

Iberdrola Ingeniería y Construcción, saber hacer y competitividad

E. Aymerich

Iberdrola Ingeniería y Construcción ha continuado con su desarrollo internacional en proyectos de alto contenido tecnológico, sustentado fundamentalmente en una alta capacitación de su personal, una buena política de alianzas, su apuesta decidida por la I+D+i y un importante soporte de su estructura y organización interna. Todo ello será una palanca fundamental para acometer con éxito nuevos proyectos en el futuro, así como para dar un apoyo sólido y eficaz al Grupo Iberdrola en todas sus necesidades.

Iberdrola Ingeniería y Construcción has continued with its international development in high technology projects, supported by highly skilled staff, an adequate strategy of alliances, a firm commitment to R&D and an important support from its internal organization. All this will be a key lever to successfully undertake new projects in the future, and to give a strong and effective support to the Iberdrola Group in all its needs.



EDUARDO AYMERICH

es ingeniero industrial por la UPM, diplomado en Génie Atomique por el INSTN (Francia) y Master in Engineering por el Rensselaer Polytechnic Institute (USA). Posteriormente, ha cursado el Executive MBA del IESE. Tiene más de 30 años de experiencia en diversas empresas de ingeniería y consultoría. Desde 2005 colabora con Iberdrola Ingeniería y Construcción donde actualmente es responsable comercial del negocio nuclear.

Nota: los Directores de los proyectos mencionados en este artículo han contribuido significativamente a la redacción del mismo.

El desarrollo del negocio nuclear de Iberdrola Ingeniería y Construcción (Iberdrola I&C) ha estado orientado durante los últimos años hacia una marcada internacionalización, fruto de un alto grado de capacitación tecnológica y competitividad. Las experiencias acumuladas han supuesto una base sólida sobre la que se han desarrollado capacidades para acometer grandes proyectos EPC así como para diversificar la cartera de productos para nuestros clientes. Estos nuevos productos han sido fruto de una apuesta importante por los programas de I+D+i así como por la capacitación continua de nuestro personal mediante acciones de formación de todo tipo (más de 40 horas anuales de formación por persona). No debemos olvidar tampoco los frutos de la política de alianzas y acuerdos de colaboración establecidos con empresas especialistas en muy diversas áreas. De igual manera, la consolidación de los procesos internos (Iberdrola I&C -además de poseer las certificaciones más tradicionales en calidad ISO 9001, en medioambiente ISO14001, en prevención de riesgos OHSAS 18000, en gestión de I+D+i UNE 166002- se convirtió en la empresa de ingeniería

energética líder en Europa en Excelencia, tras alcanzar en 2011 el nivel +400 según el modelo *European Foundation for Quality Management*) ha permitido mejorar significativamente la efectividad de la acción comercial así como la ejecución de los proyectos. Es de destacar el reconocimiento y exigencia de nuestros clientes que a través de sus auditorías (cerca de una veintena al año) nos incitan a la mejora continua. Adicionalmente, un esfuerzo sostenido hacia la mejora de la seguridad del personal en obra (10% del presupuesto de formación se ha dedicado a este tema) ha permitido minimizar las tasas de frecuencia y gravedad de los accidentes en nuestras intervenciones.

Por otro lado, el plan estratégico del negocio nuclear de 2010 estableció un amplio portfolio de productos, que podemos agrupar en las cuatro áreas siguientes:

- Nuevas centrales nucleares
- Desmantelamiento y residuos
- Aceleradores y proyectos de fusión
- Apoyo a centrales en explotación

Presentamos a continuación, algunos de los proyectos más relevantes desarrollados en los últimos años en cada una de estas cuatro áreas, así como otros del plan de I+D+i.

A) NUEVAS CENTRALES NUCLEARES

Proyectos para NuGen en el Reino Unido

El Gobierno del Reino Unido, dentro de su nuevo plan energético, ha previsto la instalación de hasta 3,6 GWe en el emplazamiento de Sellafield ubicado en el Noreste de Inglaterra. La empresa NuGen (formada a partes iguales por las compañías Iberdrola y GDF-Suez) adquirió en el año 2009 la opción de compra sobre dicho emplazamiento, que pasó a denominarse *Moorside*. La ejecución del derecho de compra debe de realizarse antes de finales de 2015 y la fecha prevista de inicio de operación de la planta es 2025.

Iberdrola I&C ha venido desarrollando, en consorcio con Tractebel Engineering, diferentes estudios con el objetivo de evaluar la viabilidad del proyecto antes de la toma de decisión definitiva de inversión. Podemos citar los siguientes:

- **Sesarc:** recopilación y análisis de la información del emplazamiento desde el punto de vista radiológico, hidrogeológico, geológico y geotécnico.



Figura 1. Vista de la central nuclear de Flamanville (cortesía de EDF).

- **Grid infrastructure analysis:** evaluación, en colaboración con el operador del sistema eléctrico británico, National Grid, de las posibles opciones de conexión a la red para la evacuación de la energía eléctrica generada.
- **Cooling chain study:** realización del estudio de la capacidad de evacuación de calor del emplazamiento, así como elección de las posibles tecnologías para refrigeración de la planta.
- **Hydrogeological model:** elaboración de un modelo para analizar las aguas subterráneas (contaminación y transporte).
- **Bid Inquiry Specification (BIS):** desarrollo de la especificación técnica de compra como apoyo a la selección de la tecnología.

Proyectos para Flamanville 3

Desde principios de 2007, Iberdrola I&C está trabajando para EDF en proyectos de ingeniería, suministro, instalación y puesta en marcha de di-

versos sistemas para el nuevo reactor EPR de Flamanville 3 (Figura 1). Dada la envergadura de alguno de ellos, se han establecido UTES o consorcios para facilitar su ejecución. Los más relevantes son los siguientes:

- Suministro completo (diseño, fabricación, montaje y puesta en marcha) del sistema de filtración de agua de condensado y del sistema de enfriamiento esencial, situado en la estación de bombeo. Existen fuertes requisitos sísmicos: integridad durante el sismo de referencia, operatividad después del mismo así como resistencia al sismo provocado por un choque de avión.
- Suministro (diseño, fabricación e instalación) de 21 intercambiadores de calor (la mayoría según ASME III NC) así como sus sistemas de limpieza de bolas y situados en el edificio del reactor, salvaguardias y combustible.
- Suministro de nueve desmineralizadores de agua de diversos sis-

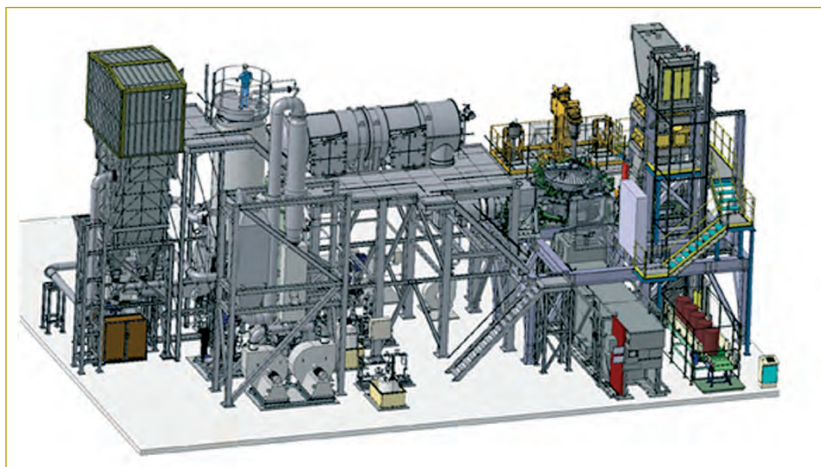


Figura 2. Modelo 3D de la planta de plasma.

temas de la isla nuclear, según la EN13445.

- Suministro completo de una instalación de inyección de hipoclorito sódico en el agua de enfriamiento esencial, con fuertes requisitos sísmicos y ATEX.
- Suministro completo de una instalación de depuración del agua de condensado para la fase de arranque de la planta.

B) DESMANTELAMIENTO Y RESIDUOS

Incineradora de plasma para el tratamiento de residuos de baja y media actividad

Este proyecto (suministro y puesta en marcha) para la C.N. de Kozloduy fue adjudicado al consorcio formado por Iberdrola I&C (80%) y la compañía belga Belgoprocess (20%) en 2009. Se utilizará para el tratamiento de residuos radiactivos procedentes del desmantelamiento de las instalaciones de los antiguos reactores VVER existentes en el emplazamiento.

La planta (Figura 2), diseñada para tratar residuos radiactivos a un ritmo de 65-80 kg/h (250 t/año), operará durante al menos 20 años sin necesidad de cambio o reemplazo de grandes componentes. El factor de reducción de volumen esperado depende de la tipología del residuo a tratar, variando desde un factor 2 (residuos de entrada súper-compactados) hasta 50 (residuos no compactados).

El proyecto, cofinanciado por el Banco Europeo de Reconstrucción y Desarrollo y la propia central de Kozloduy, constituye una oportunidad única para liderar un mercado en pleno desarrollo, dado que existe únicamente otra planta (Zwilag, en Suiza) que utilice esta tecnología y dado también que la minimización del volumen de residuos a almacenar es una de las prioridades en todos los países.

El consorcio ha conseguido recientemente la aprobación de la ingeniería de detalle. Este hito permite el inicio de la fabricación de los componentes de la planta que deberán estar probados satisfactoriamente a finales del verano de 2013 antes de su envío para montaje a Bulgaria.

C) ACELERADORES Y PROYECTOS DE FUSIÓN

Ingeniería mecánica para ITER

Se han firmado en los últimos años varios acuerdos marco con ITER/*Fusion for Energy* que se han ido materializando en numerosos pedidos diferentes. Algunos de los más representativos son los siguientes.



Figura 3. Bobinas toroidales de ITER.

- *Vacuum Vessel Alternative Manufacturing Route*: investigación detallada de los grupos de fabricación propuestos incluyendo secuencias detalladas, diseño conceptual de herramientas, costes y planificación.
- *Integration of diagnostics into ITER divertor design*: cálculos térmicos y mecánicos por elementos finitos (modelos CATIA 3D y 2D con gran nivel de detalle).
- *Beryllium tile repair study for First Wall Panels (FWP)*: estudio de viabilidad de la soldadura por fricción lineal como método de reparación de la unión de las placas de berilio con el material de foco frío (CuCrZr) de los FWP así como el estudio de la ejecución de ensayos no destructivos por ultrasonidos en las soldaduras de las placas de berilio.
- *Framework General Mechanics*: contrato de diseño preliminar de 6 FWP para apoyar el *Preliminary Design Review*. Se están realizando análisis termo-hidráulicos en 3D por elementos finitos para verificar los comportamientos del diseño bajo distintos escenarios de operación. Se actualizarán, posteriormente, los diseños con mejoras y optimización de estructuras así como se realizarán análisis de estrés bajo cargas combinadas.

Ingeniería eléctrica para ITER

Se ha estado trabajando en los siguientes proyectos:

- Ingeniería eléctrica de la *Steady State Electrical Power Network (SSEPN)* con el objetivo de:
 - Realizar el diseño básico con modelos 3D y 2D.
 - Diseñar la red de tierras del complejo ITER, incluyendo la subestación de 400 KV.
 - Definir las interfaces físicas y funcionales de la SSEPN con los demás sistemas.
- *Radiological Environmental Monitoring System (REMS)*: se analizan los diferentes modelos de medidores

de radiación, contaminación y tritio, para poner a disposición toda la tecnología disponible y así realizar un diseño básico de los elementos del sistema. También se analizan los consumos eléctricos y cargas de fuego de los aparatos así como las cargas mecánicas de los mismos.

- Estudio de fiabilidad y diseño de funciones de seguridad para el *Central Interlock System (CIS)*. Este contrato, tiene el siguiente alcance.
 - Diseño preliminar y arquitectura del sistema
 - Estudio de instalación y commissioning
 - *Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA)*
 - *Hazard and Operability Analysis (HAZOP)*
 - Estudio de seguridad para la obtención de las funciones de protección del Tokamak.
 - Cálculo del nivel de integridad de cada función *interlock*.

Bobinas toroidales para ITER

Para que la reacción de fusión pueda tener lugar es necesario confinar

el plasma, operación efectuada por potentes campos magnéticos (11,8 T), que, a su vez, son generados por diversas bobinas. Existen un total de 18 bobinas toroidales (Figura 3), siendo éstas uno de los equipos más complejos de fabricar. Europa, por medio de *Fusion for Energy*, es responsable de la fabricación de 10 de ellas, mientras que las restantes deben ser fabricadas por Japón.

El proyecto de la fabricación de estas 10 bobinas europeas está siendo desarrollado desde mediados de 2010 por un consorcio liderado por Iberdrola I&C, siendo el diseño y fabricación de las mismas un importante reto tecnológico ya que no existe experiencia previa de fabricación de bobinas superconductoras de este tamaño (14 m x 6 m). Otro reto es el diseño de útiles específicos, como también lo es fabricar maquetas que validen dichos útiles. Por otra parte, dado el carácter innovador del componente, se están efectuando optimizaciones de diseño de las bobinas para confirmar la posibilidad de fabricarlas.



Figura 4. Winding line para fabricación de bobinas ITER.

Como hitos más importantes alcanzados hasta el momento en el proyecto cabe destacar la instalación de la máquina denominada *winding line* (Figura 4), responsable de dar la forma correcta al cable superconductor. Esta máquina debe ser capaz de dar forma a 760 m de superconductor con unas tolerancias de milímetros. Además, se encuentra en fase de pruebas finales el horno que debe efectuar el tratamiento térmico (aproximadamente 600°C durante un mes) para que el conductor adquiera las propiedades superconductoras. Otros útiles, como el que se necesita para el aislamiento del conductor o la estación de soldadura laser, están en avanzado estado de fabricación.

D) APOYO A CENTRALES EN EXPLOTACIÓN

Sustitución de los generadores de vapor de Angra 1

El proyecto que comenzó en abril de 2007, necesitó 14 meses para el diseño de sistemas e ingeniería y ocho meses más para las actividades preparatorias del cambio y la compra de equipos y materiales. Las actividades de sustitución de los generadores de vapor comenzaron en marzo de 2009, con una duración de 90 días.

Iberdrola I&C que ha realizado este proyecto, conjuntamente con Westinghouse y Constructora Norberto Odebrecht, ha participado en todas sus fases, desde la ingeniería de diseño (realizando los correspondientes *Design Change Package* de los trabajos a realizar), la compra de los equipos y materiales, las subcontrataciones para realizar las actividades necesarias, el apoyo para el licenciamiento, la planificación y Alara.

En concreto, Iberdrola I&C ha realizado los siguientes paquetes de trabajo:

- Instalaciones provisionales: edificio de control acceso, oficinas, almacén.
- Cubierta de la cavidad del reactor y grúas auxiliares.
- *Rigging* de los equipos.
- Aislamiento térmico de los generadores, presionador y tuberías.
- *Pipe End Decon* del primario y vapor principal.
- Fosar.
- Plataformas.
- Alara y PR.

Para la realización del proyecto ha sido necesario abrir el *Liner* y Edificio de Contención a través del cual se extraen e introducen los generadores (Figura 5), un nuevo ruteado de la tubería de agua de alimentación y la



Figura 5. Introducción de un generador de vapor en la central de Angra 1.



Figura 6. Sustitución MSR central nuclear Laguna Verde (cortesía CFE).

incorporación de nuevos sistemas de I&C, además de las actividades de Pipe End Decon, Fosar y soldaduras múltiples.

Todo ello ha supuesto un reto importante, equiparable al de integrar tres empresas con localizaciones geográficas distantes, cultura e idiomas diferentes, pero capaces de realizar un proyecto de esta envergadura en los plazos establecidos.

APE Laguna Verde

El proyecto de Aumento de Potencia (APE) de las dos unidades de la central nuclear de Laguna Verde, México, ha consistido en la rehabilitación y modernización del turbogruppo y de los equipos asociados de las unidades 1 y 2 para permitir operar al 120% de su potencia térmica original. Es uno de los proyectos, a nivel mundial, de mayor repotenciación en menor periodo de tiempo.

El alcance del proyecto ha incluido el diseño, ingeniería, suministro, desmontaje, instalación, pruebas y puesta en servicio de los diferentes equipos

involucrados. La duración ha sido de 4,5 años (2007-2011) y la implantación de las modificaciones se ha realizado en cuatro recargas, dos por unidad, con una participación de unas 2.000 personas pertenecientes a más de 50 empresas subcontratistas.

Entre otras modificaciones, se ha instalado una nueva grúa en el Edificio de Turbina, modificado el condensador principal, sustituido los separadores de humedad y recalentadores de vapor principal (Figura 6) así como los calentadores 5 y 6 de agua de alimentación; se ha modificado también la turbina principal (Figura 7), el generador eléctrico y su excitatriz, el sistema electrohidráulico de control de turbina, ciertos sistemas eléctricos (transformadores, barras de fase aislada e interruptor principal) así como se ha rehabilitado el sistema HVAC del edificio de turbina.

Este proyecto, que ha supuesto el mayor contrato nuclear de una empresa española en el extranjero, ha conseguido mejorar el rendimiento de la planta y alcanzar más de 817

MWe desde los 680 MWe originales.

Cálculos de criticidad

Desde hace mas de 10 años, Iberdrola I&C colabora con Equipos Nucleares en la realización de análisis de criticidad de bastidores para piscinas de combustible gastado (Figura 8) y almacenes de combustible sin irradiar. Como consecuencia de esta colaboración, se han realizado los análisis de criticidad para los siguientes proyectos:

- Bastidores de la piscina de almacenamiento de combustible gastado para:
 - Teollisuuden Voima Oyj, Finlandia, combustible tipo BWR.
 - Kuosheng, Taiwán, combustible tipo BWR.
 - Yong Gwang, Corea del Sur, combustible tipo PWR.
 - Ling Ao, China, combustible tipo PWR.
- Olkiluoto, Finlandia, Edificio de Almacenamiento (KPA), combustible tipo BWR.
- Shin-Ulchin, Corea del Sur, combustible tipo PWR.
- Bastidores de las piscinas de combustible fresco de Shin-Ulchin, Corea del Sur.

En todos estos análisis, Iberdrola I&C ha aplicado la metodología Giralda, utilizada para el licenciamiento de las recargas de CN Cofrentes, aunque en algunos casos ha sido preciso adaptarla a los requisitos específicos del país donde se desarrolla el proyecto.

Adicionalmente se han realizado colaboraciones con distintos institutos como INER, Taiwán (transferencia de métodos de licencia BWR) y EPRI, EEUU (campanías de medida y evaluación de deformación de canales BWR).



Figura 7. Rehabilitación turbogrupos. Central nuclear Laguna Verde (cortesía CFE).

Cálculos de accidentes severos

A través un contrato marco, Iberdrola I&C ha realizado actividades de apoyo al Análisis Probabilista de Seguridad (APS) de Nivel 2 con el código MAAP4 y a la mejora de las guías de accidentes severos para las centrales nucleares de EDF de 900/1300/1450 MWe. Se desarrollaron varias órdenes de trabajo siendo las más representativas las siguientes:

- Análisis de las guías de accidentes severos para distintas situaciones accidentales (LOCA y transitorios con o sin generadores de vapor):
 - Impacto de inyecciones pequeñas en la fase de núcleo dañado, relación entre las ventajas por refrige-

ración frente al incremento del riesgo por generación de hidrógeno.

- Evaluación del riesgo de hidrógeno para secuencias de parada por activación de la aspersión de contención con núcleo degradado.

- Evaluación del riesgo de calentamiento directo de la contención por inyección tardía para secuencias de parada con pequeñas aperturas en el primario.

- Estudios de sensibilidad del APS Nivel 2 para el análisis del impacto de los parámetros de código relacionados con los procesos fenomenológicos de accidentes severos sobre los tiempos críticos de las secuencias representativas del APS Nivel 2.

- Cálculos de término fuente del APS Nivel 2.

- Cálculos de evolución cronológica de las secuencias de accidente severo del APS Nivel 2.

- Análisis de la descarga de acumuladores por riesgo de hidrógeno, tanto en condiciones de potencia como de parada.

En conjunto se realizaron más de 300 simulaciones con distintas situaciones accidentales y bajo distintas condiciones operativas que han permitido plantear mejoras en las guías de accidente severo y actualizar los criterios y tiempos que soportan los análisis del APS Nivel 2.

E) PROYECTOS I+D+I

Otro impulso en la evolución tecnológica se consigue por la participación en los distintos programas de I+D+i. Estos proyectos de hoy son la mejor inversión para los proyectos de mañana. Citamos a continuación algunos de los más representativos:

Estudio de viabilidad para el diseño de la instalación de aceleradores de Technofusión

Este proyecto, realizado en colaboración con el Ciemat, se engloba dentro de la iniciativa Technofusión, cuyo propósito es el desarrollo de las tecnologías requeridas para los futuros reactores comerciales de fusión.

La finalidad de la instalación es reproducir las condiciones de las paredes interiores de un reactor de fusión. Para ello es necesario simular los efectos que los neutrones y la radiación gamma producen sobre los materiales, irradiando un blanco con iones y electrones a energías predeterminadas. La simulación de la radiación neutrónica se realizará mediante el uso simultáneo de tres

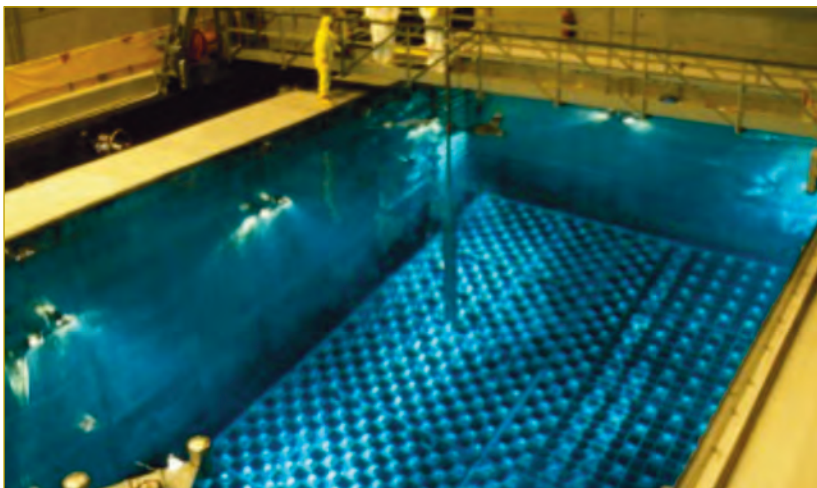


Figura 8. Bastidores en piscina de combustible.

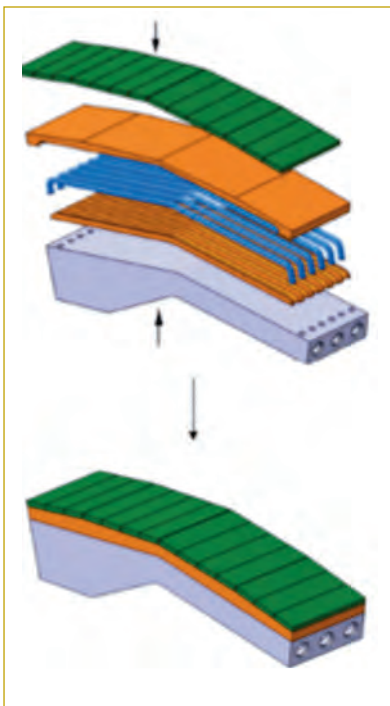


Figura 9. Materiales First Wall Panels.

aceleradores de iones encuadrados en un laboratorio de Triple Haz.

El proyecto, independientemente de analizar la viabilidad del estudio conceptual, desarrolla también la arquitectura básica del laboratorio, disposición de los aceleradores, líneas de transporte de haz, zonas de experimentación y servicios auxiliares, todo ello basado en las necesidades específicas de cada uno de los componentes principales.

Desarrollo de los First Wall Panels (FWP) de ITER

Dentro del proyecto ITER, unos de los elementos más críticos son los FWP que conforman la primera pared de la vasija de presión, por las extremas condiciones a las que están sometidos por su proximidad al plasma.

Los requisitos funcionales de estos paneles han sido definidos a lo largo de los últimos 15 años y son los siguientes:

- Tener buena compatibilidad con el plasma de hidrógeno (D+T) y tener adecuadas características de erosión y baja retención de tritio.
- Contar con un disipador de calor refrigerado por agua capaz de transmitir de manera efectiva la carga térmica.
- Actuar como escudo frente a la radiación gamma y de neutrones procedente del plasma así como tener las propiedades adecuadas para soportar los esfuerzos mecánicos asociados a las condiciones de presión y temperatura de la vasija.

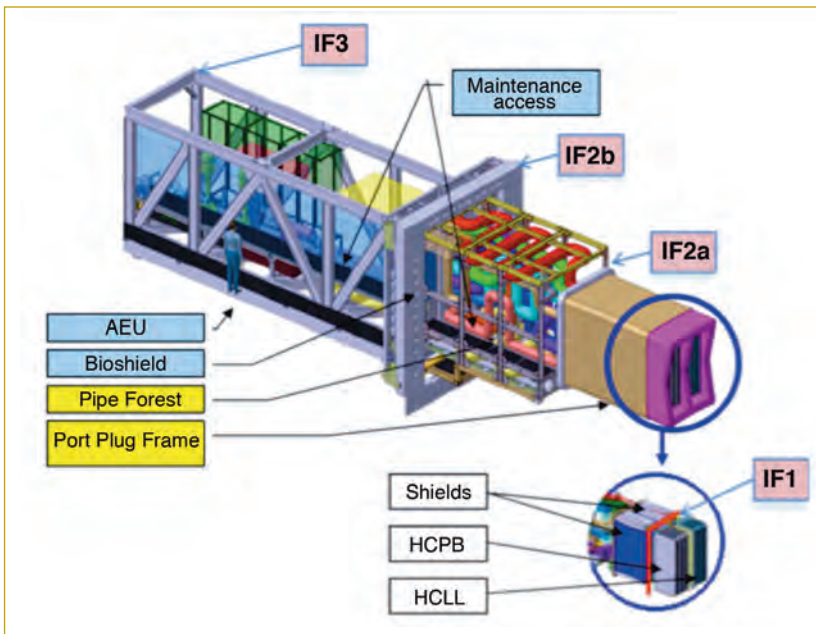


Figura 10. Módulos de ensayo de la envoltura regeneradora de ITER.

Dado que no existe un único material que cumpla simultáneamente estos requisitos, se ha pensado en una estructura multicapa con tres materiales (Figura 9), que por separado solo cumplen alguna de ellas, pero que en su conjunto las satisfacen todas. Estos materiales son aleaciones de berilio, cobre, y acero inoxidable.

Aunque la solución conceptual está bien definida, su fabricación requiere solventar previamente unos retos tecnológicos que no son habituales en la industria convencional, como son la manipulación y fabricación de piezas de berilio, los procesos de soldadura de multicapas heterogéneas, la fabricación de tuberías de conformación extrema, el manejo de aleaciones especiales (Cu+Zr+Cr) y aceros específicos (Fe+Ni+Ag), todo ello embebido en una geometría muy particular y con una alta precisión mecánica.

El consorcio al que pertenece Iberdrola I&C ha analizado estos retos tecnológicos y está desarrollando los procesos industriales adecuados para su fabricación.

Diseño de la instalación de demostración de los dispositivos de manipulación remota para los módulos de ensayo de la envoltura regeneradora de ITER

El objetivo principal del proyecto, realizado en colaboración con Ciemat y CT3, es la realización del diseño conceptual de las operaciones de manipulación remota.

Las condiciones en el interior de un reactor de fusión son incompatibles con la reparación o sustitución ma-

nual de sus componentes así como para la ejecución de las operaciones de instalación/desinstalación de los sistemas auxiliares. Como consecuencia, es necesario recurrir a técnicas de manipulación e inspección remotas que tengan en cuenta estas características extremas. Estas técnicas especiales no están en la actualidad plenamente desarrolladas, por lo que, es necesario aunar los esfuerzos de la tecnología y la ingeniería de gestión para desarrollar herramientas que permitan manipular los equipos de forma segura y fiable.

Adicionalmente a las actividades de definición de las características de las maniobras, operaciones, y especificaciones de los equipos, se utilizan simulaciones gráficas para el diseño y comprobación de las operaciones de manipulación remota (Figura 10). Este programa de investigación permitirá igualmente evaluar la capacidad para la regeneración, control y extracción de tritio, así como para la producción y extracción de calor de alta entalpía en la envoltura regeneradora.

CONCLUSIÓN

Todas estas experiencias adquiridas, que han permitido desarrollar nuevas capacidades y mantener unos recursos altamente especializados, son una palanca fundamental para acometer con éxito nuevos proyectos en el futuro, así como para dar un apoyo sólido y eficaz al Grupo Iberdrola en todas sus necesidades, tanto en España como en el extranjero, especialmente en el Reino Unido. ■