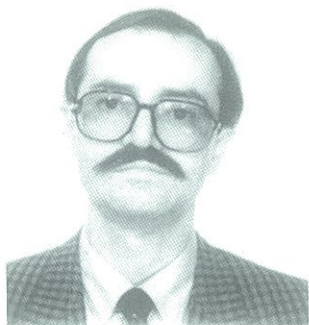




Gonzalo BLASCO MAYOR es Ingeniero Aeronáutico por la ETSI Aeronáuticos de Madrid desde 1976. Desde 1977 a 1982 trabajó en ingeniería de plantas petroquímicas, en las áreas de tuberías y equipos mecánicos. Desde 1982 forma parte de la plantilla de Trillo, como Ingeniero Mecánico en la fase de construcción y como Jefe de Proyectos Mecánicos desde la fase de explotación.



Rafael FERNANDEZ DE MATA es Ingeniero Industrial por la ETSII de Madrid. En 1982 ingresó en C. N. de Trillo en el puesto de Jefe de Ingeniería de Resultados, participando en la puesta en marcha de la C. N. de Grohnde (RFA) y Trillo. Desde 1988 ocupa el puesto de Jefe de Modificaciones Mecánicas.

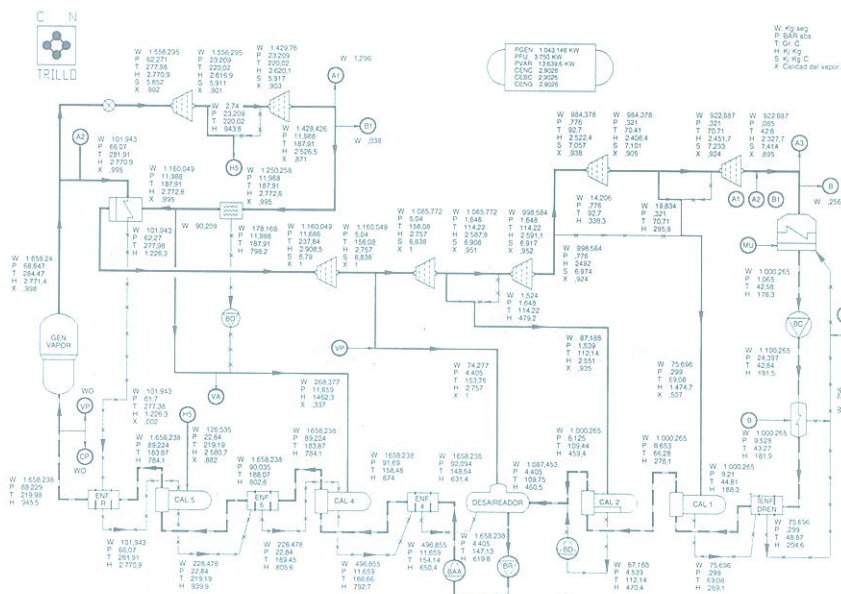
C. TRILLO I

SUSTITUCION DE LOS TRES CUERPOS DE LA TURBINA DE BAJA PRESION

G. BLASCO - R. FERNANDEZ DE MATA

Durante la tercera parada para la recarga de combustible, la Central de Trillo I ha procedido a la sustitución de los tres cuerpos de la turbina de baja presión (TBP). La causa para esta sustitución ha obee-

decido a la decisión de C. Trillo I de conseguir dar una potencia eléctrica en barras de salida del alternador que se correspondiese con la nominal garantizada por el suministrador, Siemens-KWU.



F I Balance térmico contractual al 100% de carga.

En los tres primeros ciclos de operación, la Central ha estado dando entre un 2 y un 3% menos de la potencia nominal. Tras la prueba de garantía efectuada en diciembre de 1988 se demostró que esta falta de potencia y rendimiento obedecía a fallos de diseño en la turbina, principalmente en los cuerpos de BP. Por ello, tras haber mantenido diversas reuniones y negociaciones, KWU asumió la cláusula contractual por la cual, el suministrador estaba obligado y tenía el derecho "de corregir el defecto...", decidiendo suministrar a su cargo tres nuevos cuerpos de la TBP de diseño mejorado.

La sustitución se ha efectuado en un plazo de 42 días, habiéndose mejorado todas las previsiones efectuadas y sin haber afectado al camino crítico de la parada.

En los próximos puntos señalaremos los datos de diseño de las turbinas, los resultados de las pruebas de garantía (1988 y 1992), las características de los tres nuevos cuerpos la TBP y sus diferencias con los anteriores, los requisitos de fabricación, transporte, montaje y puesta en marcha.

PARAMETROS CONTRACTUALES DE DISEÑO

Como suministrador del turbogruppo y de los separadores de humedad/recalentadores intermedios, KWU garantizaba contractualmente una potencia nominal medida en barras del alternador de:

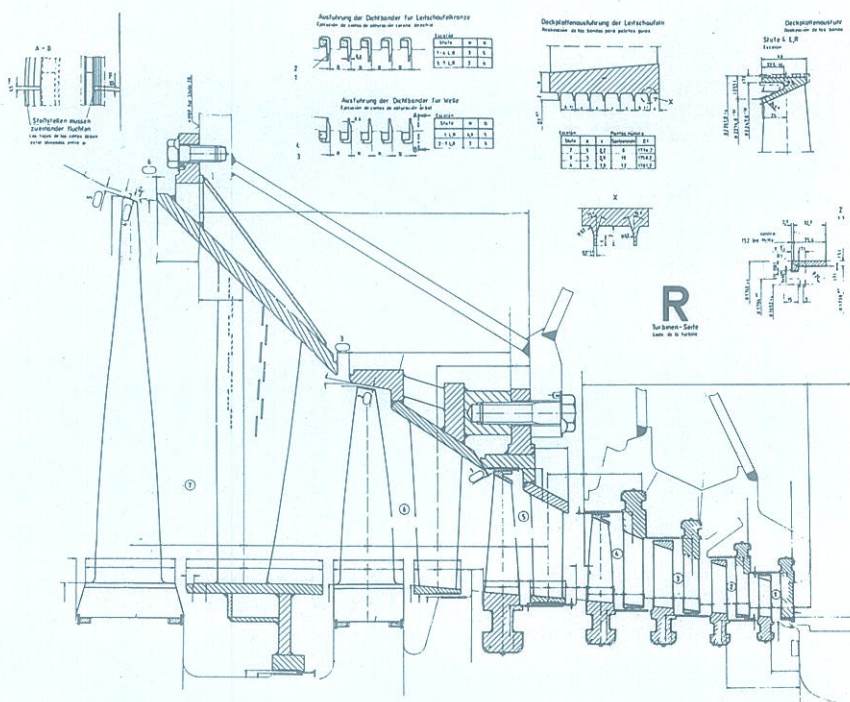
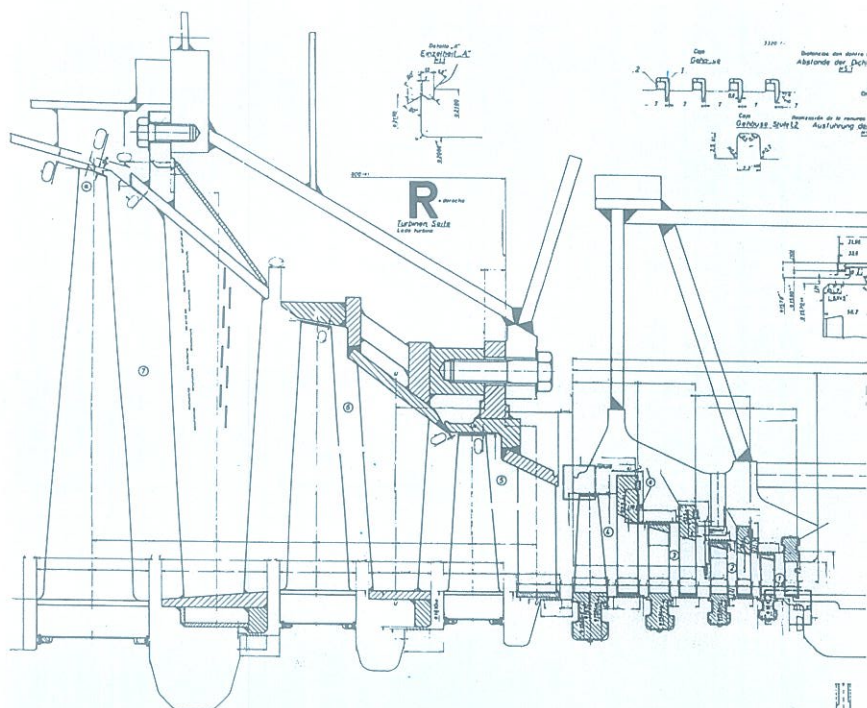
1.043 MW con un $\cos \varnothing = 0,9$

y un consumo específico de calor de 2.901 KJ/MWs en operación continua, con las siguientes condiciones:

- El ciclo agua-vapor correspondiente al diagrama de balance térmico de diseño con todos los parámetros termodinámicos (ver figura I).
- Unas curvas de corrección por presión a la entrada de la turbina y por presión a la salida de la turbina.
- No superar la potencia del NSSS de 3.027 MW.
- Realización de la prueba de garantía según DIN-1943.

PRUEBAS DE GARANTIA

En diciembre de 1988 se realizaron las mediciones para la prueba de garantía, en cuya evaluación se determinó la existencia de un déficit de potencia eléctrica de 29,0 (23,8) MW. Entre paréntesis se indica el dato obtenido por KWU.



F II Comparación entre ambas TBP.

Las discusiones mantenidas en el proceso de evaluación de los resultados se interrumpieron antes de llegar a un valor único, ya que, ante la magnitud de dichos valores, KWU ofreció la solución de suministrar una nueva TBP a su cargo. Es preciso señalar aquí la buena predisposición de KWU, pues las penalizaciones contractuales posibles quedaban muy por debajo del coste que estaban asumiendo.

Tras la sustitución de la TBP, en enero de 1992 se han realizado unas nuevas mediciones de garantía. Aunque el proceso de evaluación no ha terminado todavía, de los resultados preliminares obtenemos los datos siguientes:

Potencia eléctrica nominal: 1.061,2 MW.
Consumo de calor: 2.854,2 KJ/MWs.

COMPARACION ENTRE AMBAS TBP

El nuevo diseño de la TBP contempla las siguientes modificaciones con respecto al anterior (ver figura II):

- Aumento del diámetro del eje de 1.610/1.550 a 1.900/1.746 mm. Esto supone un incremento en peso de cada rotor de unas 25 t.

- Sustitución de todas las etapas de álabes móviles y fijos por otras de nuevo diseño, para conseguir una mejor adaptación al flujo de vapor, reduciendo las pérdidas.

En particular, destaca el nuevo diseño de la 7.ª etapa de álabes móviles que ha pasado de ser de generatrices rectas a curvadas. Su diseño ha requerido un estudio optimizado para conseguir una mayor eficiencia.

Los materiales de los álabes o son iguales a los anteriores o se han mejorado aumentando su contenido en Cr.

- Mejora de los cierres en todas las etapas. Se ha colocado una corona envolvente que antes no existía en las etapas móviles 4 y 5. El anterior sistema de cierres "pico-plano" con las laminillas situadas sólo a un lado (en el eje para todas las etapas fijas y en la carcasa para las 3 primeras etapas móviles) ha pasado a ser "pico-pico" con las laminillas a ambos lados, ampliándose también a las etapas 4 y 5 móviles.

Con ello se reducen considerablemente las pérdidas en un factor de 1 a 0,62, mejorando el rendimiento.

- Redimensionado del difusor de escape de la TBP para minimizar las pérdidas por el escape.

FABRICACION

La fabricación se ha realizado en los talleres de KWU en Mulheim, habiéndose

hecho por parte de C. Trillo I un seguimiento exhaustivo y asistiendo a las diferentes pruebas y ensayos efectuados, consiguiéndose así mejorar notablemente el dossier de documentación de las turbinas.

TRANSPORTE DE LAS NUEVAS TURBINAS A CENTRAL

El transporte de las turbinas desde Alemania se realizó por barco hasta Alicante, siendo posteriormente llevadas a Trillo por transporte terrestre especial. Por necesidades de fabricación se realizaron dos envíos, el primero de dos conjuntos que se recibieron en Central a primeros de agosto y el segundo de uno recibido a finales del mismo mes. Así pues, se dispuso de las nuevas turbinas antes de la parada de recarga prevista para el 21 de octubre.

PROGRAMA DE EJECUCION

Inicialmente se consideró un programa de ejecución de 49 días (desde la parada del virador a la puesta en marcha del mismo); esto se cumplía con un trabajo en régimen de dos turnos de 11 horas, excluyendo festivos.

Con el fin de acortar la modificación, el plazo de ejecución se aprobó posteriormente un programa de 42 días, que

incluía respecto al anterior un nuevo turno reducido, con lo que se cubrían las 24 horas del día y los festivos.

En el programa se había previsto realizar los trabajos comenzando por TBP3. La razón por la que se consideró así fue por problemas de espacio y almacenaje de los componentes nuevos y viejos en el edificio de turbina y por la disponibilidad de la grúa para sus movimientos.

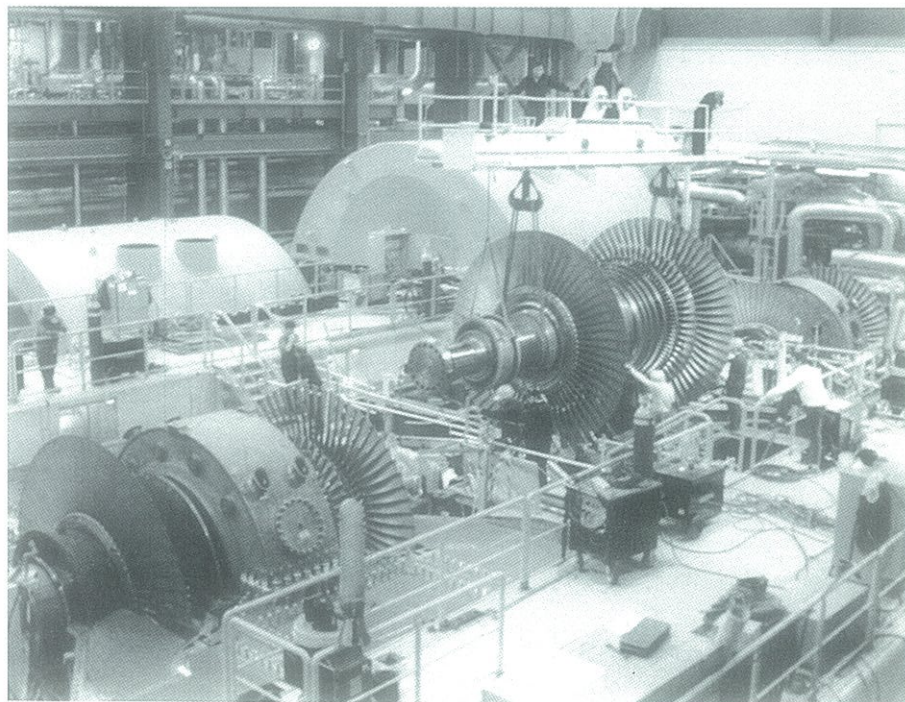
Con el comienzo de los trabajos y tras un detenido estudio, se llegó a la conclusión de que se podía realizar el desmontaje y montaje casi simultáneamente para las tres turbinas.

La duración real fue de 42 días (de virador a virador). Teniendo en cuenta que se perdieron 3 días por problemas laborales, la duración de la modificación fue sólo de 39 días.

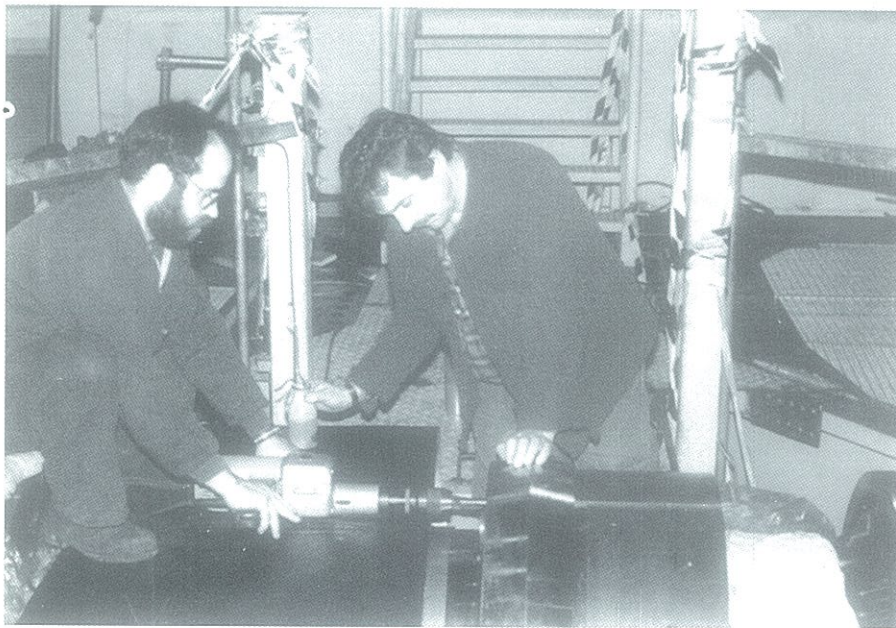
ORGANIZACION DE LOS TRABAJOS

Los trabajos de montaje y desmontaje se organizaron en régimen de tres turnos de 17, 12 y 8 personas. El tercer turno de solape (8 personas) trabajaba directamente desde las 12 hasta las 24 horas, siendo su función el cubrir el trabajo en las horas de comida o cena de los otros turnos y el facilitar el programa de descanso semanal.

Los trabajos de tubería se organizaron únicamente con dos turnos de 12 horas.

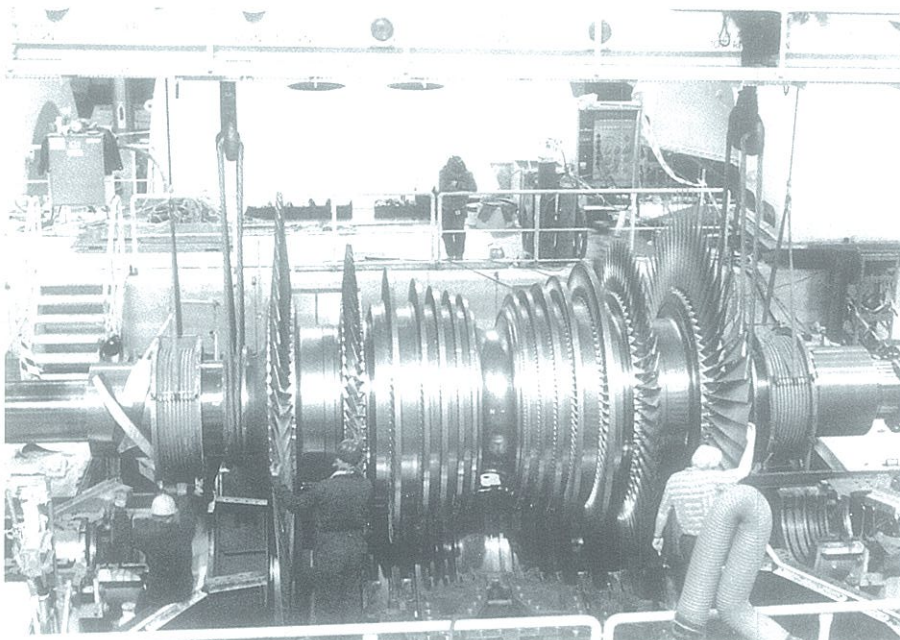


Vista general de la planta 13.500 del edificio de turbina durante los trabajos.



Trabajos de mecanizado de acoplamientos.

Introducción de un rotor nuevo en su alojamiento.



Debido al gran alcance de la modificación, se vieron involucrados en los trabajos la mayoría de las secciones de Central, realizándose entre otras las siguientes actividades:

- Trabajos de alineación en alternador y excitatriz en turnos de 12 horas durante 20 días.
- Trabajos de desmontaje y montaje de instrumentación.
- Embalaje de rotores, carcasas y difusores viejos.

- Supervisión continua las 24 horas del día.
- Inspección y control de calidad continua.
- Turno continuo de grúas.
- Trabajos de taller (torno, fresa, etc.) según necesidades.
- Transporte entre almacenes y turbina: Dos camiones uno de 7 ejes y otro de 2 continuos.
- Se realizaron según necesidades otros trabajos como protecciones del condensador y calentadores del cuello

del condensador, limpieza de los mismos, desmontaje y montaje de calorifugado, andamiaje, etc.

— Hubo control continuo de accesos a la zona de trabajos, limpieza por turnos y rondas periódicas de Seguridad e Higiene.

DESARROLLO DE LOS TRABAJOS

ACTIVIDADES PREVIAS

Días antes de la parada de la planta, se procedió a la protección del suelo de zona de estacionamiento de piezas, en el edificio de turbina, así como el desembalaje e inspección de los nuevos componentes. Una vez desembalados los rotores nuevos, se realizó de forma manual la limpieza de acoplamientos, muñequillas y obturadores de vapor.

Se hicieron estudios de detalle de los movimientos de entrada, salida y del estacionamiento de los nuevos y viejos componentes en el edificio de turbina. Una incorrecta ubicación temporal o una saturación de componentes en el muelle o en la cota 13.500 del edificio de turbina (ZF) traería consigo realizar repetidos movimientos en la grúa del edificio que estaba considerada como camino crítico. Así pues, se establecieron sobre los planos del edificio los lugares de ubicación de cada componente y el orden de entrada y salida de piezas.

Previamente a la rotura del vacío, se realizó el desmontaje de la parte del caseton de la turbina de alta presión que interfería con el desmontaje de la carcasa exterior de TBP1 y con las tapas de pedestales de los cojinetes 1 y 2. Igualmente se comenzaron a aflojar los pernos de los pedestales y de las carcasas exteriores de baja presión (un tornillo sí y otro no).

DESMONTAJE

Una vez realizada la parada de virador y la rotura del vacío (22-10-91) comenzaron las actividades de desmontaje, bloqueándose previamente los muelles de la losa del turboalternador, los del condensador y los de las tuberías de agua de circulación, tomándose las medidas de control pertinentes.

La fase de desmontaje se realizó sin problemas de ningún tipo, mereciendo la pena comentar únicamente lo siguiente:

- En el programa inicial estaba previsto realizar el desmontaje en forma secuencial, comenzando por la TBP3 y con un desfase de 4 días respecto a la TBP2 y de 7 respecto a la TBP1. Después de realizarse el estudio del movimiento de

componentes durante esta fase, se acordó cambiar el programa, realizándose casi en paralelo el desmontaje de las tres turbinas, con lo que se consiguió una ganancia muy apreciable de tiempo.

— La inspección visual de las piezas desmontadas demostró un casi perfecto estado de las viejas turbinas después de 3 años de operación, ya que sólo se observaron huellas y pequeñas erosiones producidos por fugas de vapor a través de la junta horizontal de la carcasa interior n.º 1, así como erosión en los contrapesos de los rotores.

— Merece destacarse, no por problema técnico sino por la envergadura y duración del trabajo, la protección de los haces tubulares del condensador y la realización del andamiaje interior para acceso a las tuberías de extracción y admisión de vapor.

MONTAJE

El montaje comenzó inmediatamente después de haber desmontado la mitad inferior de las carcasas interiores 1 y 2. Al igual que en la fase de desmontaje, no hubo ningún problema, comentándose únicamente lo siguiente:

— Al igual que en la fase de desmontaje, se alteró el programa previsto, de modo que se realizó casi en paralelo el montaje de las tres turbinas. El tiempo de ejecución fue ligeramente inferior al previsto en el programa inicial, con excepción del montaje de tuberías y la mecanización de los taladros de los acoplamientos, cuya duración fue mayor.

— Las actividades de corte, preparación de bordes y soldaduras de las tuberías de admisión y extracciones fueron un camino crítico no contemplado inicialmente, ya que además de los trabajos propios de soldadura y preparación de bordes en tuberías de grandes dimensiones (4 de 6.000 mm, 1 de 800 y 2 de 1.000 mm por condensador) se presentaron otros problemas como fue el que tuvieran distintos diámetros los tramos de salida de la carcasa n.º 2 nueva y las tuberías de extracción existentes. El problema se solucionó mediante calentamiento de la tubería de mayor diámetro hasta 580° C y golpeo de la tubería hasta igualar los diámetros.

ALINEACION DE ROTORES Y MECANIZACIONES

Una vez montadas las mitades superiores de las carcasas interiores n.º 2 en las tres turbinas, se procedió a acoplar provisionalmente los rotores para mecanizar los taladros de los acoplamientos. Estos trabajos que comenzaron el 6-11-91 y finalizaron el 17-11-91 se realizaron de forma prácticamente simultánea en los cuatro acoplamientos. Una vez mecanizados los acoplamientos, se procedió durante los días 17 y 18, a

alinear los rotores y durante los días 18, 19 y 20 a acoplarlos.

Las mecanizaciones de los acoplamientos no tuvieron ningún problema, realizándose únicamente un escariado o bruñido de taladros de los acoplamientos. Se realizaron mediante máquina en AP-BP1 y BP3-GEN y mediante bruñido extensible en BP1-BP2 y BP2-BP3.

Para conseguir una correcta alineación de los rotores de la turbina fue necesario efectuar los siguientes desplazamientos en los cojinetes n.º 3 y 4:

Cojinete n.º 3: Subir = 0,55 mm. A la izquierda = 0,10 mm.

Cojinete n.º 4: Subir = 0,60 mm.

La duración total de esta actividad se realizó en un tiempo menor que el programado.

TRABAJOS EN ALTERNADOR Y EXCITATRIZ

Como consecuencia del cambio de las turbinas de Baja Presión, fue necesario realizar una serie de trabajos en el alternador y la excitatriz, para comprobar y modificar su alineación, al variar la curva de flexión de la máquina.

OTROS TRABAJOS

Además de las actividades indicadas anteriormente, se realizaron las siguientes que, aunque no están relacionadas directamente con la modificación de las turbinas, fueron realizadas dentro del alcance de la modificación.

Embalaje de piezas viejas de la turbina

En la planta de turbinas, a medida que se disponía de alguna caja para embalaje de piezas, se realizaba éste de forma provisional y se enviaba la pieza a los almacenes generales.

Posteriormente Trillo tomó la decisión de quedarse con una TBP completa con respuesta.

Instalación de sensores de vibración de los álabes de la última etapa de turbina

Estos sensores se instalaron de acuerdo a planos de KWU en el lado regulador de la turbina BP1. Para ello se taladró la carcasa exterior en dos puntos de su parte superior y se soldaron las piezas necesarias, tanto en la misma como en la parte superior de la carcasa interior n.º 2 (soportes, vainas, acoplamientos, etc.).

Tarado de las válvulas de alivio del sistema de aceite de levantamiento

Como consecuencia del mayor peso de los rotores de BP fue necesario aumentar la presión de trabajo del sistema y, por

tanto, tarar nuevamente las válvulas de seguridad.

INSPECCIONES DE GARANTIA DE CALIDAD

De acuerdo con el programa de inspección previamente fijado, se realizaron inspecciones en turno cerrado que cubría las 24 horas del día.

Se inspeccionaron al 100% los acoplamientos de tubería y soldaduras (Rx al 100%), cojinetes antifricción. Asimismo se inspeccionaron en tantos por ciento variables (superiores normalmente al 80%) las alineaciones de rotores, mecanizado de acoplamientos, mecanizado de pernos, pares de apriete, huelgos radiales y axiales, etc.

PRUEBAS Y PUESTA EN MARCHA

Para conseguir un funcionamiento perfecto de las turbinas en operación y para comprobar las modificaciones efectuadas, el programa de puesta en marcha ha contemplado las siguientes pruebas:

— Comprobación de los dispositivos de medición de vibraciones, dilataciones y temperaturas en cojinetes.

— Determinación y ajuste de los valores límite de las dilataciones relativas del eje.

— Prueba de optimización del sistema de aceite de lubricación. Optimización del caudal de aceite y ajuste de los parámetros fundamentales de presión y temperatura en diferentes puntos del circuito.

— Prueba de optimización del sistema de aceite de elevación. Optimización y ajuste de caudales y presiones con las turbinas paradas, en virador y en virador con vacío en el condensador.

— Con las turbinas en marcha (virador, con vacío en condensador y en carga) comprobación de vibraciones, temperaturas y protocolo de parámetros de operación.

— Prueba de vibraciones de álabes. Para la finalización de los cálculos dinámico-estructurales del nuevo rotor (principalmente la parte correspondiente a la 7.ª etapa) a diferentes cargas y con diferentes vacíos en el condensador.

— Disparo de turbina. Registro de la curva de parada. Comprobación de automatismos, revoluciones y presiones de vacío. Comprobación y homologación de los resultados de esta prueba con respecto a los de la puesta en marcha inicial de la central.

— Rechazo de carga a consumo propio. Comprobación y homologación de los resultados de esta prueba con respecto a los de la puesta en marcha inicial de la Central.

— Prueba de garantía.