
ARTÍCULO ESPECIALIZADO

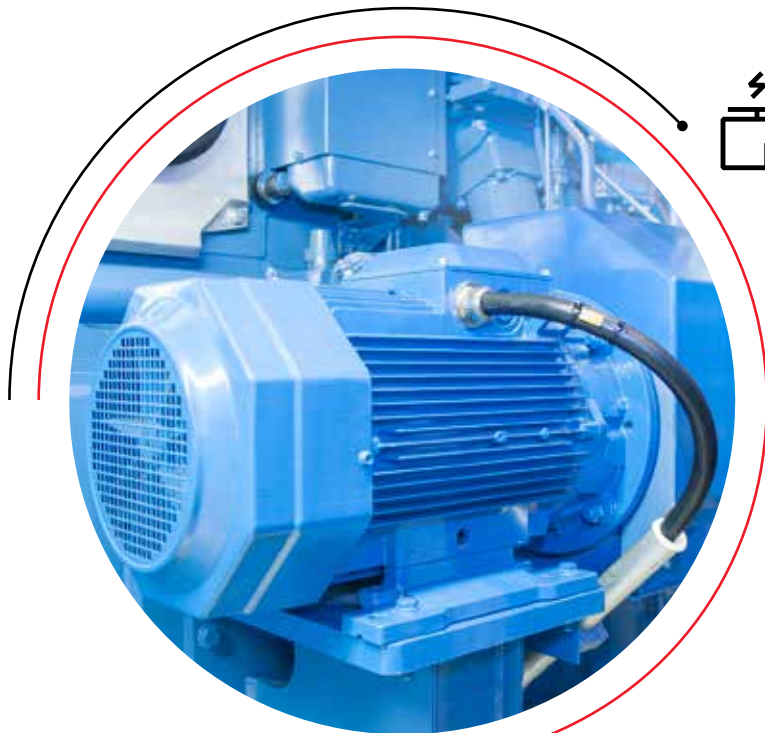
Alcizando el Acuerdo de París

El importante papel de los motores y convertidores de alta eficiencia en reducción del consumo energético

El importante papel de los motores y convertidores de alta eficiencia en la reducción del consumo energético

Si en 2019 el planeta tenía una población de 7.700 millones de personas, se estima que para el año 2050 esa cifra alcance los 9.700 millones.¹ También es de esperar que la economía mundial se duplique con creces en ese mismo periodo.² La urbanización, la automatización y el aumento de los niveles de vida van a incrementar la demanda de energía en todo el mundo. Actualmente, más de la mitad de la población mundial vive en ciudades y municipios urbanos, y Naciones Unidas prevé que la población urbana del planeta aumente y represente en torno al 68 por ciento para 2050.³ De mantenerse esta tendencia, la magnitud de la expansión acelerará el cambio climático y reducirá la calidad del aire y del agua, elementos indispensables para todos los organismos vivos. Si queremos proteger el medio ambiente sin frenar el crecimiento económico, tenemos que reforzar nuestro compromiso con la reducción del consumo de energía y recursos naturales.

En consonancia con las tendencias internacionales, es de prever un aumento notable de la demanda de mecanismos eléctricos, por ejemplo, sistemas de accionamiento que funcionan con motores eléctricos. Según la AIE, la industria es responsable del 37 % del consumo mundial de energía y del 24 % de las emisiones mundiales de CO₂,⁴ mientras que los edificios representan el 30 % del consumo energético y el 28 % de las emisiones de CO₂.⁵ Gran parte de esta actividad tiene que ver con motores eléctricos. Se estima que los sistemas de motores eléctricos gastan aproximadamente el 70 % de la electricidad total que consume la industria.⁶ En el caso de edificios comerciales, los motores representan el 38 % del consumo de energía eléctrica.⁷



38 %

del consumo de energía eléctrica corresponde a motores en edificios comerciales.



70 %

de la electricidad que consume la industria se usa en sistemas de motores eléctricos.

Los motores eléctricos llevan entre nosotros 150 años y han ido mejorando paulatinamente a lo largo del tiempo. Sin embargo, ha sido en la última década cuando han experimentado un gran avance tecnológico. La última ola de mejoras ha abierto las puertas a la posibilidad de lograr una reducción notable de la huella de carbono de los motores eléctricos industriales y comerciales en un futuro inmediato. Actualmente, el mercado presenta una variedad cada vez mayor de motores eléctricos muy eficientes desde el punto de vista energético (nivel IE3 o superior) y convertidores de frecuencia (también denominados “variadores de frecuencia” o “convertidores de CA”) que pueden usarse para controlar el funcionamiento de esos motores.

Estas tecnologías pueden ser la clave para que muchos países firmantes del Acuerdo de París logren cumplir sus objetivos de reducción de carbono en los próximos diez años. Su impacto puede ser enorme.

Sin embargo, para materializar todas las ventajas que ofrecen los motores y convertidores de eficiencia energética, los distintos entes sociales desempeñan un papel fundamental:

- A nivel público, los responsables de tomar decisiones y organismos reguladores gubernamentales necesitan incentivar una adopción rápida.

- Empresas, ciudades y países tienen que ser conscientes tanto del ahorro de costes como de las ventajas medioambientales, y mostrarse dispuestos a invertir.
- Fabricantes como ABB tendrán que proporcionar las tecnologías necesarias y seguir impulsando innovaciones que mejoren la eficiencia energética.
- Los inversores tienen que redistribuir el capital y asignarlo a las compañías mejor preparadas para abordar el riesgo climático.
- Se precisarán programas públicos de formación que expliquen y promuevan el valor de estas mejoras.

Ya se han dado pasos para fomentar el uso de vehículos eléctricos y fuentes de energía renovables. Ahora, es momento de hacer lo mismo para lograr una tecnología sostenible que prometa brindar beneficios incluso mayores para el entorno y la economía mundial.



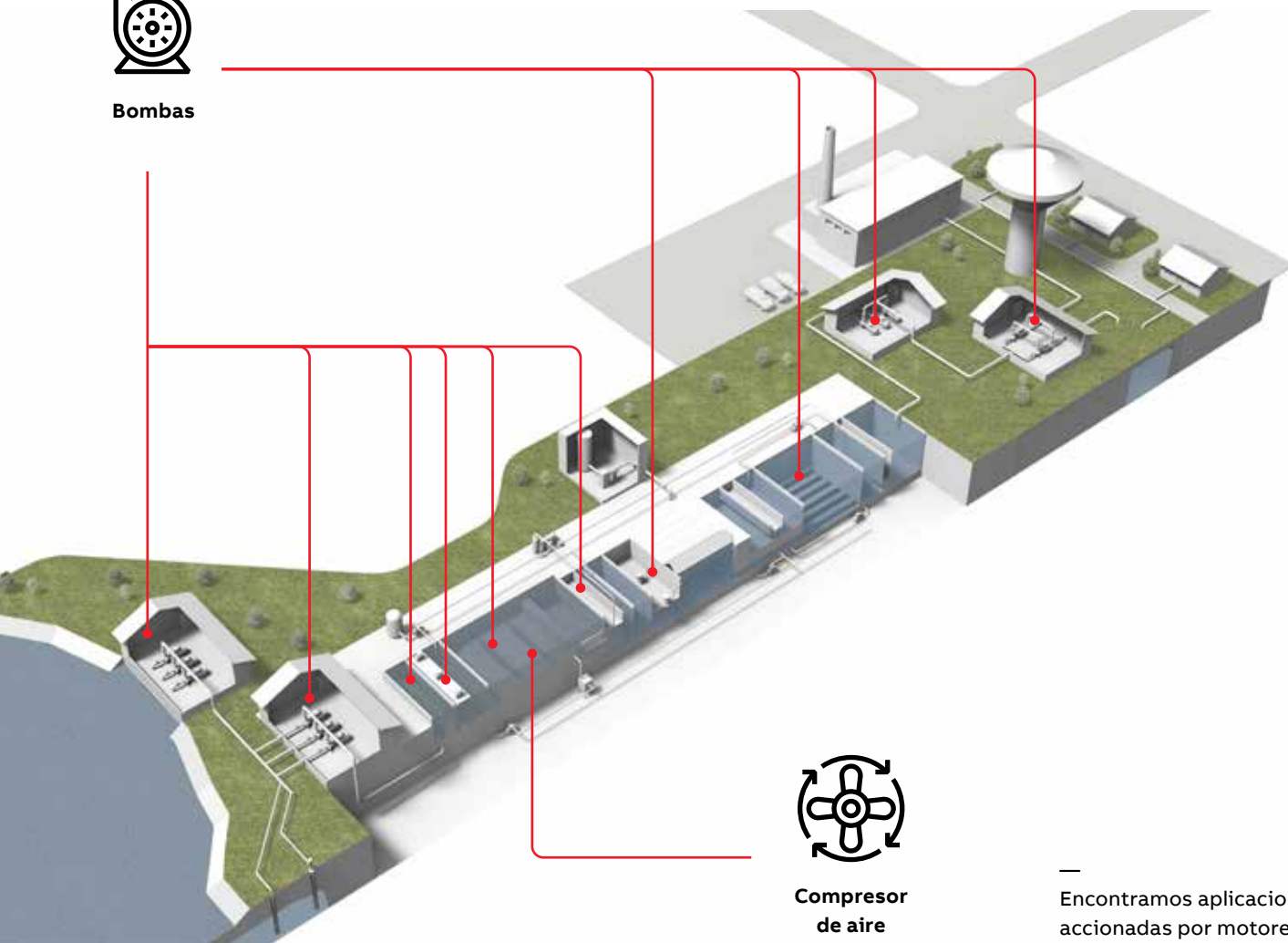
El papel fundamental de los motores eléctricos

Combinados con convertidores de frecuencia, los actuales motores de alta eficiencia energética se han concebido para ser flexibles y fiables. Pero sobre todo, son increíblemente eficientes, lo que se traduce en unas reducciones significativas del consumo de energía en comparación con sistemas anteriores. Es imposible exagerar la importancia que tienen para contribuir a crear una sociedad más sostenible. Dado que el 45 % de la electricidad mundial se utiliza para alimentar motores eléctricos en edificios y aplicaciones industriales, los beneficios obtenidos en cuanto a eficiencia y sostenibilidad superarán con creces toda inversión que se haga para mejorar y actualizar los equipos empleados en esos sistemas.⁸

Aunque no suelen estar muy a la vista, los motores eléctricos son omnipresentes, constituyen una parte esencial de la industria internacional y de nuestras vidas diarias.



Bombas



Compresor de aire

Encontramos aplicaciones accionadas por motores en cada etapa del tratamiento de agua.

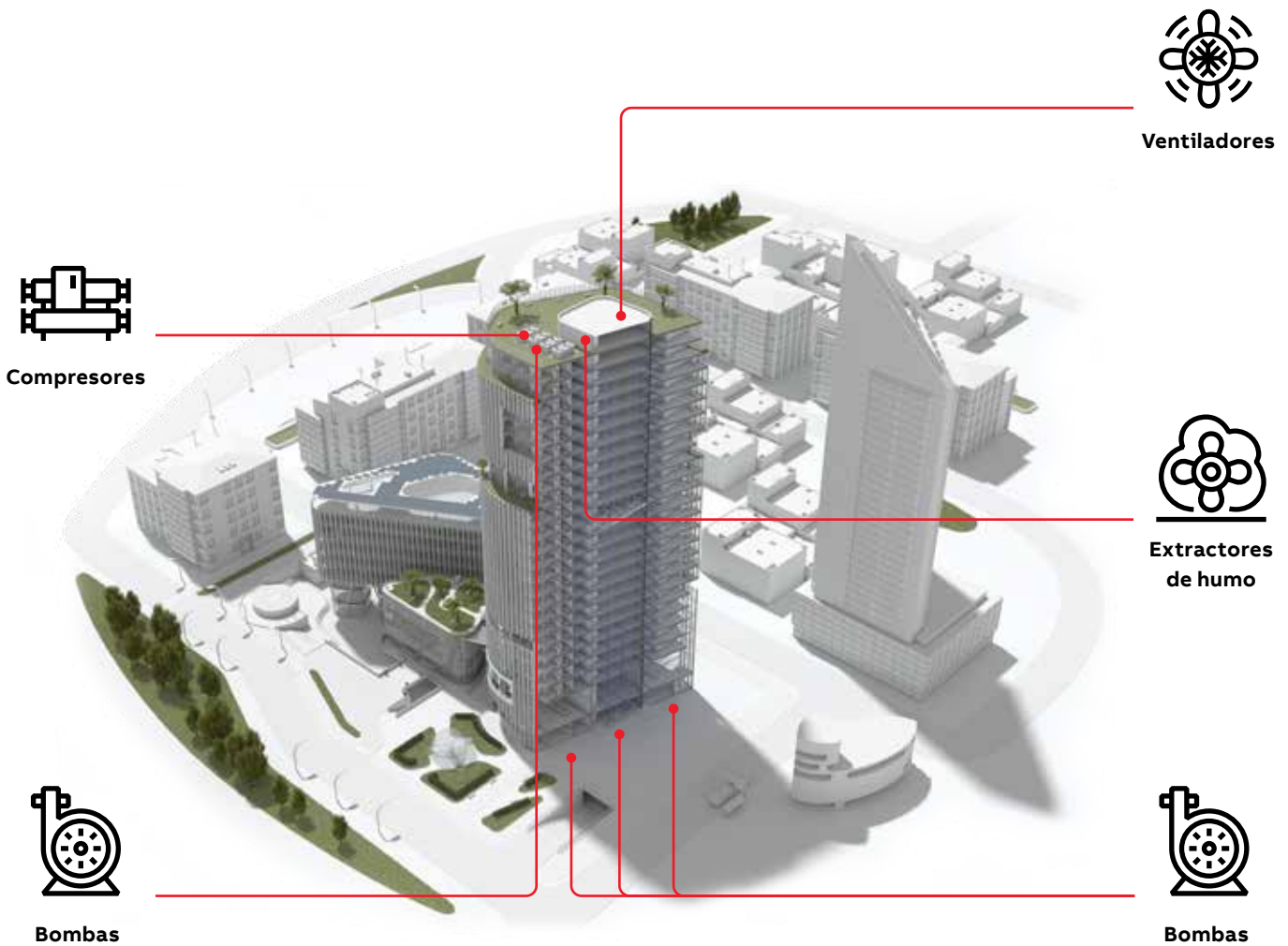
Hay motores pequeños en los compresores empleados en aparatos de aire acondicionado y frigoríficos, ventanillas de automóviles, impresoras, ventiladores de refrigeración de aparatos electrónicos y una larga lista de otros dispositivos comunes. Encontramos motores de tamaño medio en sistemas de climatización (HVAC), así como en ascensores, transporte de tránsito rápido y automóviles eléctricos e híbridos. Se usan mucho en la industria, para bombas, cintas transportadoras, ventiladores y sistemas mecánicos de todo tipo. Los motores eléctricos de mayor tamaño suelen estar en ferrocarriles, tranvías, sistemas de propulsión naval y equipos pesados, como los empleados en fábricas de papel y minería.

Aunque los motores grandes, con más de 375 kW de potencia, solo representan un 0,03 % de todos los motores en servicio, consumen alrededor del 23 % de toda la electricidad empleada por los motores del mundo, es decir, el 10,4 % del consumo total de energía eléctrica. Por su parte, los motores más pequeños, con una potencia inferior a 0,75 kW, solo representan en torno al 9 % del consumo energético de los motores eléctricos.⁹

La mayor parte de la energía eléctrica que consumen los motores se destina a motores medianos. Muchos de ellos tienen un tamaño mayor al realmente necesario para las aplicaciones en cuestión y suelen funcionar a toda velocidad, incluso cuando no se necesita esa potencia extra.

Aproximadamente el 75 % de los motores industriales en servicio se usan para el funcionamiento de bombas, ventiladores y compresores, un tipo de mecanismo con mucho margen de mejora en materia de eficiencia.¹⁰

Es difícil recalcar lo suficiente cuánto se podría reducir el consumo energético y las huellas de carbono.



Encontramos aplicaciones accionadas por motores en todo tipo de edificios para proporcionar calefacción, ventilación y aire acondicionado.

Los motores, al frente del esfuerzo internacional por mejorar la eficiencia y reducir las emisiones

En la ingeniería industrial, la tendencia viene siendo emplear un número mayor de motores más pequeños, optimizados para tareas concretas. Ajustar la salida de un motor a la máxima potencia que se necesita para realizar una función ya es de por sí un gran paso a la hora de mejorar la eficiencia energética. Se podría argumentar que esta eficiencia se consigue a costa de una mayor complejidad. Pero en los últimos sistemas, esta complejidad se aborda con la instalación de sensores inteligentes y sistemas de monitorización conectados a internet que pueden avisar a los operarios cuando hay indicios de que se debe reparar o sustituir un motor.

Al mismo tiempo, los actuales diseños de motores son más eficientes que antes. La eficiencia de un motor es igual a su potencia de salida mecánica dividida por su potencia de entrada eléctrica. El tipo más común de motor eléctrico utilizado es el motor de inducción de corriente alterna (CA), que se basa en los diseños creados en el siglo XIX por Galileo Ferraris, Nikola Tesla y Mikhail Dolivo-Dobrovolsky. Estos motores han ido mejorando con el paso de los años gracias a cambios en los materiales y los diseños del estátor y rotor.

Cabe señalar que incluso un motor de inducción al uso es muy eficiente en comparación con cualquier motor de combustión interna. La eficiencia térmica del motor que acciona un turismo corriente no suele superar el 35 %.¹¹ Prácticamente cualquier motor eléctrico con una potencia similar logra una eficiencia superior al 90 %.

Los actuales motores de inducción pueden presentar niveles de eficiencia muy altos. La eficiencia de un motor se clasifica según una escala publicada por la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC). Los motores clasificados IE1 o IE2 son poco eficientes en términos comparativos. Un motor de inducción de CA y 200 kW clasificado con el nivel IE3 ofrece una eficiencia aproximada del 96 %. Algunos de los motores más avanzados se clasifican con el nivel IE4, que especifica una pérdida de energía un 15 % menor a los motores IE3. Más recientemente se ha presentado el motor IE5 de eficiencia Ultra Premium, que representa el máximo nivel de eficiencia que se pueda pedir a un diseño actual.

Las normas de Eficiencia Internacional (IE) establecen la eficiencia energética de motores de CA de baja tensión. Estos códigos IE sirven de referencia para que los gobiernos especifiquen los niveles de eficiencia para sus requisitos mínimos de rendimiento energético (MEPS).

1

—
IE1
Eficiencia
estándar

2

—
IE2
Alta
eficiencia

3

—
IE3
Eficiencia
Premium

4

—
IE4
Eficiencia Super
Premium

5

—
IE5*
Eficiencia Ultra
Premium

Cinco niveles de eficiencia de motores

*La norma aún no ha especificado la categoría IE5, pero algunos fabricantes ya han desarrollado motores que entrarán en esta clase.



Hoy en día sigue habiendo demasiados motores en servicio que no alcanzan estos niveles o se basan en diseños IE1 o IE2 más antiguos. Y existe otro problema: muchos de estos motores son bastante más grandes de lo que realmente necesitan ser para realizar sus funciones. Suelen usar mucha más energía de la necesaria, lo que supone un desperdicio energético. Es posible mejorar considerablemente la eficiencia con tan solo instalar motores que tengan el tamaño correcto para la aplicación en cuestión.

Además de los motores de inducción, algunos diseños de motores de alta eficiencia más recientes se están consolidando como alternativas prácticas. Entre otros encontramos el motor síncrono de reluctancia, que combina el rendimiento de un motor de imanes permanentes con la simplicidad y la facilidad de servicio de un motor de inducción. A diferencia de los motores de imanes permanentes, los motores síncronos de reluctancia no precisan del uso de componentes de tierras raras. Sin embargo, con un diseño de rotor sencillo pero fuerte, logran un par de reluctancia maximizado.

Hoy en día, estos innovadores motores son prácticos y muy eficientes, capaces incluso de cumplir el objetivo IE5 propuesto, que se perfiló por primera vez en 2016.¹² Se estima que si se sustituyera el 80 % de los motores industriales actualmente instalados por motores IE5 de eficiencia Ultra Premium, se conseguiría un ahorro energético anual de 160 teravatios/hora, el

equivalente a más del consumo de energía anual en Polonia.^{13 y 14}

El mundo busca aumentar la eficiencia energética en general y han surgido aplicaciones nuevas que priorizan el uso de diseños de motores eficientes.

Es el caso de cualquier aplicación basada en baterías para alimentar un motor. Un automóvil que funciona con batería, por ejemplo, no se puede permitir el lujo de malgastar energía procedente de la red y tiene que estar cuidadosamente diseñado para minimizar el consumo y, al mismo tiempo, maximizar la autonomía y la potencia. Esta necesidad está generando un flujo constante de nuevos avances tecnológicos, a la par que se registra un crecimiento internacional de las ventas de vehículos eléctricos, tendencia que se espera que continúe.

Las innovaciones en tecnologías de tracción, sistemas de almacenamiento de energía y soluciones de transmisión eléctrica están facilitando un abanico cada vez mayor de opciones de transporte sin emisiones en los ámbitos de ferrocarriles, autobuses, vehículos pesados y embarcaciones marítimas. Los transbordadores híbridos y embarcaciones sin emisiones empiezan a estar presentes en las vías navegables comerciales del planeta. Las innovaciones en el diseño de motores desempeñan un importante papel cuando se trata de incentivar la rápida aceptación de estas formas de movilidad eléctrica.

El papel subestimado de los convertidores de frecuencia

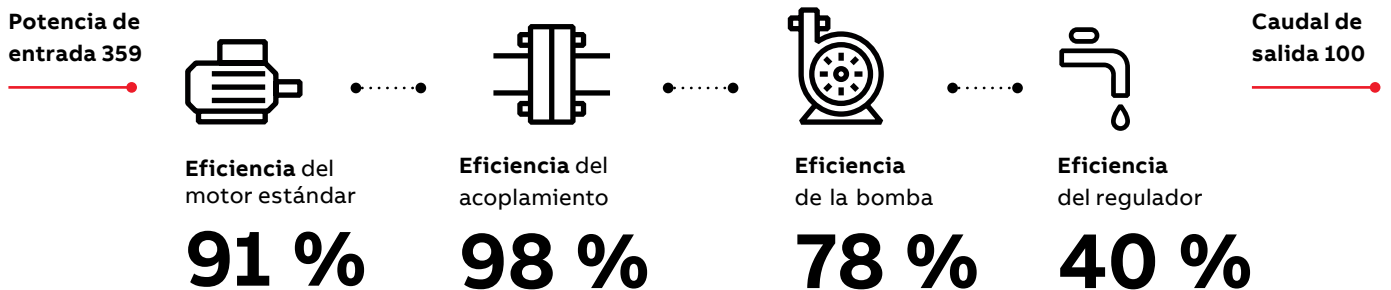
Si la mejora de un motor ya aporta importantes ganancias en términos de eficiencia, es posible lograr un ahorro de energía incluso mayor usando un motor de alta eficiencia energética junto con un convertidor de frecuencia.

Un convertidor de frecuencia sirve para controlar un motor eléctrico de tal forma que optimice su funcionamiento. Y lo logra ajustando la velocidad y el par del motor mientras funciona para adaptarlo a los requisitos de carga del sistema. Con el convertidor correcto, un motor eléctrico funcionará a la velocidad que precise la carga base, lo que genera importantes ahorros de energía.

Los convertidores varían la frecuencia y la tensión de la energía que recibe un motor de CA para controlar su velocidad. Los primeros convertidores, desarrollados a principios del siglo XX, se basaban en diseños mecánicos.

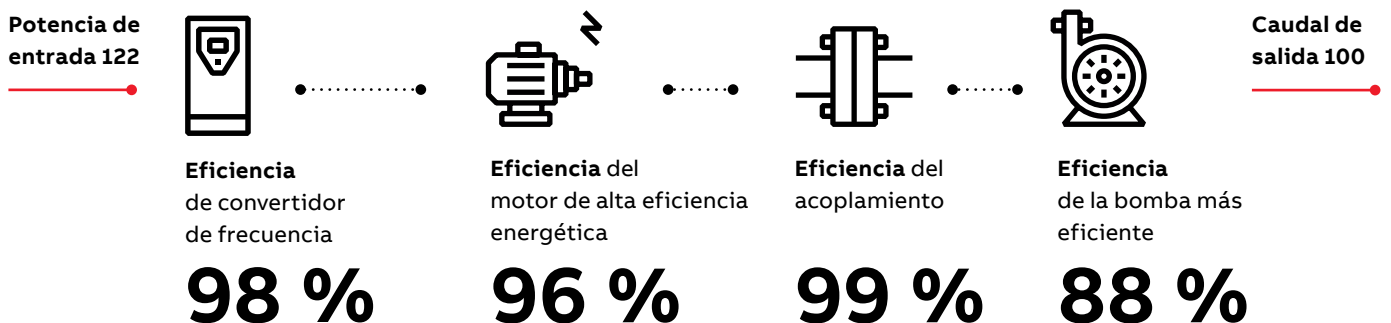
Sistema de bombeo convencional

Eficiencia del sistema = 28 %



Sistema de bombeo de alta eficiencia energética

Eficiencia de sistema = 82 %



Con los avances que ha experimentado la electrónica de estado sólido en las últimas décadas, los convertidores se han perfeccionado mucho y ahora son más asequibles. A pesar de estos avances, por el momento su adopción en la práctica va a ritmo moderado. Actualmente, se estima que el 23 % de los motores industriales del mundo cuentan con un convertidor de frecuencia.¹⁵ La previsión es que esa cifra suba al 26 % en los próximos cinco años, pero se podrían lograr muchos más ahorros si el ritmo de adopción aumentara. Los expertos industriales han sugerido que aproximadamente el 50 % de los motores industriales se beneficiarían si se les asignara un convertidor.¹⁶

Si no están controlados por un convertidor, muchos motores funcionan a toda velocidad, incluso cuando los requisitos de carga son mínimos. Por ejemplo, para controlar la potencia mecánica que genera el motor en aplicaciones de bombeo, se emplea una técnica de regulación similar al efecto que tiene usar los frenos en un coche sin soltar el acelerador. Esto supone un enorme desperdicio de energía.

—
Al integrarlo en el motor de una bomba, ventilador o compresor, normalmente un convertidor de frecuencia puede reducir el consumo de energía en un 25 %.¹⁷

Impacto de la digitalización y la conectividad

La digitalización y la conectividad presentan otro avance tecnológico que promete mejorar la eficiencia de los motores eléctricos del mundo: el “internet industrial de las cosas”. Al adaptar a los motores existentes sensores conectados de manera inalámbrica, es posible monitorizar su rendimiento de forma remota y transparente. En una instalación industrial compleja o un sistema de climatización de un gran edificio, los datos obtenidos pueden servir para optimizar los procesos y lograr beneficios considerables en términos de eficiencia y ahorro energético.

Cuando se usan convertidores de frecuencia para controlar los motores monitorizados, estos pasan a ser auténticos motores inteligentes ya que es posible controlarlos a distancia o incluso de forma automática, con lo que se consigue mejorar el rendimiento, la eficiencia del sistema y el ahorro energético. Se pueden analizar los datos aportados por los sensores junto con otros datos de control y, a continuación, usarlos en un sistema de control central como base para definir ajustes en tiempo real para toda la instalación.

Posibles ventajas y el camino a seguir

Se ha estimado que si los más de 300 millones de sistemas industriales que actualmente funcionan con un motor eléctrico fueran sustituidos por equipos optimizados de alta eficiencia, el consumo mundial de electricidad podría descender un 10 %.¹⁸

Por lo tanto, las ganancias potenciales asociadas a la modernización son enormes.¹⁹ Sin embargo, aún hay que superar dificultades prácticas para poder materializar dichas ganancias.

Las políticas reguladoras son uno de los principales factores que empujan a la industria a invertir en eficiencia energética en todo el planeta. Esto queda claramente reflejado en los reglamentos implantados por grandes productores industriales, como China, Europa, India y Estados Unidos. Unos reglamentos e incentivos bien definidos pueden tener un papel fundamental a la hora de fomentar la adopción de tecnologías de motores de alta eficiencia.

Otro aspecto importante a tener en cuenta son los plazos de amortización, ya que las inversiones en eficiencia energética deben competir con la rentabilidad potencial que generan otras inversiones.²⁰ Invertir en motores y convertidores suele ser una propuesta interesante ya que son fáciles de instalar; en general, se pueden instalar sin tener que realizar ninguna otra modificación en el sistema industrial ya *in situ*. Sin embargo, el calendario de amortización depende mucho de los precios de la energía. Cuando los precios de la energía son más elevados, se suele registrar un aumento de inversiones en equipos más eficientes. Actualmente, los incentivos económicos juegan en contra de una rápida adopción.

Aun así, la realidad sigue siendo que la instalación de más convertidores y los últimos diseños de motores eléctricos brinda una gran oportunidad a un mundo que aspira a lograr una mayor eficiencia energética. Es probable que las ganancias que se puede conseguir mejorando la eficiencia energética en general lleguen a representar más del 40 % de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero que se han de alcanzar para cumplir los objetivos climáticos establecidos por el Acuerdo de París para 2040.²¹



Proyectos recientes de éxito y su impacto

Son muchos los ejemplos de cómo los motores de alta eficiencia ya están generando beneficios económicos y medioambientales en todo el planeta. A continuación citamos algunos de ellos.

Asia

En 2018, el programa nacional de sustitución de motores (NMRP) de India realizó estudios piloto de 36 motores en las ciudades de Ahmedabad, Surat, Jamnagar y Mumbai. Al proceder a sustituir motores de eficiencia estándar por motores IE3 de eficiencia Premium en compresores, bombas, ventiladores y soplantes en las industrias de latón, textiles, productos químicos y automóviles, se registraron ahorros de energía en todas las instalaciones piloto. El NMRP empezó a analizar el impacto potencial que supondría mejorar la eficiencia de 5.000 motores de eficiencia estándar en grandes empresas y PYMEs de todo el país. La conclusión fue que, con esta medida, se lograría un ahorro energético anual de 9.150 MWh, lo que supondría un ahorro anual de costes de 902.112 \$ y una reducción de emisiones de CO₂ de 8.050 toneladas al año. El NRMP estima que si se abarcara todo el mercado del país, se lograría un ahorro energético de unos 22 millones de MWh y una reducción de emisiones de 18,3 millones de toneladas de CO₂ al año.²²

Europa

En la refinería de azúcar Nordzucker AG, en la localidad alemana de Uelzen, se están empleando convertidores

industriales regenerativos de ABB para que las centrifugadoras de azúcar de la planta funcionen a un nivel de eficiencia sin precedentes. Las centrifugadoras desempeñan un papel clave en el proceso de elaboración de azúcar ya que separan el azúcar cristalina de la melaza. Los motores con los que funcionan las centrifugadoras deben acelerar una carga a la máxima velocidad durante 15-20 segundos antes de ralentizar la centrifugadora lo más rápido posible. Gracias a los convertidores, pueden hacerlo sin sobrecalentarse. Es más, gracias a su capacidad regenerativa, es posible aprovechar la energía de frenado de los motores para alimentar la red. En comparación con otros métodos de frenado, estos convertidores ahorran bastante más energía.²³

América

El Enercare Centre, en el distrito Exhibition Place de Toronto, tiene un área de más de 92.000 metros cuadrados, lo que lo convierte en el noveno palacio de congresos más grande de Norteamérica. Además, tiene el certificado LEED Platino y da prioridad a actividades ecoeficientes. Sin embargo, debido a su tamaño, su sistema de climatización consume más de 380.000 kWh al año para alimentar las bombas que hacen circular el agua por los equipos de calefacción y refrigeración distribuidos por las instalaciones. En 2018, equipó 11 bombas grandes con convertidores HVAC modernos. El proyecto tuvo resultados inmediatos ya que redujo en hasta un 38 % el consumo de energía de las bombas.²⁴



Impacto mundial

de los motores y convertidores de alta eficiencia de ABB

Al ser uno de los principales proveedores de convertidores y motores de baja y media tensión, ABB evalúa con frecuencia el impacto neto que tienen en la eficiencia energética mundial los equipos que ha producido. A lo largo de 2020, la base instalada de ABB de convertidores y motores de alta eficiencia consiguió un ahorro de electricidad de 198 teravatios/hora (más de tres veces el consumo anual total de Suiza).²⁵ Se estima que, para 2023, la ampliación de la base instalada de motores y convertidores de ABB permita a los clientes ahorrar otros 78 teravatios/hora de electricidad al año, algo más que el consumo anual total de Chile.

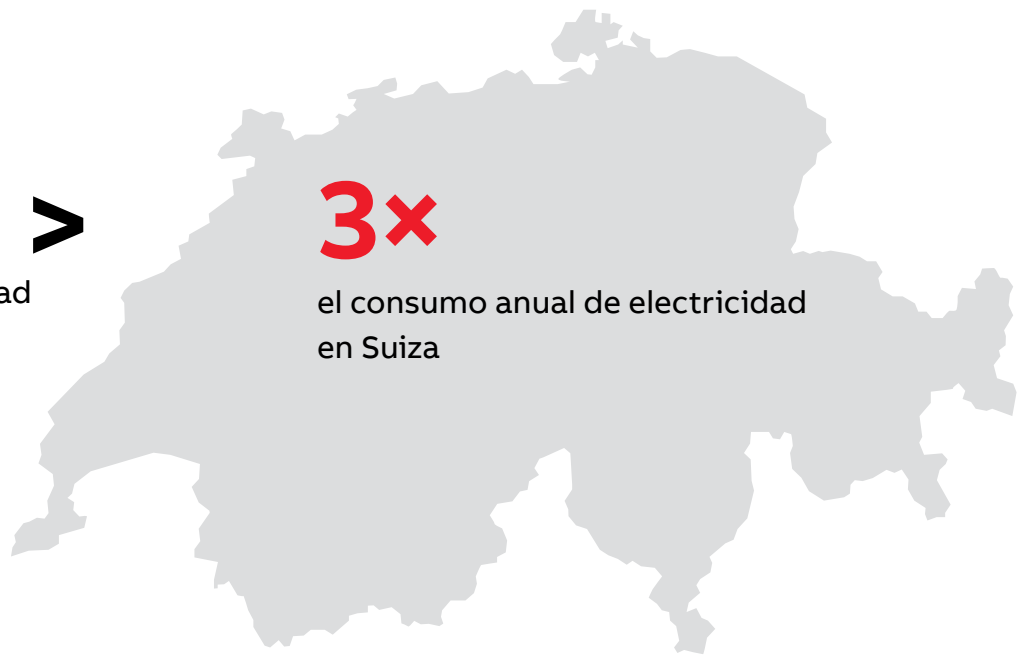
Como grupo, ABB tiene el firme compromiso de ayudar a los clientes a reducir sus emisiones anuales de CO₂ en otros 100 megatonnes, de 2021 a 2030.²⁶ Aparte de motores y convertidores, la compañía está aprovechando la conectividad digital y la inteligencia artificial para mejorar la eficiencia y el rendimiento de una amplia gama de tecnologías, como máquinas y robots, así como centros de producción, embarcaciones y minas. Estas soluciones conectadas también alargan la vida útil de los equipos, lo que a su vez ayuda a conservar los recursos. Por otro lado, ABB quiere predicar con el ejemplo y trabaja por alcanzar la neutralidad de carbono en sus actividades. Para ello, va a continuar con su transición a fuentes de energía renovables, a fin de mejorar la eficiencia energética en todas sus fábricas e instalaciones, y convertir su flota de vehículos en medios de transporte eléctricos u otras alternativas que no generen emisiones.

198 TWh
de ahorro de electricidad



3x

el consumo anual de electricidad
en Suiza



Conclusión

Ya está aquí la tecnología que el mundo tanto necesita para mejorar radicalmente la eficiencia energética. En gran medida, como en el caso de convertidores y motores de alta eficiencia, ya está bastante consolidada y su eficacia ha quedado probada. Acelerar la adopción en industria, núcleos urbanos y transporte de la tecnología existente podría dar lugar a importantes ahorros de energía en todo el mundo. Aunque solo sea por esta razón, los convertidores y motores de alta eficiencia deberían generar más interés en la comunidad inversora, donde la sostenibilidad está ganando peso como criterio de inversión.

Al promover su adopción mediante incentivos fiscales, inversión pública y mecanismos reguladores de sistemas, los gobiernos pueden estimular la investigación e inversión privadas y ayudar al mundo a cumplir los objetivos climáticos establecidos en el Acuerdo de París.

Una mayor eficiencia energética brinda beneficios que van mucho más allá de la lucha contra el cambio climático. En términos generales, ayudan a conservar el medio ambiente, a tener aire y agua más limpios, una mejor salud pública, más independencia energética, y un desarrollo y crecimiento económicos más sólidos. Desde el inicio de la era industrial, las mejoras de la eficiencia productiva siempre han conducido directamente a periodos de expansión económica. Con los últimos avances tecnológicos, se abre una era donde la mejora de la eficiencia trae consigo tanto crecimiento económico como protección medioambiental. Acelerar la adopción de estas soluciones es una cuestión de sentido común.

Si bien es cierto que tenemos por delante algunas dificultades importantes, no son insalvables. Con la debida inversión y una buena legislación, en las próximas décadas debería ser posible avanzar con paso firme hacia los objetivos climáticos del Acuerdo de París, y los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU. Visto el aumento de los impactos medioambientales y económicos generados por las tecnologías obsoletas, resulta evidente lo mucho que podemos ganar adoptando nuevas y mejores formas de fabricar bienes, y de controlar nuestros edificios y redes de transporte. Cuanto antes lo hagamos, más nos beneficiaremos todos.

- (1) Naciones Unidas, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, División de Población, *World Population Prospects 2019: Highlights*, https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf.
- (2) Guillemette, Y. y D. Turner (2018), *The Long View: Scenarios for the World Economy to 2060*, OECD Economic Policy Papers, N° 22, OECD Publishing, París, <https://doi.org/10.1787/b4f4e03e-en>.
- (3) Naciones Unidas, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, *World Urbanization Prospects 2018: Highlights*, <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Highlights.pdf>.
- (4) AIE, *Tracking industry 2020*, <https://www.iea.org/reports/tracking-industry-2020>
- (5) Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Alianza Global para los Edificios y la Construcción, *Why buildings?*, 2019 (datos de la AIE para 2018), <http://globalabc.org/media-global-advocacy/why-buildings-our-key-messages>.
- (6) Fong, J.; F. Ferreira; A.M. Silva; y A.T. De Almeida, *IEC61800-9 System Standards as a Tool to Boost the Efficiency of Electric Motor Driven Systems Worldwide*, *Inventions*, 2020, 5, 20, <https://www.mdpi.com/2411-5134/5/2/20/htm>.
- (7) Waide, P. y C. U. Brunner, *Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems*, documento de trabajo de la Agencia Internacional de la Energía, París, 2011.
- (8) *Ibid.*, p. 35.
- (9) Stoffel, B., *The role of pumps for energy consumption and energy saving*, 2015, <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/electric-energy-consumption>.
- (10) Omdia, *Motor-driven Equipment Research Package*, 2020
- (11) Christian Bach, Record efficiency for a gas engine, *Phys.org*, <https://phys.org/news/2019-06-efficiency-gas.html>.
- (12) IEC TS 60034-30-2:2016, *Rotating electrical machines - Part 30-2: Efficiency classes of variable speed AC motors*, Comisión Electrotécnica Internacional, Ginebra, 2016, https://webstore.iec.ch/preview/info_iec60034-30-2%7Bed1.0%7Den.pdf.
- (13) Suponiendo que actualmente hay 300 millones de motores industriales en servicio en todo el mundo. De 2016 a 2020, las ventas mundiales alcanzaron aproximadamente los 200 millones de motores. Omdia, *Low Voltage Motors Intelligence Service*, 2020.
- (14) Administración de Información Energética de Estados Unidos, datos internacionales: electricidad, 2019, Polonia, <https://www.eia.gov/international/data/world/electricity/electricity-consumption>.
- (15) Omdia, *Low Voltage Motors Intelligence Service*, 2020.
- (16) AIE, *Energy efficiency roadmap for electric motors and motor systems*, 2015, p. 12.
- (17) Para ver un ejemplo de los cálculos abarcados, consultar *Program Insights: Variable frequency drives*, Consorcio para la Eficiencia Energética, 2019, <https://www.cee1.org/content/variable-frequency-drives>.
- (18) Waide, P. y C. U. Brunner, op. cit., pp. 13, 17, 118. De no añadirse otros reglamentos o incentivos, y teniendo en cuenta los índices habituales de sustitución de equipos, se estima que la transición a equipos de alta eficiencia dure de 10 a 20 años.
- (19) United4Efficiency, *Accelerating the Global Adoption of energy-efficient electric motors and motor systems*, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, <https://united4efficiency.org/wp-content/uploads/2017/11/Motors-Policy-Brief.pdf>.
- (20) *Energy Efficiency 2020*, Agencia Internacional de la Energía, París, 2020, <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2020>.
- (21) *Ibid.*
- (22) *National Motor Replacement Program Vision Document*, Energy Efficiency Services Limited, 2019, https://copperindia.org/wp-content/uploads/2020/03/Vision-Documents_NMRP.pdf
- (23) *A sugar-sweet start*, ABB, 2017, <https://new.abb.com/drives/media/a-sugar-sweet-start>.
- (24) Administración de Información Energética de Estados Unidos, datos internacionales: electricidad, 2019, Suiza, <https://www.eia.gov/international/data/world/electricity/electricity-consumption>.
- (25) *We enable a low-carbon society*, ABB, 2022, <https://global.abb.com/group/en/sustainability/we-enable-a-low-carbon-society>.
- (26) *Convention center exhibits major pump energy savings*, estudios de caso de Danfoss, 2019, <https://www.danfoss.com/en-us/service-and-support/case-studies/ddc/convention-center-exhibits-major-pump-energy-savings/>



—
ABB Motion
P.O. Box 1
FI-00232
Helsinki, Finlandia