

Mejoras del diseño de los sistemas de agua de refrigeración de salvaguardias tecnológicas de la central nuclear Vandellós II

› Miguel Barrado,
Jefe de proyecto de la
central nuclear Vandellós II

La central nuclear de Vandellós II inició su etapa de explotación comercial en el año 1988. En el año 1999 los titulares de la central culminaron un proceso de fusión de las organizaciones de explotación de las centrales de Ascó y Vandellós II. A partir de ese momento, se creó la Asociación Nuclear de Ascó – Vandellós II (ANAV) y dio comienzo la estrategia de la explotación integrada de ambas centrales.

La fusión llevó asociado un proceso de regulación de empleo que encajaba dentro del plan general auspiciado por los titulares para toda su industria energética, y que supuso el trasiego de personal tanto hacia dentro como hacia fuera de la organización. Este trasiego conllevó necesariamente el establecimiento de un programa de formación de gran envergadura para todo el personal de nuevo ingreso en ANAV, y que tenía como fin compensar toda la experiencia, y conocimiento de la central, del personal que dejaba la organización en el plazo y secuencia fijados dentro del alcance de este proceso.

En el año 2004 se produjo un incidente en el sistema de agua de servicios esenciales, sistema que constituía en esos momentos el foco frío de las salvaguardias tecnológicas, en todas las condiciones operativas de la central; y fue en la inves-

tigación de este incidente cuando se pone de manifiesto la necesidad de mejorar el diseño y la gestión de los sistemas de agua de refrigeración de la central.

Para llevar a cabo todas estas mejoras, el titular, a requerimiento del CSN, elaboró un Plan de Acción de Mejora de la Gestión de la Seguridad (PAMGS), que fue aceptado por el Organismo Regulador en agosto de 2005, tras un proceso de evaluación y seguimiento de los análisis y acciones llevadas a cabo por ANAV que iban a desembocar en la emisión del citado PAMGS.

Este Plan contiene cinco programas con acciones de mejora de distinto ámbito, y uno de ellos, el denominado “Programa de Mejora de Diseño, Inspecciones y Vigilancia”, es el que contiene las acciones de mejora del diseño y gestión de los sistemas de agua de refrigeración de las salvaguardias tecnológicas. La exposición de estas mejoras y su origen es el objeto del desarrollo de este artículo.

Origen de las modificaciones de diseño de los sistemas de agua de refrigeración de las salvaguardias tecnológicas

El actual sistema de agua de servicios esenciales (sistema EF) tiene como función la de extraer el calor de todos los equipos de salvaguardias tecnológicas de la central, y

disiparlo en el mar Mediterráneo. Este sistema dispone de dos trenes (doble línea de tuberías y equipos) similares e independientes entre sí, con una disposición abierta, tomando el agua de mar como fluido refrigerante. La conducción de agua de mar se realiza mediante líneas de tubería de gran diámetro con bocas de registro y de acceso a la misma para inspección y vigilancia. La figura 1 muestra el trazado y los componentes principales del sistema EF.

El incidente de agosto de 2004 consistió en la rotura circunferencial de una de estas bocas de registro, situada en la línea de impulsión de uno de los trenes del sistema, provocada por un fenómeno de corrosión externa que se extendía a todo el cuello de la misma. La consecuencia fue la pérdida de la integridad estructural de la tubería y de la capacidad de refrigeración de las salvaguardias tecnológicas a través de ese tren del sistema. Más adelante, se constató que el fenómeno de corrosión externa estaba generalizado a todas

las bocas de registro de los trenes del sistema, aunque con distinta intensidad.

El CSN realizó un análisis de causa raíz del incidente, que se extendió desde noviembre de 2004 hasta finales de enero de 2005. Como conclusiones del análisis quedaron determinados las causas y los factores contribuyentes principales del incidente como elementos de diagnóstico del suceso. Entre las causas técnicas se identificaron las debilidades de diseño de las tuberías para prevenir fenómenos de corrosión externa, junto con una vigilancia y un mantenimiento ineficaces de las mismas.

El sistema EF, según el diseño original de la central, constituye el foco frío de las salvaguardias tecnológicas mediante la refrigeración de los siguientes sistemas:

—Sistema de agua de refrigeración de componentes (sistema EG), que aporta agua de refrigeración a los equipos de la central requeridos como salvaguardias tecnológicas

—Sistema de agua de refrigeración de los motores de los generadores diesel de emergencia (sistema KJ), y

—Sistema de agua enfriada esencial (sistema GJ), que refrigera a su vez las unidades de enfriamiento del aire de ventilación de los recintos de clase de seguridad, que albergan las salvaguardias tecnológicas

El sistema actual de agua de servicios de esenciales toma agua del mar Mediterráneo y la impulsa hacia los intercambiadores de calor de los sistemas de refrigeración de salvaguardias tecnológicas, y una vez extraída la carga térmica de dichos sistemas la devuelve al mar. Las líneas de tubería discurren enterradas en su mayor parte, y sólo es tubería aérea al principio de la impulsión, cuando penetra en los edificios donde se encuentran los sistemas que refrigera y al final de su retorno al mar.

Este diseño ha provocado deficiencias que han originado numerosos incidentes de diversa índole en las líneas

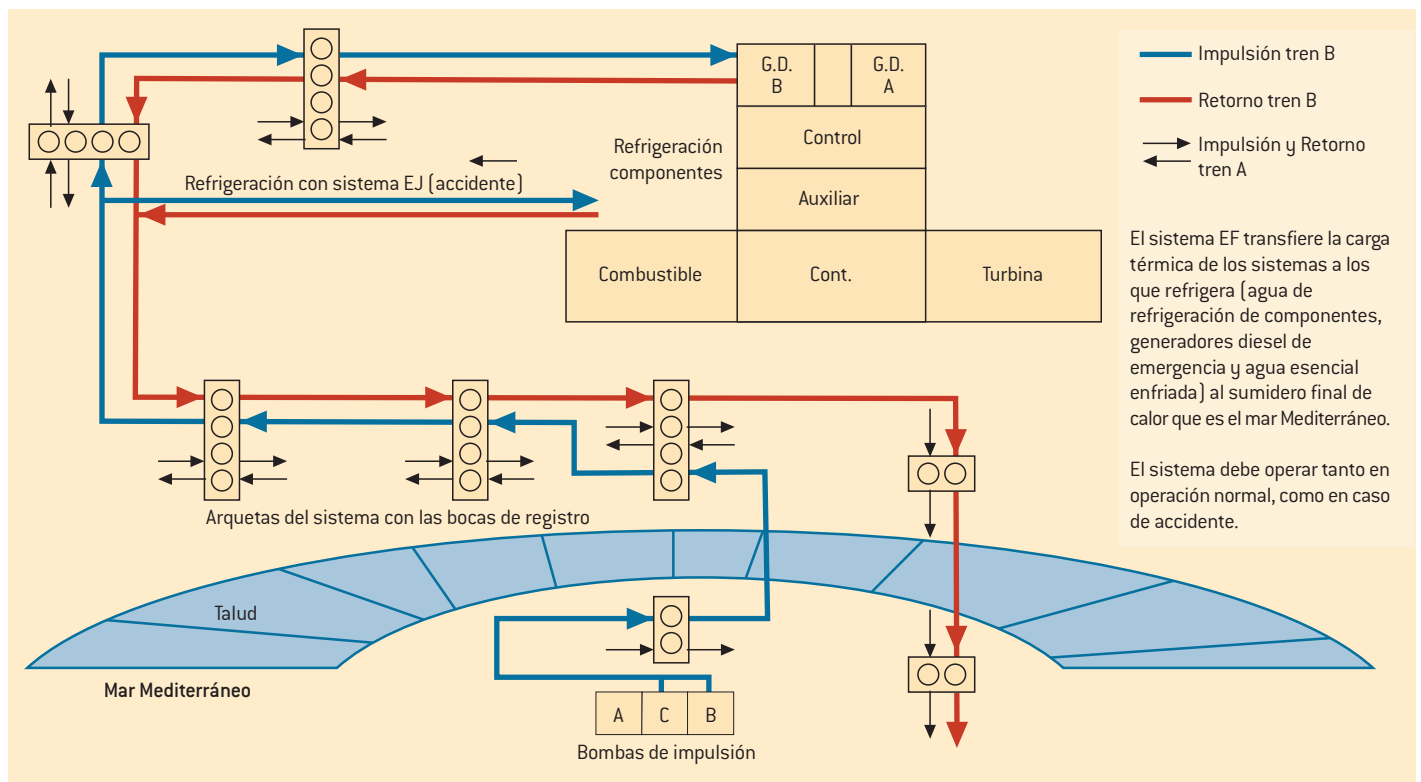


Figura 1. Esquema del trazado y componentes del sistema EF.

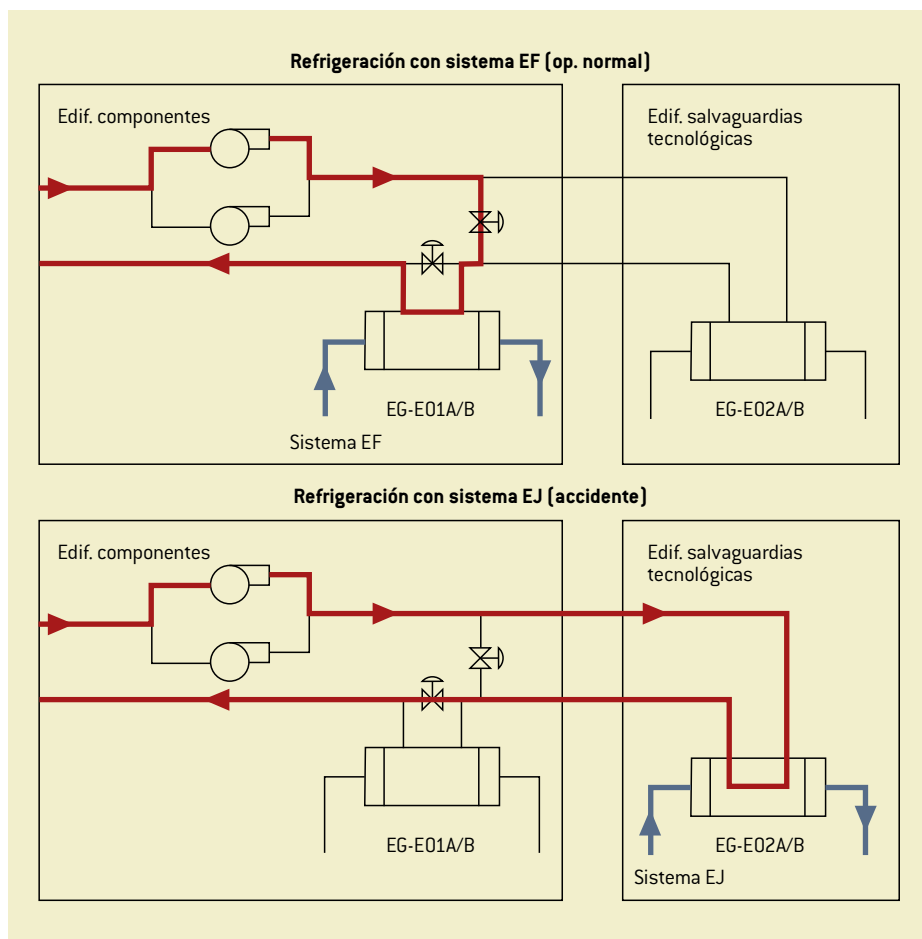


Figura 2. Modo de funcionamiento y principales componentes mecánicos del sistema EJ.

de este sistema hasta desembocar en el incidente de pérdida de integridad estructural ya mencionado. Estas deficiencias son principalmente la corrosión inducida por agua de mar en las tuberías, las reducciones de caudal por ensuciamiento orgánico de los intercambiadores de calor procedente del agua del mar, y la dificultad de la vigilancia de las líneas por la condición de no inspeccionabilidad de los tramos enterrados de la tubería del sistema

El diseño original de la refrigeración de las salvaguardias tecnológicas de la central se ha mantenido hasta la entrada en vigor de las modificaciones de los sistemas encargados de esta función de seguridad, que cambian dicho diseño para evitar los problemas inherentes al mismo. Estas modificaciones se desarrollan en los siguientes apartados.

Programa de Mejoras en Diseño, Inspección y Vigilancia. Finalidad y desarrollo

Dentro de este programa, las acciones de mejora dedicadas a la introducción de modificaciones de diseño en el sistema de agua de servicios esenciales (sistema EF) y en los sistemas por él refrigerados son las actividades más importantes del programa.

Objetivo de las acciones de mejora

Las acciones de este programa, en lo relativo a los sistemas de agua de refrigeración de la central, tienen como fin resolver los problemas que conlleva el diseño original de la refrigeración de las salvaguardias de C. N. Vandellós II y prevenir su ocurrencia contemplando la diversidad del foco frío. Para ello, establece la implantación de un sistema diverso y alternati-

vo al de servicios esenciales actual, con torre de refrigeración de agua dulce y la sustitución del foco frío de los sistemas GJ-agua enfriada esencial, y KJ- refrigeración de los motores de los generadores diesel de emergencia, dotándoles de subsistemas de refrigeración propios.

Solución propuesta por el titular como respuesta a estas acciones de mejora La solución final de diseño, presentada y realizada por el titular al CSN, ha ido más allá de lo fijado en el alcance de las acciones de este programa, y ha consistido en la implantación de un nuevo sistema de agua de refrigeración de las salvaguardias tecnológicas, en sustitución del actual de agua de servicios esenciales, para condiciones de accidente; de clase de seguridad, de doble tren (doble línea de tuberías y de equipos), y cada tren con su correspondiente torre de refrigeración de tiro forzado que incluye en el circuito una balsa de agua dulce, con una capacidad tal que posibilite el funcionamiento del sistema el tiempo suficiente para hacer frente a las condiciones operativas más desfavorables de la central consideradas en la base de licencia. Este sistema disipa el calor que extrae en la atmósfera en vez de en el mar como lo hace el actual sistema de servicios esenciales. El diseño del nuevo sistema de agua de refrigeración de salvaguardias tecnológicas, denominado sistema EJ, concebido en base a la solución expuesta, permite desclasificar el actual sistema de servicios esenciales como sistema de clase de seguridad, una vez que se alcance su operatividad.

En el diseño original de la central, el sistema actual de servicios esenciales constituye el foco frío de los tres sistemas EG, GJ y KJ. El diseño del nuevo sistema EJ contempla que éste sea sólo el foco frío del sistema de agua de refrigeración de componentes (EG), lo que implica la introducción de sendas modificaciones al diseño original de todos los sistemas re-

lacionados con la refrigeración de las salvaguardias tecnológicas de la central.

Descripción del sistema EJ

Función del sistema EJ. Modos de funcionamiento. Componentes mecánicos. El sistema de agua de refrigeración de salvaguardias tecnológicas tiene como función específica la de suministrar agua de refrigeración a los nuevos cambiadores de calor de salvaguardias tecnológicas, con el caudal necesario para evacuar la carga térmica del sistema de refrigeración de componentes tras cualquier "Accidente Base de Diseño". Asimismo, está capacitado para refrigerar las cargas térmicas transmitidas por el sistema EG durante la operación normal, arranque y parada de la central. La carga térmica se disipará a la atmósfera a través de las torres de refrigeración de salvaguardias

El sistema consta básicamente de dos circuitos (uno por tren) que aportan agua de refrigeración a los nuevos cambiadores de calor de salvaguardias EG-02A/B (intercambio de calor entre los sistemas EG-EJ), situados en serie con los actuales cambiadores EG-01A/B

(intercambio de calor entre los sistemas EG-EF), como se indica esquemáticamente en la figura que se expone tras esta descripción. Mediante válvulas de bypass de los cambiadores por el lado de componentes (sistema EG), es posible la extracción de las cargas térmicas tanto mediante el sistema actual de agua de servicios esenciales (sistema EF), como mediante el sistema EJ, siendo este último el sistema relacionado con la seguridad que proporcionará refrigeración en condiciones de accidente tras la actuación de la señal de inyección de seguridad, o por pérdida de suministro eléctrico exterior del tren correspondiente. Si el actual sistema EF se encontrara en operación en el momento de la aparición de una de las señales mencionadas, la bomba de impulsión correspondiente del sistema EF recibirá orden de parada inmediata, evitando así su alimentación eléctrica desde el generador diesel de emergencia.

Para llevar a cabo la función antes indicada el sistema dispone de dos bombas de impulsión redundantes por tren (cada una con 100% de capacidad) que

aspiran desde una balsa de almacenamiento, dimensionada para permitir la extracción de cargas térmicas durante un periodo de 30 días sin aporte adicional. El agua se impulsa hasta los nuevos cambiadores, y el retorno se conduce a las torres de refrigeración de tiro forzado donde se refrigera, disipando calor a la atmósfera, y retornando por gravedad a la balsa, transfiriendo calor, hasta establecer las condiciones adecuadas de temperatura del agua de la balsa para la función de foco frío. El conjunto balsa - torres de refrigeración, junto con la atmósfera, constituyen el sumidero último de calor de los equipos de salvaguardias tecnológicas de la central.

La figura 2 que se expone a continuación, representa el modo de funcionamiento del sistema EJ y su relación con el sistema EG de refrigeración de componentes, que es necesario modificar para alcanzar la compatibilidad de los diseños de ambos sistemas. Asimismo está representada la funcionalidad del sistema EF de agua de servicios esenciales, que quedará desclasificado como sistema de clase de seguridad tras

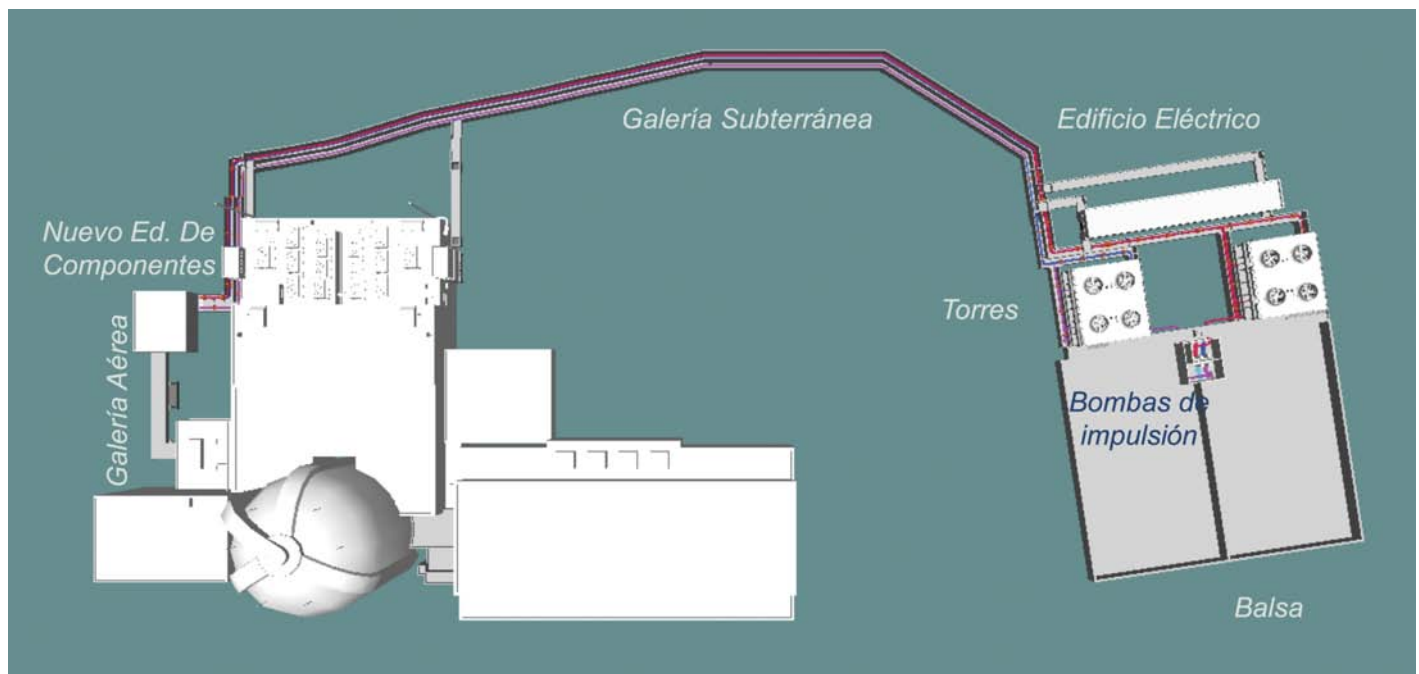


Figura 3. Trazado y estructuras del sistema EJ.

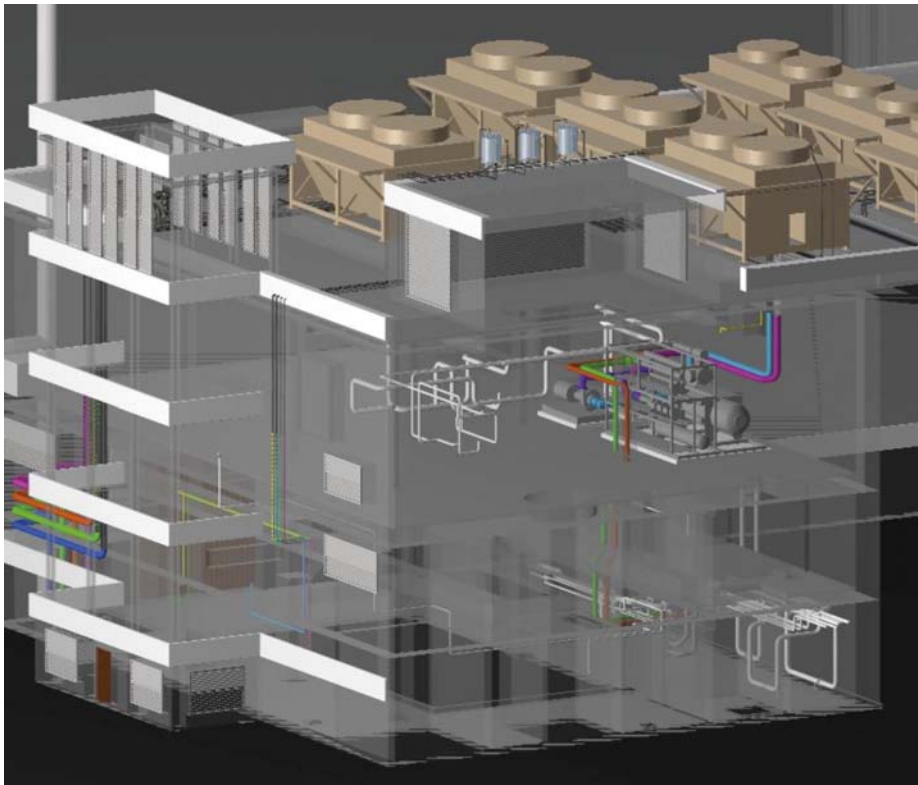


Figura 4. Vista esquemática general de la modificación del sistema GJ.

la declaración de operatividad del nuevo sistema.

Estructuras y trazado del sistema EJ
El diseño del sistema EJ incorpora un conjunto importante de elementos de obra civil necesarios para cumplir con su función de seguridad. Las estructuras clase de seguridad del sistema que posibilitan el cumplimiento de esta función están representadas en la figura que se expone al final de esta descripción; y son la balsa de almacenamiento de agua dulce, las torres de refrigeración, el edificio eléctrico, la galería subterránea con las líneas de tuberías para la impulsión y retorno del agua desde y hacia la balsa, el nuevo edificio que albergará los nuevos intercambiadores de calor compartidos con el sistema de refrigeración de componentes (salvaguardias tecnológicas), y la galería aérea que contiene las líneas de impulsión y retorno del agua de componentes, y conecta el nuevo edificio con el actual,

que alberga a su vez los intercambiadores de calor del sistema de agua de servicios esenciales del diseño original.

El trazado del sistema EJ discurre por la franja de terreno colindante con el límite noreste del emplazamiento de la central. En la figura 3 se muestra el esquema del trazado y la disposición de las estructuras del sistema EJ respecto de los edificios actuales de la central.

Modificación del sistema EG de refrigeración de componentes

El sistema de agua de refrigeración de componentes, tiene como función específica la de suministrar agua de refrigeración a equipos que utilizan fluidos no radiactivos y/o potencialmente radiactivos (sólo en caso de fugas en tubos de cambiadores de salvaguardias tecnológicas), durante la producción de energía, operaciones de parada y enfriamiento, y posteriormente a los accidentes postulados.

En el diseño original de la central, la carga térmica absorbida por el sistema

EG es transferida al sistema de agua de servicios esenciales EF, a través de los cambiadores de agua de refrigeración de componentes. La sustitución del sistema EF por el sistema EJ como nuevo sumidero final de calor, es el origen de la necesidad de modificar el sistema de agua de refrigeración de componentes EG, para hacer compatible el diseño de estos dos sistemas.

La modificación consiste en la adición de dos nuevos intercambiadores (uno por tren), para refrigeración del agua de componentes (sistema EG) desde el nuevo sistema EJ. Estos cambiadores están situados en serie con los existentes previamente, que se refrigeran con el sistema EF y aguas arriba de los mismos. Se instalan nuevas líneas de baipás en los cambiadores del sistema EG con válvulas neumáticas automáticas de alineamiento para permitir la conexión al sistema EF o EJ, alternativamente. El diseño de la lógica de apertura y cierre de dichas válvulas posibilita la refrigeración del sistema EG desde el Sistema EJ, en las condiciones de accidente, y desde el sistema EF, en los modos de operación normal, y parada y enfriamiento.

Para garantizar que los caudales de agua del sistema EG no se reducen como consecuencia de la pérdida de carga adicional causada por los nuevos lazos a los cambiadores de este sistema y la lógica de funcionamiento, se ha realizado adicionalmente una modificación en las bombas de impulsión del agua, consistente en un incremento del diámetro del impulsor con el fin de aumentar la capacidad de las mismas, y por tanto del caudal dedicado a la refrigeración de componentes de seguridad de la central (salvaguardias tecnológicas).

Descripción de la modificación de los sistemas GJ y KJ.

La modificación del diseño de los sistemas GJ –agua enfriada esencial y KJ –

frigeración de los motores de los generadores diesel de emergencia, consiste básicamente en cambiar su foco frío, dotándolos de subsistemas de refrigeración propios, incorporados al nuevo diseño de los mismos. Para ello, en estos sistemas se han realizado las modificaciones de su diseño original necesarias para dotar de unidades de refri-

geración propias (aerorrefrigeradores) a ambos, y así independizarlas del nuevo sistema EJ. De esta forma, antes de la modificación, los sistemas GJ y KJ se refrigeraban con agua de mar mediante el sistema EF, el sistema de agua de servicios esenciales, y tras la modificación, el calor extraído se disipa a la atmósfera a través de aerorrefrigeradores.

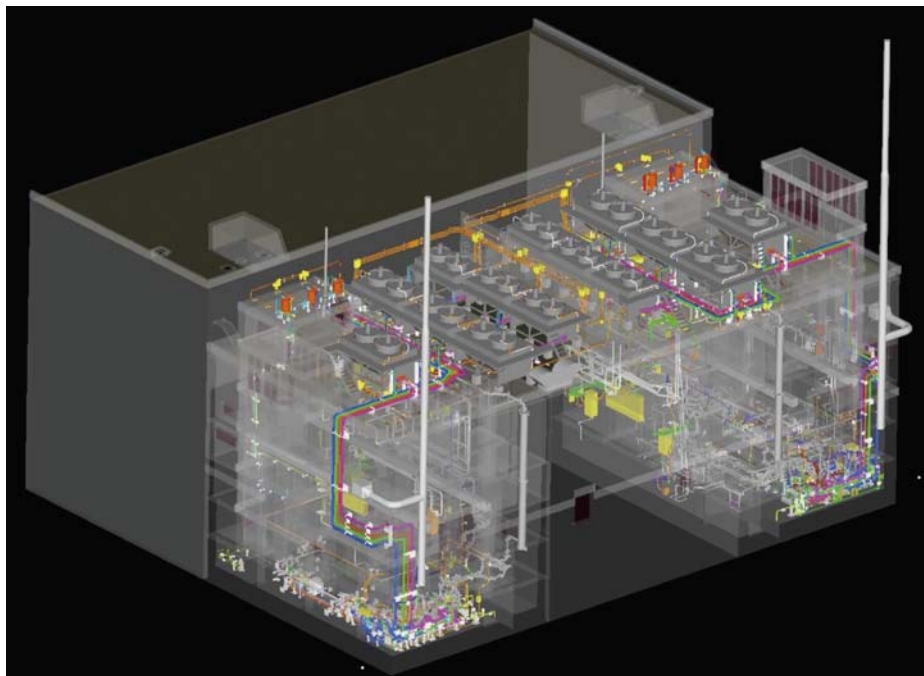


Figura 5. Vista esquemática general de la modificación de los sistemas GJ y KJ.



Figura 6. Sello de las líneas de tubería Bonna de 300 mm del sistema EF.

En las figuras 4 y 5 se muestra la modificación de los sistemas KJ y GJ, realizada en el edificio CAT-Diesel de CN Vandellós II, que alberga el diseño actual de estos dos sistemas; se observa también la disposición de los aerorrefrigeradores de los sistemas GJ y KJ, situados físicamente en la cubierta de este edificio, y el trazado de las líneas (en color) que, desde los aerorrefrigeradores, busca la conexión de éstos con los intercambiadores de calor de ambos sistemas.

Descripción de la modificación del sistema EF

Dotar de foco frío propio a los sistemas GJ y KJ, conlleva modificar el sistema EF de agua de servicios esenciales, simultáneamente a la implantación del nuevo sumidero de calor de estos sistemas, para compatibilizar las características de sus respectivos diseños.

La tubería del sistema afectada por la modificación es de la denominada tipo Bonna. Este tipo de tubería es de hormigón armado con armaduras circunferenciales y longitudinales. Dispone de una chapa de estanqueidad de acero al carbono, interiormente recubierta con un mortero de protección contra la corrosión. En el sistema EF existen dos tipos de tubería Bonna según su diámetro, de 800 mm y 300 mm.

La modificación consistió en eliminar los tramos de 300 mm de diámetro de la tubería del sistema EF, que eran los que proporcionaban el agua de refrigeración a los intercambiadores de calor del sistema KJ y a los condensadores del sistema GJ, y que tras la modificación esta aportación resulta ser innecesaria, ya que dicha función la realizan los aerorrefrigeradores instalados en estos dos sistemas.

La eliminación de los tramos de 300 mm de diámetro se realizó mediante el corte de la tubería en los cuatro tramos (dos de los trenes de impulsión y dos de los de retorno) en puntos próximos a

Año 2007

Modificación	Licenciamiento del CSN	Autorización del MITC	Puesta en marcha de la modificación por el titular
<ul style="list-style-type: none"> ■ Modificaciones del KJ y GJ ■ Eliminación de la tubería Bonna de 300 mm. del EF. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Autorización de puesta en marcha por aplicación del Artículo 25.1 del RINR ■ Realización de análisis de seguridad: Artículo 26 del RINR. 	1 de junio de 2008	Tras la parada programada por recarga de combustible de 2007
<ul style="list-style-type: none"> ■ Inicio de la realización de construcción y montaje del sistema EJ 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Autorización de ejecución y montaje: Artículo 25.2 del RINR ■ Realización de análisis de seguridad: Artículo 27 del RINR 	9 de mayo de 2009	

Año 2009

<ul style="list-style-type: none"> ■ Puesta en servicio del sistema EJ, modificación del EG y desclasificación del EF 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Autorización de puesta en marcha: Artículo 25.1 del RINR. ■ Realización de análisis de seguridad: Artículo 26 del RINR 	21 de mayo de 2009	Tras la parada programada por recarga de combustible de 2009
--	---	--------------------	--

Actualmente, todos estos sistemas modificados ya están operativos y en funcionamiento en la C. N. de Vandellós II.

su enlace con la de 800 mm, quedando pequeños tramos residuales de la tubería estrecha en el sistema EF.

El sellado de las tuberías se efectuó mediante la soldadura de un carrete de transición a la camisa de la tubería cortada y un codo de 90° con un extremo vertical, de acero al carbono, dando continuidad a todos los componentes que forman la tubería (armaduras, chapa de acero, hormigón). El codo fue sellado mediante una brida de acero al carbono que se cierra con una tapa atornillada, con interposición de una junta de sellado.

En la figura 6 se observa el detalle de la disposición del sellado de la tubería de 300 mm de un tren del sistema EF, en donde se aprecia el carrete de transición, el codo y la brida situada en su extremo.

Con esta modificación y tras la declaración de la operabilidad del nuevo sistema EJ, el sistema de agua de servicios esenciales actual pasará a ser un sistema no relacionado con la seguridad

Licenciamiento y puesta en servicio de las modificaciones de los sistemas de refrigeración de salvaguardias tecnológicas

Los procesos de licenciamiento llevados a cabo por el CSN sobre las modificaciones expuestas en los apartados anteriores han sido llevados cabo siguiendo las directrices del artículo 25 “Modificaciones de la instalación”, del Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas (en adelante RINR) en vigor.

Según establece el RINR las modificaciones en el diseño de la instalación, o en las condiciones de explotación, que afecten a la seguridad, deben ser, previamente a su implantación, analizadas por el titular de la misma, para verificar si siguen cumpliendo los criterios, normas y condiciones en los que se basa su autorización de explotación. En otro caso, se requiere una autorización expresa de la modificación por parte de la Administración, antes de su entrada en servicio.

Asimismo, en el RINR, se establece que el titular solicitará, adicionalmente a la anterior, una autorización de ejecución y montaje de aquellas modificaciones que, por su gran alcance, o porque impliquen obras y montajes significativos, se considera necesario autorizar expresamente, a juicio de la Dirección General de la Política Energética y Minas o del Consejo de Seguridad Nuclear. Esta autorización será previa al inicio de cualquier actividad de montaje o construcción que se requiera.

El titular de todas estas modificaciones dispone actualmente de todas las autorizaciones correspondientes de acuerdo con el Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas en vigor, emitidas por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, según se expone en la tabla superior, junto con el licenciamiento llevado a cabo por el CSN y la puesta en marcha de la modificación realizada por el titular de la central. 