

Zorita Internals Research Project (ZIRP): un caso de I+D en el desmantelamiento

M.^a P. Barreira

El proyecto ZIRP, *Zorita Internals Research Project*, tiene como objetivo analizar el comportamiento de los materiales metálicos de los internos de la vasija del reactor de la central nuclear José Cabrera (Zorita) tras haber estado sometidos a un largo periodo de irradiación. Con esta finalidad se han extraído muestras de los internos del reactor que están siendo ensayadas en laboratorio.

El proyecto, liderado por *Electric Power Research Institute (EPRI)*, se considera de gran interés y repercusión internacional. Sus resultados serán una contribución de alto valor para la explotación segura continuada de la flota mundial de plantas nucleares en operación, así como para el diseño de nuevos reactores.

Este artículo se focaliza en las actividades del proyecto ZIRP realizadas en España.

Zorita Internals Research Project, ZIRP, has as main objective the analysis of metallic materials from José Cabrera NPP (Zorita) reactor vessel internals in order to assess the degradation of their properties after being subject to an extended period of irradiation in a commercial reactor. In order to achieve this goal, samples from Zorita reactor vessel internals have been harvested and are being tested in different international laboratories.

Led by Electric Power Research Institute (EPRI), ZIRP is considered a high interest and international relevant project, considering that results from an appropriate testing plan of the Zorita materials are of high value to the continued safe operation of the nuclear power fleet worldwide, as well as to new reactor designs.

This article is focused in ZIRP activities carried out in Spain.



M.^a DEL PILAR BARREIRA PEREIRA

Responsable de Proyectos de Simulación e I+D en el Departamento Nuclear
GAS NATURAL FENOSA ENGINEERING

Licenciada en Física por la Universidad de Santiago de Compostela, especialidad en Física Nuclear y de Partículas. Máster en Ingeniería Nuclear del Ciemat por la Universidad Autónoma de Madrid. Se incorporó a la Dirección Nuclear de Gas Natural Fenosa Engineering en el año 1997. Ha dado apoyo a CN José Cabrera en las Áreas de Ingeniería Nuclear, Seguridad y Operación durante las fases de explotación y parada definitiva de la planta. Ha colaborado en diversos proyectos internacionales de I+D, entre los que destaca la Jefatura de Proyecto de ZIRP-España. Actualmente, da soporte a las CC.NN. de Trillo y Almaraz en diferentes áreas.

INTRODUCCIÓN

El 30 de abril de 2006 la central nuclear José Cabrera (en adelante, Zorita), propiedad de Gas Natural Fenosa, cesó definitivamente su explotación tras 37 años de operación comercial. El estudio del envejecimiento de los materiales metálicos de los internos de la vasija de Zorita tras haber estado sometidos a irradiación durante un largo periodo de tiempo dentro de un reactor comercial, se considera de alto valor para contribuir a la operación segura continuada de las plantas nucleares actualmente en explotación, así como para el diseño de nuevos reactores.

En la actualidad, el conjunto de datos disponibles sobre las propiedades de aceros inoxidables irradiados se considera insuficiente para poder evaluar el comportamiento de los componentes internos de los reactores en todo el espectro de exposición a las radiaciones que se prevé durante la explotación de los reactores de

agua ligera en operación, máxime teniendo en cuenta los proyectos de operación a largo plazo. Para compensar la falta de información real, se recurre habitualmente a la irradiación de muestras metálicas en reactores experimentales rápidos, con la incertidumbre que este proceso añade a las conclusiones de los análisis, dado que la evolución de las propiedades de los materiales podría ser dependiente del modo en el que se produce la irradiación. Por lo tanto, los resultados obtenidos mediante irradiación en reactores rápidos podrían diferir del comportamiento real de los materiales durante la vida operativa de un reactor comercial.

El interés suscitado por los materiales de Zorita frente a los internos de otras plantas nucleares en desmantelamiento radica en los altos flujos de irradiación incidente derivados del reducido tamaño del reactor, PWR-Westinghouse de un lazo de refrigeración, así como en un espesor de las placas deflectoras del núcleo apreciablemen-

te superior al utilizado habitualmente en la industria nuclear para este tipo de estructuras.

El proyecto ZIRP, *Zorita Internals Research Project*, tiene como objetivo recuperar parte de los internos de la vasija de Zorita con la finalidad de ensayar posteriormente en laboratorio los materiales extraídos y analizar el comportamiento y potencial degradación de sus propiedades a consecuencia de los altos flujos de irradiación generados durante la explotación comercial de la planta. El proyecto se gestó en España en el año 2005 a la vista del cese inminente de la explotación de Zorita. El potencial interés de los materiales de los internos de su vasija para la mejora del conocimiento de la industria nuclear en diferentes áreas (operación a largo plazo, inspecciones, licenciamiento,...) alentó a un grupo de instituciones españolas, entre las que destacaban el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), Gas Natural Fenosa, la Comisión de Tecnología de Unesa

y el Ciemat, a mostrar un especial interés en trabajar conjuntamente para el lanzamiento de un proyecto al respecto. Al mismo tiempo, diferentes instituciones internacionales mostraban su interés en la misma dirección.

El interés suscitado por el proyecto hizo que otras empresas españolas expresaran su intención de participar, por lo que se creó un grupo de trabajo multidisciplinar para gestionar la participación española en el proyecto ZIRP. Además de las anteriormente mencionadas, las siguientes empresas e instituciones colaboraron activamente en diversas etapas del proyecto: Gas Natural Fenosa Engineering, ENSA, Grupo Enusa, Tecnatom, Centrales Nucleares Españolas PWR y Enresa. Debido al carácter y objetivos de este proyecto, la participación española en el proyecto ZIRP se enmarcó dentro del ámbito de proyectos colaborativos de la Plataforma Tecnológica de Energía Nuclear de Fisión, CEIDEN.

La carencia de infraestructuras adecuadas para la manipulación y realización de ensayos de laboratorio de materiales altamente irradiados en España y la dimensión internacional de este tipo de proyectos, obligó al grupo de trabajo español a buscar colaboraciones internacionales con las que compartir estos materiales y sus análisis. En esta línea, en el año 2006 se iniciaron contactos con diferentes programas internacionales de investigación de materiales, entre los que destacaban el Programa Internacional sobre Corrosión Bajo Tensión Asistida por Irradiación (IASCC IAC Program, en el que participan EPRI, las empresas eléctricas japonesas, Vattenfall (Suecia), Tractebel (Bélgica), EDF (Francia), así como Mitsubishi Heavy Industries, Westinghouse y compañías eléctricas suizas como miembros asociados) y el grupo de trabajo *Integrity and Ageing of Components and Structures (IAGE)* de la Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE-NEA, este último en el ámbito de los organismos reguladores. A principios del año 2009 las negociaciones con el programa de la OCDE-NEA fracasaron, manteniéndose el interés de dos de sus participantes: la *Nuclear Regulatory Commission (NRC)* y el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), que alcanzaron un acuerdo con el IASCC IAC para integrarse dentro de su programa de materiales. Finalmente, la gestión del programa de materiales fundado por el IASCC IAC para el aprovechamiento de los internos de Zorita se trasladó a EPRI (Figura 1), pasando a ser liderado desde el Pro-

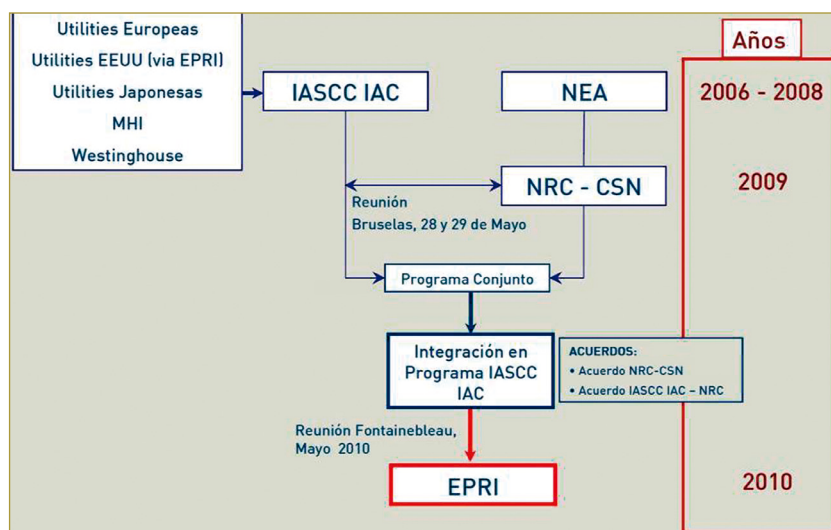


Figura 1. Histórico de las negociaciones internacionales.

grama de Fiabilidad de Materiales (*Materials Reliability Program, MRP*).

Los miembros del MRP incluyen a las 26 empresas eléctricas con reactores nucleares en EE UU; Electricite de France (EDF), Unesa y Rolls Royce en Europa; TaiPower, Korea Hydro Nuclear Power (KHNP), Kansai Electric Power Company (KEPCO), Shikoku Electric Power Company, Hokkaido Electric Power Company y Japan Atomic Power Company (JAPC) en Asia. Además de las empresas involucradas en el MRP, el proyecto cuenta adicionalmente con el apoyo internacional de otros socios como diversas empresas eléctricas de EE UU, Suecia, Bélgica, Suiza y Japón, así como organismos reguladores de EE UU (*Nuclear Regulatory Commission, NRC*), Suecia (*Swedish Radiation and Safety Authority, SSM*) y España (Consejo de Seguridad Nuclear, CSN).

La gran cantidad de socios internacionales involucrados en el proyecto ZIRP avalan el alto interés y repercusión del mismo en el sector nuclear mundial.

FASES DEL PROYECTO ZIRP

El proyecto ZIRP se ha desarrollado en dos fases, estando la primera concluida y en proceso la segunda:

• Fase 1: proyecto ZIRP-España

Como primera actividad de esta fase se desarrolló un estudio de viabilidad de proyecto que incluía, además de la recopilación de información relativa a la composición, características y propiedades originales de los materiales de los internos, una estimación preliminar de las condiciones operativas a las que habían estado sometidos, con la finalidad de evaluar el interés real

de los mismos. El máximo daño por irradiación en el material metálico de las placas deflectoras del reactor de Zorita fue estimado preliminarmente por Gas Natural Fenosa Engineering en 58 DPA (desplazamientos por átomo), como medida estándar del daño de materiales metálicos sometidos a irradiación, lo que confirmaba el alto interés tecnológico de los materiales seleccionados. Adicionalmente, el Ciemat propuso una exhaustiva matriz de ensayos cuya finalidad era extraer el máximo conocimiento posible para el sector nuclear a partir de los materiales disponibles durante el desmantelamiento de Zorita.

Las actividades relacionadas con el estudio de viabilidad fueron objeto de financiación mediante un Acuerdo CSN-Unesa, encuadrado dentro del pasado Plan Coordinado de Investigación (PCI).

Una vez confirmado el interés de los materiales, el proyecto ZIRP-España desarrolló la caracterización de detalle de los internos mediante la reproducción *best estimate* de las historias de radiación y temperatura a las que han estado sometidos durante la vida operativa de Zorita. La fiabilidad y precisión de estos análisis son críticas para relacionar inequívocamente el comportamiento y degradación de las propiedades de los materiales metálicos con las condiciones operativas reales de la planta.

Las otras actividades fundamentales en esta fase son las actividades en el emplazamiento de Zorita, focalizadas en las operaciones de corte y acondicionamiento de las muestras de material, así como en las tareas de manejo y preparación del contenedor de transporte para su expedición. Incluyen, además, todas las actividades

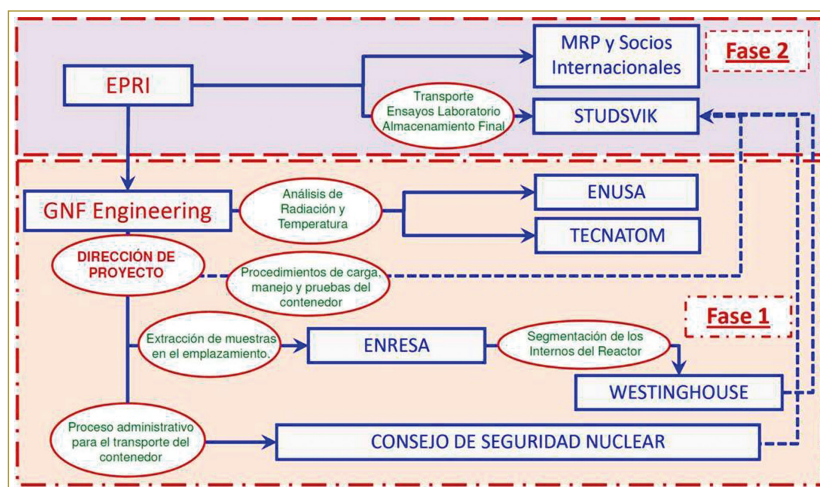


Figura 2. Marco contractual del proyecto ZIRP.

asociadas necesarias para el óptimo desarrollo de dichas operaciones y para la minimización de su impacto en la planta.

Al inicio del proyecto se planteaba la realización de las actividades en el emplazamiento de Zorita bajo la titularidad de Gas Natural Fenosa y durante la fase de parada definitiva de la planta, antes de la transferencia de la titularidad de la instalación a Enresa para acometer el proyecto de desmantelamiento. Finalmente y debido a la dificultad para cerrar los acuerdos internacionales que garantizasen la financiación y ejecución del proyecto, fue necesario retrasar la extracción de muestras hasta la fase de desmantelamiento, incorporándose como una actividad adicional financiada por Enresa dentro del plan de segmentación de internos de la vasija, llevado a cabo por Westinghouse. Este nuevo horizonte imponía limitaciones adicionales al proyecto ya que, por un lado, la extracción de muestras debería realizarse en una ventana temporal muy restringida y prefijada por el plan de segmentación de los internos de la vasija y, por otro, no debería implicar a Enresa interferencias ni demoras en el proyecto del desmantelamiento. En contraposición, presentaba una oportunidad excepcional como caso aplicable de I+D en el entorno de un proyecto de desmantelamiento.

Las muestras de material extraídas de los internos de la vasija de Zorita han sido cedidas por España al proyecto sin coste alguno en beneficio de la comunidad científica internacional, representando por lo tanto una contribución en especie del sector nuclear español al ZIRP.

La fase ZIRP-España, cuyo marco contractual de empresas implicadas puede verse en la Figura 2, se desa-

rolló entre los años 2007 y 2013 y estuvo liderada en España por Gas Natural Fenosa Engineering, responsable de la Dirección de Proyecto, Coordinación General y Técnica e Ingeniería de Proyecto. Las principales actividades técnicas desarrolladas por Gas Natural Fenosa Engineering en la fase ZIRP-España se describen con más detalle en apartados posteriores de este artículo.

• Fase 2: proyecto ZIRP-Internacional

Esta fase consiste, fundamentalmente, en la definición y ejecución de un exhaustivo programa de ensayos experimentales en laboratorio con el objetivo de extraer el mayor conocimiento posible del comportamiento y propiedades remanentes de las muestras metálicas de los internos de Zorita, pudiendo analizarse así la degradación de los mismos en función de las condiciones operativas a las que han estado sometidos. Los ensayos previstos están orientados, fundamentalmente, al análisis de los siguientes fenómenos: susceptibilidad a corrosión bajo tensión asistida por irradiación (IASCC, *Irradiation Assisted Stress Corrosion Cracking*), cambios en la resistencia mecánica, velocidad de crecimiento de grietas, determinación de tenacidades de fractura, crecimiento de huecos por efecto térmico (*void swelling*), envejecimiento térmico del material, deformaciones microestructurales,...

Esta fase se inició en julio del año 2013, siendo su primera actividad la expedición de las muestras de material desde el emplazamiento de Zorita hasta los laboratorios de Studsvik en Suecia, siendo responsable de esta actividad Studsvik Nuclear AB.

Asimismo, el proyecto internacional es el responsable del almacenamiento definitivo de las muestras una

vez ensayadas. Esta condición de no retorno de las muestras fue impuesta por España como requisito imprescindible para la viabilidad del proyecto, dado que la ventana de tiempo disponible desde la extracción de las muestras hasta el cierre y sellado del último contenedor del Almacén Temporal Individualizado (ATI) de Zorita no era suficiente para la realización de todos los ensayos de laboratorio planificados, cuya finalización se estimaba inicialmente en el año 2016.

En la actualidad, se están llevando a cabo parte de los ensayos programados con un cupo de las muestras extraídas, mientras que otra cantidad importante del material obtenido de Zorita será irradiado adicionalmente en reactores experimentales con la finalidad de obtener condiciones equivalentes a las esperadas para la flota de reactores estadounidenses tras 80 años de vida operativa. Tras esta irradiación adicional, los materiales serán nuevamente ensayados y analizados con la finalidad de aumentar el conocimiento en este ámbito de cara a la operación a largo plazo.

Los resultados de los análisis realizados a las muestras de material irradiado de Zorita en el proyecto ZIRP serán accesibles directamente al CSN en virtud de su participación directa en el programa de ensayos a través del acuerdo firmado con la NRC. Adicionalmente, el sector nuclear español tendrá acceso a la información disponible en los diversos informes de resultados del proyecto ZIRP que serán recibidos por Unesa dentro del Programa de Materiales del EPRI (MRP).

CARACTERIZACIÓN DE MATERIAL: ANÁLISIS DE RADIACIÓN Y TEMPERATURA

Los análisis tridimensionales de radiación y temperatura en los internos de la vasija del reactor de Zorita tienen como objetivo reproducir mediante cálculos *best estimate* las historias de irradiación y térmicas de los materiales metálicos estructurales de las placas deflectoras, placas formadoras y barrilete del núcleo, a lo largo de la vida operativa de la planta. En particular, se analizarán con detalle las características de las localizaciones seleccionadas para la extracción de muestras.

La finalidad de estos análisis es:

- Caracterizar el daño por irradiación a los materiales mediante la determinación más exacta posible de las distribuciones tridimensionales de fluencia neutrónica acumulada, DPA y temperatura a las

que los materiales han estado sometidos durante la vida operativa de la planta.

- Permitir el establecimiento de correlaciones entre las condiciones a las que han estado sometidos los materiales y la degradación de sus propiedades, una vez realizados los ensayos de laboratorio.

Estos análisis han sido realizados conjuntamente por Gas Natural Fenosa Engineering, Enusa y Tecnatom, mediante la realización de simulaciones con los códigos APA (Alpha/Phoenix-P/ANC), Origen, MCNP5 y ANSYS, y siguiendo una metodología desarrollada por Gas Natural Fenosa Engineering (Figura 3) y aprobado por EPRI. En la medida de lo posible, la metodología utilizada cumple con los criterios, requerimientos y recomendaciones definidas en la *Regulatory Guide 1.190, Calculational and Dosimetry Methods for Determining Pressure Vessel Neutron Fluence* (NRC, March 2001).

Una de las principales dificultades que presentó esta actividad fue la de coordinar las interfaces entre las partes, así como asegurar la coherencia y calidad de la gran cantidad de datos intercambiados entre códigos y etapas de cálculo.

La primera actividad necesaria para el desarrollo de estos análisis fue el cálculo minucioso de las fuentes neutrónicas y gamma del núcleo del reactor, así como de la composición isotópica de todos los elementos combustibles, en los estados de simulación representativos de cada uno de los 29 ciclos de operación de Zorita. Estas fuentes se obtienen tras la reproducción *best estimate* de la historia mensual de potencia de la planta desde el año 1968 hasta el año 2006, con un total de 29 ciclos de operación y 594 elementos de combustible analizados.

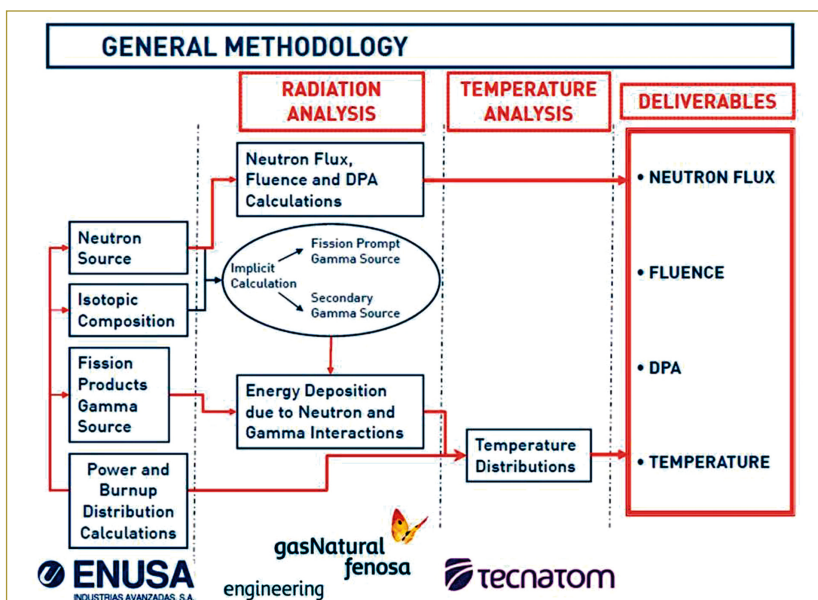


Figura 3. Metodología general de los análisis de radiación y temperatura.

Gas Natural Fenosa Engineering desarrolló un modelo tridimensional en MCNP5 para, tomando como dato de partida las fuentes de radiación del núcleo y la composición isotópica de los elementos combustibles para cada uno de los ciclos de operación de la planta, determinar los mapas tridimensionales de irradiación neutrónica y gamma de los internos de interés de la vasija. El modelo incluye un detalle radial de cuarto de elemento combustible para los elementos internos del núcleo y un detalle *pin by pin* para los elementos periféricos. Axialmente, la longitud activa se divide en 20 nodos. Cada una de las celdas definidas en el modelo del núcleo permite la introducción de valores diferentes de intensidad de fuente, espectro energético y composición isotópica. El alto grado de detalle introducido en el modelo, tanto a nivel geométrico como de las propiedades

que definen las fuentes de irradiación, caracterizan la complejidad de los análisis (Figuras 4 y 5).

Los análisis de radiación tienen como objetivo principal estimar el valor de la fluencia neutrónica acumulada y de los desplazamientos por átomo (DPA) en los materiales metálicos de los internos a lo largo de la historia operativa completa de la planta. Los resultados de los análisis se muestran en mapas tridimensionales de las variables estudiadas – flujos, fluencia y DPA – para cada uno de los internos del reactor considerados de interés: placas deflectoras, placas formadoras y barrilete del núcleo (Figura 6). Los resultados muestran con precisión las zonas de máximo daño por irradiación neutrónica, correspondientes a las esquinas entrantes de las placas deflectoras, así como los altos gradientes de atenuación de las magnitudes en estudio entre diferentes locali-

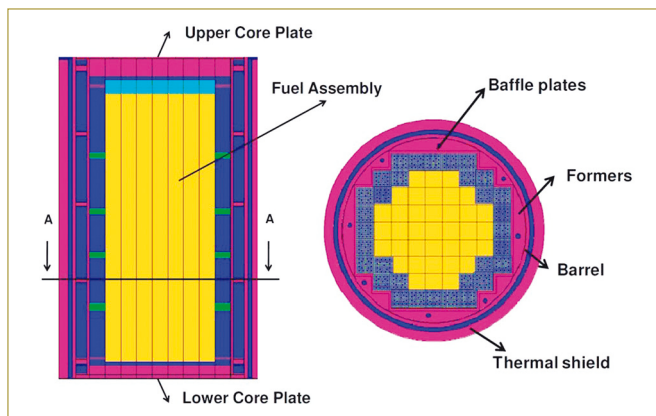


Figura 4. Vista axial y radial del modelo de MCNP5 para los análisis de radiación.

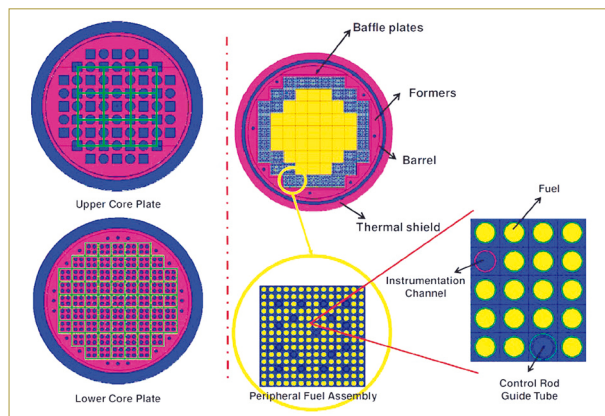


Figura 5. Detalle del modelo de las placas superior e inferior del núcleo y de los elementos combustibles periféricos.

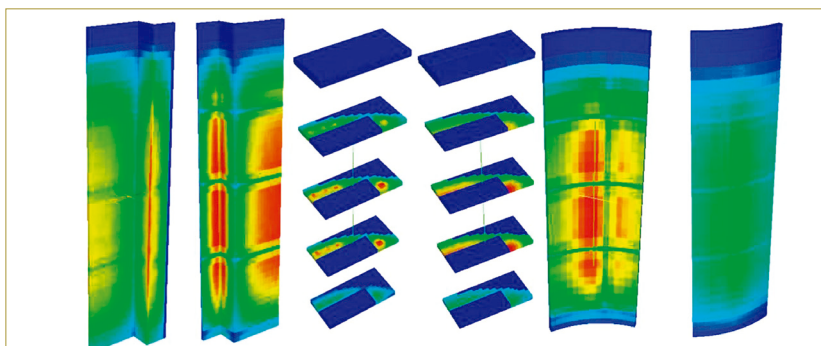


Figura 6. Diferentes patrones tridimensionales de irradiación en las placas deflectoras, formadoras y barrilete del núcleo del reactor de Zorita.

zaciones dentro de las estructuras y, en particular, a lo largo del espesor de los internos, comprobándose una reducción apreciable de sus valores en las placas formadoras y en el barrilete del núcleo.

Los elevados valores de fluencia neutrónica acumulada y DPA alcanzados en los internos de Zorita, con zonas de máxima irradiación aceptada de 50,4 DPA (valor que incluye una reducción de un 20 % con relación a los resultados obtenidos directamente de los cálculos de irradiación con MCNP5, debido a recomendaciones bibliográficas basadas en las diferencias entre valores calculados y experimentales para esta magnitud), justifican la selección de este reactor para el objetivo perseguido por el proyecto ZIRP.

Adicionalmente, tomando como datos de partida para cada uno de los ciclos de operación de la planta la potencia liberada por los elementos combustibles, los parámetros termo-hidráulicos del refrigerante a su paso por el núcleo y la energía depositada en los internos a consecuencia de la interacción de la radiación gamma y neutrónica con la materia (datos obtenidos del análisis de radiación previo), se realiza un cálculo acoplado de fluidodinámica y transmisión de calor que permite identificar los puntos calientes en el interior del metal estructural. Esta información es de gran utilidad para la búsqueda y evaluación del comportamiento de localizaciones en las que pueda haberse producido *void swelling*, efecto térmico que modifica la estructura interna del metal a partir de un determinado umbral de temperatura.

Los análisis de radiación y temperatura de los internos de Zorita se desarrollaron entre los años 2011 y 2013.

ACTIVIDADES EN EL EMPLAZAMIENTO DE ZORITA

Esta etapa del proyecto consta, fundamentalmente, de las operaciones

de corte y acondicionamiento de los materiales de los internos de la vasija de Zorita, incluyendo todas aquellas actividades asociadas que sean necesarias para el óptimo desarrollo de dichas operaciones y para la minimización de su impacto en la planta. Incluye, además, las actividades de manejo y transferencia del contenedor de transporte de las muestras por el interior de las instalaciones.

Las piezas cortadas para el proyecto ZIRP son un total de ocho muestras; seis procedentes de las placas deflectoras y dos de la soldadura longitudinal del barrilete del núcleo, todas ellas constituidas de acero 304 SS, Annealed Hot Rolled & Pickled. Las muestras fueron cortadas de las piezas madre correspondientes obtenidas del plan de segmentación de los internos del reactor, marcadas convenientemente para poder identificar sin equívocos tanto la muestra como su orientación, e introducidas posteriormente en el contenedor de transporte. Todas estas operaciones fueron realizadas bajo agua en el fondo de la piscina de combustible gastado. Posteriormente, el contenedor fue cerrado, secado interior y exteriormente, y descontaminado, para finalmente realizarle las pertinentes pruebas de fugas.

Los principales retos que presentaba la realización de estas actividades en el emplazamiento eran, fundamentalmente: la coordinación de todas las partes implicadas para garantizar el óptimo y ágil desarrollo de las actividades, teniendo en cuenta que todas y cada una de las operaciones implicaban a un número importante de actividades y empresas; la disponibilidad de tiempos y espacios para la realización de las actividades del proyecto ZIRP en el marco de un proyecto de desmantelamiento en curso; y, finalmente, las dificultades que presentaba la transferencia y manejo de un contenedor de transporte de grandes dimensiones a través de unas instalaciones muy limitadas, tanto

por el reducido tamaño de los accesos y edificios, como por las áreas de trabajo ocupadas previamente por el proyecto de desmantelamiento.

Con el objetivo de salvar las limitaciones anteriores y favorecer el desarrollo de los trabajos, además de designar a un coordinador general de actividades en el emplazamiento, Gas Natural Fenosa Engineering realizó las siguientes tareas:

- Desarrollo de un procedimiento detallado de todas las actividades a realizar en el emplazamiento, tanto técnicas como administrativas, con la finalidad de identificar claramente la entidad responsable de cada una de ellas, los recursos humanos requeridos durante su ejecución y los recursos materiales necesarios. Este procedimiento facilitó la identificación y programación de las interfases entre actividades y empresas implicadas, así como la anticipación a necesidades de recursos humanos y materiales.
- Simulaciones 3D de la transferencia del contenedor de transporte desde el camión hasta la piscina de combustible gastado ubicada en el interior del edificio de contención. Esta actividad se realizó con una maqueta 3D del emplazamiento de Zorita que simula con alto grado de detalle los edificios más significativos de la instalación, con sus estructuras civiles y los principales equipos y componentes que albergan. Esta herramienta, que se mantiene actualizada a medida que se desarrolla el proyecto de desmantelamiento, resultó imprescindible para garantizar la transferencia del contenedor de transporte por el interior de las instalaciones. Las simulaciones 3D permitieron establecer el camino óptimo para la transferencia del contenedor, así como anticiparse y resolver potenciales interferencias en planta que pudiesen retrasar o dificultar las operaciones reales de manejo del contenedor (Figuras 7 a 14).

El análisis detallado de las operaciones de manejo y transferencia del contenedor permitió, además, identificar la necesidad de determinadas modificaciones de diseño de los equipos de manejo, transporte e izado del contenedor que fueron implementadas previamente al desarrollo de las actividades.

Las actividades del proyecto ZIRP en el emplazamiento de Zorita se realizaron con éxito y según lo previsto entre los meses de junio y julio del año 2013.

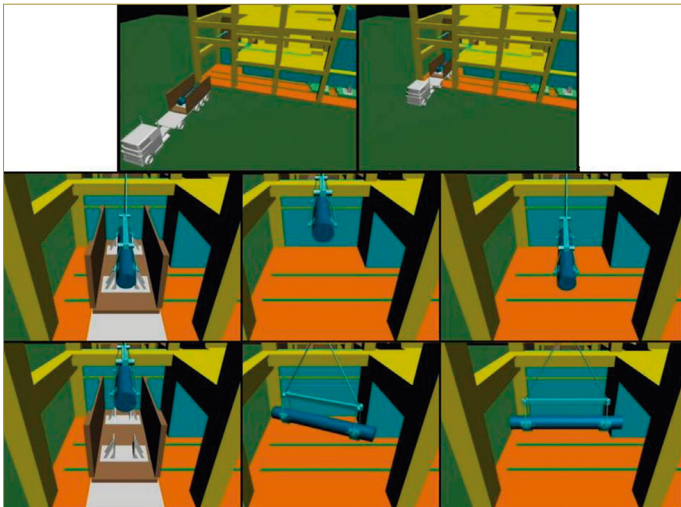


Figura 7. Simulación 3D de las maniobras de manejo del contenedor a la entrada del Edificio Auxiliar del Desmantelamiento (antiguo Edificio de Turbina).



Figura 8. Maniobras de manejo del contenedor a la entrada del Edificio Auxiliar del Desmantelamiento (antiguo Edificio de Turbina).



Figura 10. Contenedor en el túnel de transferencia entre el Edificio Auxiliar del Desmantelamiento y el Edificio de Contención.

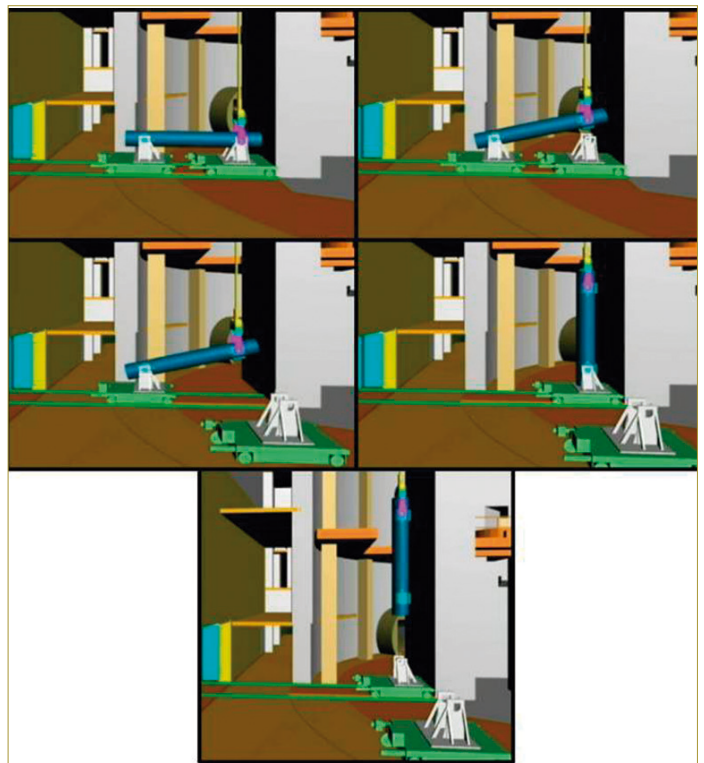


Figura 11. Simulación 3D de las maniobras de volteo del contenedor en el hueco de izado de equipos del Edificio de Contención.

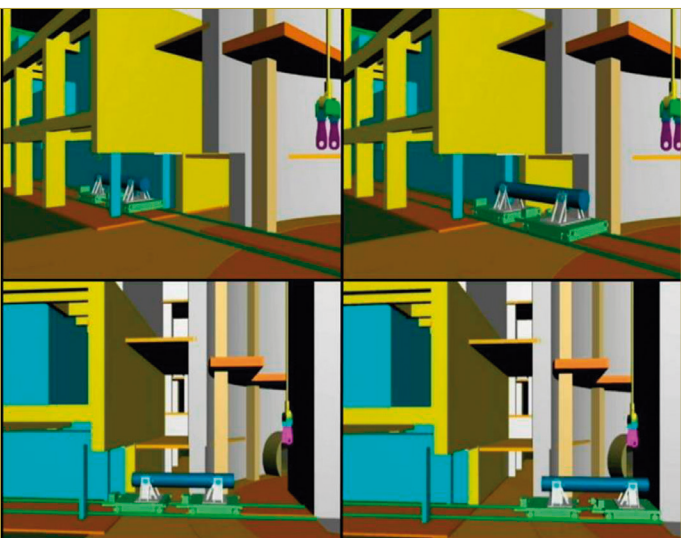


Figura 9. Simulación 3D de las maniobras del contenedor en el túnel de transferencia entre el Edificio Auxiliar del Desmantelamiento y el Edificio de Contención.

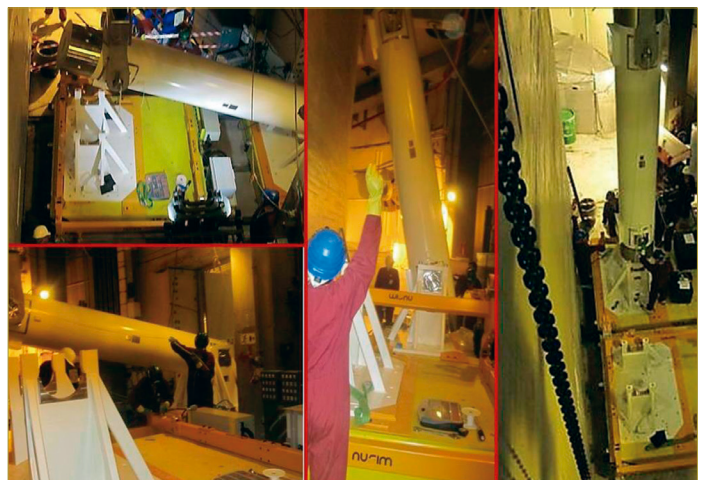


Figura 12. Maniobras de volteo del contenedor en el hueco de izado de equipos del Edificio de Contención.

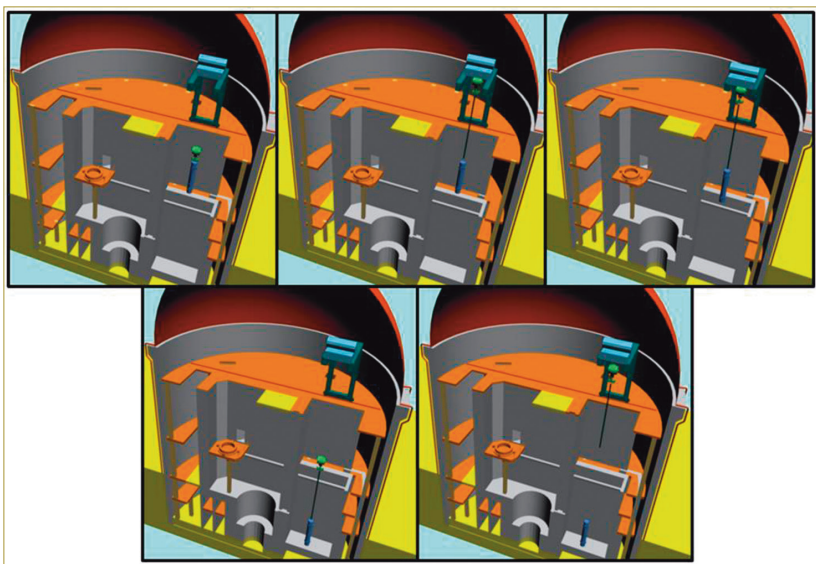


Figura 13. Simulación 3D del descenso del contenedor desde la planta de operaciones hasta el fondo de la piscina de combustible gastado.

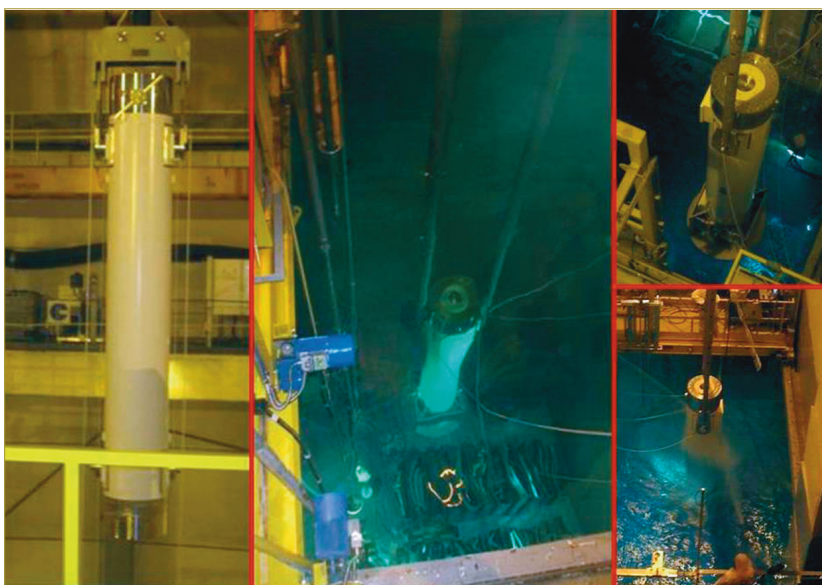


Figura 14. Maniobras del contenedor en la piscina de combustible gastado.

AGRADECIMIENTOS

A todas las instituciones que, desde el inicio y a pesar del horizonte incierto y del largo camino por recorrer, defendieron y divulgaron internacionalmente el interés del proyecto ZIRP, en especial, al Consejo de Seguridad Nuclear, al Ciemat y a Unesa.

A Gas Natural Fenosa que, como propietaria de la instalación de Zorita, creyó y alentó el proyecto desde el primer momento, y no dudó en ofrecer desinteresadamente materiales tan valiosos para ser puestos al servicio de la comunidad nuclear internacional.

A la Plataforma Tecnológica Ceiden, que amparó el proyecto favoreciendo la colaboración entre todas las partes implicadas, que defendió que el sector nuclear español obtuviese el máximo beneficio y conocimiento posible del proyecto ZIRP y cuya labor fue fundamental para la consecución de acuerdos imprescindibles para la continuidad del proyecto.

A Enresa, titular de la instalación de Zorita durante el desmantelamiento, que a pesar de tener que hacerse cargo de un proyecto que excedía el alcance de sus responsabilidades, aceptó el ZIRP como una actividad propia dentro del plan de segmentación de los internos de la vasija, favoreciendo en todo momento las actividades en el emplazamiento a pesar de los inconvenientes que éstas podían causar en el proceso de desmantelamiento.

A todas aquellas personas e instituciones que, mencionadas o no en este artículo, hayan colaborado en el proyecto ZIRP en cualquiera de sus actividades. Sin la colaboración de todos no hubiese sido posible. Muchas gracias. ■