

Sistema de tratamiento de agua contaminada en Fukushima de Areva

P. Gillet

El gran terremoto del Este de Japón y el subsiguiente tsunami del 11 de marzo de 2011 dieron lugar a una situación muy complicada en la central nuclear de Fukushima Dai-Ichi. La compañía Tepco se encontró con grandes dificultades para refrigerar los reactores. A raíz de la implantación de un sistema de refrigeración de los reactores en circuito abierto que utiliza agua de mar, empezó a acumularse en los sótanos de los reactores y en el edificio de turbinas una mezcla de agua marina y agua dulce. Esta agua estaba altamente contaminada en distintos niveles, debido al contacto con los elementos de combustible dañados y con los elementos contaminados. A pesar de los esfuerzos por aumentar la capacidad de almacenamiento de agua, se calculó que a finales de junio de 2011 el agua se desbordaría por haberse llegado al límite de capacidad. La central necesitaba urgentemente un sistema de descontaminación que redujera drásticamente la actividad del agua. Esto permitiría la recirculación para refrigerar los reactores, reduciría las necesidades de almacenamiento de agua y facilitaría el acceso para realizar otras operaciones de reparación en el emplazamiento, al disminuir la actividad. Se calculó que la cantidad de agua que había que procesar era de unas 100.000 toneladas, con un nivel de contaminación que llegaba a 1Ci/L.

The Great East Japan earthquake and following tsunami that occurred on March 11, 2011 resulted in a very difficult situation on the site of the Fukushima Dai-Ichi NPP. TEPCO was facing a very difficult challenge to cool down the reactors. Following the implementation of an open circuit reactor cooling using seawater, mixed seawater and freshwater began to accumulate in the basements of the reactors and turbine building on site. This water was highly contaminated at different levels, due to contact with damaged fuel elements and contaminated elements. Despite efforts to increase water storage capacity, it was estimated that in end of June 2011, water would overflow as storage capacity would be reached. The site was urgently in need of a water decontamination system that would greatly reduce the activity of the water. This would allow a recirculation to cool the reactors, reduce the water storage needs and facilitate access for other site remediation operations by decreasing the activity on site. Quantity of water to be processed was estimated at about 100,000 tons with contamination level reaching 1Ci/L.

AYUDA DE EMERGENCIA INMEDIATA Y PRESTACIÓN DE AUXILIO

Areva movilizó sus recursos para enviar equipos de ayuda de emergencia a Japón:

- equipos de medición de radioactividad (instrumentos de protección radiológica portátiles, equipo de laboratorio de espectroscopia, monitor de contaminación de despliegue rápido y camiones de supervisión medioambiental),
- equipos de protección para los trabajadores del emplazamiento, equipos de respiración autónomos, mantas, máscaras de protección FFP2, trajes y máscaras de protección contra productos peligrosos).

También se envió a Fukushima Dai-Ichi desde el lugar de construcción de las instalaciones de fabricación de combustible MOX (MFFF: *Mox Fuel Fabrication Facility*) de Carolina del Sur en Estados Unidos una bomba de hormigón que se utilizó para enfriar los reactores.

Areva envió estos equipos junto con suministros facilitados por EDF (ácido bórico) y por empresas de servicios públicos alemanas.

UNIDAD DE TRATAMIENTO DE AGUA ACTIFLO™-RAD

Movilización ante un reto extraordinario

A petición de Tepco y del gobierno japonés, se enviaron a Japón inicial-



PHILIPPE GILLET

Chemical Engineer of ENSIC of Nancy (France), began his career in 1986 within the Areva Group in the Engineering subsidiary SGN. In 1993 he was appointed process engineer at SGN Tokyo in the frame of the design of the Rokkasho-mura Reprocessing Plant (RRP).

Made from 1998 to 2001 a second stay in Japan as Back-End General Manager at Areva Japan.

Back to France in 2001, he was appointed at La Hague plant Project Director for the implementation of the partnership JNFL-Areva for the RRP start-up

In 2004, he became head of the Business Department of the Recycling Business Unit, and from 2010 Vice President, Business Department, Back-End Business Group.

In May 2011, he was sent to Japan to manage the cooperation of Areva to Tepco following the Fukushima accident. He is also VP, Asia Business of the D&D (Decommissioning and Dismantling) Business Unit.

mente ocho expertos de Areva a finales de marzo, con el apoyo de los recursos de ingeniería e I+D mundiales de la empresa. Estos especialistas cubrían competencias interdisciplinarias en los campos de la descontaminación de efluentes radiactivos, protección contra la radiación, gestión de combustible usado y limpieza. Tras la evaluación de la situación con Tepco, en unos días se presentaron proyectos de soluciones. Al mismo tiempo, comenzaron a realizarse estudios de ingeniería y pruebas de laboratorio para evaluar la solidez de las soluciones.

En sólo diez días, Areva y su asociada Veolia Water definieron una solución para la descontaminación del agua: el sistema Actiflo™-Rad, que fue aceptado por Tepco el 8 de abril.

Esta capacidad de reacción fue posible gracias a que Areva y Veolia Water desarrollan y gestionan instalaciones de tratamiento de efluentes de eficacia probada y a que están respaldadas por sólidas capacidades de I+D. En las instalaciones de tratamiento de la parte final

del ciclo del combustible de La Hague y Marcoule se utiliza el proceso de precipitación de radionucleidos. La unidad de tratamiento de agua Actiflo™ es un equipo flexible que se utiliza desde hace más de 20 años en todo el mundo.

El proyecto tenía que ejecutarse en sólo dos meses, en lugar de en un año, en un entorno multicultural con distintos husos horarios y distintos idiomas.

Para poder cumplir este plazo tan ajustado, el proyecto se organizó en torno a un equipo local de unos 20 especialistas en Japón, respaldado por un equipo de apoyo internacional en Francia, Alemania y Estados Unidos que permitía garantizar la presencia continua. En el proyecto participaron más de 200 personas en total.

Los estudios de I+D se desarrollaron en la medida de lo posible en paralelo con el diseño, hasta la puesta en marcha de la instalación. Para reducir el tiempo de suministro de material, se buscaron unidades Actiflo™ disponibles en Japón y se transfirieron a Fukushima.

Hubo que hacer frente a importantes desafíos técnicos, debido a las dificultades de evaluación de la situación local. La composición de los efluentes no se conocía con certeza y cambiaba constantemente.

Por otra parte, en una situación normal, los niveles de actividad del agua contaminada hubieran exigido el diseño y la construcción de un edificio específico para el tratamiento del agua, con operaciones y mantenimiento remotos. Esta circunstancia aumentaba la complejidad del diseño y de la implementación. Areva, Veolia y su socio japonés JGC, junto con Tepco y sus empresas asociadas, trabajaron en el diseño de una unidad de emergencia sólida, simple y eficaz. Los equipos Actiflo™ existentes se adaptaron al

entorno nuclear: se modificaron (por ejemplo, las válvulas se duplicaron, se sustituyeron o se cambiaron de sitio) y se protegieron para facilitar el mantenimiento de la unidad y limitar los índices de exposición de los trabajadores.

Descripción general del plan de tratamiento global instalado en el emplazamiento 1F

El método de proceso elegido por Tepco para el tratamiento de las aguas radiactivas se compone de:

- una unidad de desengrase (Toshiba),
- una unidad de absorción de cesio (Kurion, proceso de absorción): factor de descontaminación (DF) entre 100 y 1.000,
- una unidad de descontaminación (Areva-Veolia, proceso de coprecipitación): DF entre 1.000 y 10.000,
- una unidad de desalinización (Hitachi, Areva-Veolia y Toshiba, ósmosis inversa y evaporación).

La capacidad de tratamiento es de 50 m³/h, lo que permite la recirculación del agua en los reactores y reducir la cantidad de agua acumulada.

Proceso Actiflo™-Rad

El proceso Actiflo™-Rad de dos etapas se compone de dos unidades mezcladoras-decantadoras de Veolia Water (Multiflo™ y Actiflo™), en las que se aplica el método de coprecipitación desarrollado por Areva.

El agua contaminada penetra en primer lugar en los tanques de precontacto (dos tanques de 40 m³ para cada etapa del proceso de tratamiento) en el que se mezcla con varios reactivos para capturar los distintos elementos radiactivos y poder extraerlos de las soluciones. Entre los reacti-

vos utilizados en Fukushima Dai-ichi figuran, por ejemplo, el ferrocianuro de níquel, para capturar el cesio, y el sulfato de bario, para precipitar el estroncio.

El agua residual se transfiere después a los mezcladores-decantadores. En primer lugar, el agua pasa por el tanque de floculación, donde se mezcla con agentes coagulantes y experimenta un ajuste de pH. El agua puede mezclarse con microarena en un segundo tanque, y se mezcla con un polímero en el tercer tanque: el tanque de maduración. Todos estos tanques se agitan mecánicamente.

Los precipitados y las disoluciones coloidales se separan del agua por decantación. Se utiliza un bastidor de placas metálicas inclinadas, denominadas lamelas, para mejorar la separación del material floculado del agua que fluye a través de las placas.

El material sólido se deposita en el fondo del cuarto tanque, el tanque de decantación, mientras que el agua descontaminada rebosa hasta los tanques de almacenamiento.

El fango precipitado en el fondo del tanque de decantación que contiene todos los radionucleidos capturados se bombea a la segunda etapa del proceso Actiflo™-Rad o a una instalación de almacenamiento de fangos.

I+D de Actiflo™-Rad

Durante los diez primeros días de definición del proceso, se realizaron satisfactoriamente pruebas activas preliminares en Areva La Hague y CEA Marcoule en Francia, así como en los laboratorios Veolia de Francia y Japón.

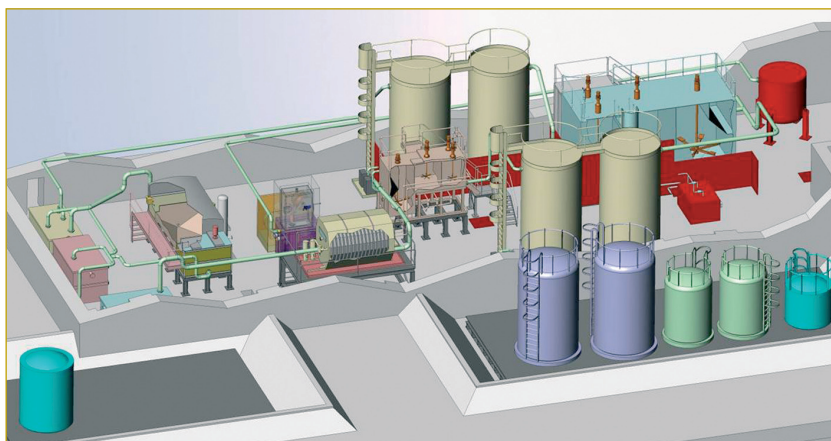
Se realizó una simulación del agua residual de Fukushima mezclando agua de mar con ácido bórico y productos de fisión de la planta de reciclado de La Hague. Las pruebas demostraron la eficacia de los reactivos ppFeNI (ferrocianuro de níquel) y BaSO₄ para descontaminar de cesio y estroncio el agua residual salada.

La eficacia de la floculación en el proceso Actiflo™-Rad se evaluó mediante ensayos *jar tests* en los laboratorios Veolia de Francia y Japón. Estas pruebas validaron la compatibilidad de los reactivos de Areva y Veolia, y determinaron la velocidad de sedimentación y la turbidez del sobrenadante. Se demostró que un proceso Actiflo™-Rad de dos etapas conseguiría un factor de descontaminación de cesio de 1.000 a 10.000 y un factor de descontaminación de estroncio de 10 a 100.

Tras efectuarse las pruebas de viabilidad, se llevaron a cabo tareas de I+D para la optimización del diseño en una amplia gama de aguas residuales con características distintas (presencia de cloro, alta salinidad, pH, temperatura de los



Montaje de la instalación en la planta de Fukushima Dai-ichi. © TEPCO.



Vista 3D del sistema de Areva/Veolia. © Areva.

efluentes de 20 a 60°C) que demostraron que no tenían un efecto significativo en el factor de descontaminación de cesio y estroncio. Se evaluaron las ventajas colaterales, es decir, los factores de descontaminación en otros radionucleidos aparte del cesio y el estroncio (DF Ru ~10; DF Rh ~10; DF Eu ~100; DF Ce ~10; DF Am ~20; DF Cm ~2; DF Ba-140 ~10). Se determinó la concentración óptima de cada reactivo en la configuración industrial con fango reciclado, y se optimizaron las cantidades de fango en un factor 10 en comparación con la producción de fango de las pruebas de La Hague. Se especificó el tiempo de contacto óptimo entre las aguas residuales y los reactivos (más de una hora) para el diseño de la unidad, lo que dio lugar a la instalación de los tanques de precontacto.

Por último, en la planta de Veolia Kawasaki (Japón) se realizaron pruebas piloto en un modelo a escala 1/10 para la validación de la ingeniería química.

RESULTADOS DEL TRATAMIENTO DE AGUA EN EL EMPLAZAMIENTO

A pesar de los enormes retos planteados, la unidad de tratamiento de agua comenzó a funcionar a tiempo y tuvo el rendimiento esperado. Para septiembre de 2011 se habían descontaminado 77.400 toneladas de agua altamente radiactiva utilizando la unidad Actiflo™-Rad y el factor de descontaminación de cesio alcanzado por dicha unidad era superior a 10^4 . Esto ha permitido a Tepco establecer un circuito cerrado de refrigeración por agua para los reactores y piscinas de combustible usado, y, por encima de todo, ha evitado el desbordamiento y el vertido al mar de agua altamente contaminada.

EL CAMINO A SEGUIR

El proyecto de descontaminación de agua ha sido un éxito y se ha ejecutado en un tiempo record. Este logro ha sido posible

gracias a la experiencia y a la capacidad de Areva en la descontaminación de efluentes radiactivos, a los conocimientos técnicos de Veolia en equipos de tratamiento de agua en entornos de crisis y, por supuesto, a la creatividad de los equipos de Areva y Veolia.

El éxito del proyecto también se debe a la capacidad de reacción de los equipos de Areva y Veolia y al alto nivel de compromiso de los equipos de ingeniería que han trabajado ininterrumpidamente en Japón, Francia y Alemania. Finalmente, el proyecto de gestión y ejecución global de Tepco

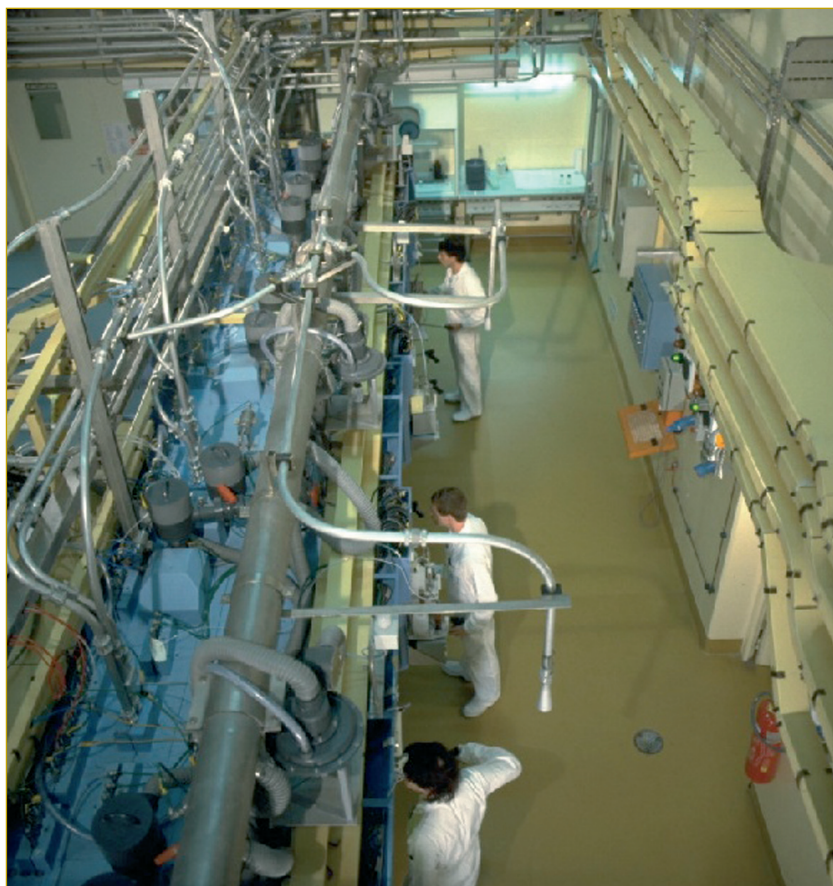
y de otras empresas japonesas ha sido sumamente eficaz.

Areva y Veolia han comenzado a desarrollar una unidad de filtración y descontaminación de agua inspirada en la experiencia de Actiflo™-Rad en Fukushima. Dicha unidad serviría para tratar las aguas residuales de las centrales nucleares existentes en condiciones normales y podría utilizarse en situaciones de crisis.

Atendiendo a su amplia experiencia en la gestión de residuos y en la clausura y desmantelamiento de centrales nucleares, Areva sigue prestando apoyo a Tepco y a las comunidades de la zona de Fukushima para allanar el camino para la clausura de esta central y preparar el regreso de la población local.

Se han desarrollado procesos y herramientas para la descontaminación y recuperación del suelo, como son la caracterización y la clasificación de suelos, la reducción del volumen de residuos y la creación de instalaciones de acondicionamiento. También se han estudiado soluciones innovadoras en colaboración con CEA, como, por ejemplo, la fitorrecuperación y el uso de espumas.

Todas estas soluciones se han articulado y propuesto en una estrategia completa de clausura y desmantelamiento y gestión de residuos. ■



Pruebas del sistema en las instalaciones de Areva. © Areva.