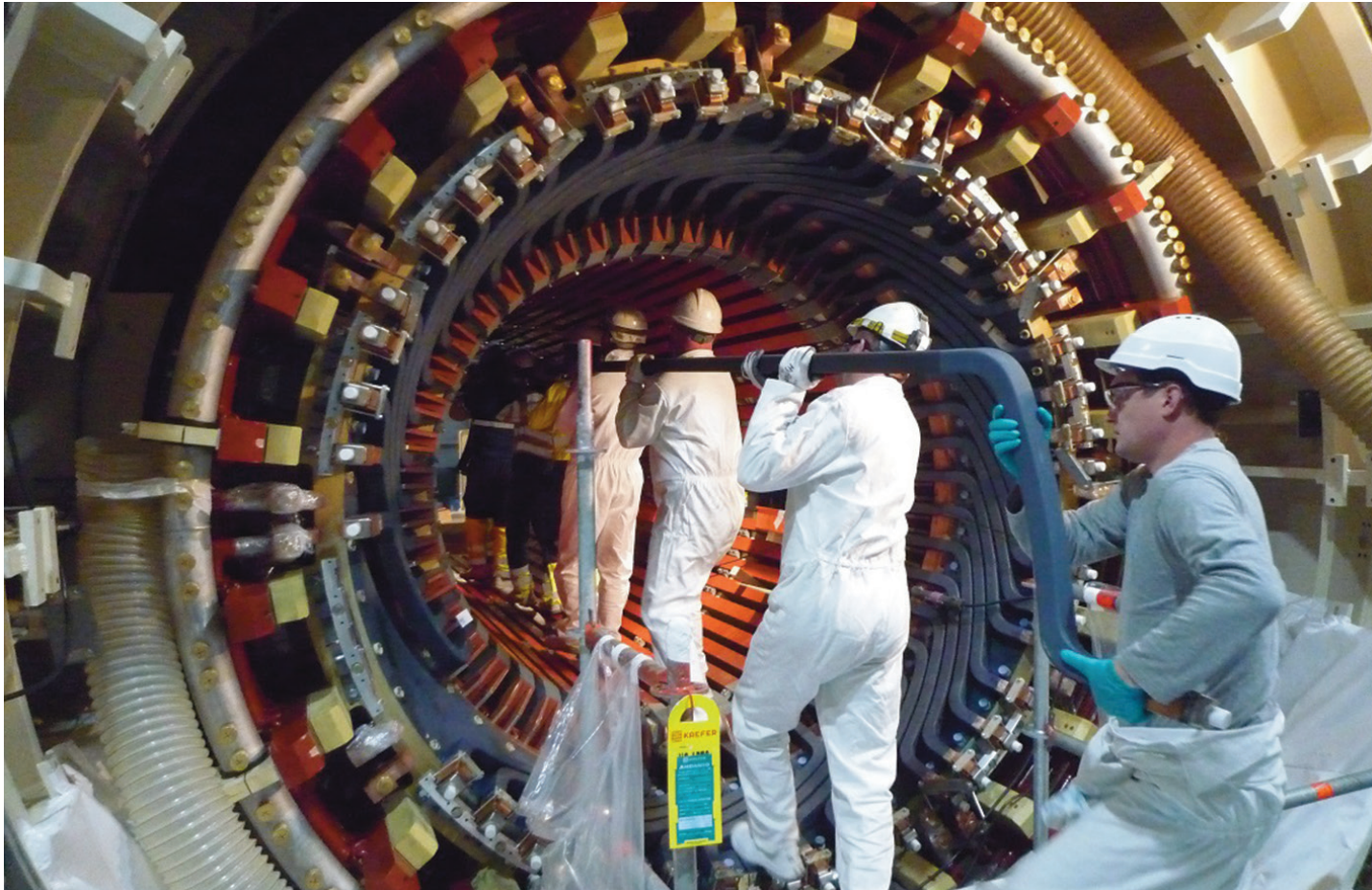




Inserción de bobinas dentro del estátor

EL NUEVO GENERADOR DE C.N. VANDELLÓS II

En los últimos años, la central nuclear Vandellós II ha acometido numerosas inversiones en los diferentes equipos del bloque de potencia con objeto de llevar una gestión de los activos en base a la condición de los mismos, experiencia operativa, nuevas condiciones de operación o recomendaciones del suministrador original del equipo (OEM).

Dentro del plan de inversiones previsto sobre el turbogruppo, C.N. Vandellós II había realizado ya intervenciones sobre la excitatriz y el rotor, recalificados en los últimos años. De esta manera, únicamente quedaba pendiente acometer una actuación de calado sobre el estátor, completando así las actuaciones sobre los distintos componentes del generador principal.

Para garantizar el buen funcionamiento del equipo y la operación segura a largo plazo era necesario resolver el riesgo derivado del envejecimiento de los aislamientos de los embarrados (a partir de los 30 años de operación la probabilidad de fallo

se incrementaba notablemente), asegurar la integridad del núcleo y hacer más robusta la suportación de cabezas de bobinas (una debilidad conocida en máquinas de esta potencia y diseño). Desde el comienzo de la operación comercial de la planta, solo se había actuado sobre el estátor en 1999, cuando se mejoró el sistema de refrigeración de bobinas y se cambiaron las bornas principales, coincidiendo con la sustitución de las turbinas de vapor.

Los trabajos sobre el estátor fueron planificados para su ejecución durante la parada para la recarga de combustible de 2018 (VR22) coincidiendo con los 30 años de operación del equipo.

Para la definición del proyecto se analizaron en profundidad varias alternativas, entre las que destacan:

- Rebobinado del estátor instalado en Vandellós II. Los dos principales inconvenientes que presentaba la alternativa se centraban en el riesgo de alargar la recarga (por imprevistos en la retirada de bobinas y en la instalación de las nuevas) y la imposibilidad de acometer modificaciones en los ex-



JORGE ARCHILLA MARTÍN-SANZ

Jefe de Proyectos en la Dirección de Servicios Técnicos.

Ingeniero industrial especialidad Electricidad por la Universidad Pontificia Comillas (ICAI).



tremos del paquete magnético (que es la zona donde los aislamientos se encuentran más envejecidos, al alcanzarse las mayores temperaturas cuando el alternador trabaja en la zona de subexcitación).

- Rebobinado de un estátor de repuesto y sustitución de los extremos del paquete magnético. Este equipo provendría de C.N. Ascó I, retirado de operación en el año 2000 tras finalizar el proyecto de aumento de potencia. Para comprobar que el estado era correcto, en 2014 se le sometió a un *loop test* a flujo nominal (1 Tesla) con resultado satisfactorio. Esta alternativa proporcionaba una solución técnica muy buena y una ventaja sustancial: la garantía de intercambiabilidad con todos los sistemas auxiliares y equipos reutilizados.
- Adquisición de un estátor completamente nuevo. Desde un punto de vista técnico, esta alternativa es ligeramente mejor que la descrita en el punto anterior (se dispondría de un núcleo completamente nuevo), pero implicaba una inversión superior y presentaba potenciales riesgos de intercambiabilidad con todos los sistemas auxiliares y equipos reutilizados.

Al final del análisis, se optó por la mejor solución técnica con el mínimo riesgo: el rebobinado del estátor del que ANAV disponía como repuesto "idéntico" al actual. Una vez que el estátor estuviera actualizado, pasaría a sustituir al que ha estado operando durante 30 años, garantizando la fiabilidad del equipo al menos 30 años más.

EL DESAFÍO DEL CAMBIO DEL TECNÓLOGO Y EL NUEVO ESTÁTOR

Una vez que el alcance del proyecto quedó definido se comenzó un proceso de licitación en el que varios tecnólogos dieron sus propuestas técnicas. Después de un largo análisis, en septiembre de 2016, se procedió a la adjudicación de los trabajos a General Electric (GE).

La adjudicación a GE presentaba un reto adicional, ya que se producía un cambio de fabricante con respecto al OEM del equipo instalado, Westinghouse (actualmente Siemens). Durante toda la fase de licitación, GE demostró un conocimiento profundo de los generadores Westinghouse de 1000 MVA y tener un equipo técnico competente, lo que disipó las dudas y proporcionó las garantías para poder abordar con éxito el proyecto.

El nuevo generador presentaba un salto cualitativo con respecto al anterior en varias características técnicas, tanto en prestaciones como en la robustez en el diseño. En concreto:

- Las bobinas de nuevo diseño han permitido incrementar la intensidad nominal de las barras en más de un 7 %, logrando una potencia nominal de alternador de 1224 MVA, convirtiendo a este en el de mayor potencia nominal de España.
- La refrigeración de las barras se realiza a través de canales de acero inoxidable, que son más robustos frente a la oxidación (no es necesario controlar los niveles de oxígeno disuelto) y por lo tanto a su taponamiento.
- Se ha mejorado la capacidad de operación en la zona de operación en subexcitación por encima de los 1000 MW, gracias a un diseño de bajas pérdidas en las láminas del núcleo en los extremos del paquete magnético (Figura 1).
- El rendimiento global de la máquina ha experimentado un incremento debido a las menores pérdidas por corrientes parásitas en las barras y a un diseño optimizado del núcleo que baja la temperatura media del mismo (y por consiguiente las pérdidas) en las condiciones de operación a potencia.

- Se dispone de un nuevo sistema de suportación de cabezas de bobina robusto frente a los esfuerzos oscilatorios. Además, ha permitido desplazar las frecuencias naturales de vibración en las cabezas de bobina de los 50 Hz y 100 Hz (frecuencias críticas).

TRASLADO DEL ESTÁTOR DE ASCÓ A VANDELLÓS II

Antes de comenzar cualquier actuación se debía trasladar el estátor de repuesto, ubicado en el emplazamiento de C.N. Ascó, hasta el de C.N. Vandellós II.

Este traslado fue coordinado por ANAV con una empresa externa, independiente a GE. Esta actividad supuso un proyecto de envergadura en sí mismo, ya que la masa indivisible tenía un peso de 465 Tn.

Se tardó más de seis meses en planificar, diseñar las actuaciones sobre los diversos elementos del rutado, y obtener los permisos de las autoridades competentes para el traslado. Las actuaciones principales previas fueron el acondicionamiento de varios tramos de caminos, la construcción de un puente temporal para salvar el río Siurana (el existente no tenía la capacidad portante necesaria), así como cortar el tráfico de carreteras y autopistas.

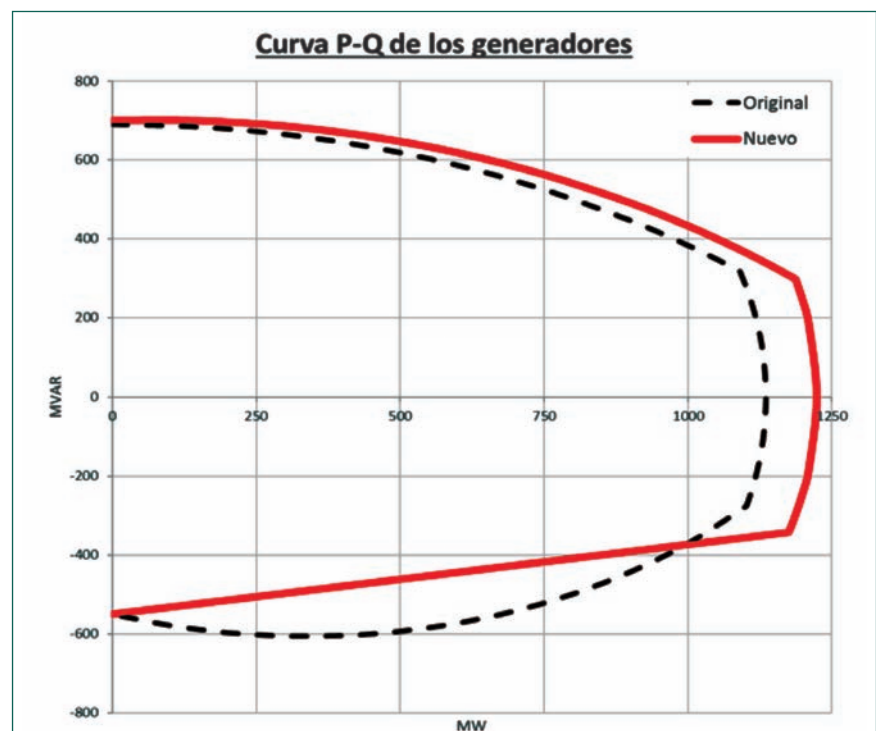


Figura 1.



Al final del proceso se necesitaron siete jornadas para cubrir el trayecto de aproximadamente 50 km que separa ambos emplazamientos, sin que se produjera ninguna incidencia.

ENSAMBLAJE EN LA NAVE N°6

Las actuaciones sobre el estátor se llevaron a cabo en la nave n°6, ubicada dentro del emplazamiento de Vandellós II y que se había acondicionado en los meses previos para este fin. Los componentes, manufacturados en las diferentes fábricas de GE, fueron asimismo transportados hasta Vandellós II, donde se ensamblaron.

De las tareas llevadas a cabo, destaca por su singularidad y complejidad técnica la sustitución parcial de parte del paquete magnético. Para ello, fue necesario durante todo el proceso mantener la compresión del núcleo a reutilizar, así como ejecutar los trabajos de apilamiento de las nuevas láminas del núcleo con el estátor en posición horizontal (lo habitual es realizar el apilamiento de estas con el equipo en vertical, ya que se evitan las deformaciones en la geometría del núcleo por el peso propio -unas 360 Tn-). Para ello, GE desarrolló un conjunto de herramientas especiales y un procedimiento de trabajos que permitió

mantener la compresión del núcleo y evitar los riesgos del apilado en horizontal, pudiendo llevar a cabo con éxito la actividad. Como comprobación final se llevó a cabo un *loop test* a flujo nominal (1 Tesla), con resultados satisfactorios. Los pequeños defectos superficiales fueron fácilmente subsanados.

Otra de las actividades críticas fue la instalación del bobinado, destacando la inserción de las barras individuales y la soldadura de cobre (*brazing*) que se hace posteriormente entre las diferentes barras para conformar un bobinado completo.

El tiempo necesario en el que se ejecutó todo el bobinado fue menos de tres semanas, lo que es un ejemplo de coordinación y buena ejecución. La rapidez en finalizar esta tarea no mermó la calidad del trabajo, quedando patente en las pruebas eléctricas (El CID, dieléctricas, inspecciones visuales, etc.) llevadas a cabo posteriormente, en las que no se identificó ningún defecto de fabricación en los componentes ni de ejecución *in situ*.

EL TRANSPORTE PESADO DENTRO DEL EMPLAZAMIENTO DE VANDELLÓS II

Una de las actividades principales que se debían acometer en el proyecto era el traslado del estátor antiguo, que debía ser desplazado desde el edificio de turbina hasta la nave n°6 y viceversa, con el nuevo. Estos trabajos podrían llevar al límite algunas de las estructuras de los alrededores de la central.

Es de mencionar que se tenía que tener en cuenta una experiencia operativa ajena relevante: el suceso de Arkansas, en el que una estructura auxiliar utilizada para el movimiento de un estátor similar colapsó dentro del Edificio de turbina, provocando dos muertos, cuantiosos daños materiales y un gran impacto en la duración de la recarga de combustible.

Al ser considerado un proyecto de alto riesgo, se efectuó un seguimiento específico mediante el análisis de riesgos y gestión de los mismos durante todas las fases del proyecto según el proceso establecido en ANAV.

En consecuencia se llevó a cabo un estudio exhaustivo de todas las actividades asociadas:

- Se analizaron varios trazados alternativos, descartando los que suponían interferencias con el doble vallado, posibilidad de colapso del talud junto a casa de bombas, etc. El recorrido seleccionado fue el que procedía al acceso al interior del doble vallado



Llegada del estátor de repuesto a la nave n°6.



Instalación de chapas nuevas.



cercano a la balsa del sistema de refrigeración de salvaguardias tecnológicas (EJ), evitando la cercanía al talud, la vía del tren y minimizando las afecciones sobre el doble vallado.

- Se identificaron todas y cada una de las canalizaciones enterradas que podrían estar afectadas por el transporte, prestando especial atención a las relacionadas con la seguridad y verificando que no se viesan afectadas.
- Se actuó sobre el puente del barranco Lleira, reforzando los arranques de los pilares con fibra de carbono para proporcionar mayor resistencia.
- Se llevó a cabo un recálculo por una ingeniería independiente del pórtico que se utilizaría en el movimiento del estátor dentro del Edificio de turbina. Dada la experiencia operativa ocurrida en la central de Arkansas y que el equipo a utilizar en C.N. Vandellós II fue diseñado *ad hoc* para este proyecto no siendo viable la realización de una prueba de carga, se consideró necesario dicho recálculo y la revisión independiente del montaje para minimizar los riesgos asociados a los movimientos dentro del edificio de turbina.

LOS ASBESTOS EN JUNTAS

A comienzos de 2018, unos pocos meses antes de la implantación, se identificó que en los años 80 una gran cantidad de juntas con asbestos fueron proporcionadas e instaladas con el suministro del estátor por el OEM. Este hecho suponía un riesgo relevante para el proyecto, ya que por prevención de riesgos laborales, la manipulación y retirada de este material se debe hacer por personal cualificado.

No se tenía constancia que se hubiera llevado a cabo una campaña de retirada de este tipo de material, por lo que se analizaron los registros para identificar qué juntas habían sido sustituidas por otras sin contenido del material nocivo para la salud en las diferentes paradas. Se realizó una primera selección, pero se hacía necesario llevar a cabo un segundo cribado tomando muestras físicas y analizándolas en laboratorios especializados.

Finalmente se identificó un reducido número de juntas con asbestos en la parte inferior de los enfriadores de hidrógeno y en una tubería de aceite de pequeño diámetro.

Gracias a la identificación previa, el trabajo exhaustivo de cribado realizado y la planificación de los trabajos especializados, el riesgo fue controlado y minimizado, y la ejecución de las actividades se realizó sin incidencias.



Brazing de cabeza de bobinas.

LA IMPLANTACIÓN Y PRIMEROS MW

Una vez superada la fase de ensamble del estátor en la nave nº6 y de preparación de todas las actividades en la recarga, llegaba la parte "fácil" del proyecto: la implantación.

Las actividades principales llevadas a cabo durante la recarga fueron:

- Retirada de las juntas con contenido de amianto.
- Retirada de la excitatriz.
- Desacoplamiento del alternador de la turbina LP3. La toma de las medidas críticas que determinan la posición del rotor del alternador con respecto al de turbina es fundamental, ya que las mismas podrían marcar la posición del mismo en el montaje.
- Desmontaje de escudos superiores y el inferior lado excitatriz, los cojinetes y todos los elementos internos que fueron reutilizados.

- Extracción del rotor (160 Tn) y desmontaje del escudo inferior lado turbina.
- Movimiento y traslado del estátor antiguo, así como la retirada de la caja de bornas.
- Traslado e instalación del estátor nuevo (previamente se había instalado la caja de bornas nueva).
- Montaje del escudo inferior lado turbina e inserción del rotor (160 Tn).
- Montaje del hardware interno a reutilizar y del nuevo, así como los escudos superiores y el inferior lado excitatriz.
- Se llevó a cabo el *doppler test*, en el que se mide y verifica individualmente el caudal en cada una de las barras, en los anillos colectores y en las bornas principales. El resultado de la prueba fue satisfactorio y no se tuvo que tomar ninguna acción correctora.
- Ensayos dieléctricos del montaje completo.
- Instalación de la excitatriz.



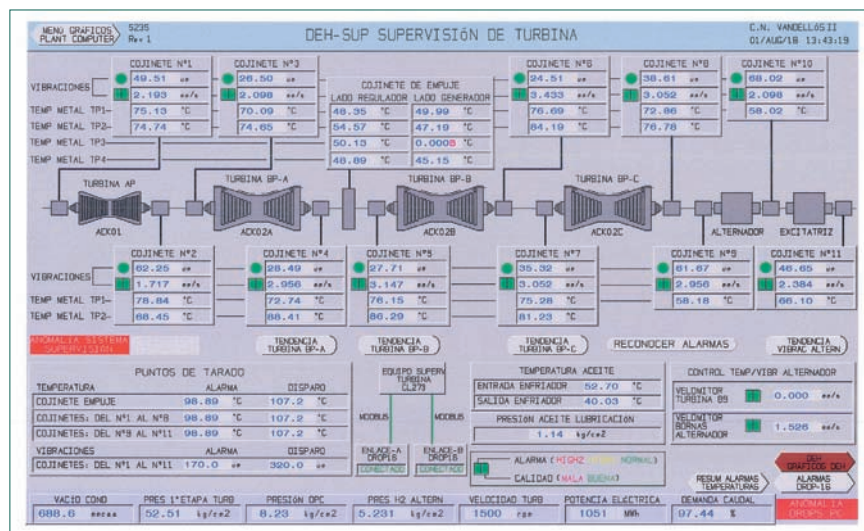
Refuerzo en la base del puente del barranco Lleira.



Escudo superior lado excitatriz desmontado.

- Alineamiento final del rotor del alternador con respecto al de turbina. La correcta ejecución y la precisión en esta actividad evitaría la aparición de vibraciones en los cojinetes, por lo que se focalizaron los esfuerzos en ella.

Cabe destacar en este punto que la elección de la alternativa de reutilización del estátor "gemelo" se reveló como una de las decisiones acertadas para la conclusión exitosa del proyecto, ya que minimizó los riesgos de intercambiabilidad que podrían haber surgido. Entre ellos, el más reseñable fue la ligera modificación de los alojamientos de los escudos para lograr una



Pantalla del escada de monitorización de cojinetes.

posición correcta del rotor con respecto al paquete magnético y así evitar vibraciones asociadas a desequilibrios en el campo magnético. Esta modificación sobre los escudos fue ejecutada sin impactar en el camino crítico de la recarga.

Una vez completado el montaje y las pruebas con el generador desacoplado, hubo que esperar a la comprobación de las características funcionales del alternador en el momento en que la turbina iniciara su rodaje al finalizar la recarga.

Durante el rodaje de turbina se verificó el correcto montaje mecánico del alternador (tanto el acoplamiento turbina-alternador como el montaje de los cojinetes). En los intervalos en los que se estabiliza la velocidad de turbina (400rpm, 1170 rpm y 1500 rpm) no se observaron vibraciones anormales y no

se detectaron fugas de aceite. Una vez verificado el montaje mecánico, solo quedaba obtener la curva de vacío del alternador y verificar la calidad de onda, así como la respuesta dinámica del regulador de tensión frente a escalones de carga.

Una vez superada satisfactoriamente la primera fase de las pruebas, comenzó la subida de potencia en el turbogruppo. Se monitorizó un conjunto de más de 200 variables en todos los intervalos de subida de potencia, siendo críticos dos de ellos; el del 75% y el del 100% de potencia nuclear. En ambos se trató de alcanzar el límite de la curva P-Q del alternador para aproximarse lo máximo posible a los puntos donde se alcanzarían las temperaturas máximas en salida de barras, paquete magnético y en el rotor. Se comprobaron los valores de vibraciones en los cojinetes, sin que existiera ninguna desviación con respecto a los valores normales que pudiera ser representativa de un eventual desequilibrio magnético en el estátor.

Aunque no se pudo llegar a los límites de la curva P-Q por la situación de la red exterior, los valores obtenidos en cada una de las variables garantizan el correcto funcionamiento de la máquina.

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría mencionar en este artículo a toda la organización de ANAV, nuestra ingeniería principal IDW, el tecnólogo GE y en general a todos los participantes que han hecho de este proyecto un éxito. Sin todos ellos no se hubiese podido dotar a la central nuclear Vandellós II del generador con mayor potencia nominal de toda España. ■



Transporte del estátor dentro de CN Vandellós II.