

# Centrales de ciclo combinado de magnitud media para el acoplamiento calor-electricidad

**Actualmente, las centrales de ciclo combinado alcanzan rendimientos del 50 al 58 % y un aprovechamiento de combustible de casi el 90 % en caso de producción combinada de calor y electricidad. Además, se distinguen por sus bajos costes de inversión y por la rapidez de su construcción. Estas excelentes características hacen que las instalaciones de ciclo combinado de magnitud media tengan gran interés para el suministro descentralizado de electricidad y calor. El componente central de estas instalaciones es la turbina a gas GT10, una turbina industrial, robusta y ligera, con una potencia de 25 MW, que durante los últimos años se ha mantenido a la cabeza del mercado en la gama de potencias medias.**

Desde que ABB construyó en 1956 la primera central de ciclo combinado del mundo, la historia de esta tecnología viene marcada por el desarrollo de las turbinas a gas, de dimensiones cada vez mayores, que permiten temperaturas de combustión más altas para aumentar el rendimiento. Actualmente, las centrales de ciclo combinado alcanzan rendimientos comprendidos entre 50 y 58 % y parece posible alcanzar el 60 % durante los próximos años.

Pero incluso con un rendimiento del 58 % se desperdicia el 42 % de la energía térmica, que está contenida en el vapor de escape. Sin embargo, si este vapor se aprovecha para producir vapor de proceso destinado a instalaciones industriales, o vapor o agua caliente para redes de calefacción a distancia, el aprovechamiento del combustible sube hasta cerca del 90 %. Un ejemplo de tal posibilidad de aplicación es la central de ciclo combinado con acoplamiento calor-electricidad que ABB ha construido para los servicios públicos de la ciudad sueca de Ängelholm. En régimen de calefacción, esta central alcanza un aprovechamiento del combusti-

ble del 87 %. En caso de producción exclusiva de electricidad, esta instalación de dimensión media funcionaría con un rendimiento neto del 50 % **1**.

Mientras que las centrales de ciclo combinado con acoplamiento calor-electricidad aprovechan la energía del combustible mucho mejor que las destinadas exclusivamente a la producción de electricidad, la ventaja de rendimiento de una gran central de ciclo combinado es relativamente modesta si se la compara con una instalación de magnitud media. Puesto que no es posible transportar el calor a grandes distancias, a menudo es más económico construir varias pequeñas centrales de ciclo combinado —situadas cerca de los consumidores de calor— en lugar de

una gran instalación central, como sería razonable si se tratara sólo de producir electricidad **2** [1].

Este es un aspecto fundamental de la adaptación de esta tecnología, que antes parecía adecuada sobre todo para las grandes turbinas a gas y a vapor. Durante los últimos 10 años, sin embargo, el uso de centrales de ciclo combinado de magnitud media para potencias de 20 a 50 MW ha experimentado un crecimiento rapidísimo.

## Producción descentralizada de energía

La producción combinada de calor y electricidad no es, de todos modos, la única razón del creciente uso de pequeñas centrales de ciclo combinado. También tiene un papel muy importante el proceso actual de liberalización del sector de la energía, que ha abierto nuevas posibilidades para producir de forma descentralizada y privada la corriente eléctrica.

La liberalización ha permitido a los grandes consumidores de electricidad industrial conseguir considerables economías de costes construyendo centrales de ciclo combinado con acoplamiento calor-electricidad, o únicamente para la producción de electricidad. Disponer de centrales propias de calefacción es muy ventajoso para ciertas industrias con grandes necesidades de calor, como las industrias papera, petroquímica y química. Incluso si las necesidades de calor son superiores a las de electricidad conviene considerar las ventajas de producir relativamente mucha electricidad, ya que los ingresos producidos por el excedente de energía eléctrica reducen notablemente los periodos de amortización.

ABB ha construido centrales de calefacción para refinerías de petróleo en todo el mundo. Por ejemplo, en la central de una refinería de Corinto (Grecia), los gases de combustión se aprovechan para producir vapor de proceso y energía eléctrica. La electricidad excedentaria se entrega a la red pública **3**.

Las condiciones creadas por la nueva legislación han modificado profundamente la estructura del sector eléctrico. Muchas compañías que se dedicaban exclusivamente a la distribución —y entre ellas hay

**Bo Svensson**  
ABB STAL AB



**Central de ciclo combinado GT10 en Ängelholm, Suecia**

**1**

que destacar las compañías municipales de electricidad— se han convertido en productores de electricidad con instalaciones relativamente modestas.

En la ciudad sueca de Linköping, la compañía eléctrica pública *Tekniska Verken i Linköping AB* ha transformado recientemente su central de calefacción de Gärstad, calefactada con residuos domésticos, en una central de ciclo combinado con acoplamiento calor-electricidad **4**. Cuando se construyeron las instalaciones, a principios de los ochenta, la producción propia de electricidad apenas tenía interés económico para *Tekniska Verken*, de modo que se renunció a instalar una turbina a vapor. Tras la instalación de una turbina a gas y una turbina a vapor, la potencia térmica de la planta ha pasado de 73 a 83 MW y se dispone además de una potencia eléctrica complementaria de 49 MW. El reequipamiento se amortiza con gran rapidez gracias al alto precio de la electricidad en Suecia.

También las grandes centrales han desarrollado nuevas estrategias para mante-

ner su competitividad en las nuevas condiciones. Algunas compañías eléctricas han comenzado a ofrecer servicios en el sector eléctrico. La compañía eléctrica holandesa *PNEM*, por ejemplo, se ha hecho construir recientemente por ABB tres centrales de ciclo combinado con acoplamiento calor-electricidad **5** que, en el marco de contratos a largo plazo, suministran calor de

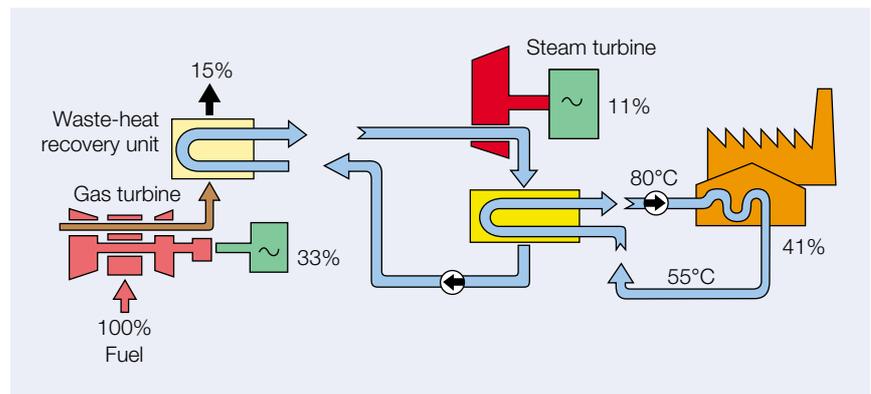
proceso a la cervecería Heineken de Hertogenbosch, a una fábrica de Philip Morris en Bergen-op-Zoom y a una fábrica de abonos artificiales situada en Helmond.

En 1996, ABB entregó a la compañía *GasEdon Emmen*, propiedad de las compañías holandesas *Gasunie* y *Edon*, dos centrales de ciclo combinado con acoplamiento calor-electricidad para las centrales Erica y Klazienaveen. El calor se destina a invernaderos. La economía de explotación de este tipo de instalaciones exige que en las proximidades existan grandes clientes de calor o de vapor de proceso.

Otro aspecto importante es el creciente interés por el suministro descentralizado de energía, especialmente en el mercado liberalizado de Estados Unidos. Las ventajas principales son que normalmente no se necesita hacer grandes inversiones en el transporte de energía y que se reducen las pérdidas en el mismo. Incluso sin acoplamiento calor-electricidad, las centrales de ciclo combinado de magnitud media tienen ventajas para las compañías eléctricas. Los costes de construcción son relativamente bajos y la explotación es muy flexible: las centrales pueden funcionar con distintos combustibles y su puesta en servicio es muy rápida.

La tendencia hacia la producción descentralizada de energía eléctrica con acoplamiento calor-electricidad ha hecho crecer la demanda de centrales de tipo combinado de magnitud media. Es previsible que con el desarrollo de la tecnología y del mercado aparecerán otras posibilidades de aplicación, por ejemplo para las islas y grandes plataformas offshore y para los

**Concepto de una central de ciclo combinado con acoplamiento calor-electricidad** **2**





**Central eléctrica con acoplamiento calor-electricidad en la refinería de Corinto, Grecia, equipada con dos turbogrupos a gas GT35**

barcos de crucero y buques de carga con accionamiento principal eléctrico.

### La turbina a gas GT10

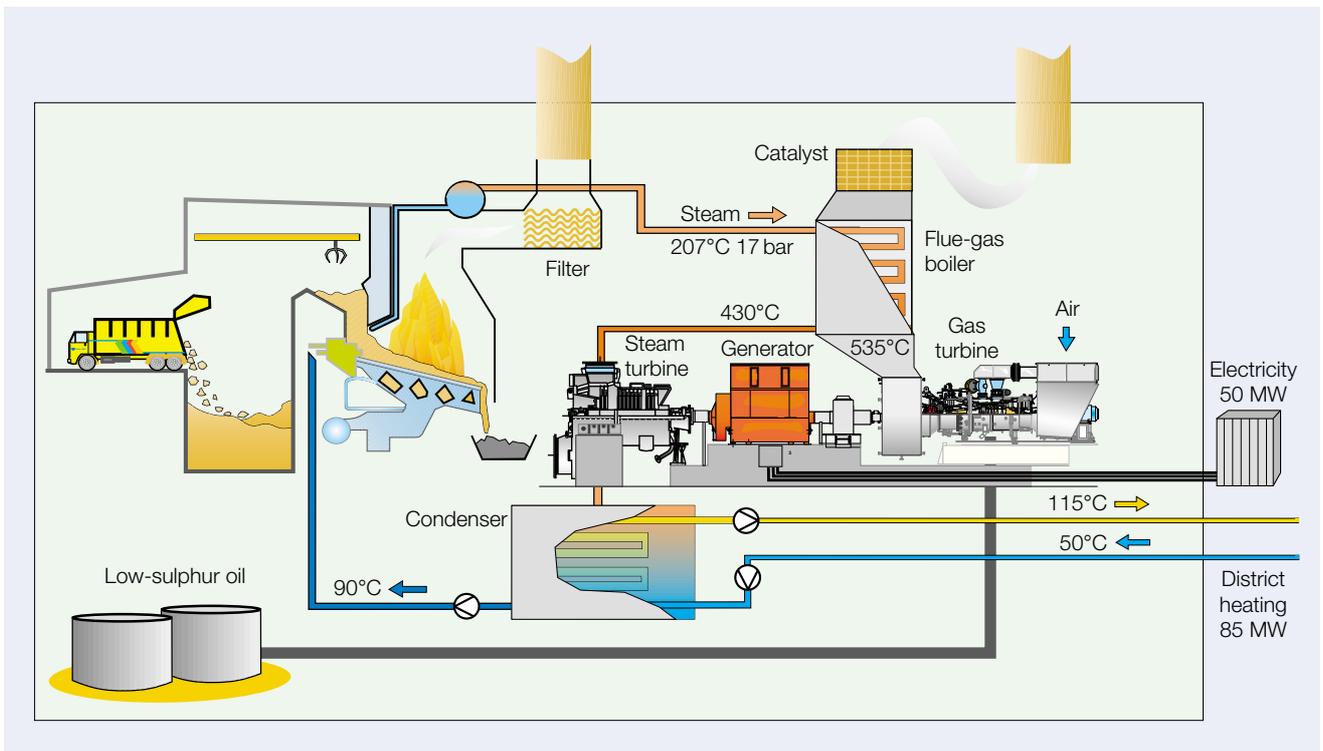
Todas las centrales de ciclo combinado con acoplamiento calor-electricidad que hemos mencionado hasta ahora tienen una turbina a gas GT10 como pieza fundamental, una turbina que en el transcurso de los últimos años se ha convertido en líder del mercado en la gama media de potencias. La GT10 es una turbina industrial a gas, ligera y resistente, con una potencia de 25 MW y un rendimiento del 34% en circuito abierto. En régimen de funcionamiento combinado, el rendimiento supera ligeramente el 50%. Utiliza el sistema de quemadores Low-NO<sub>x</sub>, desarrollado por ABB, con funcionamiento en seco, que garantiza una cifra de 25 ppm en volumen de NO<sub>x</sub> con 15% de O<sub>2</sub> y bajo nivel de emisiones de CO e hidrocarburos no quemados.

La robustez de su ejecución confiere a la turbina GT10 una larga vida útil en servicio permanente. Su fiabilidad es muy alta

3

**Esquema de la central de calefacción Gärstad en Linköping, Suecia. Muestra la integración de una planta de ciclo combinado, equipada con una turbina a gas GT10, en la incineradora de residuos domésticos.**

4



gracias a los largos intervalos entre mantenimientos y a su configuración modular, que simplifica los trabajos de mantenimiento in situ. Por ejemplo, la cámara de combustión se puede sustituir como módulo, de modo que los pesos a elevar o manipular son relativamente pequeños **6**.

**Alta rentabilidad**

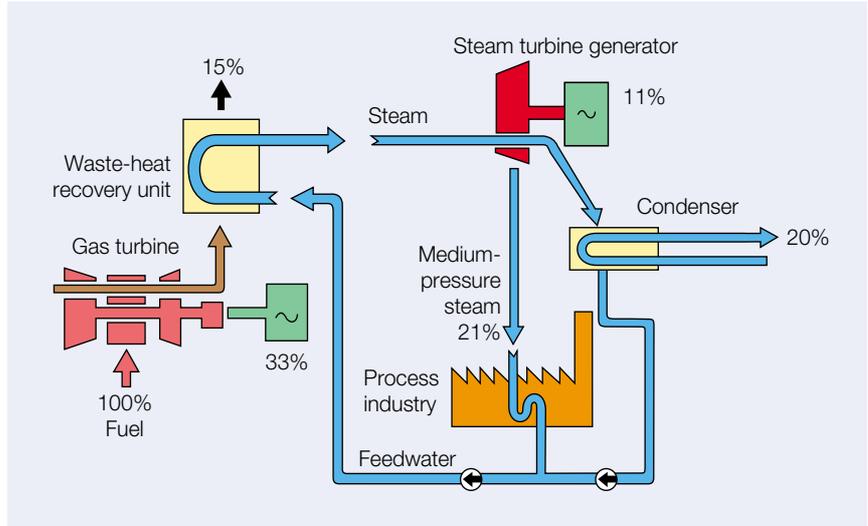
Un problema típico de las pequeñas instalaciones es el coste, relativamente alto, por unidad de potencia. Persiguiendo la máxima economía posible de las centrales de ciclo combinado de magnitud media, ABB STAL ha desarrollado una serie de soluciones técnicas de gran interés.

Se han racionalizado los procedimientos de fabricación y montaje para acortar los plazos de entrega y reducir al mínimo los costes de puesta en servicio. Así, la central de calefacción de la ciudad de Ängelholm, ya mencionada, entró en funcionamiento comercial 15 meses después de recibirse el pedido. Muchos de los componentes utilizados por ABB en las centrales de ciclo combinado están normalizados o son modulares para asegurar alta disponibilidad y bajos costes. Evidentemente, las necesidades de cada cliente, de cada ubicación y de cada aplicación son distintas, por lo que es necesario adaptar las instalaciones a las condiciones específicas. De manera general, las centrales pequeñas son más adaptables a las distintas aplicaciones que las grandes.

Al planificar las centrales de ciclo combinado es necesario tener en cuenta que en muchos lugares no se dispone de espacio suficiente. A veces es necesario alojar las instalaciones en edificios ya existentes para abaratar la construcción. Los esfuerzos para reducir la superficie necesaria de terreno han desembocado en distintas soluciones, por ejemplo la disposición con una sola línea de árboles.

**Disposiciones con uno o varios ejes**

Durante la optimización de las instalaciones combinadas GT10, ABB STAL ha podido recurrir a la experiencia obtenida con los turbogrupos a vapor VAX (turbinas axiales con engranaje) con disposición de un árbol. En ellos, las turbinas a vapor, de



**Concepto de una central de ciclo combinado GT10 con acoplamiento calor-electricidad, explotada por PNEM en los Países Bajos.**

**5**

alta y de baja presión, accionan un mismo alternador en cada uno de sus extremos. La turbina de alta presión gira normalmente a más velocidad que la de baja presión,

por lo cual se monta un engranaje entre la turbina de alta presión y el alternador.

En una instalación combinada con un solo árbol, una turbina a gas y una turbina

**Montaje de una cámara de combustión GT10**

**6**





**Turbina a gas GT10 en el momento de introducirla en el edificio ya existente en los terrenos del M.I.T. (Massachusetts Institute of Technology), en Boston, Estados Unidos.**

7

a vapor comparten un alternador, accionado por ambos lados **8**. Esta solución no es inusual, pero hasta ahora sólo se aplicaba en instalaciones pequeñas **9**.

Generalmente, la velocidad de rotación de la turbina a gas se ha de reducir a la velocidad del alternador. Aparecen pérdidas de alrededor del 1%, que se compensan sobradamente porque una turbina de menor diámetro provoca menos pérdidas y el rendimiento global aumenta.

En la empresa ABB STAL, la fabricación de engranajes para buques y accionamientos de máquinas, y para centrales, goza ya de una larga tradición. En las instalaciones típicas de ciclo combinado, con disposición de un solo árbol, se utilizan cajas de engranajes relativamente sencillas y pequeñas, con engranajes paralelos en lugar de planetarios.

Una importante ventaja de la configuración de un solo árbol es lo compacto de la construcción. En general se ahorra el 10% de espacio, lo que repercute favorablemente sobre los costes, ya que tanto los cimientos como el edificio mismo tienen menores dimensiones.

Naturalmente, un único gran alternador es más barato y más eficiente que dos

más pequeños. Además, los costes de los equipos eléctricos complementarios son menores para un solo alternador, aunque la potencia sea más alta.

En instalaciones con una turbina a gas y una turbina a vapor, la configuración con un árbol es normalmente la más económica. Si se utiliza más de una turbina a gas, la situación es distinta, porque los ahorros son mayores con una turbina que con dos.

En las instalaciones con dos turbinas a gas, la solución de mejor precio consiste en equipar una de las dos turbinas a gas con un alternador que puede funcionar también con la turbina a vapor común a ambos grupos, mientras que la segunda turbina acciona su propio alternador **10**.

Naturalmente se pueden encontrar excepciones a esta regla. En Alemania, por ejemplo, ABB ha transformado varias instalaciones de un solo árbol en instalaciones con dos turbinas a gas y dos a vapor.

Si se ha de equipar una central con dos turbinas a gas, el concepto de árbol único no tiene interés. La central de ciclo combinado KA10-3 de Rostock (Alemania) comprende tres turbogrupos a gas GT10, cada uno con su caldera de recuperación, así como una turbina a vapor independiente alimentada de vapor por los tres grupos.

#### **Instalación de ciclo combinado con turbina a gas GT10 con configuración de un solo árbol**

8



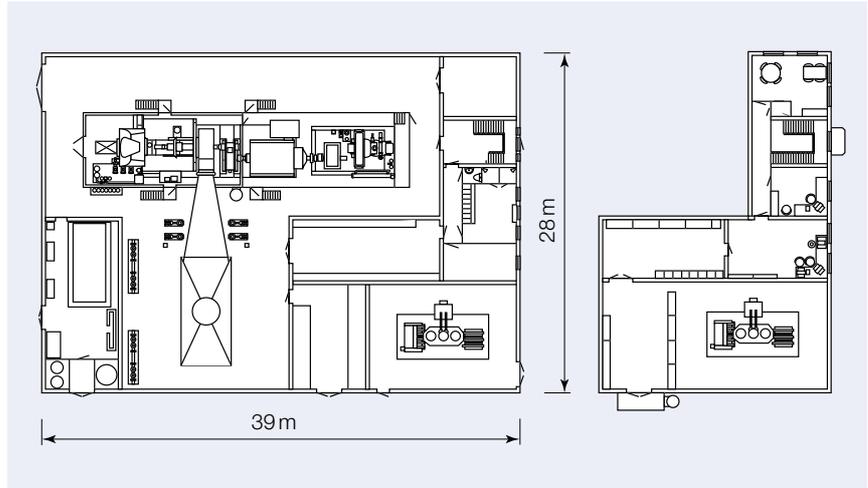
**Cálculo de la dinámica de los rotores**

La disposición con un solo árbol puede proporcionar una línea de ejes de gran longitud. En las centrales de ciclo combinado GT10 de *GasEdon Emmen*, la turbina a gas, por ejemplo, acciona el alternador a un lado con un engranaje, mientras que la línea formada por dos turbinas a vapor lo acciona en el otro extremo. Las turbinas a vapor son de una parte una turbina de media presión MP10 y otra de baja presión LP10. Para esta última, el accionamiento es directo, mientras que la turbina a vapor MP, más rápida, está acoplada con un engranaje al otro lado de la turbina de baja presión. La línea de ejes resultante tiene una longitud de unos 30 m.

En general, una línea de ejes de gran longitud tiene varias velocidades de resonancia, que han de ser registradas cuidadosamente para que la línea no funcione a velocidades críticas. La dinámica del rotor ha de calcularse por tanto con todo cuidado. Por esta razón, determinados fabricantes recurren a un know-how externo, mientras que ABB STAL asume plenamente la responsabilidad en este aspecto. La aplicación del saber propio permite asistir al cliente en todo momento y con la máxima rapidez, ofreciéndole las medidas más adecuadas al caso en cuestión.

Durante la construcción de centrales nucleares en Finlandia y Suecia durante los años 70, ABB STAL acumuló un valioso conocimiento sobre el cálculo de líneas de ejes de hasta 70 m de longitud. La experiencia de ABB STAL en el campo de turbinas para barcos no es menos importante. En más de 300 accionamientos de barco del tipo AP se han acoplado dos turbinas a vapor con el árbol de la hélice por medio de engranajes planetarios, ejes largos y relativamente esbeltos y un engranaje paralelo de gran magnitud. Los últimos tiempos han sido ricos en experiencias con los turbogrupos a vapor VAX ya mencionados.

ABB STAL, «Centre of excellence» del Grupo ABB para el cálculo de dinámica de rotores, ha desarrollado software para el cálculo de líneas de ejes, aprovechando así su amplísima experiencia. Se trata de un avanzadísimo programa que ofrece la posibilidad de calcular el comportamiento en torsión y flexión en el mismo módulo de



**Plano de una planta de ciclo combinado con turbina a gas GT10 y turbina a vapor con disposición de un solo árbol**

9

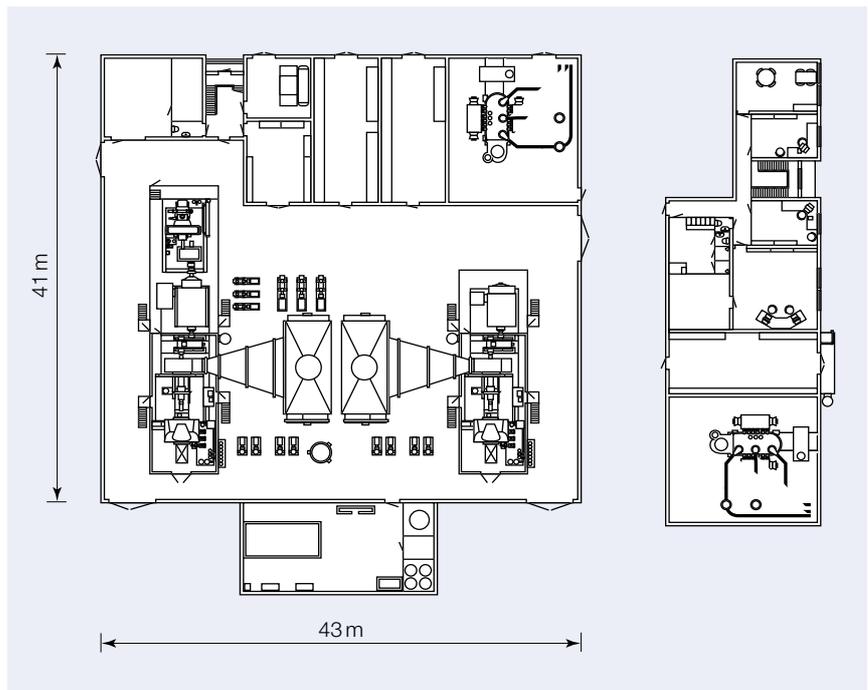
programa, así como prever las repercusiones que un cortocircuito de dos y tres fases, sobrevenido en el alternador, tiene sobre el sistema de rotores.

El hecho de que la línea de ejes de una instalación de ciclo combinado de un solo árbol esté constituida por varios componentes simplifica realmente el cálculo en

muchos aspectos, pero la alineación mecánica se hace más compleja. En algunos puntos, por ejemplo entre los motores de turbinas y los engranajes, se montan acoplamientos flexibles para compensar los posibles defectos de centrado. Las vibraciones se vigilan con un acelerómetro sencillo y de funcionamiento fiable.

**Plano de una instalación de ciclo combinado con dos turbinas a gas y una turbina a vapor**

10





**Turbogrupos a vapor VAX con una turbina de alta presión y engranaje en el lado de alternador y una turbina de baja presión con condensador en el otro lado**

Para garantizar la suavidad de funcionamiento de la línea de ejes es necesario equilibrar cuidadosamente sus distintas partes. ABB STAL realiza este trabajo en todos los rotores a velocidades de funcionamiento, en sus grandes instalaciones propias, en situación de vacío casi absoluto. El equilibrado a la velocidad de marcha garantiza la suavidad de la misma.

Ya que es imposible equilibrar en fábrica toda la línea de ejes, hay que buscar posibilidades para hacer el equilibrado en el punto de montaje. La turbina GT10 posee 5 planos de equilibrado fácilmente accesibles. También las turbinas a vapor pueden equilibrarse in situ. Durante los veinte últimos años, ABB ha perfeccionado constantemente la técnica de equilibrio en el punto de montaje, no sólo para turbinas sino también para máquinas eléctricas.

En las instalaciones combinadas GT10 se utilizan exclusivamente cojinetes hidrodinámicos, con segmentos pivotantes para las turbinas y casquillos para engranajes y alternador. Estos cojinetes con película de aceite tienen amortiguación propia, que contribuye a la suavidad de marcha y hace más simple el mantenimiento de los cojinetes. Por el contrario, las turbinas a gas «aeroderivate» están equipadas

con rodamientos (de bolas o de rodillos), en los cuales a veces se utilizan elementos amortiguadores para asegurar la suavidad de marcha.

#### Experiencias de explotación

Hasta el momento, la experiencia con las instalaciones de una sola línea de árboles son verdaderamente buenas.

La experiencia de explotación de turbogrupos a vapor con largas líneas de ejes, como los que ABB STAL ha construido en Finlandia y Suecia, es excelente. Hasta hoy no se ha presentado problema alguno de rotores. En cuanto a la fiabilidad, estas instalaciones están en cabeza en la lista de instalaciones del mundo entero establecida por Nuclear Engineering, en la cual las instalaciones finlandesas están muy arriba.

También es muy positiva la experiencia con los turbogrupos a vapor VAX con largas líneas de ejes, pues hasta ahora sólo se han presentado problemas de menor entidad. Sólo en algunos engranajes ha sido necesario hacer reparaciones. La primera instalación de este tipo entró en servicio en 1984 y actualmente funcionan más de 100 instalaciones como esta, repartidas por todo el mundo, que totalizan

más de cinco millones de horas de funcionamiento [1].

La experiencia con instalaciones de ciclo combinado con una sola línea de árboles se extiende, por supuesto, a un periodo más corto. Ahora hay en servicio unas treinta instalaciones de este tipo, con un total de 300 000 horas de funcionamiento. Las primeras instalaciones –como la de Ängelholm– tienen en su activo más de 25 000 horas de servicio. La disposición con un solo árbol de las instalaciones de ciclo combinado de magnitud media de ABB ya ha demostrado plenamente su eficacia.

#### Perspectivas

El éxito de las innovaciones técnicas, como el del concepto de una sola línea de ejes, ha contribuido a mejorar el perfil de rentabilidad de las centrales de ciclo combinado de magnitud media. Es de esperar que la proporción de tales instalaciones respecto de la potencia instalada irá aumentando a medida que el proceso de liberalización del mercado de la energía vaya creando las condiciones adecuadas.

#### Bibliografía

[1] Svensson, B.: Centrales de calefacción de ciclo combinado compatibles con el medio ambiente. Revista ABB 5/93, 11–16.

#### Dirección del autor

Bo Svensson  
ABB STAL AB  
S-612 82 Finspång, Suecia  
Telefax: +46 (0) 122 13684  
E-mail:  
bo.svensson@sesta.mail.abb.com