalación de la ESPIGA. Para ello, la herramienta se monta en la configuración diseñada para este proceso de instalación (Figura 3).

Esta configuración para montaje del dispositivo ESPIGA utiliza los extremos horizontales con dos funciones, siendo uno de ellos destinado a todas aquellas transmisiones que realizan el montaje del dispositivo girando su parte superior y el segundo de los extremos con una función de manejo de los útiles auxiliares durante el proceso que se detallan en los siguientes puntos.

Operaciones auxiliares

Existe la necesidad de la realización de distintas operaciones auxiliares para el acondicionamiento del elemento combustible con la instalación de la ESPIGA.

Al no ser posible colocar estos útiles directamente desde la vertical, la herramienta cuenta con un sistema de transporte auxiliar en uno de sus extremos que permite capturar estos dispositivos fuera del balconcillo y transportarlos hasta su posición bajo balconcillo para la realización de las operaciones auxiliares. Este sistema está dotado con un bloqueo neumático que también permite capturar los dispositivos cuando se encuentran colocados sobre elementos no accesibles verticalmente una vez terminen su función. De forma secuencial las operaciones a realizar durante el proceso son:

- Electroerosión (EDM)

El equipo de electroerosión es el primero en ser usado para realizar un taladro en el cabezal superior que dé acceso al tubo de instrumentación donde se insertará la ESPIGA. Es parecido al utilizado en los trabajos accesibles verticalmente con la salvedad de las modificaciones necesarias para ser transportado con la herramienta. Algunas de las mejoras implementadas respecto al equipo utilizado en vertical, están en el centrado del equipo sobre el elemento para la correcta realización del taladro. La máquina es posicionada en el cabezal superior, se realiza el taladro siendo el polvo en suspensión generado por la electroerosión aspirado junto al agua, filtrado y devuelto a la piscina. Una vez se finaliza el trabajo la máquina se retira.

- Baqueta

El siguiente componente por utilizar es una baqueta, que tiene los mismos volúmenes que el dispositivo ESPIGA, e introduciéndose a través del taladro permite comprobar que sus dimensiones son correctas, así como que el tubo de instrumentación se encuentra libre de obstrucciones a lo largo de toda la longitud del elemento.

- H07

Esta herramienta se coloca con el sistema auxiliar de transporte sobre el elemento combustible tras la realización del EDM y cumple diferentes funciones:

- Calzador para facilitar inserción de ESPIGA/baqueta en tubo de instrumentación.
- Mordazas accionadas por pinzas neumáticas para sujeción de dispositivo ESPIGA durante la instalación.
- Posicionamiento de cámara resistente a la radiación para control visual del proceso de instalación con movimiento vertical.

- Pinza Portaespigas

Pinza neumática transportada con el sistema auxiliar de transporte y se utiliza para insertar la ESPIGA en el elemento combustible.

Instalación ESPIGA

Para el proceso de montaje de la ESPIGA, se monta en el extremo contrario de la estructura de la herramienta, un equipo que imita todos los movimientos de la herramienta H05 utilizada para instalar ESPIGAs con la vertical libre.

Para el correcto montaje de la ESPIGA, la herramienta cuenta con accionamientos manuales y neumáticos.

Los accionamientos manuales se realizan desde el extremo superior de la herramienta, estos incluyen:

- Accionamiento de giro pinza
- Accionamiento de giro vaso exterior.

La principal dificultad reside en la transmisión de estos movimientos tanto en vertical como horizontal desde el punto de manejo hasta la ESPIGA (10 metros bajo el agua y a una distancia horizontal de 2 metros en el caso más restrictivo), al tiempo que se conserva la sensibilidad necesaria para que el operario de la herramienta controle en todo momento el proceso de montaje de la ESPIGA.

Para cumplir con las funcionalidades necesarias y mantener el proceso de instalación que se realiza con la herramienta empleada en posiciones accesibles verticalmente se han implementado reenvíos y diferentes tipos de transmisiones (Ejes rígidos, acoplamientos rígidos y elásticos, cadenas, ejes estriados...). Por otro lado, los accionamientos neumáticos, se realizan desde un cuadro de control que se coloca en la grúa de combustible.

Todo el proceso es controlado mediante dos cámaras subacuáticas, una cámara de soporte colocada exteriormente, que permite controlar posibles interferencias de las herramientas con el entorno, y otra colocada en la H07, que enfoca directamente a la cabeza de la ESPIGA y permite realizar el control visual del montaje en varias posiciones críticas del proceso.

PROCESO DE VALIDACIÓN DE HERRAMIENTAS

Una vez realizado el diseño y la fabricación, la herramienta de manejo de tapones y el conjunto de útiles para la instalación de ESPIGAs fueron validados en seco en las instalaciones del fabricante (FAT) reproduciendo las condiciones de trabajo en central, realizando también así la formación de los técnicos que realizarían las actividades en central. Tras ello, las herramientas se llevaron a central donde se realizó unas pruebas (pruebas SAT) usando un dummy para asegurar la idoneidad de las mismas y del procedimiento de uso en condiciones reales, antes de proceder a la instalación de ESPIGAs en elementos afectados por corrosión intergranular en los manguitos. La herramienta de manejo de tapones y el conjunto de útiles para la instalación de ESPIGAs han sido utilizados de manera exitosa en 2022 en una central, realizándose el manejo de 34 tapones e instalándose también 8 ESPIGAs. En cuanto a la herramienta de

manejo de venenos, el diseño ha sido probado y verificado en las instalaciones del fabricante a finales de 2022 (pruebas FAT) y se ha realizado la prueba en central (prueba SAT) durante el mes de febrero de 2023 realizando el movimiento de venenos de forma exitosa y quedando la herramienta y el proceso probado para las futuras aplicaciones en central.

CONCLUSIONES

En este proyecto se han desarrollado las herramientas necesarias para la instalación de ESPIGAs en posiciones no accesibles en la vertical, lo que ha conllevado la adaptación del proceso de instalación. Todas las herramientas han sido probadas y validadas en las instalaciones del fabricante previo a su uso en central. La herramienta de manejo de tapones y el conjunto de útiles para la instalación de ESPIGAs han sido utilizados para la instalación de 8 ESPIGAs y el movimiento de 34 tapones. La herramienta de manejo de venenos ha sido probada satisfactoriamente y se utilizará en futuras campañas. Las herramientas se utilizarán en los próximos años para la instalación de las ESPIGAs situadas en posiciones no accesibles en la vertical y el movimiento previo de los inserts presentes en los elementos combustibles.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto no hubiera sido posible sin el trabajo de todas las personas de ENUSA involucradas en el proceso así como del personal de las centrales en las que ENUSA está implantando el uso de estas herramientas.

REFERENCIAS

- Canencia, R. et al. “ESPIGA: Solución para el Manejo de Elementos Combustibles PWR Afectados por Corrosión Intergranular en los Manguitos del Cabezal Superior” 42ª Reunión Anual de la Sociedad Nuclear Española 2016, Santander.
- García-Infanta, J.M et al. “ENUSA Integral Solution for Intergranular Stress Corrosion Cracking on early 17x17 PWR design”, TOP FUEL 2018, Praga.
- Blanco D., et al “Advances in ENUSA On-site solution for Intergranular Stress Corrosion Cracking on 17x17 PWR fuel assemblies”. TOP FUEL 2021, Santander.■