

# 125 años funcionando

Desde sus primeros pasos, ABB ha sido pionera en la construcción de máquinas y motores eléctricos

Sture Eriksson



Las máquinas eléctricas giratorias han desempeñado un papel fundamental en el desarrollo de la sociedad moderna. Generan prácticamente toda la electricidad y realizan la mayor parte del trabajo mecánico en la industria, el sector público y los hogares. El motor eléctrico es, con diferencia, el tipo de motor más versátil si se compara con los motores de combustión, hidráulicos y neumáticos y con los distintos tipos de turbinas. El dominio de los motores eléctricos se debe principalmente a que entregan la fuerza de forma sencilla y limpia, a unos costes relativamente bajos, a su elevada eficacia y fiabilidad, a la facilidad de control y a su adaptabilidad a diversas aplicaciones. Estas máquinas eléctricas giratorias cubren un intervalo de potencias sin parangón, desde microvatios a gigavatios. ABB, junto con sus empresas predecesoras ASEA y BBC, ha contribuido sustancialmente al desarrollo de las máquinas eléctricas, especialmente para aplicaciones industriales y de infraestructuras.

## ETERNOS PIONEROS

Los descubrimientos básicos del electromagnetismo, que fueron un requisito previo para el desarrollo de los motores eléctricos, se hicieron entre los decenios de 1820 y 1840, y los prototipos de algunas máquinas eléctricas primitivas se presentaron a mediados del siglo XIX. La fabricación de máquinas útiles empezó en el decenio de 1870. Estas máquinas eléctricas fueron fundamentales para la fundación de ASEA y BBC.

La compañía sueca ASEA se fundó en 1883 a raíz de que el joven ingeniero Jonas Wenström (1855–1893) inventara una dinamo de corriente continua. Esta dinamo se proyectó para el suministro de electricidad a instalaciones de alumbrado **1**. En 1890, se le concedió también a Wenström una patente por un sistema trifásico que consistía en un generador síncrono, un transformador y un motor asíncrono. Wenström está considerado uno de los –pocos– inventores independientes del motor trifásico.

En 1891, Charles E. L. Brown (1863–1924) fundó, en asociación con Walter Boveri (1865–1924), la compañía BBC. Antes, Brown había sido director del departamento eléctrico de otra compañía suiza, Oerlikon. Allí Brown desarrolló máquinas de corriente alterna y continua, en particular el generador para la primera instalación trifásica de transporte de electricidad del mundo. Charles Brown aportó algunos otros inventos brillantes hacia finales del siglo XIX, entre ellos, el turbogenerador con rotor cilíndrico.

### Aspectos técnicos

El funcionamiento de los generadores y de los motores se basa en la interacción entre corrientes eléctricas, flujos magnéticos y fuerzas mecánicas. Estos fenómenos se pueden aprovechar mediante varias topologías diferentes, pero la más corriente ha sido la máquina tradicional de flujo radial con rotor interior y estator exterior. La **Ecuación 1**, derivada de las ecuaciones de Maxwell, sirve para calcular la potencia de una máquina de este tipo.

$$\text{Ecuación 1 } P = k \cdot n \cdot D^2 \cdot L \cdot A_s \cdot B_\delta$$

donde:

P = potencia; k = constante; n = velocidad, D = diámetro del espacio de aire; L = longitud activa;  $A_s$  = carga de intensidad lineal; y  $B_\delta$  = densidad del flujo en el espacio de aire.

### El desarrollo de máquinas eléctricas ha dependido en gran medida de otros campos tecnológicos.

Esta ecuación señala que la potencia es directamente proporcional a la velocidad de rotación, a las dimensiones físicas de la máquina, al diámetro del espacio de aire y su longitud activa, a la carga de intensidad lineal y a la densidad del flujo en el espacio de aire. Los proyectistas de máquinas eléctricas siempre se han esforzado por desarrollar generadores y motores más pequeños y más económicos. La **Ecuación 1** indica que, a una velocidad dada, el tamaño

de la máquina sólo se puede reducir aumentando la intensidad y la densidad de flujo. Esta última está limitada por la saturación magnética del hierro en los núcleos del estator y el rotor. Lo que queda es el aumento de la intensidad lineal, que provoca pérdidas mayores en el cobre de los devanados. Éste era el método tradicional para desarrollar máquinas cada vez más pequeñas por medio de materiales capaces de soportar temperaturas más altas y aplicando mejores métodos de refrigeración.

Las máquinas eléctricas están sometidas a varios tipos de tensiones –eléctricas, mecánicas, térmicas y químicas– a menudo combinadas. El aislamiento debe ser capaz de soportar un campo eléctrico intenso, y al diseñar los rotores hay que tener en cuenta las fuerzas centrífugas. Otras tensiones mecánicas son las provocadas por fuerzas electrodinámicas estacionarias y transitorias. A pesar de la alta eficacia, las pérdidas provocan temperaturas elevadas en distintas partes de la máquina. También hay que tener en cuenta las tensiones provocadas por las atmósferas peligrosas, la humedad y el polvo. Así pues, no es de extrañar que el desarrollo de máquinas eléctricas se haya convertido en una actividad multidisciplinar en la que intervienen científicos especializados en electricidad, mecánica y materiales, entre otras disciplinas.

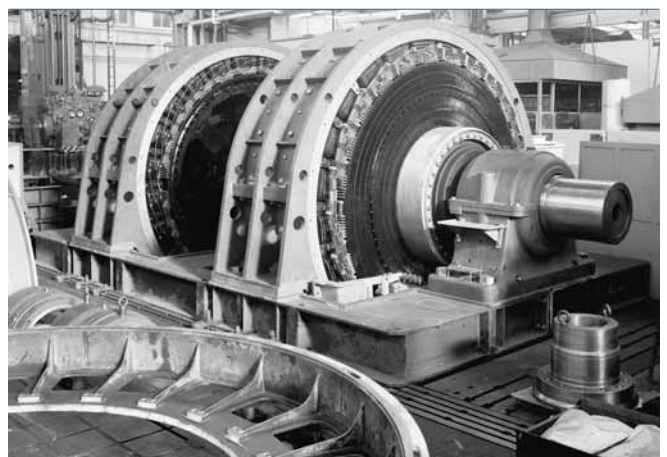
### Desarrollo

El desarrollo durante estos 125 años se ha centrado en la necesidad de los clientes de disponer de máquinas más

**1** La primera dinamo de Wenström, fabricada en 1882



**2** Motor reversible de CC con doble inducido para plantas de laminación. Accionamiento en tándem BBC en servicio desde 1956.



fiables y rentables. Se han diseñado numerosos tipos y variantes de máquinas para satisfacer las necesidades de cada aplicación individual. Muchos motores industriales necesitan un control de velocidad amplio y preciso. Otros trabajan en atmósferas tan peligrosas que tienen que construirse a prueba de explosiones. Los clientes que son fabricantes de equipos originales (OEM), tales como los fabricantes de compresores o de bombas, suelen especificar diseños especiales de motores que no coinciden exactamente con las normas del fabricante de los mismos. La lista de ejemplos es larga.

El desarrollo de máquinas eléctricas ha dependido en gran medida de otros campos tecnológicos. La tecnología de materiales ha sido de la mayor importancia desde sus principios. Otra especialidad más reciente e igualmente importante es la electrónica de potencia y de control. Las herramientas de ingeniería basadas en ordenador y los programas de simulación también han ejercido una influencia considerable.

#### Motores de corriente continua

Los generadores y motores de corriente continua han sido la base del desarrollo inicial de ABB, y fueron también importantes productos del negocio inicial de BBC. Una gran ventaja de este tipo de motor era la facilidad de control de la velocidad, lo que explica por qué ha sobrevivido incluso hasta nuestros días. La velocidad del motor es directamente proporcional a la tensión e inversamente proporcional al flujo magnético, como indica la [Ecuación 2](#).

$$\text{Ecuación 2} \quad n = k \cdot E / \Phi$$

donde:

$n$  = velocidad;  $k$  = constante;  
 $E$  = fuerza electromotriz (tensión inducida); y  $\Phi$  = flujo magnético.

Los motores de corriente continua suelen disponer de control de la tensión hasta una determinada velocidad básica y de control del flujo a partir de dicha velocidad; se obtiene así un par constante a velocidades bajas y una potencia constante a velocidades altas.

Los primeros motores de corriente continua tenían un control manual mediante resistencias, una técnica muy ineficiente.

La introducción del sistema de control de motores Ward Leonard, en el que el motor de corriente continua se alimentaba con la tensión variable procedente de un convertidor giratorio formado por un motor de corriente alterna y un generador de corriente continua, constituyó un gran adelanto. El sistema no sólo proporcionaba un buen control de la velocidad, sino que además generaba electricidad al frenar. El inconveniente era, naturalmente, que necesitaba tres máquinas, por lo que era caro y voluminoso. Tanto ASEA como BBC utilizaron el sistema Leonard desde principios a mediados del siglo XX para aplicaciones como máquinas de papel, líneas de laminación, maquinaria de elevación para minas, grúas y máquinas herramienta. El tamaño de los motores aumentó rápidamente; en 1915, por ejemplo, se entregó un motor de corriente continua con una potencia máxima de 7.000 kW para una línea reversible de laminación de Suecia.

Los motores de corriente continua con convertidores estáticos empezaron a utilizarse en el decenio de 1930, cuando aparecieron los rectificadores de arco de mercurio controlados por rejilla. Así se mejoró la eficacia del sistema en un 4-5% respecto al sistema Leonard, aunque los rectificadores eran caros y se utilizaron sólo para motores relativamente grandes. No obstante, estos dos sistemas de accionamientos eran la última tecnología para aplicaciones exigentes, como la laminación y las máquinas para la industria papelera, hasta que se introdujeron hacia 1960 los convertidores de semiconductores de silicio: primero los rectificadores de diodos y poco después los de tiristores. Los primeros tiristores no tenían potencia suficiente para los sistemas de accionamientos más grandes –sólo llegaban hasta 300 kW–, pero el desarrollo fue rápido, y hacia finales del decenio de 1960 ya se fabricaban motores de 12.000 kW. Los motores de corriente continua se utilizaron también ampliamente para la propulsión de vehículos, como tranvías y trolebuses, carretillas elevadoras y coches eléctricos, además de locomotoras y otros vehículos sobre raíles. Estos motores de tracción solían llevar excitación en serie, hasta que la excitación separada se convirtió en el sistema más común para motores alimentados por convertidores.

Todas las máquinas de corriente continua llevaban polos exteriores, con los devanados del inducido montados en el rotor y conectados al colector. Solían ser abiertos, para facilitar la ventilación, o estar provistos de un ventilador externo si eran cerrados. El anillo del estator y los polos se fabricaron durante mucho tiempo en hierro macizo. Pero la necesidad de un control rápido y la introducción del rectificador de tiristores, que causaban muchos armónicos, llevaron a utilizar acero laminado en el estator. La conmutación ha sido siempre un factor crítico y limitador para las máquinas de corriente continua, incluso cuando mejoró la situación con la utilización de polos de conmutación y devanados de compensación a principios del siglo XX. Los accionamientos reversibles, en plantas de laminado, por ejemplo, exigían un cambio de sentido de giro tan rápido que se hicieron grandes esfuerzos para desarrollar motores de inercia reducida. En muchos casos, fue incluso necesario repartir la potencia entre dos motores conectados mecánicamente, disposición conocida como accionamiento en tándem [2](#).

ASEA entregó a la URSS, a mediados del decenio de 1970, un notable motor de corriente continua para accionar una gran centrifugadora médica para el entrenamiento de los cosmonautas. Este motor, capaz de acelerar la centrifugadora con un par de 1.100 Tm, tenía un eje vertical y es probablemente el mayor motor de corriente continua jamás fabricado. Hasta entonces, los mayores motores para líneas de laminación tenían un par máximo del orden de 400 Tm.

El final de la era de los motores de corriente continua ha sido anunciado una y otra vez a lo largo de varias décadas, pero la tecnología ha conseguido sobrevivir, aunque con una cuota de mercado muy reducida. El motor de corriente continua es fácil de controlar con precisión, y muchos clientes todavía lo prefieren para aplicaciones como grúas y maquinaria de elevación para minas, hormigoneras y máquinas de extrusión, telesillas de esquí y bancos de pruebas, entre otras aplicaciones. Hoy en día, ABB ofrece motores de corriente continua de 1 a 2.000 kW de potencia. La última serie de estos motores, que cubre la gama de 25 a 1.400 kW, se presentó hace pocos años.

## ETERNOS PIONEROS

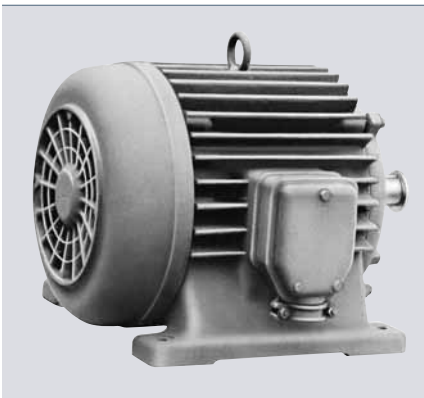
### Motores asíncronos

Los motores asíncronos, a menudo llamados motores de inducción, se pueden dividir en distintos grupos según el tipo de refrigeración, montaje, tensión, etc. Dos categorías básicas comunes son:

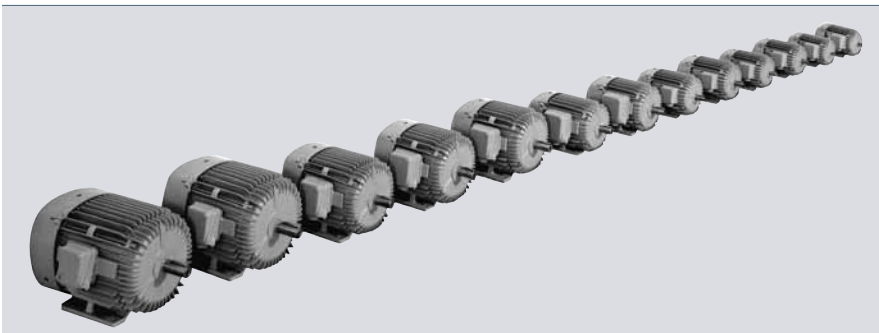
- Motores con rotores en cortocircuito fabricados con devanados llamados de jaula de ardilla.
- Motores con rotores devanados con el bobinado conectado a unos anillos deslizantes.

ASEA, BBC y algunos otros fabricantes ya construían estos dos tipos de motores antes de finales del siglo XIX. Los motores de inducción eran más baratos que otros y muy robustos, y pronto se convirtieron en los motores industriales más comunes. Los fabricantes desarrollaron sus propias series estándar de motores más pequeños, que aparecen en catálogos a principios del siglo XX. La mayor parte de los antiguos motores de inducción estaban ventilados en abierto y tenían un estator de fundición y cojinetes de manguitos. ASEA introdu-

- 3 Motor trifásico de jaula de ardilla con cojinetes de bolas completamente cerrado con refrigeración exterior por ventilador (1934)



- 4 Pequeños motores dimensionados según las recomendaciones de la IEC, desde 0,12 kW hasta 7,5 kW (1961)



jo los cojinetes de bolas para motores pequeños en 1910, y su uso se generalizó en los decenios de 1920 y 1930. La necesidad de motores más seguros en industrias con ambientes polvorientos o peligrosos estimuló el desarrollo de motores cerrados. Estos motores tenían menos potencia que los abiertos, aunque la situación mejoró con la introducción en 1930 de la refrigeración forzada de la superficie mediante un ventilador externo montado en el eje que lanzaba aire al exterior del estator, provisto de aletas de refrigeración axiales 3. El aislamiento de ranura se hizo al principio con tableros de partículas (aglomerado) combinados con tejido de algodón impregnado, pero éste se sustituyó a mediados del decenio de 1920 por materiales menos sensibles a la humedad.

Al mismo tiempo se mejoró el aislamiento de los devanados individuales de cobre. La jaula de ardilla del rotor estaba formada por una serie de barras de cobre encajadas en ranuras circulares y soldadas a anillos de cortocircuito. Durante el decenio de 1920 se introdujeron las barras de cobre rectangulares, que mejoraban mucho las propiedades de arranque. La soldadura blanda de las barras a los anillos de cortocircuito se sustituyó por soldadura dura o directa, sin metal de aporte.

Los motores de anillo deslizante fueron muy utilizados mientras las eléctricas eran demasiado débiles para permitir el arranque directo en línea. Una resistencia externa conectada al devanado del rotor a través de los anillos deslizantes limitaba la intensidad y aumentaba el par. La resistencia se fue reduciendo hasta que se pudieron cortocircuitar los anillos deslizantes. A principios del de-

cenio de 1920, BBC desarrolló un motor de arranque centrífugo que consistía en una resistencia giratoria y un conmutador que cortocircuitaba la resistencia cuando el rotor alcanzaba una velocidad determinada. Esta invención mejoró las propiedades de arranque respecto a los motores de jaula de ardilla, pues facilitaba el uso de motores devanados y de resistencias de arranque al tiempo que eliminaba los anillos deslizantes y otros accesorios externos. Estos motores fueron muy utilizados durante varias décadas.

Los motores de baja tensión y las máquinas más grandes de alta tensión son muy distintos en varios aspectos. La primera categoría está normalizada y gran parte de su desarrollo se ha orientado al proceso. Los volúmenes de producción han sido grandes, y a lo largo de los años tanto ASEA como BBC han construido fábricas de motores en muchos países. En 1935, BBC dio un paso importante en el desarrollo de productos y procesos con los devanados de jaula de ardilla de fundición de aluminio para motores de hasta 3 kW. ASEA lanzó en 1945 su primera serie de motores pequeños con la carcasa del estator y el devanado del rotor de fundición de aluminio. Algunos años más tarde, los sistemas modernos de aislamiento sintético basados en poliuretano y poliéster sustituyeron a los antiguos sistemas.

Los motores de inducción más pequeños se convirtieron cada vez más en productos básicos, y los clientes valoraban la posibilidad de cambiar entre motores de distintos proveedores. Esto favorecía la unificación, que se materializó en la normalización de algunas dimensiones, como la altura del eje y la base, y de otras características (potencia, tensión y velocidad). Esta clase de normas fueron introducidas por la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) en 1959, y algo antes por la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (NEMA) en Estados Unidos 4. Naturalmente, estas normas se han revisado en varias ocasiones, pero no han cambiado en lo esencial. La reducción de costes ha sido siempre un importante objetivo de desarrollo, pero en años recientes se ha dedicado también mucho esfuerzo a mejorar la eficacia y reducir el ruido.

Desde hace mucho tiempo se utilizan métodos para variar la velocidad de los

motores de anillos deslizantes mediante el control del deslizamiento, pero presentan limitaciones considerables. El tipo de más éxito fue el motor “Schrage”, introducido en 1910. Fueron aplicaciones típicas la maquinaria textil y las prensas de imprenta, entre otras <sup>5</sup>. Cuando en el decenio de 1960 aparecieron los tiristores, que permitían la conmutación forzada de los inversores, pudieron desarrollarse accionamientos para motores de inducción de velocidad variable basados en el control de la frecuencia. En 1964, dos ingenieros de BBC presentaron un método para la denominada modulación de amplitud de impulsos (PWM), que más adelante se convirtió en la norma para este tipo de control. Pasaron varios años antes de que esta tecnología estuviera lista para su explotación comercial. BBC comenzó a suministrar estos sistemas de accionamiento durante el decenio de 1970, mientras que ASEA prefería los motores de corriente continua. Sin embargo, la compañía finlandesa Oy Strömberg Ab, adquirida por ASEA un año antes de la fundación de ABB, era también pionera en el control de la frecuencia. Sus conocimientos y recursos permitieron a la unidad finlandesa convertirse en el centro de ABB para estos sistemas de accionamiento. Los inversores creaban armónicos de intensidad y tensión, especialmente en las primeras generaciones, lo que causaba problemas a los motores. Los armónicos de intensidad producían corrientes de Foucault, con las pérdidas y el calentamiento consiguientes, que obligaban a reducir la potencia de los motores. Otros problemas eran los fallos de aislamiento debidos a puntas bruscas de tensión y las cargas capacitivas, que podían dañar los cojinetes de bolas. Los nuevos tipos

de convertidores de frecuencia y unos motores mejorados han eliminado prácticamente estos problemas.

Los motores síncronos de imanes permanentes se han convertido en una alternativa al motor de inducción para determinadas aplicaciones, especialmente unidades de baja velocidad y par elevado. Esto ha sido posible gracias al desarrollo de imanes de tierras raras muy potentes en el decenio de 1980. ABB lanzó una serie de estos motores, destinados primordialmente a la industria de la pasta y el papel. Aunque hay otros tipos de motores, el de inducción seguirá dominando por sus mejores propiedades para accionamientos de frecuencia constante y por su competitividad en el terreno de la velocidad variable.

#### Máquinas síncronas

El desarrollo de máquinas síncronas se ha centrado principalmente en grandes máquinas de alta tensión, como generadores de centrales eléctricas, grandes motores y condensadores síncronos. Los generadores, que cubren la gama desde turbogeneradores de alta velocidad hasta generadores hidroeléctricos de baja velocidad, han encabezado el desarrollo en muchos aspectos. A lo largo del tiempo, ASEA, y especialmente BBC, han fabricado muchas grandes máquinas que han constituido hitos en la evolución internacional de los generadores para centrales eléctricas. A principios del decenio de 1920 se construyeron máquinas de 30 MVA, y en el siguiente se superaron los 100 MVA. Más adelante, ambas compañías fabricarían generadores mucho mayores.

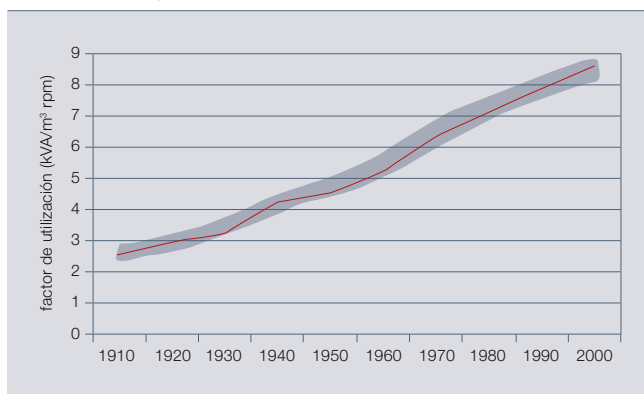
Las viejas máquinas de polos salientes

tenían las carcasas del estator y los cubos y núcleos del rotor, además de los pedestales portantes, de fundición. El acero sustituyó pronto a la fundición en los componentes giratorios, aumentando así la seguridad contra roturas. En el decenio de 1930 se introdujeron los diseños soldados. Así se aumentó la resistencia mecánica y se redujo el peso de los componentes estructurales. Se utilizaron devanados del estator de distintos tipos. Los devanados concéntricos con un lado de bobina por ranura se impusieron para máquinas multipolares hasta finales del decenio de 1930, cuando los devanados de faldón con dos lados de bobina por ranura se hicieron más comunes. Estos devanados se utilizaron durante mucho tiempo para turbogeneradores, pues proporcionaban mejores posibilidades para racionalizar la producción. Los lados de las bobinas solían ser, para grandes máquinas, barras Roebel en las que las pequeñas hebras de cobre se transponen en el interior del lado de la bobina. Este método, utilizado en todo el mundo, fue inventado y patentado en 1912 por el ingeniero de BBC Ludwig Roebel (1878-1934). Las compañías utilizaban originalmente láminas de mica impregnadas en laca para aislar los devanados de alta tensión del estator. Alrededor del decenio de 1930 se utilizó el aislamiento de asfalto y mica, principalmente para máquinas de alta tensión. BBC desarrolló y presentó en 1955, con el nombre comercial MICADUR®, un nuevo sistema de aislamiento basado en resinas sintéticas. ASEA lanzó sistemas parecidos en el decenio de 1960; uno utilizaba el vacío y la impregnación a presión de la cinta de mica y vidrio; el otro utilizaba cinta semicurada y preimpregnada.

<sup>5</sup> Motor trifásico de derivación con conmutadores con ventilación por conductos y reguladores giratorios incorporados (1965)



<sup>6</sup> Factor de utilización de grandes máquinas síncronas de polos salientes refrigeradas por aire



## ETERNOS PIONEROS

La refrigeración es esencial para las máquinas eléctricas. Cuanto mayores son las máquinas, más complejo debe ser el sistema de refrigeración. El desarrollo ha ido desde las máquinas ventiladas en abierto a las máquinas cerradas con refrigeración forzada por ventiladores externos o ventiladores internos movidos por un eje que mueven el aire a través de intercambiadores de calor **6**. Este último sistema es más común en grandes máquinas síncronas. Más adelante, entre los decenios de 1940 y 1970, se desarrollaron sistemas muy eficaces para grandes máquinas, en particular para turbogeneradores y condensadores síncronos, como la refrigeración por hidrógeno y la refrigeración directa por agua.

La corriente de excitación para las máquinas síncronas se entregaba normalmente al devanado del rotor mediante escobillas y anillos deslizantes procedentes de excitadores movidos por el eje o independientes (generadores de corriente continua). En el decenio de 1960, la aparición de los diodos de silicio permitió a ASEA y BBC fabricar un sistema de excitación sin escobillas ni mantenimiento que consistía en un generador trifásico con un devanado giratorio en el inducido y un rectificador giratorio que se podía conectar directamente al devanado del rotor de la máquina principal. Los diodos debían

soportar elevadas fuerzas centrífugas de hasta 5.000 G. Esta clase de excitación es cada vez más frecuente. Las grandes máquinas síncronas se utilizan como generadores movidos por turbinas de vapor y de gas, turbinas hidráulicas, motores diésel y turbinas eólicas. Algunas aplicaciones típicas de motores son el accionamiento de compresores, grandes bombas y ventiladores, refinerías, plantas de laminado, maquinaria de elevación para minas y propulsión naval. Las máquinas síncronas son más eficaces que los motores de inducción; también permiten controlar el factor de potencia, pero son más difíciles de arrancar. ASEA y BBC desarrollaron hace tiempo métodos para el arranque asíncrono de motores síncronos. Funcionaban llevando los motores hasta el régimen de sincronización excitándolos casi hasta la velocidad máxima. Todavía se utilizan estos métodos para grandes máquinas de polos salientes con placas de polo macizas, aunque se trata de un modo de servicio muy exigente.

La variación de potencia, velocidad y otras características es tan amplia que ha sido difícil normalizar las grandes máquinas. Muchas se hacían antes sobre pedido, pero el desarrollo posterior se centró en la modularización y normalización de los componentes. Las máquinas son ahora más eficientes y su poten-

cia específica es mayor, como se ilustra en **6**. Los mayores motores síncronos que ha fabricado ABB hasta ahora son de 55 MW. (La compañía ha fabricado turbogeneradores de hasta 1.500 MVA y generadores de polos salientes de hasta 823 MVA.)

En 1998, ABB lanzó un tipo de generador síncrono radicalmente distinto para muy alta tensión denominado Powerformer® y, dos años más tarde, un motor homólogo, el Motorformer™. El devanado del estator es de cable de alta tensión de polietileno entrecruzado (XLPE), que permite tensiones del orden de 50 a 200 kV, sustancialmente mayores que las máquinas convencionales **7**. Esto permite conectar directamente la máquina a una línea de transporte y a un transformador de aumento o disminución de tensión, y eliminar así la necesidad de barras de distribución y parte de la aparamenta. Antes de esto, la máxima tensión alcanzada por un generador hidroeléctrico era de 155 kV. Entre las máquinas anteriores con tensiones inusualmente altas cabe mencionar un generador de 20 kV entregado por Asea en 1906 y una máquina de 36 kV diseñada por BBC en 1930.

En las últimas décadas se han hecho intentos esporádicos de desarrollo de máquinas síncronas con devanados de excitación superconductores. Los superconductores a alta temperatura, refrigerados por hidrógeno líquido, han renovado recientemente el interés por esas máquinas, y quizá sean el próximo paso importante en el desarrollo de máquinas eléctricas. Pero todavía están lejos de su explotación comercial, y continúa el desarrollo de máquinas síncronas de tipo tradicional más eficientes.

### Sture Eriksson

Antiguo integrante de Generación de ABB en Västerås, Suecia, y del Real Instituto de Tecnología, Estocolmo  
sture.ja.eriksson@telia.com

### Lectura recomendada

Eriksson, S. (2007). *Electrical machine development: A study of four different machine types from a Swedish perspective*. Royal Institute of Technology, Estocolmo

**7** Motor de alta tensión con devanado de cable en la plataforma Troll en el Mar del Norte.

