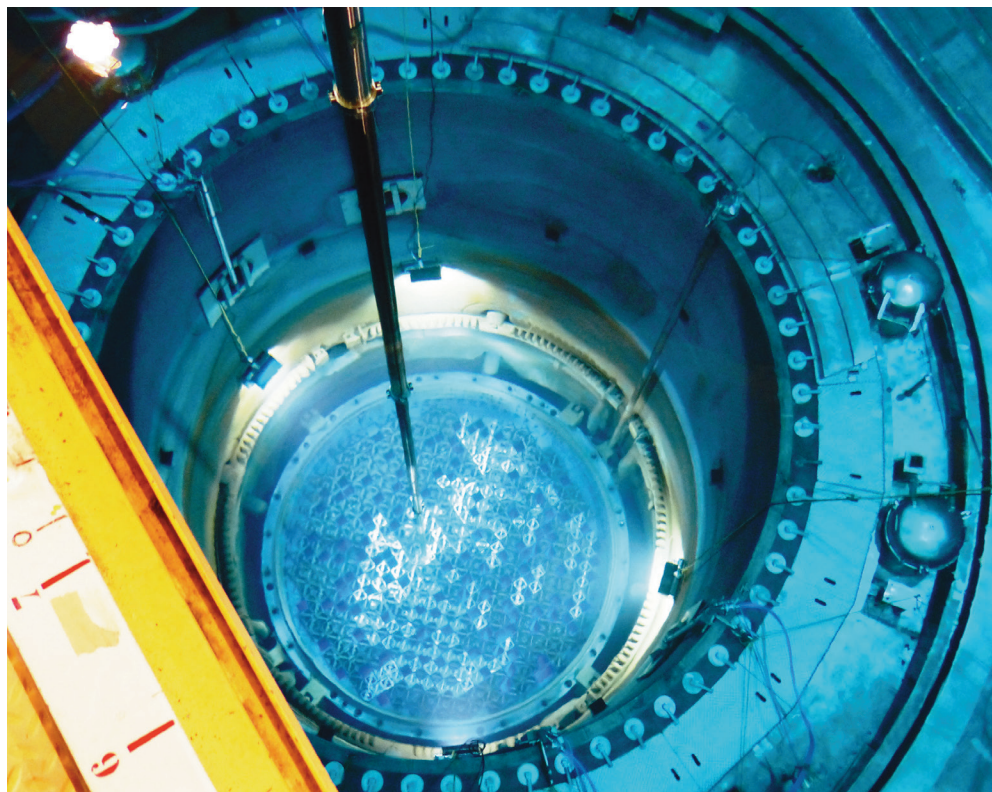




COMBUSTIBLE NUCLEAR

De izquierda a derecha: José Melara (Jefe Unidad de Combustible), Javier Iglesias, Asunción Querol, Andrés Galicia, Mónica Requena, José Luis de Diego, Luis López, M^ª Teresa López, Alicia Molina y José M. Dey. Ausente: Manuel Albendea

Iberdrola desarrolló en 1992, dentro del proyecto GIRALDA, una metodología propia de gestión de combustible para el diseño y licenciamiento de las recargas de CN Cofrentes, que fue aprobada por el organismo regulador español (Consejo de Seguridad Nuclear). Ésta utiliza como base para el diseño nuclear el conjunto de códigos de Studsvik CASMO-4/SIMULATE-3 independientes de los suministradores. CASMO-4 es un código de celda que, usando los datos de los elementos combustibles (geometría, enriquecimientos, contenido de gadolinio, etc.) proporciona los parámetros nucleares, que convenientemente tabulados, alimentan a SIMULATE-3, que es un código nodal avanzado que ejecuta cálculos físicos del núcleo.



Las condiciones del diseño a realizar, tanto de los elementos combustibles como del Ciclo en cuestión, han de establecerse en base a varios objetivos a cumplir como son: energía requerida, número y tipo/suministrador de elementos frescos a cargar en el núcleo (y por tanto, a fabricar) y su diseño nuclear (enriquecimiento, contenido de gadolinio, etc.). Todo ello, por supuesto, se realiza cumpliendo los límites y los márgenes de diseño y seguridad requeridos, junto con los quemados de descarga optimizados. También han de fijarse las condiciones operativas supuestas del Ciclo en Operación durante el diseño (Ciclo N-1) y las del ciclo objetivo de diseño (Ciclo N). Estas han de ser lo más cercano a la realidad operativa estimada.

En una primera fase, y basándose en las condiciones de diseño establecidas se determina el número y tipo de los elementos frescos a cargar. Una segunda fase tiene como objetivo establecer el Mapa de Carga de Referencia (RLP, por sus siglas en inglés, *Reference Loading Pattern*), que es el mapa a cargar en el núcleo del reactor y sobre el que se realizan los análisis de seguridad de la recarga y que establecen, a su vez, los límites operativos que ha de cumplir la Central para el nuevo Ciclo. Un ejemplo de RLP puede verse en la Figura 1.

Algunos de los documentos que soportan lo anteriormente explicado son el Informe de Diseño Nuclear (IDN), que se envía a la autoridad reguladora (CSN) junto con el Estudio de Seguridad de la Recarga (ESR) en cada Ciclo.

El Mapa de Carga de Referencia puede verse alterado en su composición por causas externas al propio diseño, como por ejemplo, la aparición de algún elemento dañado durante su inspección en la recarga o incidencias de operación durante el Ciclo que aconsejen modificar la composición del núcleo. En estas circunstancias se aplica la metodología de reanálisis y el nuevo Mapa de Carga modificado, que es el mapa finalmente cargado (*As Loaded Core*), y se incluye en el Informe de Ges-

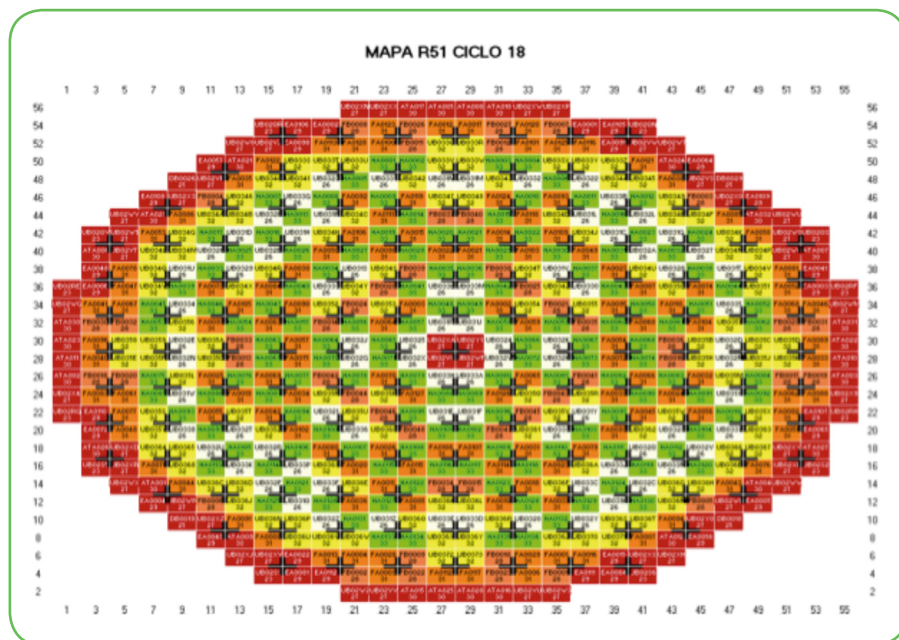


Figura 1. Ejemplo de RLP

tión del Ciclo (IGC) junto con las recomendaciones de operación del mismo. Este documento, además de ser enviado a la autoridad reguladora, se envía a planta y suministra información sobre la configuración del núcleo, arranque y criticidad esperada, recomendaciones de operación, etc.

Iberdrola ha utilizado su metodología GIRALDA para los cálculos de la recarga desde el Ciclo 12 de operación hasta el Ciclo 20 actualmente en operación. En este momento se está trabajando en el diseño de los elementos combustibles a cargar en el próximo Ciclo 21.

Los resultados obtenidos hasta la fecha, fruto del seguimiento *Off line* que se hace de la operación y de la comparación de los parámetros de arranque de los sucesivos ciclos, nos indican que la metodología GIRALDA cumple perfectamente con su propósito final de realizar todos los cálculos nucleares de la recarga, cumpliendo rigurosamente con los criterios de seguridad y maximizando los parámetros energéticos. Su utilización ha permitido acometer tareas tales como cargar elementos combustibles frescos de varios suministradores en una misma recarga, ampliar la duración de los ciclos de 12 a 18 y 24 meses y realizar aumentos de potencia.

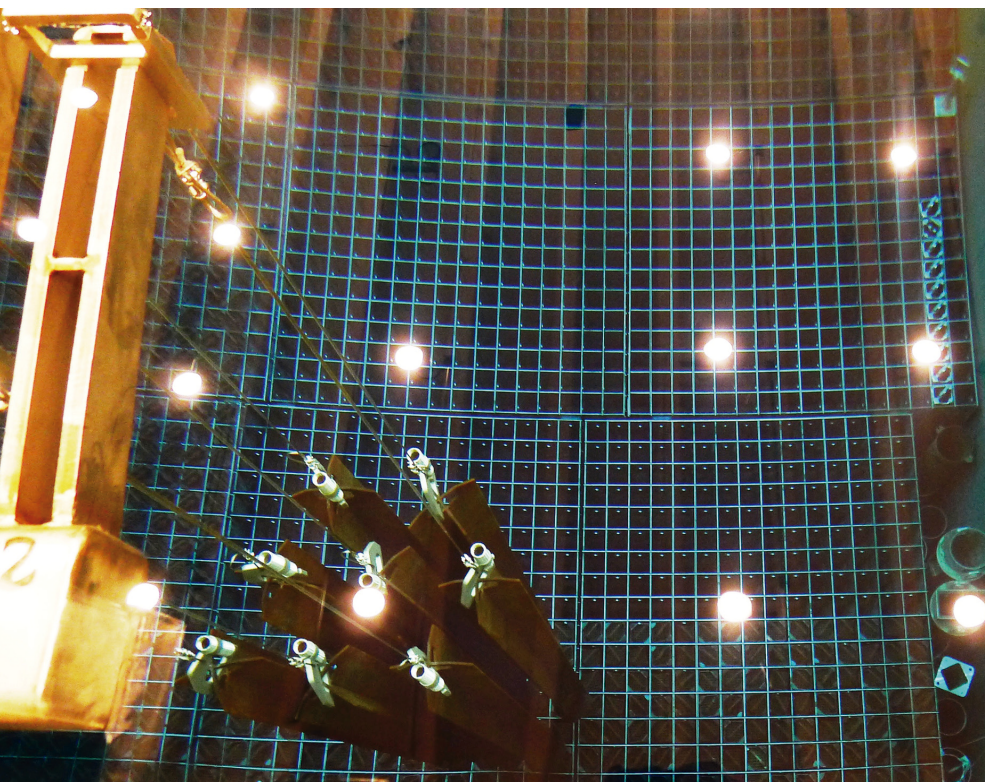
ANÁLISIS DE SEGURIDAD DE LA RECARGA

La metodología GIRALDA también incorpora un método de análisis de seguridad de las recargas de combustible independiente del suministrador. El objetivo de la evaluación de seguridad es demostrar, para cada Ciclo, que la Planta que utiliza el combustible y diseño de núcleo en cuestión puede operar dicho ciclo sin riesgos para la seguridad y la salud del público. Las conclusiones de estos análisis se incluyen en el Estudio de Seguridad de la Recarga (ESR), documento que se emite para cada recarga y que contiene los resultados de los análisis clave de seguridad: termo-mecánico, nuclear y termohidráulico.

La parte de diseño termomecánico incluye el análisis tanto del elemento combustible como de la varilla de combustible y la generación de datos de entrada necesarios para otras disciplinas.

Los análisis nucleares incluyen los resultados de los parámetros de seguridad relativos a la capacidad de parada del reactor junto con una descripción del número de elementos combustibles, su enriquecimiento y su disposición en el núcleo.

El diseño termohidráulico incluye la metodología para establecer el límite de seguridad de la razón



mínima de potencia crítica (SLM-CPR) y el desarrollo de parámetros de entrada termohidráulicos a otras disciplinas.

Para cada uno de estos casos se definen las bases y criterios de diseño aplicables.

De acuerdo con el proceso de evaluación de seguridad de la recarga, se realiza el análisis de las tres categorías de sucesos de evaluación de seguridad: (1) sucesos o transitorios operacionales previstos y no previstos, (2) accidentes y (3) sucesos especiales.

La metodología GIRALDA recoge específicamente un apartado donde se requiere verificar la aplicabilidad de los métodos a nuevos diseños de combustible, lo que garantiza una adecuada reproducción del diseño desde un punto de vista nuclear y termohidráulico.

La metodología GIRALDA supone además una gran ventaja para CN Cofrentes: en primer lugar, por el conocimiento profundo necesario para su desarrollo y aplicación, y en segundo lugar, porque permite no solamente la posibilidad de gestionar núcleos mixtos sino también recargas mixtas, lo que mantiene a los suministradores en competencia no sólo durante la fase de ofertas sino también durante el Ciclo, ya que el comportamiento del com-

bustible determina la fracción de elementos frescos de cada suministrador en cada recarga.

SEGUIMIENTO DEL NÚCLEO

Se vigila de forma periódica que los parámetros clave que definen el comportamiento del núcleo siguen una evolución durante el Ciclo que está dentro de los valores esperados en el diseño de la recarga, y que son compatibles con los valores de la Evaluación de Seguridad de la Recarga (ESR).

La metodología de seguimiento del núcleo consiste en la reproducción de las situaciones operativas reales del Ciclo con las mismas herramientas de cálculo que se utilizaron para el diseño, con el fin de actualizar los modelos y contrastar los resultados. La herramienta básica utilizada para el diseño del Ciclo es el código SIMULATE-3. Por tanto, el objeto principal del seguimiento del núcleo es la verificación de que las hipótesis utilizadas en el diseño son correctas en cuanto al cumplimiento de las bases de partida para el mismo.

FIABILIDAD DEL COMBUSTIBLE. PROYECTO 'CERO FALLOS'

En 2006, la industria nuclear estadounidense, de acuerdo con INPO y con EPRI, decidió llevar a cabo un plan de acción para minimizar los fallos de combustible profundizan-

do en los mecanismos de prevención y actuando de una forma más proactiva.

El objetivo era muy ambicioso: "Zero Failures by 2010". Esta iniciativa se tradujo para la central nuclear de Cofrentes en el ambicioso objetivo de alcanzar cero fallos de combustible en 2010, haciendo especial énfasis en la aplicación de las guías de fiabilidad del combustible desarrolladas por INPO y EPRI.

CN Cofrentes lanzó un proyecto de "objetivo cero fallos", identificándose disciplinas susceptibles de mejora y transmitiendo a todas las organizaciones su implicación en el mantenimiento de un núcleo libre de fallos. La aplicación de protocolos de exclusión de materiales extraños para eliminar fallos por *debris*, el control del ritmo de subidas y bajadas de potencia para evitar fallos por interacción vaina-pastilla, la incorporación de un análisis del riesgo de los cambios en la química del refrigerante y de su efecto en el combustible y, finalmente, un seguimiento exhaustivo de la fabricación de los elementos, nos ha llevado a alcanzar el cuarto ciclo consecutivo, ocho años, sin fallos de combustible.

CAPRICORE, SIRENA Y HERACLIO

En lo referente al apoyo a la operación, la Unidad de Combustible Nuclear de Iberdrola Generación Nuclear ha implantado varias iniciativas con el fin de dar servicio a sus centrales nucleares participadas.

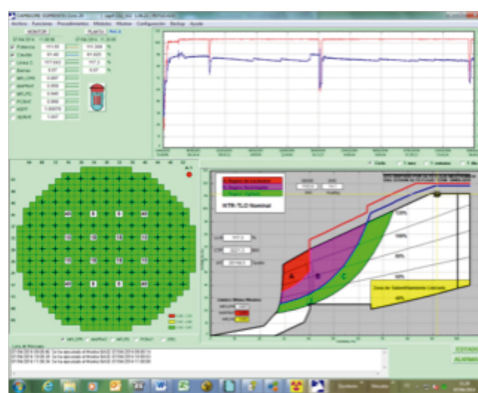
Entre estas iniciativas hay que destacar el desarrollo de una serie de productos que hacen que la operación sea más fiable y segura. Entre éstos podemos destacar: CAPRICORE, HERACLIO, RECARGA y SIRENA. CAPRICORE es un sistema que utiliza el simulador nodal avanzado SIMULATE-3 de Studsvik Scandpower adaptando sus resultados a la instrumentación intranuclear para estimar la distribución de potencia y los límites térmicos. CAPRICORE permite monitorizar y predecir los estados futuros del núcleo siendo de gran ayuda para realizar el seguimiento y apoyar a la operación.

Desde 2003, CAPRICORE es el sistema de monitorización oficial en la central nuclear de Cofrentes. La precisión de sus modelos y resultados ha sido establecida gracias a la comparación de la instrumentación y, sobre todo, a la comparación de los resultados de dos campañas de medidas de gamma scan realizadas en Cofrentes en los años 2002 y 2005. CAPRICORE se ha desarrollado con todos los estándares y requerimientos de la industria nuclear incluso los referentes a ciberseguridad.

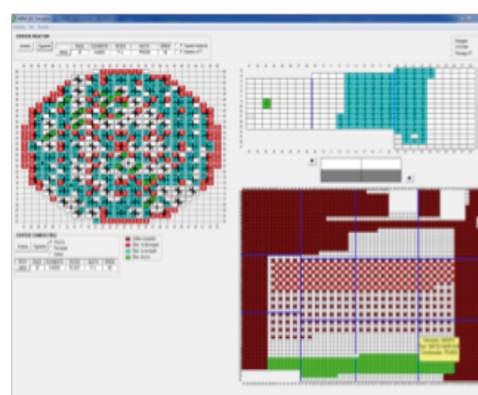
Adicionalmente, CAPRICORE se utiliza para el seguimiento y predicción de los núcleos de reactores PWR. Está siendo utilizado desde el año 1998 en la central nuclear de Almaraz y, desde 2003, también en la central nuclear de Trillo.

Por otra parte, el sistema HERACLIO permite planificar automáticamente la secuencia de movimientos de elementos combustible y componentes internos del núcleo, para conseguir la configuración del núcleo a principio de ciclo partiendo de la configuración del núcleo de fin del ciclo anterior y del estado de las piscinas de combustible. HERACLIO calcula el margen de parada durante los movimientos de combustible y admite el tratamiento de los distintos incidentes que puedan darse una vez iniciado el movimiento de combustible. La primera versión de este sistema se instaló en CN Cofrentes en el año 1994.

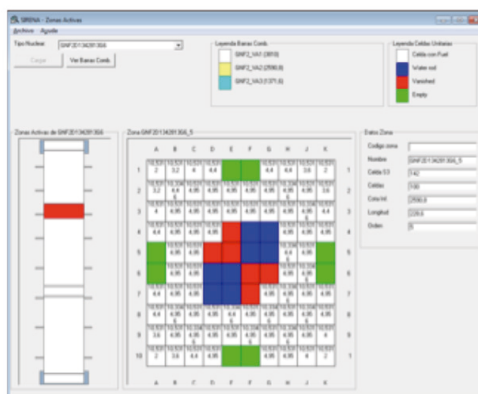
Otra herramienta importante es la denominada SIRENA. Éste es un sistema que permite gestionar la base de datos de combustible de utilización en la central de Cofrentes y que facilita la preparación de informes para enviar a ENRESA y EURATOM. SIRENA se actualiza con la información proporcionada por los suministradores de combustible y por los sistemas CAPRICORE y HERACLIO.



CAPRICORE C.N. Cofrentes



HERACLIO C.N. Cofrentes



SIRENA C.N. Cofrentes

Todos estos sistemas han sido desarrollados por Iberdrola Ingeniería y Construcción en colaboración con la Unidad de Combustible Nuclear de Iberdrola Generación Nuclear.

SEGUNDA PARTE DEL CICLO DE COMBUSTIBLE

En la central nuclear de Cofrentes la gestión del combustible usado ha ido evolucionando a lo largo de sus 30 años de operación. La pis-

cina se ha ampliado en dos proyectos sucesivos de *reracking* acometidos en los años 1997 y 2009, alcanzando en la actualidad 5.404 posiciones utilizables, y encontrándose en este momento aproximadamente al 83% de su capacidad útil de almacenamiento.

En estos últimos años, en CN Cofrentes se están llevando a cabo una serie de acciones significativas como son los primeros pasos para la futura gestión en seco del combustible usado; modificaciones necesarias en Planta para permitir la utilización de un contenedor de almacenamiento y transporte que optimice las operaciones; y la programación de las actividades iniciales de caracterización del inventario de combustible usado que permitan su retirada por ENRESA como responsable de la gestión de los residuos radiactivos en España.

De igual manera ha surgido la necesidad de retirar de las piscinas de combustible distintos residuos especiales relacionados con el combustible como son los canales usados y las barras de control gastadas. En esta línea se están desarrollando proyectos innovadores para la caracterización de este

tipo de componentes y su posterior acondicionamiento como residuo mediante corte y compactación.

El coste de gestión del combustible usado está aumentando significativamente y si se incluyen las nuevas tasas aparecidas en los últimos años, ya supera ampliamente el coste de aprovisionamiento de combustible. Por este motivo, los esfuerzos destinados a las medidas de optimización en esta área toman cada vez mayor relevancia en la central nuclear de Cofrentes. ■