Equipo para la descontaminación del fondo de la cavidad de centrales nucleares durante las operaciones de recarga de combustible

J. I. Vaquer, I. Pastor, A. Pascual y A. García Martínez

En este trabajo se presenta el robot DEMOS, equipo diseñado y desarrollado por Grupo Dominguis para realizar la descontaminación del fondo de la cavidad de Centrales Nucleares durante las operaciones de recarga de combustible. El objetivo del proyecto es realizar la descontaminación del suelo de la cavidad, en situación de piscina inundada, mediante cepillado y aspirado tras las operaciones de movimiento del combustible, con la finalidad de reducir la dosis operacional de los trabajadores, en las actividades que se realizan posteriormente en cavidad. Por último, se presentan los resultados obtenidos de la experiencia operativa en varias CCNN.

In this work the DEMOS robot is displayed, as a designed and developed equipment by Grupo Dominguis in order to carry out the decontamination of the cavity background in Nuclear Power Plants during the refueling operations. The aim of the project is executing the decontamination of the cavity ground, in case of flood pool, by means of brushing and aspirated after the fuel movement operations, in order to reduce the operational dose of the workers, in the activities that are carried out after while in the cavity. Eventually, the obtained results of the operative experience in many Nuclear Power Plants will be displayed.

JUAN IGNACIO VAQUER PÉREZ
es ingeniero industrial por la Escuela Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Valencia. Actualmente forma parte del Área de Titania Servicios Tecnológicos SL.

INMACULADA PASTOR CÁMARA
es ingeniero químico por la Escuela Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Valencia. Actualmente forma parte del Área de Servicios Nucleares de Lainsa en la central nuclear de Cofrentes.

ARTURO PASCUAL RUBIO
es ingeniero industrial por la Escuela Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Valencia. Actualmente forma parte de la Oficina Técnica de Lainsa.

AMPARO GARCÍA MARTÍNEZ
es ingeniero químico por la Escuela Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Valencia. Actualmente forma parte del Servicio de Protección Radiológica de la central nuclear de Cofrentes.

INTRODUCCIÓN

Las mejoras en la operación de plantas nucleares así como el éxito en la implantación de diversas tecnologías enfocadas a la reducción del término fuente y, como consecuencia, de las dosis operacionales, han ayudado a la industria en el cumplimiento de los límites reglamentarios actuales. Sin embargo, basándose en un análisis de la industria sobre la exposición colectiva e individual, las actividades directamente relacionadas con las recargas de combustible siguen representando una parte importante de la exposición total del ciclo de combustible.

Una de las actividades que Lainsa viene realizando a lo largo de los años, y en la que los niveles de radiación son importantes, es la descontaminación de la cavidad, que además se ven incrementadas considerablemente cuando han existido daños previos en los elementos combustibles.

Por este motivo, Lainsa encargó al Centro de Innovación de Grupo Dominguis (con la colaboración de Titania, empresa de I+D del Grupo), el desarrollo de un robot que pudiera realizar la descontaminación de la cavidad mientras aún está inundada.

DESARROLLO DEL PROYECTO

El objetivo del proyecto abordado por las empresas del Grupo Dominguis ha sido el diseño y desarrollo de un robot, denominado DEMOS (*Decontaminator Mobile Submersible*), con el que poder realizar la descontaminación del suelo de la cavidad mientras está inundada, con la finalidad de disminuir la dosis operacional de los trabajadores en las actividades que se realizan posteriormente en cavidad, reducir la probabilidad de contaminaciones durante el desarrollo de dichas actividades, así como evitar la dispersión de la misma.

En un principio, tras una etapa de estudio del arte, se fijaron las siguientes especificaciones técnicas:

- El robot ha de ser capaz de operar sumergido en el agua a una profundidad máxima estimada de 15 metros.
- El tamaño del robot ha de ser compatible con la geometría de la cavidad. Máxima efectividad con mínimas dimensiones del robot, para alcanzar la mayor área de actuación.
- El robot ha de trabajar durante el proceso de descontaminación con independencia de la grúa polar.
- El robot debe ser fácilmente descontaminable.
- El sistema de limpieza ha de ser suficientemente enérgico como para arrancar las partículas adheridas a la superficie, pero sin dañarla.
- El robot se debe controlar y operar desde la planta de recarga.
- Dispondrá de iluminación y cámara para visión, con posibilidad de captación de fotos y videos.

Sistema de aspiración y limpieza

La parte fundamental del robot *Demos* es el sistema de limpieza, puesto que para reducir la contaminación y la tasa de dosis se ha de asegurar que se desprendan y recojan las partículas adheridas en el suelo de la cavidad. Una cuestión importante es dónde se recogen dichas partículas. La posibilidad de utilizar un filtro en el propio

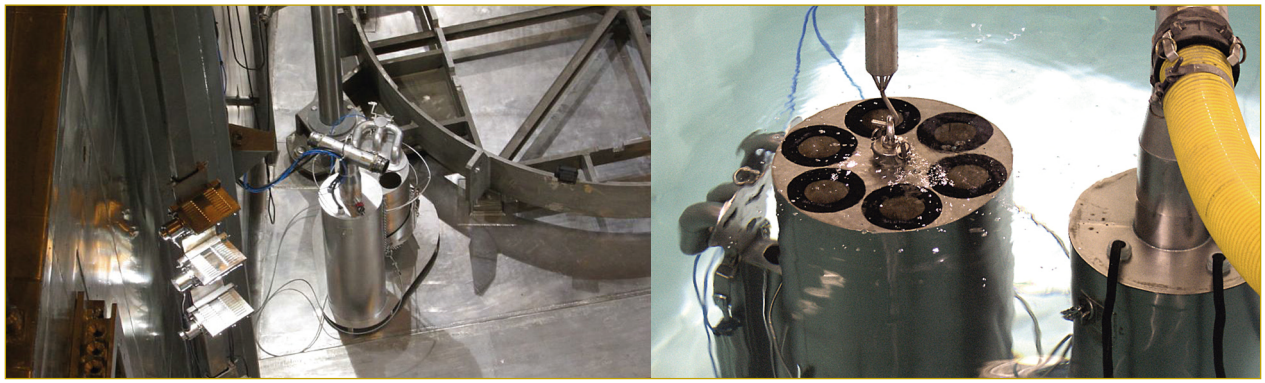

Figura 1. Sistema sumergible de filtración del agua de la cavidad con posibilidad de aspiración localizada y conexión al robot *Demos*.

equipo añade la dificultad de tener que retirarlo tras la limpieza, y hay que tener en cuenta que, según la cantidad de partículas y la actividad que tengan, el filtro puede acumular una tasa de dosis bastante alta.

Es por ello que se decidió que el robot trabajara junto al equipo de "Filtrado Sumergible". Este equipo se compone de una bomba de 125 m^3/h que hace pasar el agua a través de un paquete de seis filtros de hasta 0,2 micras absolutas. Este equipo se instala en el fondo de la cavidad y está filtrando el agua durante toda la recarga. Con esto se consigue clarificar el agua de forma que la visibilidad sea óptima, así como filtrar las partículas calientes que haya en suspensión. Además, este equipo dispone de la posibilidad de activar un sistema de aspiración localizada que utiliza la mitad de los filtros del paquete, mientras los otros siguen filtrando el agua de la cavidad. Es a esta aspiración localizada donde se conecta la manguera que proporciona la aspiración al robot. La conexión de la manguera al robot se realiza con un enlace especial que permite el giro y rotación de la manguera en todos los sentidos, de forma que no se dificulta el movimiento del robot por el hecho de que la manguera esté conectada a él.

Para desprender las partículas el robot cuenta con cuatro cepillos de PVC de alta eficiencia, pero que a la vez son inocuos con la superficie a descontaminar. Los dos cepillos delanteros giran en sentido contrario a los dos traseros, de forma que todas las partículas se dirigen hacia la zona central del robot donde está localizada la aspiración. El hecho de elegir esta disposición asegura, por una parte, poder acceder a realizar el cepillado de la máxima superficie, ya que el cepillo exterior cubre la totalidad del ancho del equipo, y por otra, permitir que el robot pueda trabajar indistintamente en ambos sentidos.

Sistema de Control

El equipo *Demos* está formado por el robot en sí, un ordenador en el que está instalado el *software* de control, y una caja eléctrica (cuadro de control) con la electrónica asociada al sistema.

El robot se controla desde un mando inalámbrico que se conecta vía *bluetooth* al ordenador. Esto permite que el técnico que maneja el equipo tenga libertad de movimiento. El ordenador ejecuta el *software* de control del robot, enviando al equipo, a través del cuadro de control, la alimentación eléctrica.

El *software* de control permite una amplia variedad de órdenes a los distintos componentes del equipo, así como la modificación de parámetros de funcionamiento. Podemos resaltar los siguientes:

- Tracción: el movimiento del robot se gestiona mediante dos cadenas de tracción que se accionan de forma independiente (con sendos motores). Se puede regular la velocidad de desplazamiento, así como la dirección. Además en el *software* hay dos modos de funcionamiento: modo desplazamiento y modo limpieza.
- Cepillos: se controla la conexión o desconexión del movimiento de los cepillos. El control de los cepillos actúa variando la velocidad de giro de estos en función de la velocidad de desplazamiento del robot, de forma que la velocidad relativa entre el cepillo y la superficie sobre la que actúa se mantenga constante.
- Hélice: se puede activar el motor de la hélice en un sentido o en otro. En función del sentido de giro, dicha hélice tiende a aumentar o a disminuir, en cada momento según las necesidades, la presión del equipo sobre la superficie en la que está trabajando.
- Foco y Cámara: se enciende y se apaga el foco y/o la cámara. También se

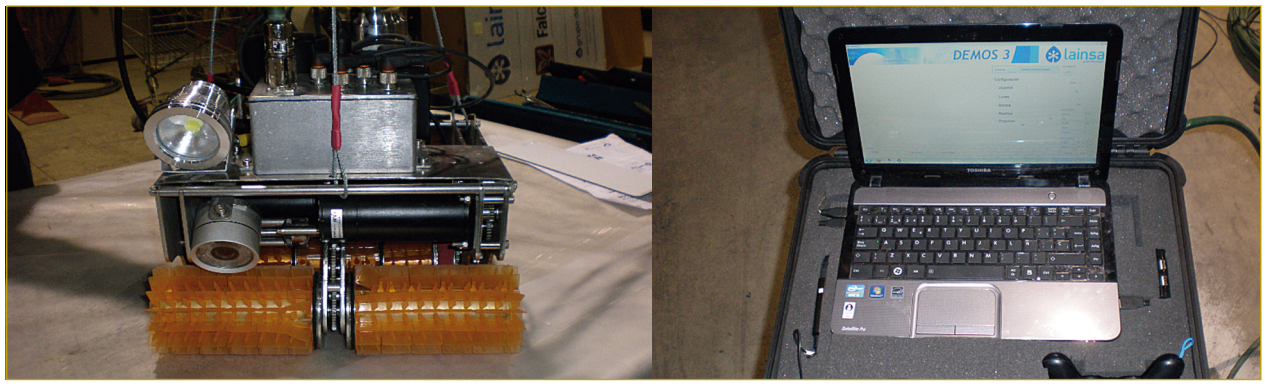

Figura 2. Robot DEMOS y *software* de control asociado.

gestiona el *software* de imagen, con el que se pueden captar fotos o grabar videos.

EXPERIENCIA OPERATIVA

El servicio de descontaminación de piscinas con el robot *Demos* se ha realizado durante las paradas por recarga de combustible de las siguientes centrales nucleares:

- CN Trillo: mayo y junio de 2013 durante la 25ª recarga de combustible.
- CN Cofrentes: septiembre y octubre del 2013, durante la 19ª recarga de combustible.

Objetivos de la descontaminación de cavidad

El objetivo principal de la descontaminación de cavidad es proveer a los trabajadores que llevan a cabo tareas en la cavidad durante la recarga, de las mejores condiciones radiológicas. Así pues, los objetivos que se persiguen son:

- Eliminar la mayor cantidad posible de actividad de la cavidad y zonas donde se ha producido desprendimiento de óxidos solubles e insolubles, como por ejemplo el área de paso de los elementos combustibles desde el núcleo a las piscinas de almacenamiento de combustible en planta de recarga.
- Reducir los niveles de radiación en la cavidad durante las actividades de tapado de vasija.
- Reducir la contaminación superficial desprendible.
- Mantener unas condiciones radiológicas aceptables en cavidad para que las dosis colectivas, dosis individuales y riesgo de contaminación superficial durante las actividades de tapado de vasija sean lo más bajas posibles.

Realización del trabajo y resultados

Central nuclear de Trillo

Se ha realizado la descontaminación del fondo de la cavidad en dos intervalos de tiempo diferentes; el primero tras retirar el combustible del reactor, con una ventana de tiempo de dos horas, y el segundo una vez repuesto el combustible y colocado el interno superior, antes de bajar nivel, con una ventana temporal de seis horas.

En la cavidad de CN Trillo, se descontaminaron todas las áreas accesibles al robot (áreas verde y naranja), limitadas por la geometría y dimensiones del mismo. Las delimitadas en rojo no son accesibles.

A la finalización del trabajo se realizó, por parte de Protección Radiológica,

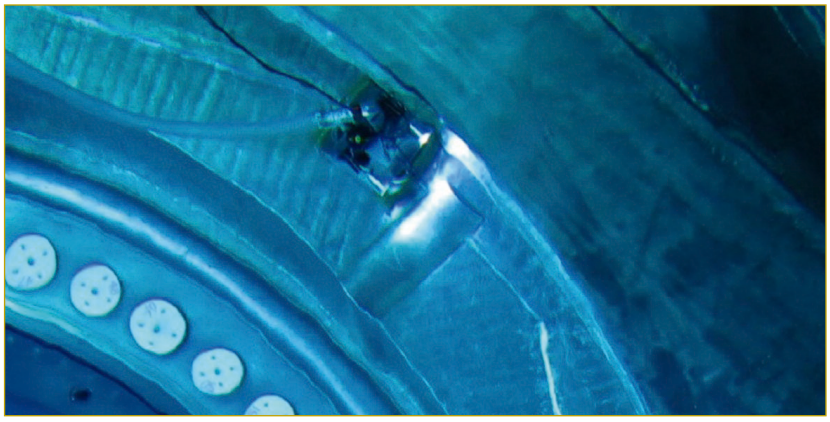

Figura 3. Robot *Demos* durante su operación en CN Trillo.

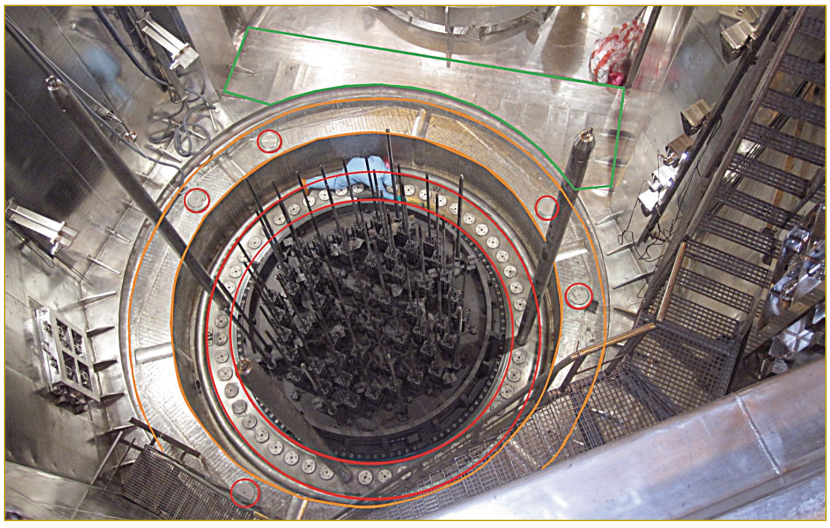

Figura 4. Zonas descontaminadas con *Demos*.

Medida realizada en	Tasa de dosis
Filtros abiertos (agua cavidad)	300 mSv/h
Filtros aspiración localizada	1150 mSv/h 940 mSv/h 540 mSv/h

Tabla 1. Medidas radiológicas de los filtros tras la descontaminación de C.N Trillo.

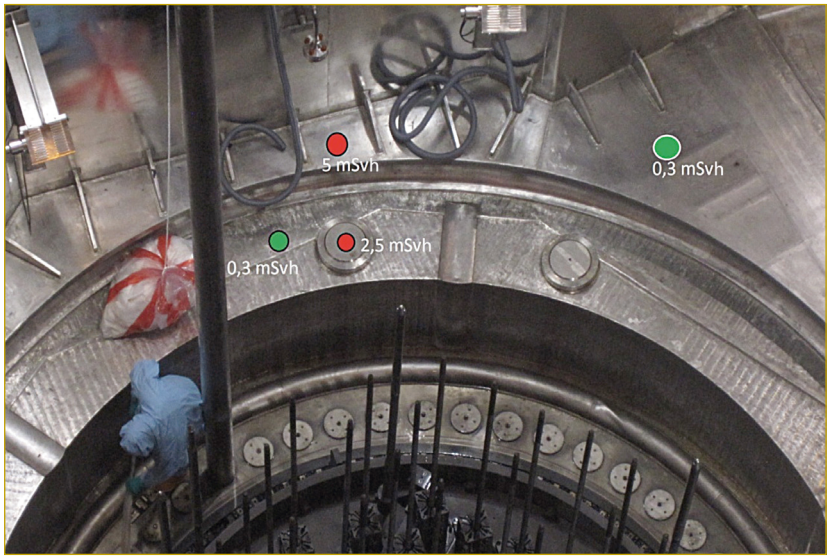

Figura 5: Medidas radiológicas después de la primera intervención.

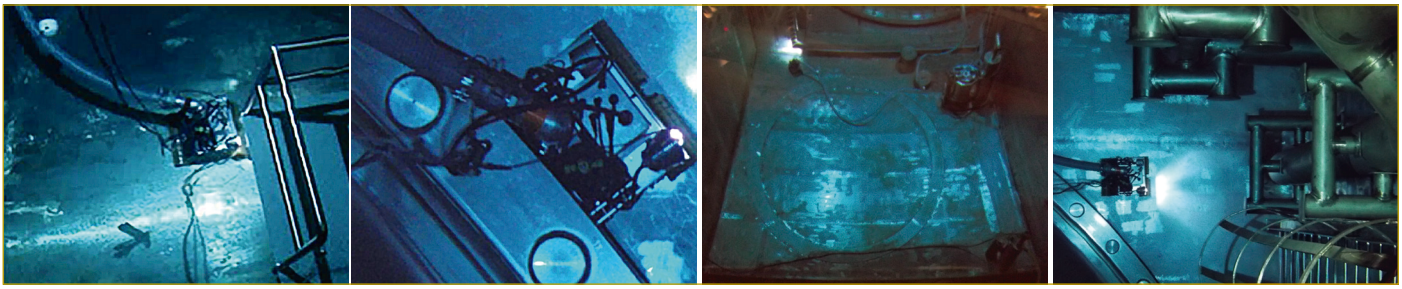

Figura 6. Robot DEMOS durante su operación, previo a la R19 de C.N. Cofrentes.

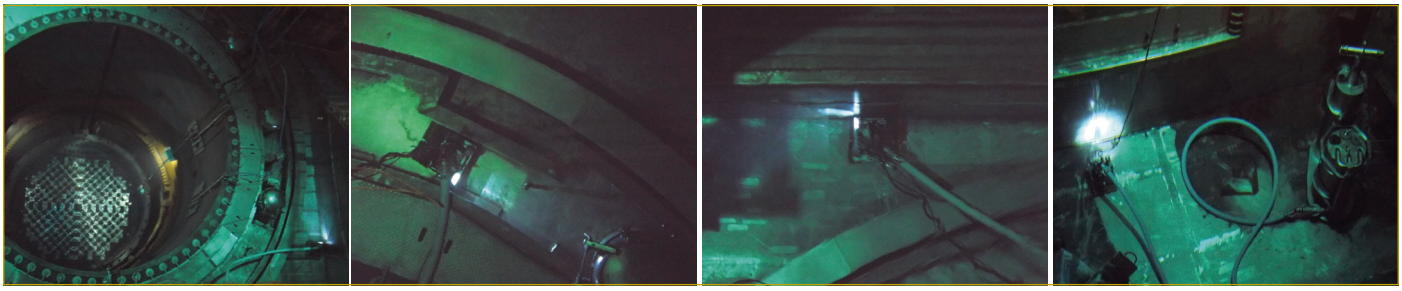

Figura 7. Robot DEMOS operando, durante la R19 de C.N. Cofrentes.

la medición de los filtros del equipo de filtrado sumergido. La medida se realiza sumergiendo la sonda hasta introducirla dentro de los filtros.

Los resultados de las medidas radiológicas más significativas realizadas en los filtros, una vez finalizadas las dos intervenciones, se muestran en la Tabla 1.

También se tomaron medidas en varios puntos de la cavidad para comparar la tasa de dosis entre las zonas que se habían limpiado con el *Demos* y las que no se habían hecho.

Como se puede ver en la Figura 2, los puntos verdes señalizan zonas que se habían limpiado con el robot *Demos*, y la tasa medida era en torno a 300 µSv/h. En rojo aparecen zonas no limpiadas, con tasas de dosis muy superiores, de hasta 5 mSv/h.

Central nuclear de Cofrentes

Previo al inicio de la Recarga 19 de CN Cofrentes, del 2 al 12 de septiembre, se realizó la descontaminación de la cavidad del reactor, de la tapa del *Dry-Well* y su escalera de acceso, así como de las piscinas sur y norte de la planta de recarga.

Las actividades llevadas a cabo durante la Recarga 19ª de combustible comprendieron el aspirado del suelo de la cavidad del reactor, las protecciones de la brida del *Dry-Well*, el anillo entre dicha brida y la de la vasija, las protecciones del *refueling bellows* y el suelo accesible de la piscina sur (recorrido del combustible gastado), incluyendo la zona donde asienta la compuerta de esta última. La ventana de trabajo para estas actividades fue de ocho horas.

En CN Cofrentes, se descontaminaron todas las áreas accesibles al robot, de la cavidad del reactor y las piscinas norte y sur de la planta de recarga.

La actividad retenida en los filtros utilizados en la recarga 19ª fue superior a 24 Sv/h, repartida en los más de 30 filtros utilizados. La tasa de dosis promedio medida con sonda bajo agua en cada filtro fue de aproximadamente 600 mSv/h.

La distribución isotópica de la actividad retirada equivale a un 50 % de Mn-54, un 34 % de Co-60 y un 8 % tanto de Zn-65 como de Fe-59, aunque también se detectaron otros isótopos de corrosión pero su contribución fue mínima frente al resto.

En cuanto a los niveles de radiación medidos en cavidad antes y después de la descontaminación de la Recarga 19ª se obtuvieron los siguientes resultados:

- Reducción del 65 % en los puntos normalizados medidos en suelos.
- Reducción del 40 % en los puntos normalizados medidos en paredes.

Si se comparan los resultados obtenidos en la Recarga 19ª frente a los de la Recarga 18ª (2011), los niveles de radiación medidos tras la descontaminación fueron los siguientes:

- Reducción del 60 % en los puntos normalizados medidos en suelos.
- Reducción del 40 % en los puntos normalizados medidos en paredes.

Los filtros gastados se pueden almacenar bajo agua para reducir los niveles de radiación por decaimiento radiactivo, para posteriormente ser gestionados como residuo radiactivo aceptado por Enresa.

CONCLUSIONES

Tras la finalización del proyecto se llega a las siguientes conclusiones:

- El Centro de Innovación de Grupo Dominguis ha demostrado su capacidad para abordar el proyecto de desarrollo de un sistema de descontaminación robotizado, en base a unas especificaciones técnicas definidas, en un corto periodo de tiempo.
- Las medidas radiológicas realizadas por las Unidades Organizativas de PR de CN Trillo y CN Cofrentes reflejan el cumplimiento del objetivo de reducción de la tasa de dosis, y por tanto, de la dosis operacional en la actividad de descontaminación de cavidad.
- El equipo *Demos* ha permitido realizar el trabajo con la cavidad inundada, pudiendo hacer en paralelo otras actividades y reduciendo el tiempo necesario para la actividad de descontaminación de la cavidad, que se encuentra habitualmente situada en la ruta crítica de los trabajos de recarga.
- El robot desarrollado es un equipo fiable, robusto y versátil. Además, hay que remarcar la inocuidad del proceso de limpieza con la superficie a descontaminar.

Grupo Dominguis considera que el proyecto abordado ha sido un éxito, y por ello se está trabajando en la evolución del equipo para que el *Demos* sea también capaz de realizar la descontaminación de las paredes de la cavidad.