

Los turbogrupos a vapor más potentes del mundo para la central de lignito de Lippendorf

Los dos turbogrupos a vapor de 933 MW que ABB suministra para la central de lignito de Lippendorf (Alemania) son las instalaciones de alta temperatura para centrales de combustible fósil, con una sola línea de árboles, más potentes y eficientes del mundo. La primera instalación entrará en servicio en octubre de 1999. En funcionamiento a plena carga, los dos bloques de central conseguirán un rendimiento neto de 42,4%. Este importante aumento de rendimiento está originado por el procedimiento de alta temperatura, que por primera vez se emplea en la central de Lippendorf. Para los componentes clave de las turbinas, expuestos a mayor cantidad de vapor, se dispone actualmente de materiales mejorados con gran resistencia a las altas temperaturas.

La central de lignito de Lippendorf, situada al sur de Leipzig, es con sus bloques R y S la tercera instalación de nueva planta construida por VEAG-Braunkohlen-Kraftwerke. Se trata de una central avanzadísima en cuanto a técnica y rentabilidad. Diseñada según los más modernos procedimientos de alta temperatura, supone un salto tecnológico hacia parámetros de vapor supercríticos y hacia rendimientos más altos, señalando la vía que seguirá la producción de electricidad a partir de lignito.

Gracias a la aplicación de la técnica más avanzada de alta temperatura, los nuevos bloques de 933 MW de potencia y con rendimiento neto del 42,4% están en cuanto a tamaño y eficiencia a la cabeza mundial de las centrales calefactadas con lignito bruto.

Este salto del rendimiento se debe al proceso de alta temperatura desarrollado básicamente por ABB y utilizado por primera vez en la central de lignito de Lippendorf. Se trata de un avance lógico y necesario de la tecnología de centrales eléctricas en su camino hacia

rendimientos más altos. Las investigaciones, destinadas a determinar los parámetros más económicos del procedimiento, han demostrado que el aumento de temperaturas del vapor vivo y de sobrecalentamiento, así como el aumento de la presión del vapor vivo y de la temperatura de precalentamiento, son los factores más importantes para esta mejora.

En el marco de COST, el programa de la Unión Europea para el desarrollo de aceros resistentes a altas temperaturas, se han investigado diversos aceros de estructura ferrítica-martensítica para aplicaciones en el campo de altas temperaturas de la moderna construcción de centrales eléctricas (tecnología de alta temperatura). Un acero modificado con 10% de cromo ha permitido funcionar con

vapor 30°C más caliente que con los aceros usados hasta ahora, con la misma resistencia a largo plazo y la misma vida útil del material.

Así se ha conseguido disponer de materiales resistentes a temperaturas mucho más altas para los componentes claves de las turbinas a vapor de Lippendorf a las que afecta directamente el incremento de los parámetros de vapor, concretamente en los árboles forjados de las turbinas de alta y media presión, en los cilindros de turbinas y carcasas de válvulas, ambos colados, y en los pasos de vapor.

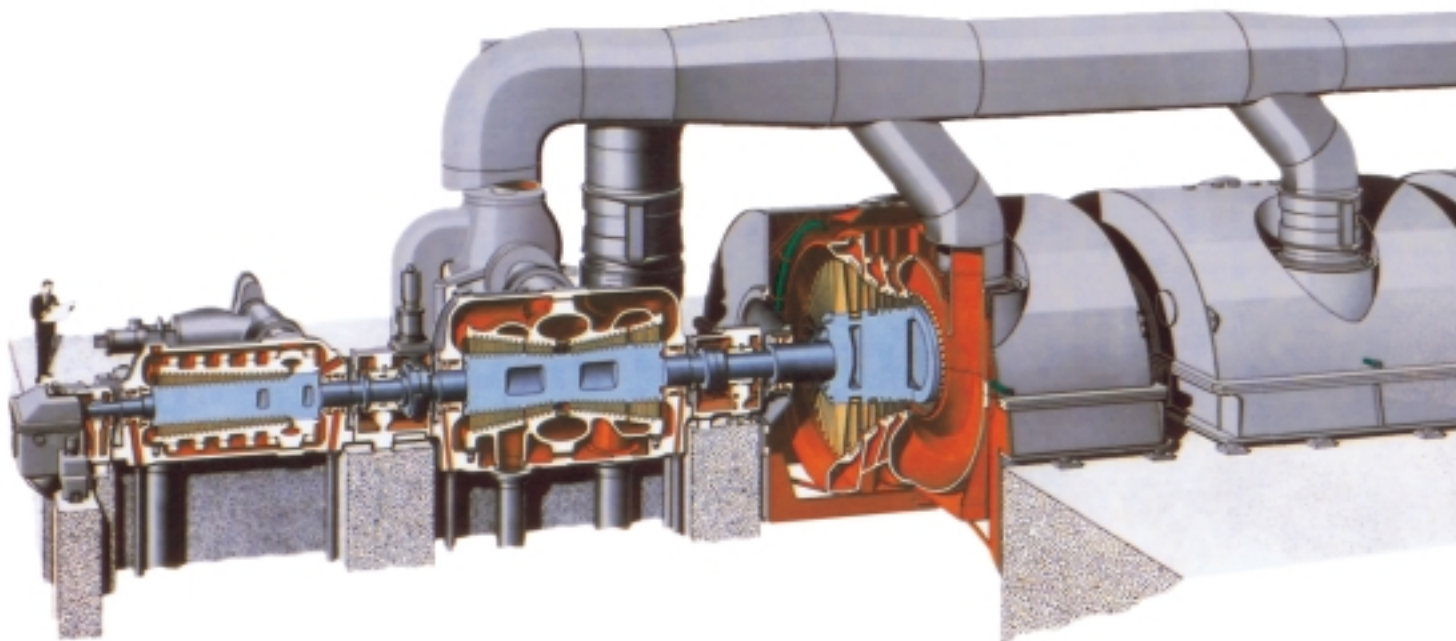
Turbogrupos

Los componentes centrales de la instalación son los dos turbogrupos a vapor de 933 MW. Ambos ha sido suministrados y montados por ABB Kraftwerke AG (Mannheim), en estrecha colaboración con ABB Kraftwerke Berlin GmbH. Estos dos turbogrupos son en la actualidad las instalaciones de alta temperatura con una sola línea de árboles más potentes del mundo para centrales calefactadas con combustible fósil. Proviene de la nueva serie de turbinas modulares ABB con sobrecalentamiento para la gama de potencias de 100 a 1200 MW (Tabla 1).

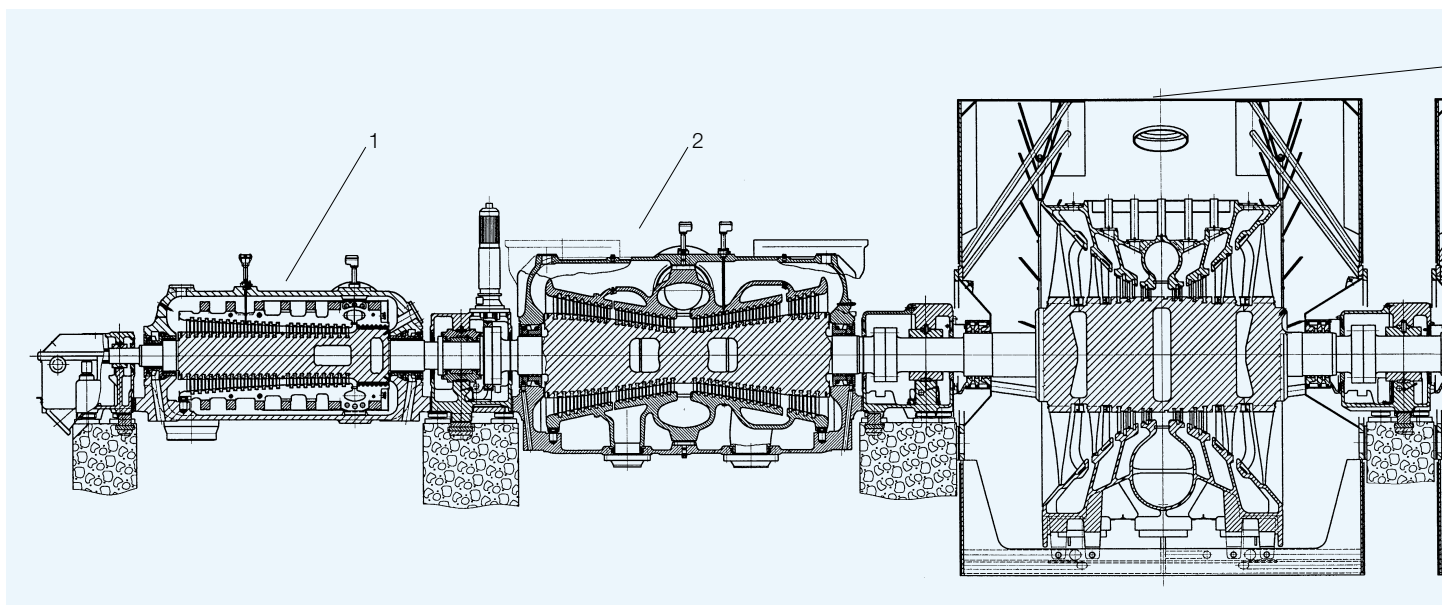
Esta serie modular ha sido desarrollada especialmente para responder a exigencias específicas de los clientes en cuanto a alta potencia, flexibilidad de explotación, alta disponibilidad, bajo consumo de calor y plazos cortos de entrega. La serie, de la que ya se encuentran en aplicación numerosos ejemplares, había sido diseñada inicialmente para una gama convencional de 565°C / 565°C / 250 bar y una potencia máxima de 1200 MW. El uso de nuevos materiales la hace adecuada también para la gama de altas temperaturas, de 600°C / 600°C / 300 bar.

El uso de fundición de acero con 10% de cromo hace posible utilizar la nueva serie para los procesos de alta temperatura sin necesidad de realizar nuevos desarrollos constructivos, algo muy caro y que exigiría acumular experiencia de funcionamiento. Los principios constructivos de las turbinas a vapor de ABB, ya acreditados desde hace muchos años, se mantienen invariables. Para los cilindros, dobles, térmicamente elásticos, de las turbinas de alta y media presión de la serie modular,

Dr. Ludwig Busse
Karl-Heinz Soyk
ABB Kraftwerke AG



Turbogrupo a vapor de 933 MW para la central de lignito de Lippendorf. ABB equipa cada uno de los nuevos bloques R y S con un turbogrupos con combustible fósil, con una sola línea de árboles, más potente del mundo.



Sección longitudinal de una turbina a vapor de la central de Lippendorf.

1 Turbina de alta presión

2 Turbina de media presión

3 Turbinas de baja presión

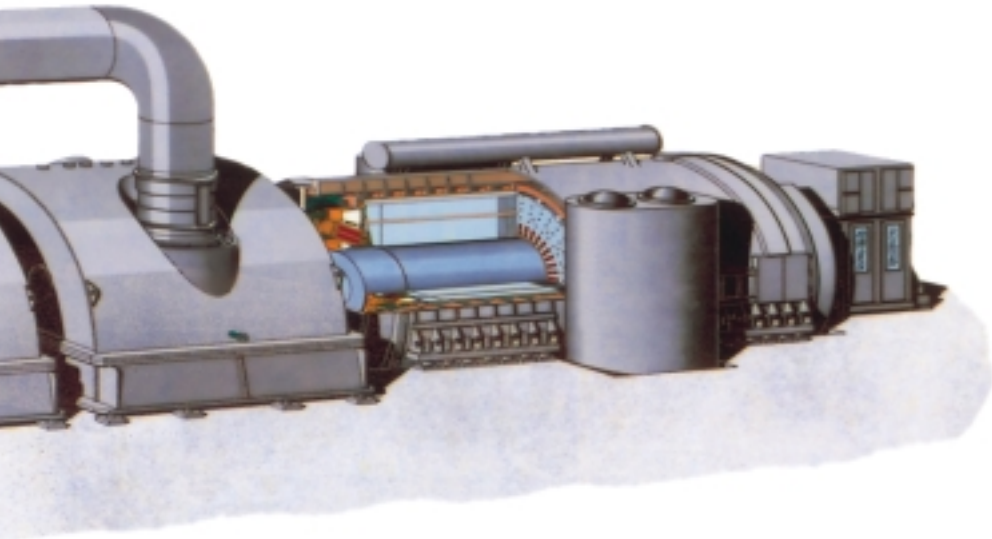
sólo se fabrican de fundición de acero con 10% de cromo los cilindros interiores y las válvulas de vapor vivo y de derivación, bridadas directamente a los cilindros exteriores de alta y media presión.

El transporte del vapor vivo hacia los cilindros interiores se realiza por un paso de vapor

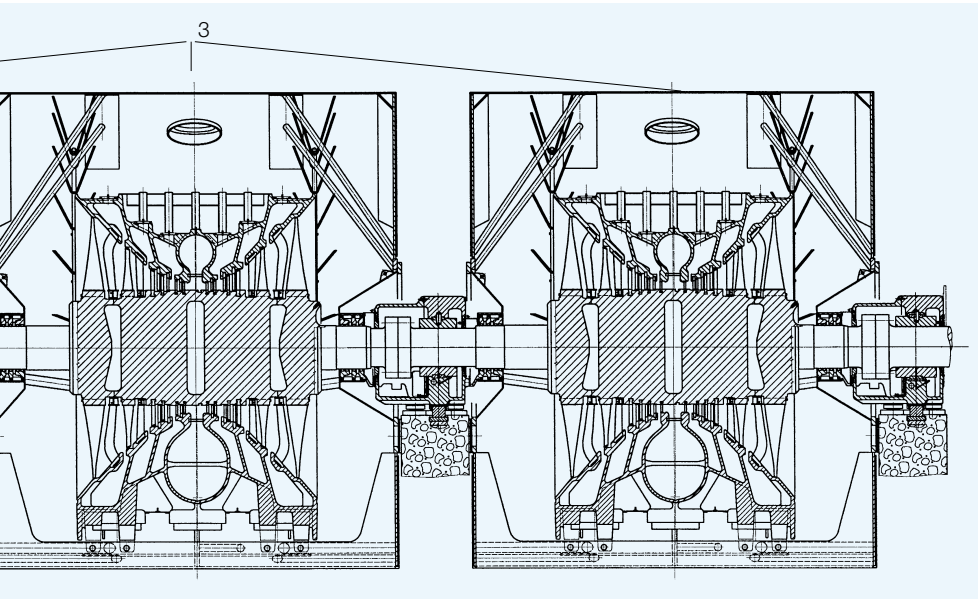
integrado en la carcasa de la válvula, sin que el cilindro exterior esté solicitado por la alta temperatura del vapor.

Para presiones de vapor vivo superiores a 250 bar ha demostrado ser muy apropiada la construcción zunchada del cilindro interior para alta presión, aplicada por ABB

en sus turbinas desde hace décadas, ya que la adaptación a presiones más altas del vapor se hace por medio de un zuncho complementario o ensanchando ligeramente los ya existentes, conservándose la flexibilidad térmica de la turbina en marcha de arranque.



de este tipo. Se trata de las instalaciones de alta temperatura para centrales explotadas



La técnica de fabricación de ABB, consistente en soldar rotores de turbinas hechos con discos macizos forjados para constituir un árbol compacto, permite utilizar el nuevo acero con 10% de cromo sólo en los puntos más calientes del rotor en la zona de admisión de vapor de las turbinas de presión alta y media.

El desarrollo de componentes ya acreditados, que integran la experiencia de funcionamiento acumulada, ha dado como resultado nuevas soluciones optimizadas. Mencionemos las espirales de admisión y el primer nivel de álabes, radial-axial, en todas las turbinas, así como los álabes de rodete prerretorcidos

y los nuevos perfiles de álabes, optimados con ayuda de los más modernos procedimientos CAD.

El turbogruppo está formado por la turbina monoflujo a alta presión, la turbina de doble flujo a media presión y tres turbinas de doble flujo a baja presión **2**. La línea de árboles sólo tiene un apoyo entre cada dos turbinas y entre la última turbina de baja presión y el alternador. Los rotores de las distintas turbinas y del alternador están acoplados rígidamente por medio de manguitos de sujeción atornillados. El escape del vapor está impedido por juntas de estanqueidad laberínticas, axiales, con segmentos anulares elásticos en los pasos de árboles de turbinas.

El vapor vivo proveniente de la caldera pasa por los conductos de alimentación y las válvulas de regulación y de cierre rápido, fijadas con bridas al cilindro exterior de alta presión. El vapor pasa a continuación a través del difusor prolongado de las válvulas de ajuste hacia las dos espirales de admisión de 180° integradas en el cilindro interior de alta presión; de estas pasa a la parte reacción de la turbina de alta presión **3** por el primer nivel de álabes, dispuesto de forma radial-axial. El vapor se expande en el alabeo de reacción, fluyendo por la cámara de escape de la envuelta exterior de alta presión hasta las dos tubuladuras de salida.

De ahí, el vapor pasa hacia los sobrecalentadores y después a las válvulas combinadas, de cierre rápido y de derivación, de la turbina de media presión. La alimentación de vapor, de las carcasas de válvula laterales al cilindro interior de media presión, tiene lugar a través de pasos de vapor bridados termoelásticamente **4**. Dos espirales de entrada de 180°, integradas en el cilindro interior, conducen el vapor sobrecalentado a través del primer nivel de álabes radial-axial. El vapor se expande en el alabeo de reacción de doble flujo hasta alcanzar la presión de escape del sistema de media presión. A continuación fluye por las dos tuberías de escape dispuestas en la parte superior del cilindro de media presión y pasa a los conductos de contorno, hacia las tres turbinas de baja presión.

Por un paso a vapor dispuesto verticalmente se lleva el vapor a la espiral de entrada de 360°, integrada en el cilindro interior

Tabla 1:
Datos técnicos principales de la turbina a vapor de Lippendorf

Potencia en los bornes del alternador	933	MW
Cantidad de vapor vivo	672,2	kg/s
Presión de vapor vivo	259,5	bar
Temperatura de vapor vivo	550	°C
Cantidad de vapor tras el sobrecalentamiento intermedio	596,8	kg/s
Presión del vapor tras el sobrecalentamiento intermedio	49,8	bar
Temperatura tras el sobrecalentamiento intermedio	582	°C
Presión del condensador	0,038	bar

de cada turbina de baja presión. El vapor fluye por el nivel de álabes radial-axial y por las dos entradas del canal de álabes, cónico y liso, hasta el difusor anular, antes de pasar por la cámara de escape de vapor y continuar hacia abajo en dirección al condensador.

El punto fijo de la turbina respecto del cigüeñal se encuentra sobre el soporte de rodamiento, entre la turbina de media presión y la primera turbina de baja presión. Las turbinas de media y alta presión, conjuntamente con el apoyo de rodamiento axial chaveteado, se dilatan como un todo a causa del calentamiento, en dirección al soporte de rodamiento anterior. Las patas delanteras de la envuelta exterior de alta presión se deslizan sobre el apoyo de rodamiento delantero fijo. Las turbinas de baja presión se

fijan individualmente con placas-base ancladas lateralmente a los cimientos.

El punto fijo de la línea de árboles del turbogruppo es el rodamiento axial del apoyo situado entre las turbinas de alta y media presión. El rotor de alta presión se dilata a partir del rodamiento axial hacia adelante, en dirección al cojinete de apoyo delantero y al accionamiento principal de bombas de aceite. Los rotores de media y baja presión se dilatan en dirección al alternador. Esta disposición permite reducir al mínimo los desplazamientos axiales entre los álabes de rotor y los álabes fijos. Las guías verticales acunadas entre las turbinas de alta y media presión y los apoyos de rodamiento, de un lado, y los cimientos de las turbinas del otro, así como entre las turbinas de baja presión y sus cimientos, garantizan que el conjunto

de turbinas se mantenga fijo en posición centrada.

Todas las envueltas de turbinas permiten equilibrar posteriormente los rotores de la mismas. Es posible realizar endoscópicamente la inspección de las primeras y últimas series de álabes, así como de las series de álabes en los puntos de extracción, sin necesidad de desmontar los cilindros exteriores e interiores.

Optimización tridimensional de los álabes, para mayor rendimiento

El alabeo es el componente con mayor influencia sobre el rendimiento y sobre el buen aprovechamiento del combustible. Gracias a los nuevos y avanzados programas de cálculo y a una flexible tecnología de fabricación, ABB ha continuado optimizando los álabes. El perfil de álabes 8000, puesto a prueba y usado en gran número de instalaciones desde hace más de 15 años, tiene una línea de esqueleto incurvada, nariz cuneiforme puntiaguda y un largo perfil recto dorsal de escape. Hoy por hoy no parece posible perfeccionarlo, ni siquiera con los más recientes programas de cálculo.

El trabajo de perfeccionamiento se ha concentrado por tanto en reducir las pérdidas de corriente secundarias por medio de la incurvación del eje longitudinal del álabes (Lean) y por giro del perfil alrededor de dicho eje (Twist). Además, las pérdidas por fugas en la punta de los álabes se han reducido gracias a la modificación del grado de reacción y de la altura de los álabes.

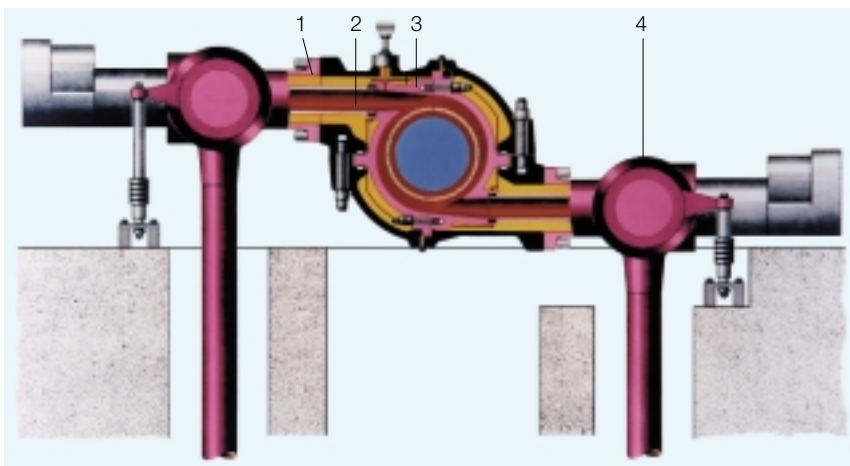
Los ensayos realizados antes de utilizar los álabes en grandes turbinas a vapor han confirmado los cálculos sobre las repercusiones de la modificación de los parámetros de la geometría de álabes.

Actualmente, los datos geométricos calculados para los álabes se transmiten en forma de sets de datos, sin uso de dibujos, a las flexibles celdas de fabricación en que se producen los álabes de perfiles 3D de alto rendimiento.

La optimización simultánea de la corriente tridimensional en la rejilla de álabes y en la cámara de escape de vapor de baja presión, que viene a continuación, ha creado nuevas

Sección transversal de la turbina de alta presión

- 1 Unión bridada calculada para vapor de escape a alta presión
- 2 Difusor de paso de vapor, de acero X 8 CrNiMoVNb 16 13
- 3 Cilindro interior de alta presión, de fundición G-X 12 CrMoWNVNbN 10 11
- 4 Carcasa de la válvula de vapor vivo, de fundición G-X 12 CrMoWNVNbN 10 11



posibilidades de perfeccionamientos, especialmente para las turbinas de baja presión. La construcción del último nivel de álabes fijos según los principios «Lean» y «Sweep» proporciona un flujo secundario con pocas pérdidas, incluso en carga parcial, lo que ha permitido prescindir de las chapas de guía, que reducen la disponibilidad.

Un collar, colado directamente en la parte inferior del cilindro interior de baja presión **5** reduce la turbulencia del vapor de escape, impide la formación de torbellinos y disminuye, por tanto, las pérdidas de presión en el cuello del condensador.

Todos los álabes de las turbinas de alta y media presión, así como los álabes móviles de las turbinas de baja presión, están contruidos a partir de un bloque. Con excepción de los álabes finales de baja presión, todos los álabes se fresan en un solo bloque, incluido el pie, el ala y la placa de recubrimiento, constituyendo por tanto una unidad integral. Este es el mejor modo de «unir» las tres partes de los álabes que se encuentran sometidas a las mayores sollicitaciones.

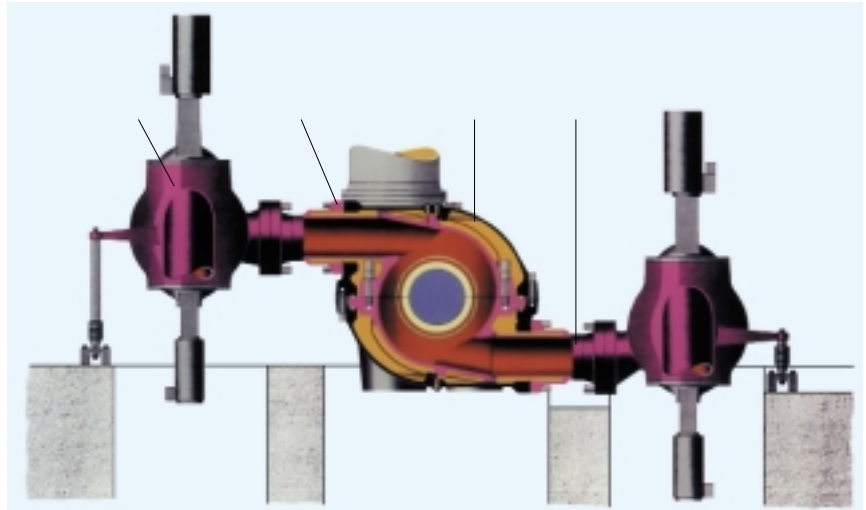
Para temperaturas superiores a los 540 °C, ABB utiliza desde hace 30 años un material austenítico, con muy buenos resultados, así como un acero martensítico-ferrítico con 12 % de cromo para temperaturas inferiores a los 540 °C. Las propiedades de estos materiales han sido mejoradas constantemente en los laboratorios propios de ABB, en colaboración con los fabricantes de acero.

Sistema de alternador

En cada bloque hay un sistema de alternadores con una unidad de la serie 50WT25E-158, un dispositivo de excitación estática y equipos complementarios para la refrigeración del hidrógeno, así como instalaciones para el aceite de estanqueidad y para el agua de refrigeración del estator.

Turboalternador

El alternador está equipado con un sistema de aislamiento MICADUR de ABB, acreditado desde hace muchos años, de la clase térmica F, aunque el explotador sólo lo utilizará en la clase térmica B **6** (Tabla 2).



Sección transversal de la turbina de media presión

4

- 1 Carcasa de la válvula de desviación de media presión, de fundición G-X 12 CrMoWNiVNbN 10 11
- 2 Unión bridada para el estado de vapor de media presión
- 3 Cilindro interior de media presión, de fundición G-X 12 CrMoWNiVNbN 10 11
- 4 Paso de vapor, de fundición G-X 12 CrMoWNiVNbN 10 11

Piezas de fundición nodular del cilindro interior de la turbina de baja presión, tras la elaboración de la brida de conexión

5



Tabla 2:
Datos técnicos principales del alternador

Potencia aparente de diseño	1167,0	MVA
Potencia activa de diseño	933,6	MW
Factor de potencia, sobreexcitado	0,8	
Tensión de diseño	27	kV
Corriente de diseño	27954	A
Corriente de excitación de diseño	6001	A
Frecuencia de diseño	60	Hz
Relación de cortocircuito en marcha en vacío	0,505	
Peso total	588	t
Peso del rotor	97	t
Peso de transporte del estator	410	t

El diseño y desarrollo del alternador, realizados en estrecha colaboración con el cliente, buscaba la mejor solución técnica y económica en cuanto a rendimiento, disponibilidad y fiabilidad.

El alternador está diseñado con refrigeración directa por hidrógeno para el devanado rotórico y para el paquete de chapas estáticas, mientras que el devanado estático está refrigerado directamente con agua. En este sentido, el dimensionado y la elección de los productos técnicos y de materiales acreditados han permitido optimizar la potencia y el rendimiento.

Envuelta del estator

En principio, la envuelta del estator es un cilindro de acero, de una sola pieza, con elementos de refuerzo. Las cámaras de refrigeración están bridadas a ambos lados de la construcción soldada, estanca al gas y resistente a la presión. Estas cámaras contienen los refrigeradores de hidrógeno suspendidos de dos en dos.

El espacio interior del alternador, sometido a la presión del gas, ha sido estancaizado en los pasos de árbol por medio de un anillo con escaso juego, móvil en el sentido radial y rígido en el sentido periférico. El intersticio que queda entre el árbol y el anillo de estanqueidad está cerrado con aceite a presión. Una instalación aparte de aceite de estanqueidad tiene como misión alimentar esta junta con aceite, para garantizar una fiable estanqueidad de la carcasa del alternador en el paso del árbol, tanto en funcionamiento como en esta-

do de parada. La presión del aceite es aproximadamente 0,5 bar superior a la presión del hidrógeno. El consumo de hidrógeno, menos de 9 m³/día, es claramente inferior a los 12 m³ recomendados por VDEW.

Paquete de chapas estáticas

El paquete de chapas es excitado por el flujo magnético que gira en el entrehierro, que con frecuencia tiene un valor doble que la frecuencia de la red. En las máquinas de dos polos, el paquete de chapas vibra con cuatro nudos. Por esta razón, en máquinas de esta potencia, el dorso del paquete de chapas está guiado en su dorso por chavetas de aluminio fijadas a sus soportes, que se encuentran soldados a la carcasa para evitar que las vibraciones del paquete de chapas se transmitan a la misma. Las chavetas y sus soportes están unidos a los dos extremos del paquete de chapas por medio de anillos de cortocircuito. Así se crea una jaula, conductora de la electricidad, que envuelve todo el paquete de chapas y conduce de forma definida las corrientes inducidas por el campo de dispersión.

La compresión axial de las placas de presión laminadas, de bajas pérdidas, formadas por chapas magnéticas pegadas entre sí, la proporcionan los anclajes de tracción aislados, que van de lado a lado. El paquete de chapas y la placa de compresión están refrigerados con hidrógeno que fluye a través de los canales axiales, situados en la zona de dientes y yugos, hacia el centro del alternador.

El paquete de chapas, de unos 7900 mm de largo y con un peso de 290 t, está formado

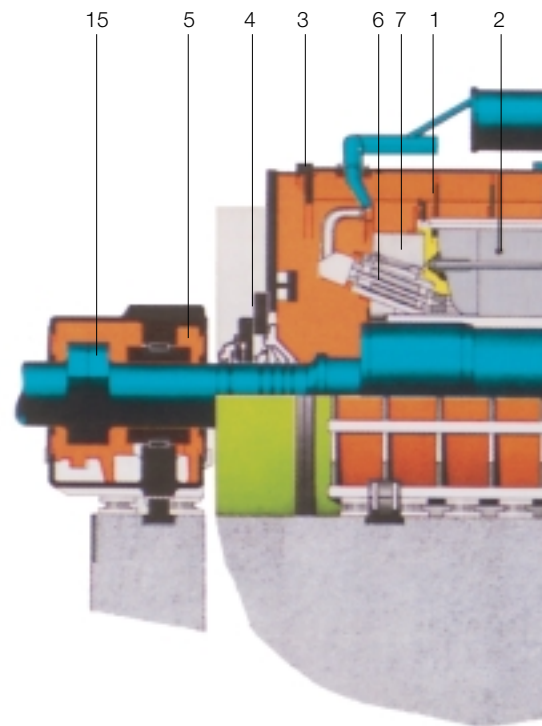
por segmentos de chapa metálica de bajas pérdidas, de acero aleado con silicio, tratados por ambas caras con barniz resistente al calor. Durante el apilado en la carcasa se comprime el paquete de chapas a intervalos regulares, aplicando vibraciones, calor y una fuerte compresión de manera que durante el funcionamiento sea imposible que se aflojen las chapas.

Devanado estático

La fiabilidad del sistema de devanado estático influye decisivamente sobre la disponibilidad del conjunto del alternador. Por sistema de devanado estático se entiende la configuración de las barras, el sistema de refrige-

Sección de un turboalternador de la central de Lipp

- 1 Carcasa de estator
- 2 Paquete de chapas con placas de presión
- 3 Cierre de carcasa
- 4 Caja de junta de estanqueidad
- 5 Rodamiento



ración, el sistema de aislamiento, el chaveteado de ranuras y la suspensión de las cabezas de bobinas. Las barras del devanado estático están formadas por conductores parciales de cobre y conductores huecos de acero que conducen el agua de refrigeración. Los dos conductores están retorcidos como barras roebel en toda su longitud.

Las barras roebel dobles del devanado estático están constituidas por conductores parciales aislados con seda de vidrio impregnada con resina epoxi. La barras, envueltas, han sido impregnadas en vacío con una resina epoxi sin disolventes, compatible con el medio ambiente, y a continuación endurecidas en moldes a alta temperatura. La super-

ficie de las barras se trata después con un barniz de protección antiefluvios. Este sistema de aislamiento MICADUR satisface todas las exigencias de la clase térmica F.

Después del montaje, el devanado es asegurado con chavetas convexo-cóncavas que aseguran que, a largo plazo, la fuerza de acurriamiento es mayor que las fuerzas electromagnéticas que aparecen durante el funcionamiento. Así se evita que las barras se aflojen o vibren.

Las uniones de las barras por sus extremos, y de estos con los devanados, están formadas por anillos de cobre. La entrada y salida del agua de refrigeración tienen lugar en las cámaras de agua de los extremos de las

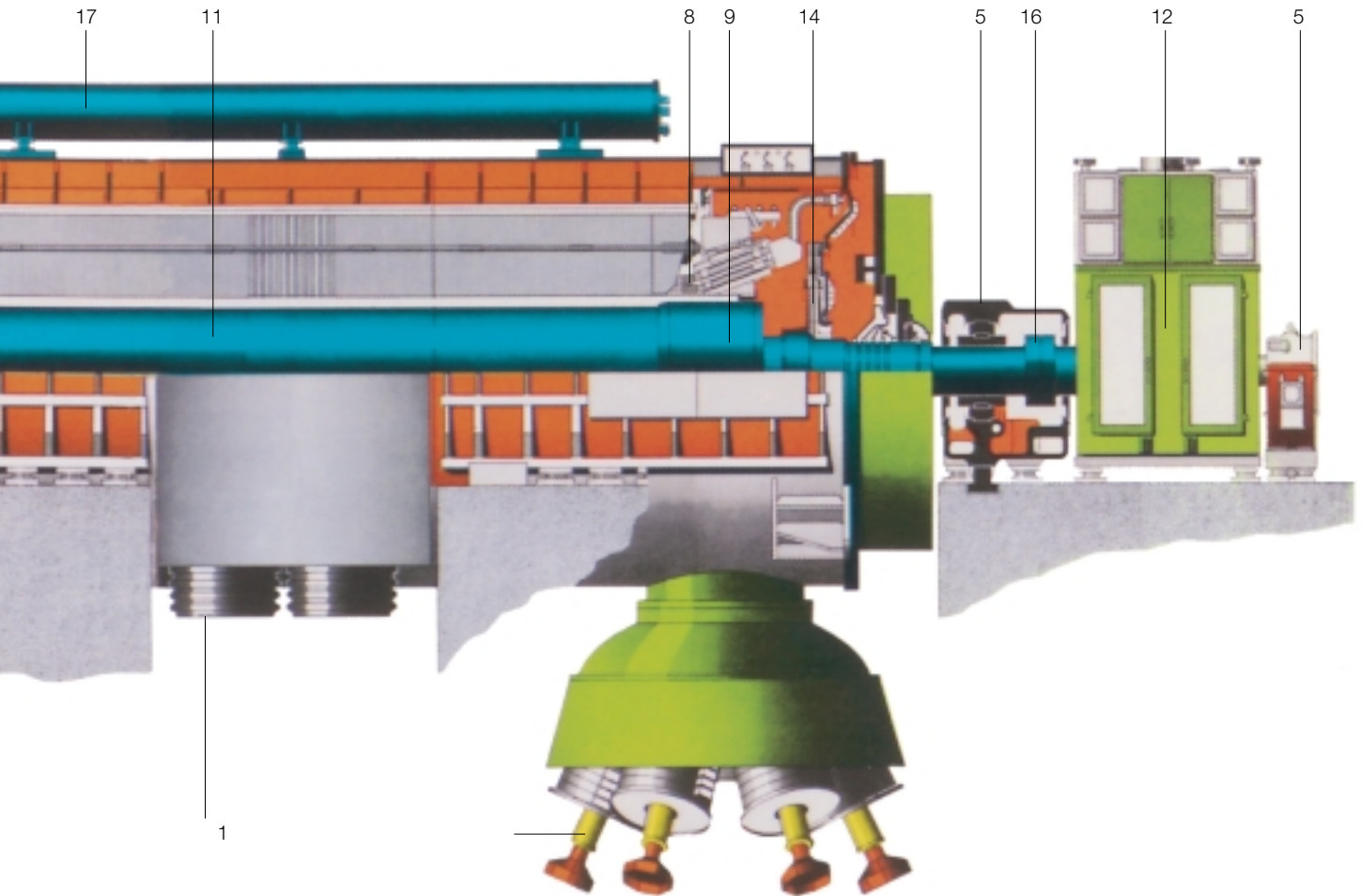
barras, unidas entre sí por tubos flexibles a los conductos colectores. Las uniones de devanados son de tuberías de cobre refrigeradas directamente con agua.

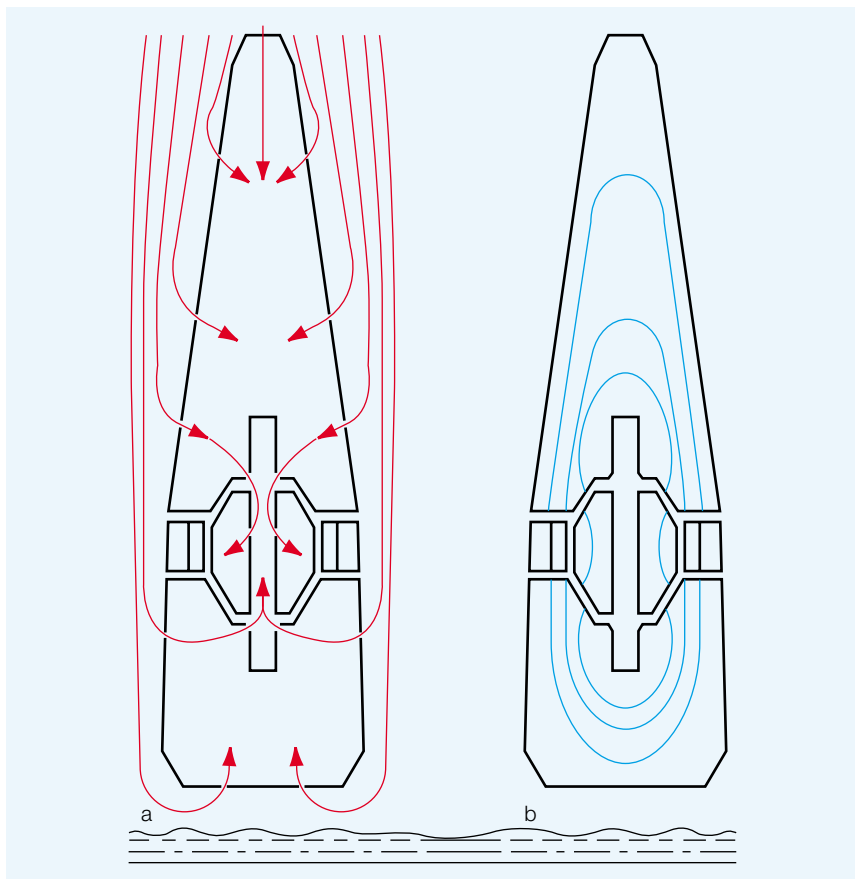
Las cabezas de bobinas están fijadas a los lados interiores y exteriores, con posibilidad de postensado, por dos anillos macizos de resina epoxi reforzada por fibra de vidrio. Un dispositivo tensor permite pretensar hasta un valor definido el conjunto de la cabeza de bobina, pudiéndose controlar y regular esta pretensión durante las revisiones. Para absorber las dilataciones térmicas, las cabezas de bobina han sido también suspendidas elásticamente en dirección axial. Este apoyo elástico hace que el alternador sea también adecua-

endorf

6

- 6 Cabeza de devanado estático
- 7 Soporte de cabezas de bobinas estáticas
- 8 Devanado estático
- 9 Cubierta de rotor
- 10 Refrigerador de hidrógeno
- 11 Cuerpo del rotor
- 12 Escobillas
- 13 Pasos
- 14 Ventilador
- 15 Acoplamiento con la turbina
- 16 Acoplamiento con árbol de anillo de deslizamiento
- 17 Depósito de agua





Distribución del flujo alrededor de un haz parcial de un condensador CM (a) y distribución de isobaras en el interior del haz (b)

7

do para el funcionamiento en carga variable o en régimen intermitente.

Las fuerzas electrodinámicas en las cabezas de bobinas, que aparecen durante la explotación o en caso de perturbaciones, son absorbidas por el llamado soporte de cabeza de bobina. Su misión consiste en mantener en su posición el devanado para evitar los daños que pueden producir las vibraciones de amplitud muy alta.

Rotor

El cuerpo del rotor está formado por una sola pieza forjada, hecha de aleación de acero tratado térmicamente, con alta permeabilidad magnética. Para montar el devanado se fresan ranuras longitudinales en el cuerpo del rotor. En la zonas de los polos se hacen ranuras transversales para equilibrar la rigidez en flexión respecto de todos los ejes de sección transversal del rotor.

La corriente de excitación se alimenta por medio de barras de cobre, que se encuentran en un perforación central en el lado opuesto al accionamiento y en perforaciones radiales bajo la cabeza del devanado rotórico.

Devanado de excitación y de amortiguación

El devanado rotórico tiene una refrigeración axial directa con hidrógeno. La ventaja de la refrigeración axial reside en el hecho de que los conductores del devanado de excitación se encuentran al mismo nivel de temperatura en cada sección de ranura, lo cual elimina los movimientos relativos entre los distintos conductores huecos. Se han dispuesto diafragmas en la zona de entrehierro para aprovechar la presión del ventilador como presión suplementaria en ambos lados del rotor.

El devanado de excitación está hecho con conductores huecos de cobre aleado con

plata. Está constituido por bobinas concéntricas formadas por semiespiras soldadas entre sí en la cabeza de bobina. El devanado de excitación está fijado contra la fuerza centrífuga por medio de chavetas, que forman un devanado de amortiguación, así como por las cubiertas del rotor. En la zona de cabeza de bobina se mantienen las distancias entre los devanados por medio de bloques de fibra de vidrio. El devanado está refrigerado directamente por el hidrógeno que circula por los conductores huecos. En la parte activa, el gas caliente sale de los conductores huecos por cuatro puntos axiales; desde ahí, el gas llega al refrigerador de hidrógeno a través de las ranuras radiales practicadas en el paquete de chapas. Una parte del hidrógeno sale por el centro de la cabeza de bobina para pasar a continuación al entrehierro por las ranuras situadas en las zonas polares, cerca de las cubiertas del rotor.

El devanado de amortiguación está formado por las chavetas Nibrofor que se extienden a toda la longitud del rotor, los segmentos de amortiguación y las cubiertas de rotor. En las zonas polares se han dispuesto ranuras de amortiguación suplementarias, con chavetas de idéntico perfil, que al final de la parte activa ponen en contacto entre sí los dedos de los segmentos de amortiguación, unidos eléctricamente con las cubiertas del rotor. La presión de contacto la proporciona la fuerza centrífuga.

Las cubiertas de rotor están fabricadas con acero austenítico no magnético, insensible a la corrosión fisurante bajo tensión. Se zunchan y aseguran por medio de un cierre de bayoneta contra el desplazamiento axial y por medio de cuñas contra el desplazamiento tangencial.

Condensador de turbina

ABB Kraftwerke AG (Mannheim) suministra e instala dos condensadores superficiales CM con tuberías de acero inoxidable y conexión de doble flujo (Tabla 3) para la condensación del vapor de escape de los turbogrupos de 933 MW.

Los condensadores CM de ABB han sido puestos a prueba en todo el mundo. El tipo CM es el tipo de condensador más utilizado

en las centrales de dimensiones medias y grandes. Debido a su tamaño, el condensador es junto con las turbinas a vapor y el alternador uno de los componentes más importantes y exigentes de la sala de máquinas de una central.

El parámetro más importante de un condensador es su presión, ya que la contrapresión de la turbina tiene gran influencia sobre el rendimiento global de la instalación y por tanto determina la potencia del alternador. Como fabricante de turbinas a vapor y de condensadores, ABB puede garantizar el óptimo ajuste entre estos dos componentes fundamentales.

Los condensadores ABB de la serie CM (en ojiva) están contruidos modularmente. Una de sus características es la disposición de las tuberías de condensador en formaciones idénticas, reunidas en haces parciales. El laboratorio de mecánica de fluidos de ABB ha determinado la forma de los haces parciales empleando modelos analógicos y ha desarrollado una serie de tipos de haces estandarizados con la ayuda de modelos de orde-

Tabla 3:
Datos técnicos del condensador

Calor a eliminar	890,76	MW
Presión del condensador	0,038	bar
Agua de refrigeración	- Caudal	20,9 m ³ /s
	- Temperatura	16,4 °C
	- Velocidad	1,95 m/s
Intercambio de calor	- Superficie	54 950 m ²
	- Material	X 5 CrNiMo 17 12 2
Dimensiones exteriores (anchura/altura/profundidad)	22/15/18	m
Peso total en vacío	1140	t

nador, que cubren toda la gama de grandes condensadores **7**. De este modo es posible conseguir soluciones óptimas, ya que la selección de un haz, la elección del número de haces y la variación de la longitud de tubo permite dar respuesta a cualquier exigencia geométrica.

Los haces están formados por una parte superior, una parte inferior y una zona de refrigeración por aire. Una vez franqueado el refrigerador primario, el vapor es conducido por medio de diafragmas a la zona de refrigera-

ción de aire. En los canales de purga se desgasifica por medio de bombas de vacío.

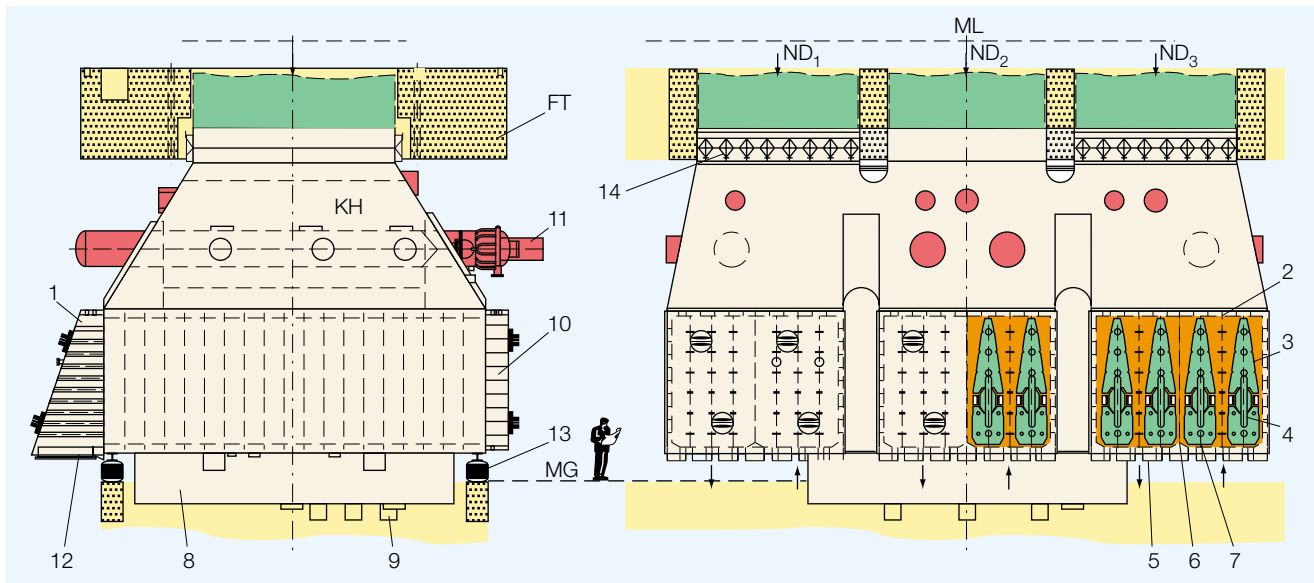
Cada uno de los haces está equipado con dos refrigeradores por aire. De esta manera se asegura un desgaseado óptimo del condensador.

El vapor penetra en el haz desde todas las direcciones, de manera que se mantienen bajas las velocidades del vapor y las pérdidas de presión del mismo. La homogeneidad de la carga de los haces da como resultado altos coeficientes de transmisión de calor.

Configuración de un condensador de turbina CM

8

- | | | | | | |
|---------------------|---|---|----------------------------------|----|---|
| KT | Losa de cimentación | 1 | Entrada de la cámara de agua | 9 | Conductos hacia las bombas de condensado |
| KH | Cuello del condensador | 2 | Cámara de vapor | 10 | Cámara de la salida del agua de refrigeración |
| MG | Suelo de la sala de máquinas | 3 | Parte superior de los haces | 11 | Dispositivo de introducción de vapor |
| ML | Eje de árbol del turbogruppo | 4 | Parte inferior de los haces | 12 | Conducto de agua de refrigeración |
| ND _{1...3} | Escape de vapor de las turbinas de baja presión 1...3 | 5 | Refrigerador primario | 13 | Suspensión elástica |
| | | 6 | Refrigerador por aire | 14 | Compensador de anclaje |
| | | 7 | Canal de aspiración de aire | | |
| | | 8 | Colector de condensado (Hotwell) | | |






Fabricación de un módulo de condensador de turbina para la central de lignito de Lippendorf en los talleres de ABB Kraftwerke Berlin GmbH 

El vapor que penetra por abajo en el haz de tubos de refrigeración circula a contracorriente del condensado que gotea. El íntimo contacto con el vapor hace que el condensado quede desgaseado y recalentado óptimamente. Por debajo del haz, el vapor tiene una velocidad más baja que en la tubería de escape y en los haces superiores. La temperatura y la presión estática en este punto son, por consiguiente, más altas. El condensado en el colector Hotwell alcanza por lo tanto una temperatura más alta que la temperatura de saturación que corresponde a la presión del condensador. Esta propiedad del condensador CM tiene un efecto positivo sobre el consumo de calor. Se la denomina «superrefrigeración negativa».

Gracias a esta óptima disposición de las tuberías del condensador se obtienen altos coeficientes de transmisión de calor (valores K) en carga plena y parcial, siendo por tanto más bajas las presiones de condensador. Debido a sus excelentes propiedades térmicas se necesita una superficie de intercambio de

calor mucho menor, de modo que además del ventajoso consumo de calor de la central es posible reducir costes en la construcción de la sala de máquinas.


Complementando estas excelentes propiedades termodinámicas, la construcción modular ofrece numerosas ventajas para el diseño y construcción de los aparatos.

El condensador CM es solidario con la turbina y se apoya sobre resortes en la losa de cimentación. La cámara de vapor del condensador está unida a los tres escapes de vapor de las tres turbinas de baja presión  por el cuello de condensador. La unión con el cilindro de escape de la turbina central de baja presión es rígida. Para compensar las diferencias de dilatación térmica, las uniones con los cilindros de escape anteriores y posteriores de las turbinas de baja presión están equipadas con compensadores anclados.

El condensador tiene doble flujo del lado del agua de refrigeración; está dividido en tres partes, con tres conexiones DN 2000 y un dis-

positivo de limpieza de tuberías para cada una de las partes.

Dos de las conexiones del condensador disponen de dos dispositivos cada una para desviación de vapor, de modo que, durante el arranque o en determinados estados transitorios, el vapor de la caldera pasa directamente al condensador. Gracias a los dispositivos de introducción de vapor de ABB colocados en el cuello del condensador, en la envuelta anterior y posterior de escape de baja presión, el vapor es conducido al condensador de forma conservadora. Estos dispositivos protegen las tuberías del condensador y las turbinas de baja presión contra el vapor, muy energético, proporcionando al mismo tiempo un nivel de ruidos relativamente bajo.

Debido a las grandes dimensiones de los condensadores, sus módulos deben ser fabricados con la máxima precisión . Así se reducen al mínimo los trabajos de montaje in situ.

Bibliografía

- [1] Kotschenreuther, H.; Häuser, U.; Weirich, P.-H.: Zukünftige wirtschaftliche Kohleverstromung. VGB Kraftwerkstechnik 1/93.
- [2] Scarlin, B.: Dampfturbinen. BWK Bd. 49 (1997) 91-96.
- [3] Soyk, K.-H.: Wasser- und wasserstoffgekühlte Turbogeneratoren. ETG-Fachbericht Nr. 53, VDE-Verlag 1994, 55-64.
- [4] Baumann, P.; Pesthy, I.: Desarrollo de grandes condensadores de vapor optimizados en precio y prestaciones. Revista ABB 3/1997, 40-48.

Dirección de los autores

Dr. Ludwig Busse
 Karl-Heinz Soyk
 ABB Kraftwerke AG
 Apdo. 10 03 51
 D-68309 Mannheim, Alemania
 Telefax: +49 (0) 621 381 2206
 E-mail:
 ludwig.busse@dekwe.mail.abb.com