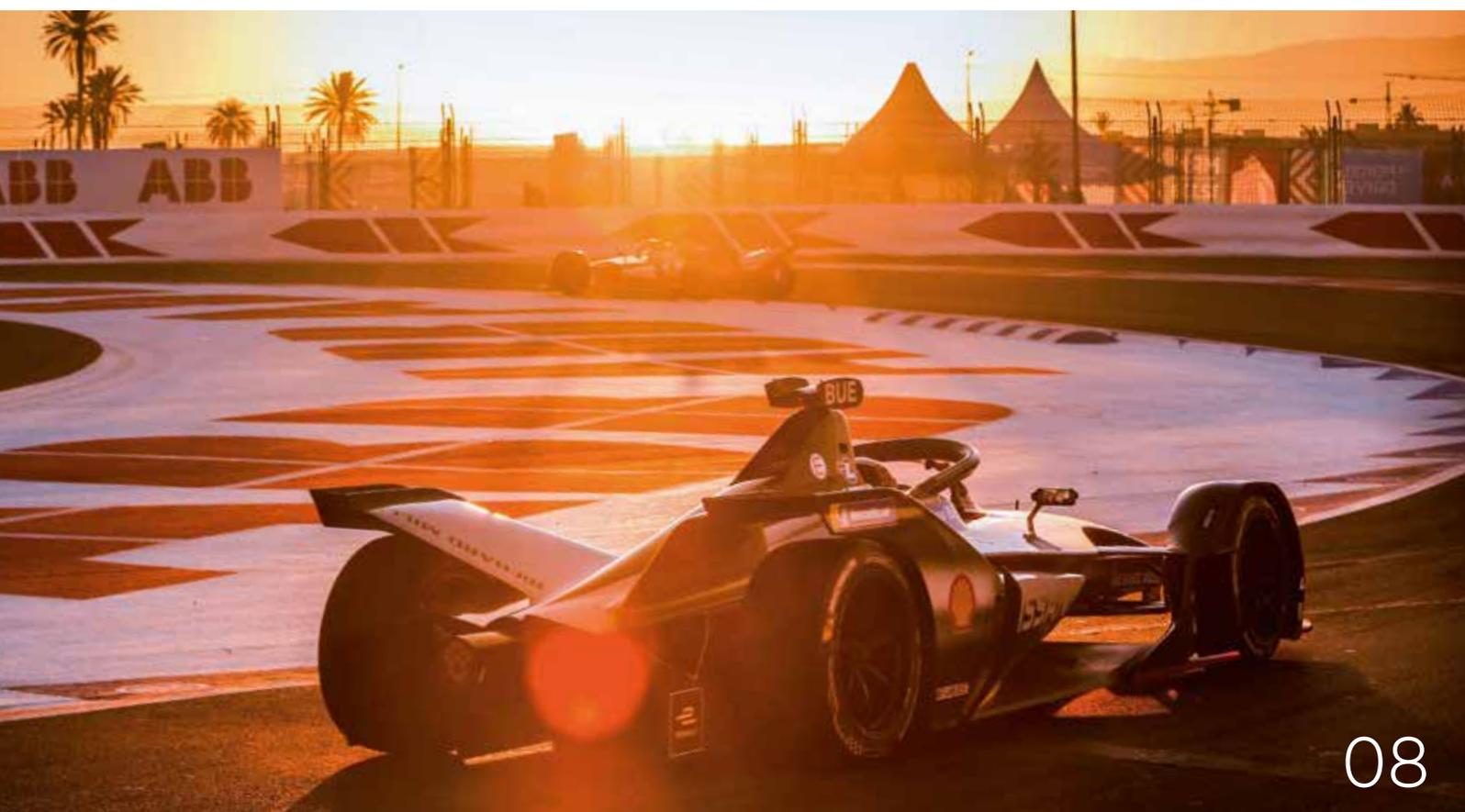


# review

04|2019 es

E-movilidad



—  
06–43 E-movilidad  
44–79 Productividad



68

Foto: TenneT

### Accionamientos de interruptores



38

### Colaboración en la infraestructura de VE

### Una carrera hacia el futuro





**Máquinas de aprendizaje automático**




---

05 **Editorial**

---

## **E-movilidad**

- 08 **Una carrera hacia el futuro**
- 14 **Electrificación de los ferris de las cataratas del Niágara**
- 18 **Bienvenido a bordo, hidrógeno**
- 24 **¿Por qué no importa la autonomía en los autobuses eléctricos?**
- 30 **El futuro de la red eléctrica**
- 38 **Colaboración en la infraestructura de VE**

---

## **Productividad**

- 46 **Máquinas de aprendizaje automático**
- 52 **Optimización de todo el tren de potencia**
- 56 **Prototipos virtuales de sistemas de sensores**
- 64 **Optimización de activos**
- 68 **Accionamientos de interruptores**
- 74 **Supervisión del rendimiento en SCADA**

---

## **Desmitificación de términos técnicos**

80 **Híbrido**

---

81 **Suscripción**

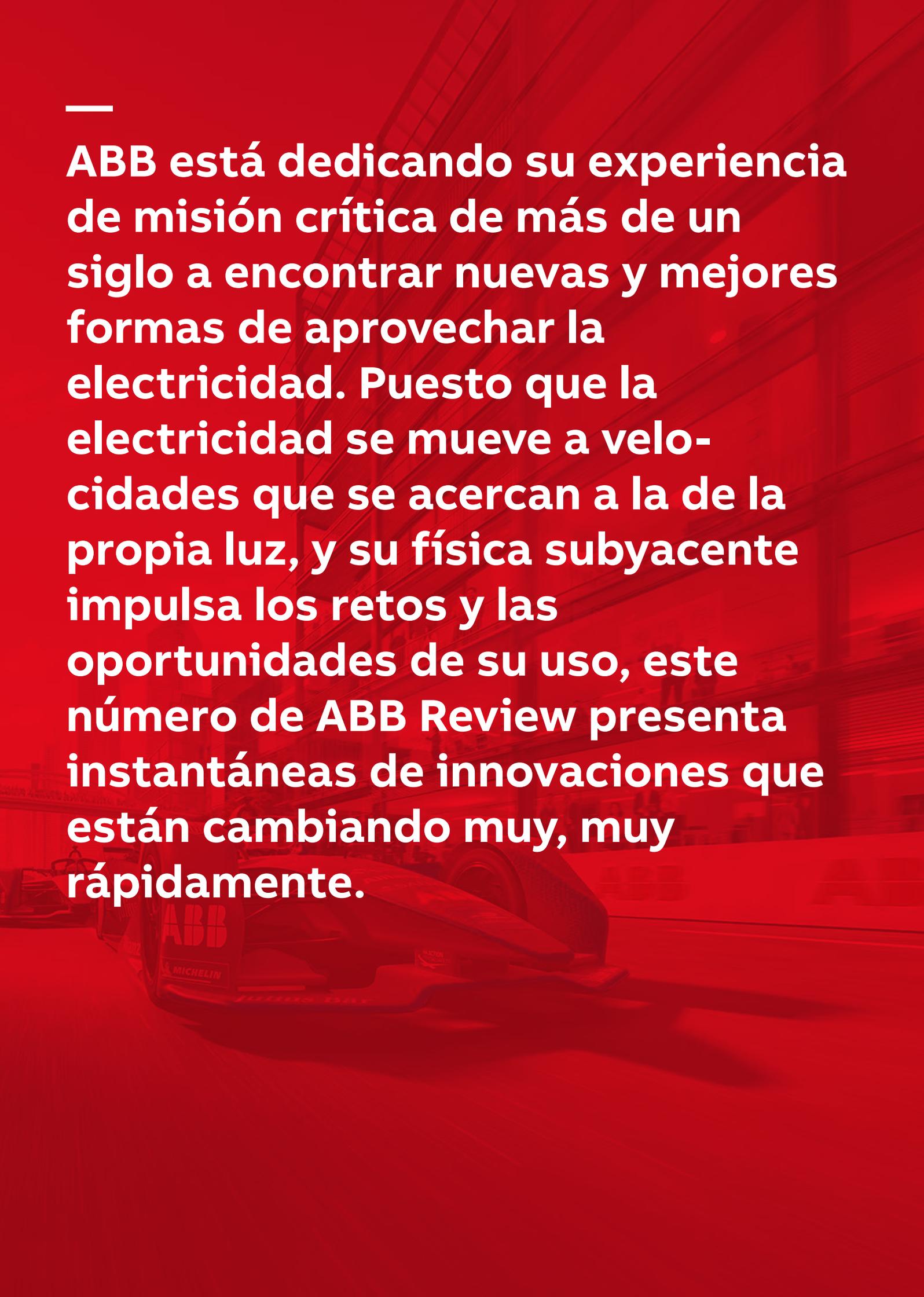
81 **Consejo editorial**

---

82 **Índice 2019**

---

**ABB está dedicando su experiencia de misión crítica de más de un siglo a encontrar nuevas y mejores formas de aprovechar la electricidad. Puesto que la electricidad se mueve a velocidades que se acercan a la de la propia luz, y su física subyacente impulsa los retos y las oportunidades de su uso, este número de ABB Review presenta instantáneas de innovaciones que están cambiando muy, muy rápidamente.**



EDITORIAL

# E-movilidad



Estimado/a lector/a:

Dado que el transporte representa aproximadamente una quinta parte de las emisiones antropogénicas de carbono a nivel mundial, plantea un caso claro para la descarbonización y la electrificación. A escala mundial, la cuota de mercado de los vehículos nuevos totalmente eléctricos ha aumentado hasta situarse en el 5 % (frente a su práctica inexistencia hace tan solo unos años). En algunos países la cifra es mucho mayor: en Noruega, por ejemplo, más del 50 % de los coches nuevos son ahora eléctricos. Y esto es solo el comienzo.

El paso de los combustibles fósiles a la electricidad no consiste solo en cambiar una fuente de energía por otra, sino que implica la creación de toda una nueva infraestructura, desde la gestión de las fuentes de energía hasta los cargadores físicos.

El transporte eléctrico abarca mucho más que solo coches. Desde sus inicios, ABB ha estado estrechamente vinculada a la electrificación ferroviaria.

La electrificación también está transformando el mercado de los autobuses, e incluso ya hay barcos sin emisiones. En este número de ABB Review se presentan estos y muchos otros aspectos.

Que disfrute de la lectura.

A handwritten signature in red ink, appearing to read 'Bazmi Husain'. The signature is stylized and fluid.

Bazmi Husain  
Director de Tecnología



# E-movilidad



# d



El cambio transformacional de la movilidad eléctrica es una carrera por poner las nuevas tecnologías al servicio de las empresas, la sociedad y el medio ambiente. ABB ayuda a llevar la electricidad a más usuarios cuándo y dónde se necesita y, en el caso del automovilismo deportivo, llevar a los coches de carreras a la meta.

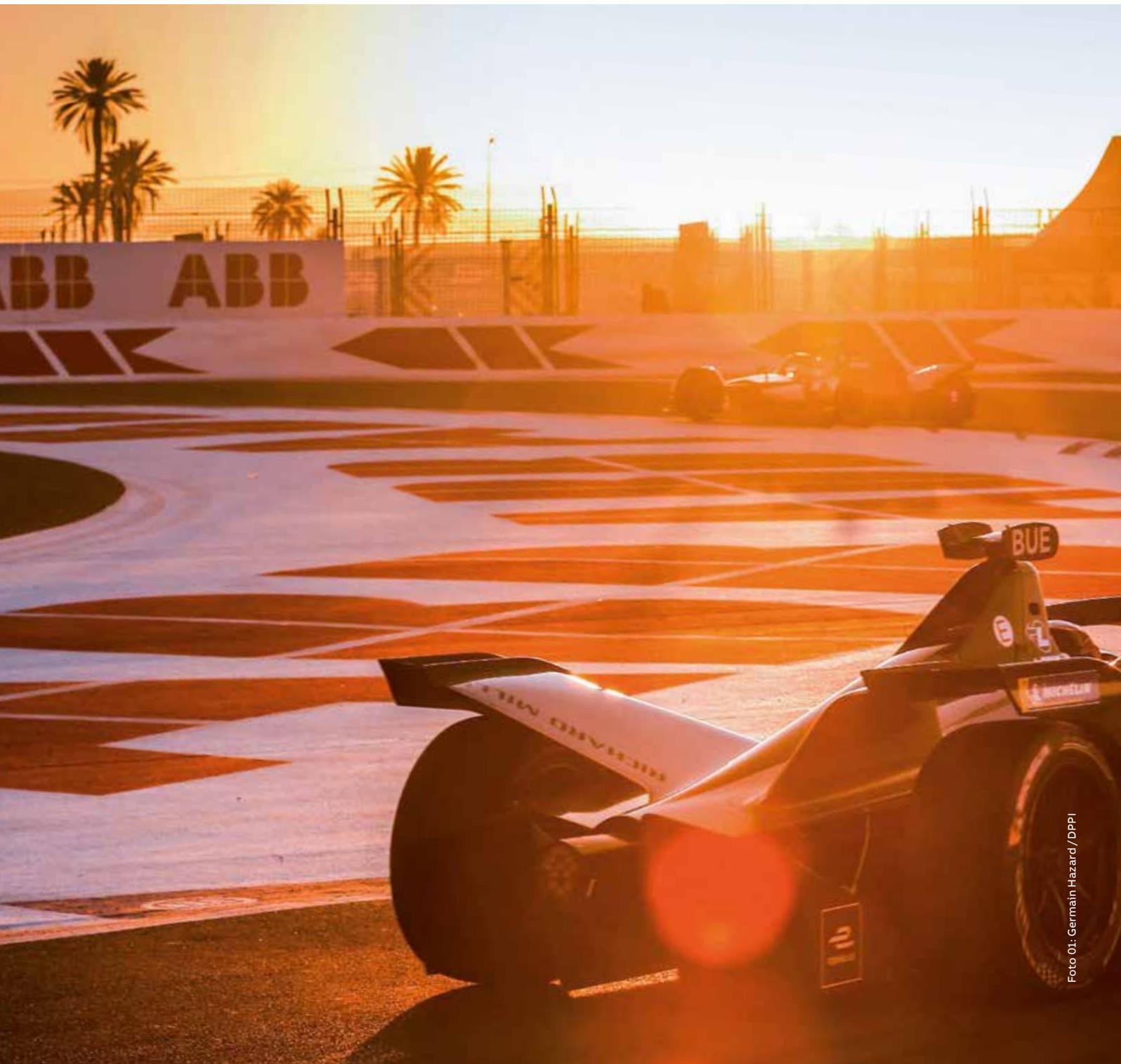
- 08 Una carrera hacia el futuro con el ABB FIA Formula E Championship
- 14 Electrificación de los ferris del tour Maid of the Mist por las cataratas del Niágara
- 18 Bienvenido a bordo, hidrógeno. (¿QRV?)
- 24 El autobús eléctrico: la autonomía es una cuestión de perspectiva
- 30 El futuro de la red eléctrica en la próxima era de movilidad eléctrica
- 38 Innovación en la infraestructura de VE a través de la colaboración



---

E-MOVILIDAD

# Una carrera hacia el futuro con el ABB FIA Formula E Championship



01



El ABB FIA Formula E Championship, una clase de automovilismo deportivo para coches eléctricos, no solo supone un emocionante espectáculo de carreras, sino también una plataforma versátil en la que probar y demostrar las tecnologías de e-movilidad de digitalización y electrificación.



Anthony Rowlinson  
Asea Brown Boveri Ltd  
Zúrich, Suiza

[anthony.rowlinson@ch.abb.com](mailto:anthony.rowlinson@ch.abb.com)



02

	Gen2 (Temporada 5)	Gen1 (Temporadas 1-4)
Velocidad máxima (km/h)	280	225
Aceleración, 0-100 km/h (s)	2,8	3,0
Potencia en modo carrera (kW/hp)	200/270	180/240
Potencia máxima, modo ataque (kW)	250 (335)	n/a
Capacidad de la batería (kWh)	54 (longitud total de la carrera)	28 (cambio de coche, media carrera)
Tensión de la batería (V)	900	700
Peso de la batería (kg)	385	320
Peso mínimo (kg)	900	880
Duración de la carrera	45 min + 1 vuelta	según el circuito

03

La revolución global de la e-movilidad adopta muchas formas: aeronaves eléctricas experimentales, ferris autónomos, flotas de autobuses de carga rápida o la imagen cada vez más familiar de vehículos eléctricos (VE) conectados a Internet en carreteras públicas.

Sin embargo, hay un ámbito de la e-movilidad que se lleva el premio a la innovación pionera de alto perfil: el ABB FIA Formula E Championship. Este evento anual enfrenta a 22 de los pilotos con más talento del mundo a bordo de los coches de

carreras eléctricos más avanzados jamás creados. El campeonato se ha celebrado todos los años desde su inauguración en Beijing en 2014 y está patrocinado por ABB desde enero de 2018 →1.

### El sonido del silencio

Quizás el aspecto más notable de la ABB Fórmula E sea el ruido o, más exactamente, la ausencia de ruido. Como primera categoría mundial de coches de carreras totalmente eléctricos, la serie de carreras nació de una idea que acabaría con uno de los conceptos más queridos del automovilismo deportivo: el de que las carreras debían ser extremadamente ruidosas gracias a las 20 000 rpm que alcanzaban los motores de combustión interna extremadamente personalizados.

El ABB FIA Formula E Championship enfrenta a 22 de los pilotos con más talento del mundo a bordo de los coches de carreras eléctricos más avanzados jamás creados.

Desde sus inicios, la ABB Fórmula E adoptó un enfoque radicalmente diferente incluyendo

—  
01 El equipo de Nissan «Nissan e-Dams» durante la edición de 2019 del campeonato de fórmula E en Marrakesh, Marruecos.

—  
02 El rugido de la Fórmula 1 se ve reemplazado por el silencioso zumbido de algunas de las tecnologías de e-movilidad más avanzadas del planeta. Aquí, el campeonato de Fórmula E de 2019 celebrado en enero en Santiago de Chile, Chile.

—  
03 Los Gen2 frente a los Gen1.

—  
04 Diagrama de detalle de un coche de Fórmula E.

—  
05 El campeonato de Fórmula E de 2019 en Hong Kong. Jean-Eric Vergne, de Francia, conduce el Gen2 DS E-Tense para el equipo DS TECHEETAH.

coches de batería impulsados por trenes motrices eléctricos de alta eficiencia que utilizan algunas de las tecnologías de e-movilidad más avanzadas del mundo. Dado que compiten en circuitos cada vez más urbanos en todo el mundo, el zumbido silencioso y agudo tan característico de estos coches se está convirtiendo en un familiar sustituto del rugido de los vehículos de gasolina de otras series de carreras →2.

### Pasar de la fuerza a la fuerza

En menos de cinco años, la ABB Fórmula E ha pasado de ser una audaz start-up, desechada como una rareza exclusiva tanto por los entusiastas del mundo del automovilismo deportivo como por los menos visionarios del sector de la automoción, a convertirse en

una propiedad deportiva de tal relevancia que los principales fabricantes de coches ahora quieren participar en el campeonato, ansiosos por exhibir sus credenciales de e-movilidad a través del éxito en la competición. Marcas como Audi, BMW, Nissan y Jaguar ya cuentan con equipos líderes; y la próxima temporada se unirán a ellos los titanes de la industria Porsche y Mercedes-Benz.

—  
La ABB Fórmula E exhibe una avanzada tecnología de electrificación, movilidad conectada y soluciones de transporte urbano.



04



05

El campeonato está floreciendo gracias a la relevancia de su propuesta en un momento de creciente preocupación por cuestiones como la sostenibilidad, la eficiencia energética, la contaminación y la congestión urbana. En un único paquete que mantiene el foco en un visceral atractivo deportivo, la ABB Fórmula E muestra simultáneamente: una avanzada tecnología de electrificación, soluciones de transporte urbano, las últimas ideas de movilidad conectada, visiones de ciudades inteligentes y avances en la generación de energía sostenible.

#### Poner la «E» en la ABB Fórmula E

En el corazón del campeonato encontramos un circuito lleno de veloces coches de carreras eléctricos conducidos por 22 de los pilotos con más talento del mundo, muchos de los cuales proceden de la Fórmula 1.

Cada uno de los 11 equipos compuestos por dos coches y dos pilotos compite con su propia variante de la misma máquina básica: un monoplaza de cabina abierta construido en torno a un monocasco de fibra de carbono altamente protector y resistente a los impactos, que aloja al conductor.

—  
El hardware que define a un coche de carreras de ABB Fórmula E se esconde detrás del conductor.

La suspensión se cuelga de este componente central y la carrocería aerodinámica recubre los mecanismos internos. Esto es relativamente convencional y típico de casi cualquier monoplaza de carreras contemporáneo.



06

07



08

—  
06 El rendimiento mejorado de la batería del Gen2 permite no tener que cambiar de coche a mitad de carrera.

—  
07 El control electrónico recientemente introducido de los sistemas de freno regenerativo ha mejorado aún más el rendimiento del vehículo.

—  
08 La versión de carreras del Jaguar I-PACE se beneficia de la tecnología de carga en pista de ABB.

Pero el hardware que define a un coche de carreras de ABB Fórmula E se esconde detrás del conductor. En lugar de un depósito de combustible, un motor de combustión interna y una caja de cambios semiautomática de varias velocidades, el coche de carreras «Gen2», presentado en 2019, cuenta con una gran batería de alta eficiencia, uno o dos motores eléctricos y transmisión de una sola velocidad →3 - 5. Estos son los elementos que ponen la “E” en la ABB Fórmula E.

### Mejores baterías

Las baterías de los coches las fabrica y suministra McLaren Applied Technologies (MAT), una empresa hermana del famoso equipo de carreras McLaren. Las baterías son comunes a todos los coches y fundamentales para el rendimiento del coche.

Con un peso de unos 385 kg, la batería es más grande y más pesada que la unidad suministrada para la generación anterior de coches que competirían en las temporadas uno a cuatro, y su potencia máxima de 900 V supone un aumento de 200 V con respecto a la tecnología anterior. Permite una potencia máxima de 250 kW (unos 330 de potencia al freno) y permite a los coches alcanzar velocidades máximas de hasta unos 280 km/h.

Sin embargo, más importante que estas grandes cifras, es el hecho de que capacidad y eficiencia mejoradas de la batería permiten a los coches de ABB Fórmula E completar una distancia de carrera completa con una sola carga. Durante las primeras cuatro temporadas de carreras, las limitaciones tecnológicas hicieron que los conductores tuvieran que conducir la mitad de la carrera en un coche y cambiar a mitad a una máquina idéntica con una batería llena.

Si bien este procedimiento único de cambio de coche ofrecía un espectáculo distintivo de la ABB Fórmula E, también suscitó entre los consumidores una inquietud específica que ha dificultado la adopción generalizada de los VE: la ansiedad de autonomía. Sin embargo, el conjunto de baterías más grande del Gen2 alivia esta inquietud, gracias al aumento de energía del 95 % a cambio de un aumento de peso del 20 % →6. En este sentido, más que ningún otro, la ABB Fórmula E ha demostrado el ritmo acelerado de los avances técnicos en el panorama de la e-movilidad.

El conjunto de baterías MAT del Gen2 se desarrolló prestando especial atención al control de la temperatura. Sus celdas internas de litio son muy sensibles a la temperatura: demasiado frío y la eficiencia no se optimiza; demasiado calor y la vida útil se resiente. Por lo tanto, la refrigeración homogénea a través de las múltiples celdas individuales dentro del conjunto constituyó un objetivo de diseño clave.

### Plataforma de pruebas tecnológicas

Debajo de la carrocería de estilo agresivo de los coches Gen2 encontramos desarrollos técnicos experimentales.

La ABB Fórmula E ofrece un entorno riguroso e ideal para que las empresas pongan a prueba su nueva tecnología. Por ejemplo, se han evaluado instalaciones de motores gemelos, en las que cada motor está dedicado a una rueda trasera (en lugar de distribuir el accionamiento de un solo motor entre las dos) para determinar posibles ventajas de tracción y eficiencia de la transmisión.

—  
**El conjunto de baterías más grande del Gen2 ofrece un aumento de energía del 95 % a cambio de un aumento de peso del 20 %.**

Todos los coches incorporan sistemas de freno regenerativo que generan grandes cantidades de energía durante las muchas desaceleraciones intensivas en el circuito. Hasta esta temporada, el conductor controlaba el denominado «equilibrio regenerativo» de cada coche, pero el control electrónico introducido para la quinta temporada ha mejorado el proceso →7. Este es precisamente el tipo de sofisticada tecnología de gestión de la energía que los fabricantes de automóviles consideran inestimable para el desarrollo de los modelos de carretera líderes en su categoría.

### Recarga rápida

ABB ha aportado su experiencia técnica a la serie Jaguar I-PACE eTROPHY que incluirá ABB Fórmula E en 10 carreras esta temporada.

El todoterreno completamente eléctrico Jaguar I-PACE fue nombrado «Coche del año» en 2019 en el Salón Internacional del Automóvil de Nueva York por un panel de 86 periodistas especializados en el mundo del motor de 24 países, apenas semanas después de hacerse con el título de «Coche del año europeo». La versión preparada para carreras del I-PACE recibe alimentación en pista mediante variantes hechas a medida conseguir un cargador CC Terra 53 de ABB →8. Para conseguir un cargador que pudiera ser móvil en los circuitos de carreras y transportarse fácilmente entre ellos, ABB encargó a un equipo de sus ingenieros que reconfiguraran una unidad estándar de Terra en un conjunto más pequeño, con ruedas, para facilitar su transporte y maniobrabilidad. A mediados de temporada, las unidades de carga habían funcionado con una tasa de éxito del 100 %.

Estamos viviendo una época emocionante para ABB Fórmula E, con el campeonato en plena forma y más colaboraciones técnicas de ABB sobre la mesa. Como plataforma para probar la última tecnología de e-movilidad y mostrar al mundo las capacidades de los vehículos eléctricos, este campeonato es único. Como Sebastien Buemi, piloto de Nissan e.Dams (un equipo de Fórmula E), campeón de la Temporada 2 y embajador de ABB, resume: «Cuando competimos en ABB Fórmula E, tenemos la sensación de que estamos conduciendo el futuro». •

## E-MOVILIDAD

# Electrificación de los ferris del tour Maid of the Mist por las cataratas del Niágara

La tecnología de cero emisiones de ABB propulsará los ferris totalmente eléctricos de próxima generación del icónico tour Maid of the Mist en las cataratas del Niágara. Los dos nuevos buques estarán propulsados exclusivamente por conjuntos de baterías de alta capacidad, convirtiéndolos en los primeros buques con propulsión exclusivamente eléctrica construidos en Estados Unidos.



**Priscila Faester**  
ABB Inc. Marine and  
Ports Miramar, FL,  
Estados Unidos

priscila.faester@  
us.abb.com



**Edward Schwarz**  
ABB Inc. Marine and  
Ports Miramar, FL,  
Estados Unidos

edward.schwarz@  
us.abb.com

No sorprende que uno de los últimos avances en energía eléctrica tenga que ver con las cataratas del Niágara. Ya en 1896, durante la Guerra de las corrientes que enfrentó la CC de Edison contra la CA de Tesla [1], se puso en marcha el proyecto de energía de las cataratas del Niágara de George Westinghouse. Este evento histórico vio como el flujo de electricidad de CA llegaba los consumidores de la cercana ciudad de Buffalo - la primera ciudad de Estados Unidos en tener un alumbrado público generalizado, un lugar que aún se conoce como «La ciudad de la luz». Apenas unos años más tarde, la energía eléctrica de CA generada por las cataratas del Niágara iluminaba muchas partes de la ciudad de Nueva York, incluido Broadway. El proyecto fue una de las primeras centrales hidroeléctricas a gran escala de Norteamérica y un triunfo personal para Tesla.

Más de 120 años después de esta pionera labor de ingeniería eléctrica, las cataratas del Niágara vuelven a convertirse en el centro de la innovación técnica.

ABB también participó en la saga Tesla/Westinghouse: En 1891, el suizo Charles Brown, entonces primer ingeniero de CA de Europa,

cofundó Brown, Boveri and Company (predecesora de ABB), la cual ayudó a General Electric a luchar contra el dominio de Westinghouse y Tesla en el campo de la energía eléctrica de CA. En un nuevo giro de la historia, un siglo después, en 1989, ABB compró el negocio de transmisión y distribución de Westinghouse.

Ahora, más de 120 años después de esta pionera labor de ingeniería eléctrica, las cataratas del Niágara vuelven a convertirse en el centro de la innovación técnica. La tecnología de cero emisiones de ABB impulsará los ferris totalmente eléctricos de próxima generación que sustituirán a los actuales buques diésel que llevan a más de 500 visitantes a la vez por el icónico tour Maid of the Mist. Este recorrido navega más allá de la base de la catarata americana hasta la cuenca de la catarata Horseshoe, la mayor de las tres cataratas del Niágara →1. Esta excursión no es solo una de las principales atracciones de Estados Unidos, sino también la más antigua.

Los dos nuevos catamaranes de 28 m estarán propulsados exclusivamente por conjuntos de baterías de alta capacidad, convirtiéndose en los primeros buques totalmente eléctricos construidos en Estados Unidos (normalmente, los barcos y buques eléctricos cuentan con generadores diésel auxiliares para alimentar los sistemas auxiliares de a bordo o para proporcionar empuje cuando no hay propulsión eléctrica disponible).



01

—  
01 Representación artística de los dos nuevos buques turísticos totalmente eléctricos del tour Maid of the Mist. El diseño de los buques es modular. Los módulos se construyeron en un astillero y luego se transportaron en camión hasta el emplazamiento, donde se colocaron con grúa en la zona de montaje cerca del río. El traslado con grúa de los módulos del buque hasta el área de montaje fue difícil debido a la complicada topografía del área. Los cascos de los buques son de aleación de aluminio marino de grado 5086 H116 y resistente a la corrosión.

### Remisión de las emisiones

Las cataratas del Niágara son una maravilla del mundo natural y, como tal, deben disfrutarse sin tener que respirar humos de motores marinos ni soportar el ruido y las vibraciones que generan los ferris actuales →2. Ahora, gracias a los ferris eléctricos casi silenciosos, que tienen previsto entrar en servicio a finales de 2019, los pasajeros podrán llegar hasta las cataratas y admirar su majestuosidad al tiempo que respiran aire limpio, tal y como pretendía la naturaleza.

—  
El refuerzo de 7 minutos de la batería permite a los motores dobles de propulsión eléctrica del buque mantener su potencia total de 400 kW.

### En el muelle y cargados

Los buques del Maid of the Mist salen desde el muelle aguas abajo hacia la base de las cataratas del Niágara cada 30 minutos, dando servicio a 1,6 millones de pasajeros anualmente. Mientras el ferri está atracado y los pasajeros embarcan y desembarcan, los nuevos buques recargarán sus baterías de iones de litio. La carga de siete minutos ofrece un refuerzo de batería que permite a los dos motores de propulsión eléctrica del buque mantener su potencia total de 400 kW (563 CV). Cada viaje consume unos 38 kWh. Las baterías se cargan hasta el 100 % durante la noche y al final del día hábil siguen estando al 80 %. Naturalmente, la electricidad necesaria para cargar los conjuntos de baterías de 316 kWh procede de energía hidroeléctrica de cero emisiones.

### Todo eléctrico para todos

La empresa de ferris, Maid of the Mist Corporation, fundada en 1846, es una empresa familiar, y su paso al frente para demostrar la viabilidad comercial de la tecnología de embarcaciones totalmente eléctricas ha atraído la atención de todo el mundo. Los barcos del Niágara posiblemente sean los primeros buques totalmente eléctricos, pero no serán los últimos: Los ferris de pasajeros, las gabarras fluviales, los remolcadores de puerto y las dragas son solo algunos tipos de embarcaciones que son idóneos para su funcionamiento totalmente eléctrico. Las embarcaciones marítimas son uno de los mayores contribuyentes a las emisiones generadas por el transporte (entre el 3 y el 5 % del CO<sub>2</sub> mundial y más del 5 % del SO<sub>x</sub> mundial), por lo la electrificación del transporte marítimo es urgente.

En la actualidad, podría resultar difícil construir buques oceánicos que sean 100 % eléctricos. Sin embargo, a medida que los equipos son cada vez más pequeños y rentables, se abren las puertas a muchas nuevas oportunidades que hace solo unos años eran impensables. Los buques de alta mar autónomos y totalmente eléctricos podrían soltar amarras en un futuro no muy lejano.

### ABB se mueve con la e-movilidad

ABB también promueve la e-movilidad en aplicaciones

más allá del mundo marítimo. Por ejemplo, con soluciones de recarga de vehículos eléctricos públicos y privados (al inicio de 2019 se habían vendido más de 10 000 cargadores rápidos de CC de ABB en 73 países). De cara al futuro, se han diseñado productos como el cargador de alta potencia Terra HP de ABB para dar cabida tanto a las baterías de mayor capacidad del día de mañana como a las de hoy.

—  
De cara al futuro, se han diseñado productos como el cargador de alta potencia Terra HP de ABB para dar cabida a las baterías de mayor capacidad del día de mañana.

ABB está ayudando a las partes interesadas de todo el mundo a establecer servicios de autobuses eléctricos que reduzcan el impacto humano sobre el medio ambiente. ABB también es fundador de las normas de recarga CHAdeMO y CCS. Por otro lado, ABB lanzó su primer cargador rápido de CC en 2010, las primeras redes de carga de CC de todo el país en 2012 y las primeras redes de carga para autobuses eléctricos en Europa en 2016.



—  
02 Uno de los ferris actuales del «Maid of the Mist» en la catarata americana, Niágara. Los nuevos ferris totalmente eléctricos estarán libres de ruidos, emisiones y vibraciones.

—  
03 El primer ferri eléctrico islandés, visualizado por Polarkonsult, un socio de diseño del buque.



03

### Nuevos horizontes en la tecnología de las baterías marinas

El interés global por la electrificación marina se ve incentivado, por ejemplo, por las nuevas reglas de la Organización Marítima Internacional (OMI), como la regla de la OMI sobre el contenido de azufre en el combustible de 2020, que reducirá el límite del contenido de azufre en el combustible pesado. Por lo tanto, los operadores marítimos están deseando explorar la tecnología de pila de combustible y, por este motivo, ABB tiene en marcha proyectos de investigación en este ámbito. Así, ABB es miembro del proyecto MARANDA [2], una joint venture de varias empresas financiadas por la Unión Europea. El proyecto diseñará e implantará una unidad de pilas de combustible con membrana de intercambio de protones de 165 kW en el buque de investigación Aranda. El objetivo principal es comprobar la capacidad de la pila de combustible para producir energía eléctrica sin emisiones y con unos bajos niveles de ruido y vibraciones. ABB suministrará la tecnología de conversión eléctrica necesaria para conectar el sistema de pila de combustible a la planta eléctrica del buque.

#### Referencias

[1] D. Siegrist, "125 years and a centennial: ABB celebrates 125 years' existence in Switzerland and 100 years of corporate research," ABB Review 3/2016, pp. 7-12.

[2] M. Kajava, "MARANDA – Aranda goes hybrid." Available: <http://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107045A7585&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>

[3] "ABB and Ballard Power Systems to jointly develop zero-emission fuel cell power plant for shipping industry." Available: <https://new.abb.com/news/detail/5360/abb-and-ballard-power-systems-to-jointly-develop-zero-emission-fuel-cell-power-plant-for-shipping-industry>

[4] K. Vanska, S. Kanerva, J. Bogen, G. Skinner "Welcome aboard hydrogen – QRV?" ABB Review 4/2019, pp. 18-23.

—  
El proyecto MARANDA diseñará e implantará una unidad de pilas de combustible con membrana de intercambio de protones de 165 kW para el buque de investigación Aranda.

En un desarrollo independiente, ABB y Ballard Power Systems, el principal proveedor mundial de soluciones innovadoras de pilas de combustible de energía limpia, firmaron un Memorando de Entendimiento (MdE) para desarrollar conjuntamente un sistema de pila de combustible de nueva generación para la e-movilidad marina sostenible [3,4].

El sistema eléctrico de pila de combustible desempeñará un papel importante a la hora de acelerar la adopción de soluciones sostenibles para la e-movilidad marina y ayudará a los armadores a satisfacer las crecientes demandas de operaciones limpias.

Los dos socios aprovecharán las tecnologías de pila de combustible a escala de kW existentes y las optimizarán para crear una solución pionera a escala de MW adecuada para propulsar buques de mayor tamaño. Con una capacidad de generación eléctrica de 3 MW (4000 CV), el nuevo sistema encajará en un único módulo no mayor que un motor marino de combustible fósil tradicional.

### E-movilidad para un mundo más ecológico

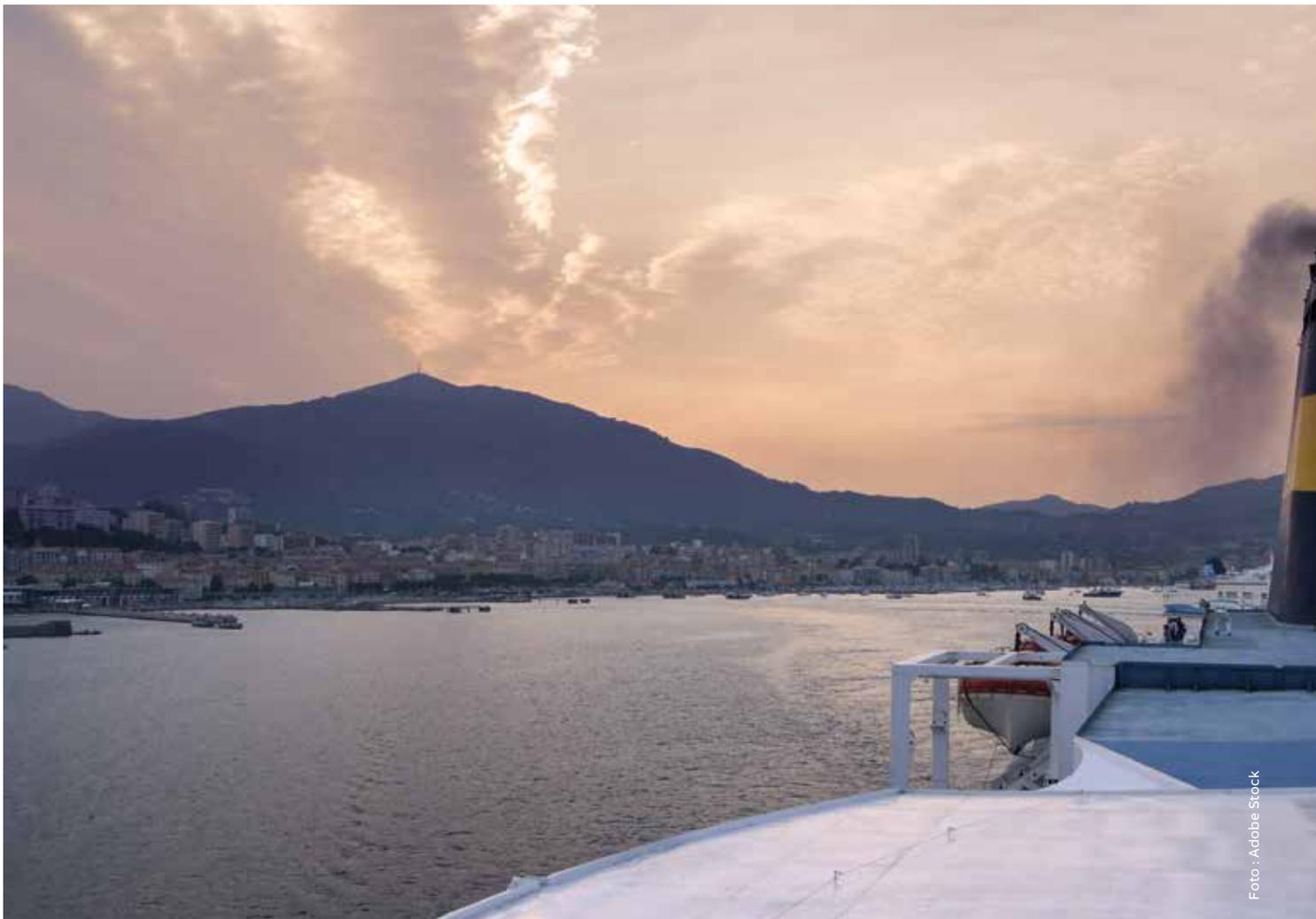
La tecnología de baterías también afianza los buques electrificados de emisiones cero que ABB ya ha equipado en Europa, por ejemplo, el primer ferri electrificado de Islandia →3. Este barco transportará 75 vehículos y 550 pasajeros por un a veces traicionero cruce de 13 km hasta una isla en frente de la costa islandesa. ABB no solo suministrará la propulsión y el almacenamiento de energía (un conjunto de baterías de 3 MWh), sino también los generadores, los transformadores, el cuadro de distribución, el sistema de gestión de energía, y el sistema de control del almacenamiento de energía. Un sistema Onboard DC Grid de ABB en la muelle recarga la batería en tan solo 30 minutos a través de una conexión de CC. A diferencia de los barcos del Niágara, este ferri tiene un generador diésel de reserva, aunque se prevé que su uso sea puntual.

El paso decisivo de la Maid of the Mist Corporation hacia la e-movilidad y la amplia gama de soluciones de ABB para la electrificación de buques marinos que se ha descrito anteriormente no solo marcan el inicio de una nueva era en el transporte, sino que también subrayan el compromiso de ABB de llevar energía al mundo de una forma sostenible. Reducir las emisiones en las cataratas del Niágara no solo es importante para este tesoro natural nacional, sino también para demostrar que a día de hoy ya hay tecnologías que permiten una movilidad sostenible. ●

## E-MOVILIDAD

# Bienvenido a bordo, hidrógeno (¿QRV?\*)

Ante la mayoría de edad del combustible de hidrógeno, los expertos de la industria marítima siguen explorando alternativas a los combustibles fósiles para satisfacer las necesidades de una industria diversa y en desarrollo. Las pilas de combustible de hidrógeno se consideran una opción prometedora para reducir radicalmente las emisiones de gases de efecto invernadero de los buques. Junto con una tecnología de baterías a bordo más establecida, tienen la capacidad de mejorar la densidad de energía en operaciones marinas de cero emisiones al tiempo que mejoran la resistencia de los buques.



\* El código Q se utiliza en las telecomunicaciones marítimas para abreviar mensajes. QRV es la abreviatura de «¿Estás listo?» y QUK es la abreviatura de «¿Puedes decirme el estado del mar en... (lugar o coordenadas)?».



—  
En abril de 2018, el Comité de Protección del Medio Marino (MEPC) de la OMI adoptó una estrategia inicial para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de los buques. A medio y largo plazo, se necesitarán nuevas tecnologías de propulsión marina y combustibles bajos en carbono y de carbono cero para descarbonizar el sector.

—  
**Klaus Vanska**  
**Sami Kanerva**  
ABB Marine & Ports  
Helsinki, Finlandia

klaus.vanska@fi.abb.com  
sami.kanerva@fi.abb.com

**Jostein Bogen**  
ABB Marine & Ports  
Billingstad, Noruega

jostein.bogen@no.abb.com

**George Skinner**  
Ballard Power Systems  
Vancouver, Canadá

Para alcanzar el objetivo de la Organización Marítima Internacional (OMI) de reducir al menos en un 50 % las emisiones anuales procedentes del transporte marítimo para 2050 respecto de los niveles registrados en 2008 [1], el sector tendrá que considerar varias fuentes de combustible en el futuro. Uno o dos combustibles alternativos no bastarán, y cada uno de ellos tendrá sus propios mercados y usos. El reto es ayudar a los clientes a conocer la amplia gama de alternativas y la complejidad de seleccionar la que mejor se ajusta a sus necesidades. Existen distintos combustibles disponibles en función de las regiones, las demandas de mercado, los patrones operativos y comerciales, etc.

Entre ellos se encuentran el biodiésel, los combustibles de biomasa, incluidos los residuos, y las fuentes renovables, como la solar, la mareomotriz y la eólica. Se puede vincular la electricidad generada por las energías renovables y utilizarla para dividir moléculas y crear hidrógeno. También se pueden generar combustibles sintéticos, amoníaco, metano o metanol.

—  
**Las pilas de combustible de hidrógeno tienen la capacidad de aumentar la densidad de energía en operaciones marinas con cero emisiones al tiempo que mejoran la resistencia del buque.**

La producción de estos combustibles se basa en gran medida en los combustibles fósiles de hoy en día, si bien todos ellos pueden ser renovables en el futuro. La combustión interna comprobada y confiable puede seguir utilizándose para quemar varios de los combustibles alternativos, como el amoníaco, aunque en la mayoría de los casos sería necesario modificar el motor. Las pilas de combustible son otra opción. En el ámbito de las renovables, el coste de los distintos combustibles puede ser similar, pero lo que marcará la diferencia será la forma en que se utilicen, así como su disponibilidad.

#### **Una nueva postura**

Todas las alternativas de combustible presentan desafíos: por ejemplo, el hidrógeno tiene una densidad de energía muy baja y tiene que comprimirse y enfriarse para que sea práctico transportarlo y almacenarlo. El amoníaco es muy corrosivo y también tiene que enfriarse, y el metanol es tóxico. Cada combustible requiere su propia tecnología



01

de transporte y almacenamiento. No hay una única solución sencilla. Para satisfacer la demanda en el futuro, varios países están realizando estudios sobre el hidrógeno, cada uno según su situación particular. Los EAU han anunciado la producción de hidrógeno utilizando energía solar, mientras que Islandia está utilizando energía geotérmica. Sin embargo, todos estos países siguen teniendo dificultades para transportar la energía hasta el lugar donde se utilizará.

ABB y Ballard Power Systems han firmado recientemente un Memorando de Entendimiento (Mde) para el desarrollo de sistemas de pila de combustible de próxima generación para la industria marítima →1. ABB y Ballard Power Systems diseñarán, desarrollarán y validarán conjuntamente el nuevo sistema de pila de combustible, y se prevé que asumirán un papel importante a la hora de acelerar la adopción en todo el sector de soluciones sostenibles para la e-movilidad marina. En colaboración con Ballard, ABB aprovechará las tecnologías existentes de pila de combustible en kilovatios para crear una solución pionera en megavatios que sirva para alimentar buques de mayor tamaño →2. Con una solución que sea escalable en megavatios, el nuevo sistema cabrá en un único módulo con un tamaño no superior al de un motor marino tradicional que funciona con combustibles fósiles. Como proveedor mundial de soluciones innovadoras de energía limpia, Ballard Power Systems cuenta con años de experiencia en la implantación de sistemas de pila de combustible de hidrógeno para su uso en tierra, remontándose los primeros desarrollos a 1983. El trabajo de Ballard con el hidrógeno marino como combustible se remonta a su papel como asesor del ejército canadiense.

«La Marina canadiense ha tenido pilas de combustible en sus submarinos desde 1993», afirma George

Skinner, experto en seguridad de Ballard Power Systems. «Solo este hecho desmitifica que el hidrógeno sea de alto riesgo: el último lugar en el que quieres que haya un combustible peligroso a bordo es dentro de un tubo de acero a cientos de metros bajo el mar».

—  
El objetivo es crear una central eléctrica de pila de combustible a prueba de fallos. Ya se ha logrado en tierra, así que puede hacerse en el mar.

Algunas personas agudizan el oído ante la mención del hidrógeno como combustible. Sin embargo, el hidrógeno no es necesariamente más peligroso ni más seguro que otros combustibles, es simplemente diferente →3. Según Skinner «el hidrógeno tiene menos energía explosiva, arde más rápido, es más frío y se dispersa hacia arriba. Prende con mucha facilidad, por lo que es importante evitar fugas, instalar suficientes sistemas de detección y tener siempre ventilación suficiente. El Código internacional de seguridad para los buques que utilicen gases u otros combustibles de bajo punto de inflamación [2] ya establece formas de gestionarlo, y DNV GL está estudiando sistemas mejorados de tuberías. También se están desarrollando nuevos códigos y normas».

DNV GL, una empresa líder mundial de aseguramiento de la calidad y gestión del riesgo, publicó las primeras reglas para el uso de hidrógeno en buques en enero de 2018. Las reglas están vinculadas a códigos y normas para otras industrias con una

—  
01 ABB y Ballard Power Systems están desarrollando conjuntamente pilas de combustible sin emisiones para la industria marítima.

—  
02 Representación de un sistema de pila de combustible de hidrógeno tipo PEMs.

trayectoria de uso de hidrógeno más larga. «Los principios básicos son los mismos que para el gas natural licuado (GNL) y otros combustibles de bajo punto de inflamación», dice Skinner. «Las técnicas para manipular el gas licuado son bien conocidas, por lo que la tecnología no es un misterio. El verdadero desafío ahora es desarrollar la infraestructura».

En última instancia, el objetivo es crear una central eléctrica de pila de combustible a prueba de fallos. Ya se ha logrado en tierra, así que puede hacerse en el mar. Las pilas de combustible tienen una larga vida útil y su mantenimiento es relativamente bajo. Según Skinner, «los principales problemas con el hidrógeno tienen que ver con percepciones del pasado, como las asociaciones negativas con el caso Hindenburg [el 6 de mayo de 1937 el dirigible de pasajeros alemán LZ 129 Hindenburg se incendió y fue destruido] y la bomba de hidrógeno. De hecho, la bomba de hidrógeno es una reacción nuclear, así que se trata de una completa tergiversación. El hidrógeno es omnipresente en la industria, el aerospacio y muchas formas de transporte».

Skinner señala que la NASA tiene décadas de experiencia en el uso del hidrógeno como combustible para cohetes, y Viking Cruises ha entablado negociaciones con la NASA para aprender más sobre cómo cargar el combustible. Ballard Power también opera su propio laboratorio de pilas de combustible con hidrógeno líquido. «Hemos recibido entregas de hidrógeno dos veces por semana desde hace 20 años. Llevarlo de la

costa al barco será básicamente lo mismo. Al fin y al cabo», sonríe, «es solo cuestión de ciencia».

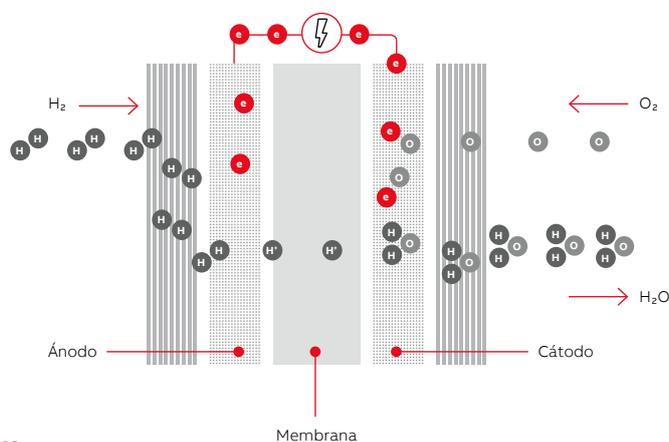
«Una vez que estás listo para trabajar con hidrógeno, eres flexible. Independientemente de cómo se genere —por energía solar, gas, hidráulica o eólica— el hidrógeno es el portador de la energía. Un buen ejemplo es Dinamarca», dice Skinner, «donde tienen un excedente periódico de energía eólica que convierten en hidrógeno para su uso posterior».

—  
**Las pilas de combustible combinadas con baterías constituyen una parte importante de la visión de ABB de «Eléctrico. Digital. Conectado.» para un futuro marítimo sostenible.**

Skinner ve la tendencia hacia el combustible marino de hidrógeno como una oportunidad emocionante. «Las cantidades que manejará la industria marítima harán que las empresas energéticas se comprometan, lo que resolverá el problema de las infraestructuras. Y una vez que el hidrógeno esté disponible en puertos para los barcos, se podrá usar para abastecer camiones, otros vehículos de mercancías y personas. El inicio del hidrógeno marino será un importante catalizador para dar el pistoletazo de salida a la economía del hidrógeno. Como primer paso, es probable que la industria de cruceros busque una solución híbrida, dejando las pilas de combustible para abastecer las funciones del hotel en puertos y en fiordos protegidos. Con el tiempo podrían utilizar el hidrógeno para proporcionar energía a todo el buque, incluida la propulsión, y las pilas de combustible alimentadas con hidrógeno para producir agua que podrá utilizarse para otros fines a bordo».

#### HYBRIDship

Las pilas de combustible combinadas con baterías constituyen una parte importante de la visión de ABB de «Eléctrico. Digital. Conectado.» para un futuro marítimo sostenible. En Noruega, ABB y el laboratorio oceánico SINTEF de Trondheim están llevando a cabo pruebas para evaluar cómo pueden las pilas de combustible y las baterías funcionar mejor juntas en operaciones de corta distancia de ferris y cómo el astillero noruego Fiskerstrand puede integrarlas con otros sistemas de la sala de



## DESMITIFICANDO EL HIDRÓGENO

- El hidrógeno es el elemento más ligero conocido por la humanidad. No tiene sabor, no tiene olor y no es tóxico.
- Cuando el hidrógeno se utiliza como combustible, las celdas de combustible con una membrana de intercambio de protones (PEM) separan los electrones y protones, haciendo que los protones pasen y los electrones se utilicen como salida eléctrica.
- Las pilas de combustible PEM funcionan a una temperatura más baja, son más ligeras y más compactas que sus homólogos de óxido sólido.
- El hidrógeno se dispersa rápidamente en el aire, lo que reduce rápidamente su nivel de inflamabilidad.
- El gas hidrógeno no tiene mucha «potencia de explosión» por volumen en comparación con otros combustibles comunes.
- La rápida velocidad de combustión del hidrógeno significa que la exposición del personal, del equipo o de las instalaciones al calor o a la llama será extremadamente breve.
- Los objetos próximos a un incendio de hidrógeno recibirán niveles de calor radiante muy bajos.
- El hidrógeno presenta un alto umbral de autoignición, pero la energía de chispa necesaria para que prenda puede ser mucho menor que en el caso de otros combustibles, por lo que la conexión y puesta a tierra son importantes.
- El hidrógeno se convierte directamente en electricidad y calor sin combustión.

03

máquinas. Las pruebas también proporcionarán información sobre la introducción de las pilas de combustible de hidrógeno en futuras revisiones de las reglas relativas al uso del hidrógeno a bordo.

El programa de desarrollo conjunto ABB/SINTEF también se centrará en encontrar soluciones para promover el suministro de hidrógeno y la infraestructura de repostaje.

El proyecto HYBRIDship, iniciado en 2017 y dirigido por Fiskerstrand Holding, cuenta con el apoyo del programa de aceleración de empresas tecnológicas «Pilot-E» de Noruega, financiado por el Consejo de Investigación de Noruega, Innovación Noruega y la empresa gubernamental noruega Enova. Los conocimientos técnicos de integración de sistemas de ABB, combinados con la amplia experiencia de SINTEF Ocean en el campo de los sistemas de propulsión marina, así como la experiencia de SINTEF Industry en la tecnología de las pilas de combustible, son elementos vitales para el éxito de este proyecto. El proyecto prevé remodelar un buque de pasajeros de cero emisiones con pilas de combustible para que opere en una ruta nacional a finales de 2020. La energía de la batería será, sin duda, clave para cumplir el objetivo de Noruega de cero emisiones en los fiordos para 2026 →4.

Las pruebas simularán las condiciones que se prevé que encontrará el ferri en una ruta de alta frecuencia de 10 km para garantizar que los sistemas de propulsión, incluidas las pilas de combustible, son lo suficientemente robustos como para llevar a cabo tareas de servicio repetitivas y de corta duración. El proyecto supone un paso importante hacia el uso práctico de la pila de combustible de hidrógeno como tecnología para la propulsión marítima. Uno de los principales beneficios de estas pruebas será la posibilidad de definir la configuración óptima de la sala de máquinas para instalar las pilas de combustible de hidrógeno, además de trabajar día tras día con otros sistemas a bordo.

El programa de desarrollo conjunto ABB/SINTEF también se centrará en encontrar soluciones para promover el suministro de hidrógeno y la infraestructura de repostaje. Además, se espera que los resultados de las nuevas pruebas aceleren el trabajo de la Autoridad Marítima de Noruega (NMA) para modificar

—  
03 Recuadro informativo: Desmitificando el hidrógeno.

04 Se espera que la primera conversión del mundo de un buque de pasajeros equipado con pilas de combustible con cero emisiones esté operando en una ruta nacional a finales de 2020.

la normativa para contemplar y aprobar el hidrógeno como combustible marítimo.

#### Hacia el transporte marítimo autónomo

Además de su perfil sostenible, las pilas de combustible constituyen una buena opción para el transporte marítimo autónomo. Los sistemas de propulsión de hoy en día no están preparados para funcionar de una manera completamente autónoma debido a los requisitos de mantenimiento de los trenes de potencia mecánicos, pero las pilas de combustible sí lo están, ya que no incluyen piezas móviles y poco o nada de mantenimiento. Esto hace que las pilas de combustible resulten adecuadas para soluciones de total autonomía, ya que pueden durar más tiempo sin necesidad de intervención humana in situ.

Desde una perspectiva temporal, las soluciones de combustibles marinos alternativos se encuentran en fase de demostración en estos momentos. La cada vez más estricta normativa ambiental constituye el principal impulsor del desarrollo. Los usuarios pioneros y los programas de I+D están mostrando el camino, al igual que varios proyectos de ferris en todo el mundo.

También hay cada vez más interés por demostrar la viabilidad del uso de la tecnología de la pila de combustible en la industria de cruceros, siendo el primer paso alimentar las funciones hoteleras, sin emisiones, también en puerto.

—  
**Las pilas de combustible son una buena opción para el transporte marítimo autónomo, ya que no incluye piezas móviles, y poco o ningún mantenimiento.**

Con la normativa marcando la agenda, se espera conseguir una serie de soluciones de combustibles alternativos muy pronto para la industria naviera, incluso tan pronto como 2025. Una vez que se utilicen energías renovables para producir hidrógeno para las pilas de combustible y energía almacenada para las baterías, toda la cadena podrá ser limpia y entonces cabrá esperar que la respuesta a la pregunta ¿QUK?\* sea: Claro y tranquilo. Corto y cerrado. ●

#### Referencias

[1] Note by the International Maritime Organization to the UNFCCC Talanoa Dialogue, "Adoption of the initial IMO strategy on reduction of GHG emissions from ships and existing IMO activity related to reducing GHG emissions in the shipping sector," IMO Headquarters, London, UK, Resolution MEPC.304(72), 13 Apr. 2018.

[2] International Maritime Organisation, "International Code of Safety for Ship Using Gases or Other Low-flashpoint Fuels (IGF Code)" [Online]. Available: <http://www.imo.org/en/OurWork/Safety/SafetyTopics/Pages/IGF-Code.aspx>. [Accessed: July 10, 2019].



## E-MOVILIDAD

# El autobús eléctrico: la autonomía es una cuestión de perspectiva

Como tienen un itinerario y un horario establecidos, la ansiedad de autonomía no tiene por qué ser un problema para los autobuses eléctricos. Más bien, la pregunta es: con qué rapidez, cómo y dónde pueden recargar la batería? La recarga eficiente reduce los costes de funcionamiento del autobús eléctrico. ¿Cuáles son los principales elementos de una solución de carga para los autobuses eléctricos?



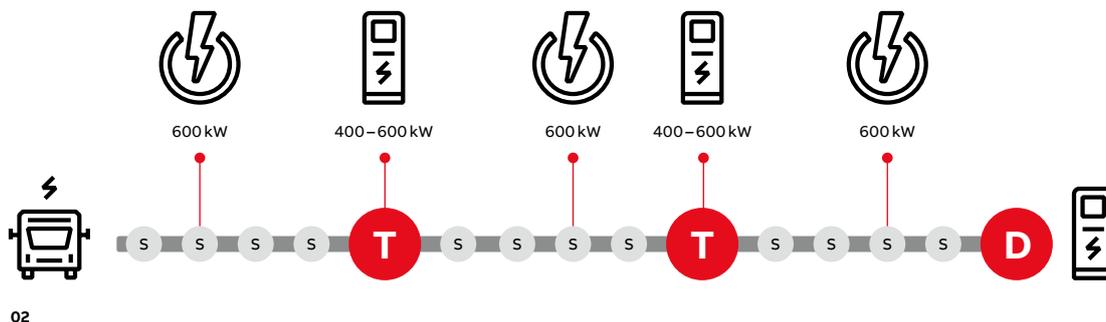


01 En 2016, TPG y el fabricante de autobuses suizo GESS adjudicaron a ABB un contrato para suministrar carga ultrarrápida y tecnología de a bordo de vehículos eléctricos a 12 autobuses TOSA. Los autobuses eléctricos TOSA pueden implantarse con la misma flexibilidad que los autobuses diésel.



**Alexandre McCraw**  
ABB Ltd.  
Baden, Suiza

alexandre.mccraw@  
ch.abb.com



¿Qué distancia puede recorrer un autobús eléctrico antes de tener que recargar la batería? La pregunta viene de forma natural cuando pensamos en los coches eléctricos, especialmente porque la esencia de tener un coche es la libertad de poder ir a cualquier parte, en cualquier momento. Sin embargo, un autobús no va a cualquier parte en cualquier momento, va a un lugar concreto, a lo largo de un itinerario concreto y a una hora concreta, y repite lo mismo día tras día según un horario publicado. La verdadera pregunta, por lo tanto, no es hasta dónde puede llegar sino cómo de rápido puede cargarse antes de volver a ir. Este artículo analiza por qué la recarga ultrarrápida reduce el coste total de funcionamiento de una línea de autobuses eléctricos y explica los elementos fundamentales de una solución.

### Coste de los autobuses

Lograr un coste total de propiedad o TCO bajo tiene que ver con operar una línea de autobuses eléctricos estrictamente con los vehículos que sean necesarios y, para ello, la clave es tener una correspondencia de uno a uno con la solución equivalente de autobuses diésel. Esto significa tener el mismo horario, los mismos tiempos de escala, el mismo número de autobuses y conductores y la misma capacidad de pasajeros que una flota diésel.

—

Lograr un TCO bajo tiene que ver con operar una línea de autobuses eléctricos estrictamente con los vehículos que sean necesarios.

Los autobuses, independientemente de su fuente de energía, son caros de mantener. Por el contrario, la infraestructura, una vez instalada, tiene unos costes de mantenimiento considerablemente menores y una vida útil más larga. Por lo tanto, los operadores de autobuses pueden reducir el TCO de su flota eléctrica con una solución que optimice el número de vehículos maximizando la versatilidad de su infraestructura e introduciendo tamaños de batería comunes en su flota de autobuses.

### Estrategias de carga de baterías

Las estrategias de carga actuales, ya sea durante la noche en la cochera o las cargas de oportunidad en las terminales, se rigen por el tiempo que requieren para cargar el vehículo y las limitaciones que impone el horario.

En el caso de las cargas en cochera, los operadores de autobuses dependen de que la batería tenga capacidad suficiente para completar el itinerario. Sin embargo, el tamaño de la batería afecta negativamente a la capacidad de los pasajeros y aumenta el coste y el peso del vehículo. La batería representa hasta el 45 % del coste de un autobús eléctrico con una estrategia de carga en cochera.

Para las estrategias de recarga de oportunidad, con estaciones de carga en las terminales de la línea, el tiempo de carga de los vehículos debe ser menor que el tiempo de escala previsto. El tiempo de escala existe para que los conductores descansen, pero también para compensar los retrasos. Durante las horas punta en las que las escalas son más cortas, a menudo a los operadores de línea se les plantea un dilema: ¿se limitan a recargar parcialmente la batería para cumplir el horario y llevan la batería hasta una descarga profunda o se olvidan del horario para permitir una carga completa? Las estrategias de carga de oportunidad solo permiten el tiempo de carga suficiente si se dispone de más autobuses y conductores y más estaciones de carga en terminales y cocheras. Estos recursos adicionales aumentan las necesidades de espacio, el consumo de energía y el coste. En otras palabras, si la carga no es lo suficientemente rápida, los horarios se resienten y/o los costes suben.

### Conocer las contrapartidas

Las ciudades de Ginebra en Suiza y Nantes en Francia conocen las contrapartidas que supone la recarga de los autobuses eléctricos. Ambos municipios han implantado un sistema de autobuses eléctricos que optimiza el número de vehículos y aprovecha al máximo las oportunidades de carga. Dado que ambas ciudades tienen realidades operativas diferentes y redes eléctricas diferentes, los sistemas que eligieron para aprovechar

— 02 Esquema conceptual que muestra que la carga tiene lugar en paradas regulares (S) además de en las terminales (T) y en la cochera (D).

— 03 Carga a bordo frente a carga tradicional.

esas oportunidades locales también son diferentes. Independientemente de estas diferencias, hay elementos básicos que son comunes a ambos.

Por ejemplo, las dos ciudades no solo dependen de las oportunidades de carga en las terminales y la cochera, sino también de otras a lo largo del trayecto, mientras los pasajeros suben y bajan →1, 2. La carga durante el trayecto en paradas seleccionadas, la denominada carga ultrarrápida:

- garantiza que las baterías se mantienen en un estado de carga alto;
- reduce la necesidad de largos periodos de recarga;
- amplía la vida de la batería evitando descargas profundas.

En períodos de tráfico congestionado, el vehículo obtiene la mayor parte de su energía de paradas durante el trayecto, mientras que si operan fuera de hora punta, el vehículo se recupera principalmente en las terminales.

#### Las ventajas de la carga a bordo

Los cargadores en las terminales y a lo largo de los trayectos de Ginebra y Nantes proporcionan entre 400 y 600 kW para maximizar la recuperación de los niveles de energía. Esta infraestructura solo es efectiva si se combina con una batería que es capaz de absorber una carga de tan alta potencia. Por este motivo los vehículos están equipados con baterías de óxido de titanato de litio (LTO) que se cargan rápidamente y pueden funcionar hasta a «10C». 10C se refiere a la tasa C, una medida estándar de la velocidad a la que se puede cargar o descargar una batería. Cuanto más alta sea la tasa C, más rápido será la carga o la descarga. Esta

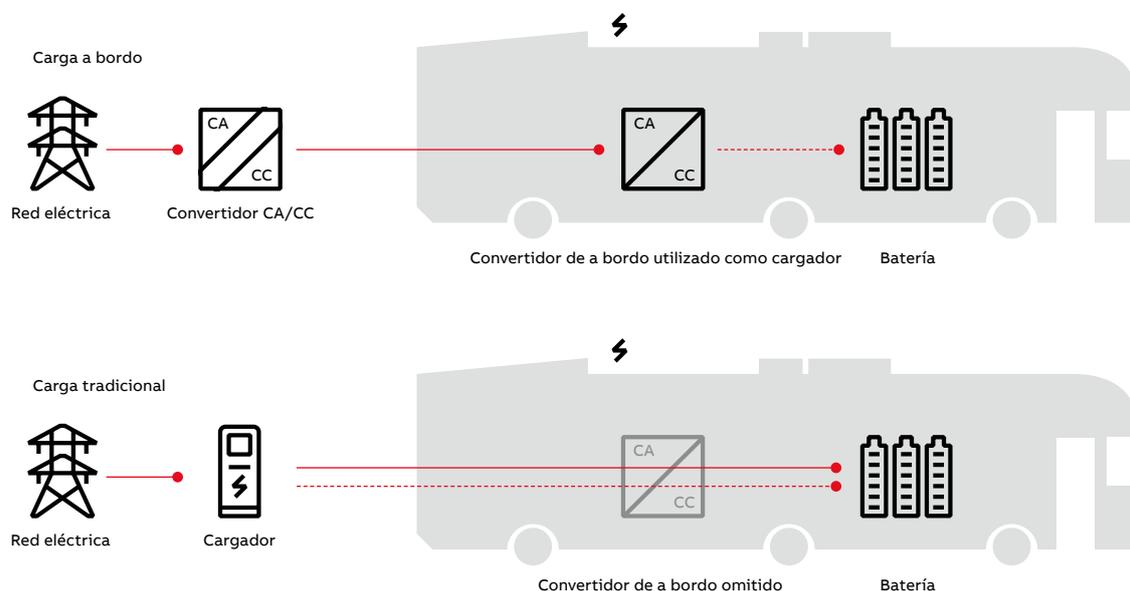
medida es un elemento diferenciador clave para ABB: una batería grande solo es útil si se carga y descarga sin afectar al horario.

Los autobuses de Nantes y Ginebra también utilizan la carga a bordo →3. En estos sistemas, el raíl aéreo proporciona una tensión de CC constante y el equipo montado en el vehículo la transforma de manera que la puedan utilizar los auxiliares y los motores. Al invertir el flujo de energía entre la batería y el motor, la CC procedente del raíl aéreo puede utilizarse para cargar las baterías.

Las dos ciudades no solo dependen de las oportunidades de carga en las terminales y la cochera, sino también de otras a lo largo del trayecto.

Esto evita romper la comunicación de misión crítica entre la batería y el cargador de a bordo en los puntos de carga. La carga a bordo limita así las interfaces entre el vehículo y el cargador a una simple comprobación de contacto físico sin necesidad de ninguna otra comunicación.

Otro elemento que tienen en común los autobuses de Ginebra y Nantes es un pantógrafo de accionamiento rápido que permite al autobús conectarse al cargador en menos de 1 s →4, 5. El predespliegue del pantógrafo cuando se aproxima a un punto de carga y la alineación automática con el tapón de carga



—  
04 La carga rápida de la batería a través de un pantógrafo se realiza en la parada y en la terminal.

—  
05 Cargador ultrarrápido TOSA con una unidad de almacenamiento de energía en Ginebra. La línea de Nantes no necesitaba energía almacenada en las paradas de autobús.

—  
06 Elementos clave de un sistema de autobús eléctrico.

—  
07 Cargar rápido y a menudo es una excelente manera de minimizar los costes y garantizar que se cumplen los horarios en rutas con mucho tráfico o en condiciones climáticas difíciles.

permite a los conductores aproximarse a la parada de carga como lo harían a cualquier otra y acelerar el proceso. Cada segundo de carga ganado ayuda a reducir el número de puntos de carga ultrarrápida necesarios a lo largo del trayecto, así como el tiempo necesario de recarga en la terminal. Estos ahorros ofrecen al operador de línea mayor flexibilidad, mejores tiempos de recuperación del horario durante las horas punta y, gracias al tamaño común de la batería de los vehículos, la capacidad de reasignar cualquier autobús a cualquier línea y satisfacer fácilmente nuevas demandas.

—  
**Los autobuses de Ginebra y Nantes tienen en común un pantógrafo de accionamiento rápido que permite al autobús conectarse al cargador en menos de 1 s.**

### Cumplir el horario

Elegir la filosofía de carga de batería adecuada limita los costes de los autobuses eléctricos →6. Las estrategias de recarga en cochera requieren baterías más grandes y costosas que reducen la capacidad de pasajeros; las estrategias de carga de oportunidad afectan rápidamente a los tiempos de escala y requieren más vehículos y más infraestructuras si desean mantenerse los horarios. Lo mejor para cumplir los horarios y mantener el compromiso con los pasajeros durante las horas punta, condiciones meteorológicas difíciles, etc. →7, sin dejar que el TCO suba, es cargar en menos tiempo de lo que dura la escala y con la máxima frecuencia posible, como se hace en Ginebra y Nantes.

Cuando se trata de autobuses eléctricos, la atención no debe centrarse en la autonomía, sino en cumplir el horario. Si se la batería se recarga con inteligencia, se puede tener una red de autobuses eléctricos no solo con un TCO bajo, sino también con credenciales respetuosas con el medio ambiente, lo que beneficia a todos. •

04



Carga ultrarrápida en puntos seleccionados a lo largo de la ruta



Baterías LTO



Infraestructura de alta potencia



Carga a bordo



Pantógrafo de rápido funcionamiento

06



05



07

## E-MOVILIDAD

# El futuro de la red eléctrica en la próxima era de movilidad eléctrica

Desde ahora y hasta 2040, Europa debe aplicar una serie de medidas prácticas para poder satisfacer los requisitos de máxima demanda que se derivarán de la adopción generalizada de los vehículos eléctricos. Teniendo esto en cuenta, ABB ha realizado un análisis en profundidad para anticipar las necesidades de energía eléctrica de las principales economías europeas. En este artículo se describen las recomendaciones de la empresa sobre el transporte y la distribución de energía eléctrica y los retos asociados al desarrollo de un transporte más limpio y eficiente en el uso de los recursos.

—  
**Thierry Lassus**  
 ABB Secheron SA  
 Power Grids - Segment  
 Transportation  
 Ginebra, Suiza

thierry.lassus@  
 ch.abb.com

—  
**Alexandre Oudalov**  
**Adrian Timbus**  
 Power Grids Business  
 Zúrich, Suiza

alexandre.oudalov@  
 ch.abb.com  
 adrian.timbus@  
 ch.abb.com

Desde la época de nuestros bisabuelos no ha habido una transformación del transporte como la que estamos viviendo hoy. Hace aproximadamente 120 años, la transición del caballo y el carro al vehículo motorizado apenas estaba en el horizonte, y sin embargo en 1908 en las calles de la ciudad de Nueva York ya había tantos automóviles (100 000) como caballos.

—  
**Se calcula que el impacto de la contaminación atmosférica en los seguros de salud y las bajas por enfermedad en la UE supone 100 mil millones de euros al año.**

Pero esa transformación no fue simplemente intercambiar un tipo de potencia motriz por otro; fue algo más profundo, se creó una infraestructura completamente nueva. Así, antes de que pudieran utilizarse los coches y los camiones, tuvo que desarrollarse e incrementarse la producción de asfalto; tuvieron que pavimentarse carreteras; tuvieron que desarrollarse un sistema de señales viales, marcas viales y normas de tráfico; tuvo que mejorarse la producción de gasolina; y la propia sociedad tuvo que reorganizarse ya que los chicos de granja se convirtieron en ayudantes de gasolineras, carroceros para ingenieros;

y los herreros, fabricantes de arneses, herradores y fabricantes de sillas pasaron a ser mecánicos y trabajadores de líneas de montaje.

En la actualidad, la sociedad se encuentra en las primeras etapas de un cambio de paradigma igual de profundo, un cambio que supondrá el paso de los motores de combustión interna alimentados por combustibles fósiles a la movilidad eléctrica. A medida que las personas, las empresas y los operadores de transporte público vayan adoptando progresivamente la e-movilidad como principal tecnología de transporte, será cada vez más necesario invertir en infraestructuras y tecnologías que promuevan y permitan esta transición, siendo la más importante de ellas cómo se proporcionará la energía necesaria para cargar los millones de nuevos vehículos eléctricos (VE) que pronto tomarán las carreteras →1.

## Impulsando la transición

Hay tres tendencias principales que están impulsando la transición hacia la e-movilidad. La primera es la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. En el contexto de la lucha por limitar el cambio climático, el Acuerdo de París, firmado en 2016 por 174 países, pretende limitar el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2 °C sobre los niveles preindustriales. El sector del transporte, que hoy representa el 28 % de



01

— 01 Una estación de carga de alta velocidad. Las tecnologías clave que promoverán la transición hacia la e-movilidad serán las que permitan suministrar energía suficiente para cargar los millones de nuevos vehículos eléctricos (VE) que pronto tomarán las carreteras.

las emisiones de CO2 en Francia, por ejemplo, tendrá que reducir notablemente sus emisiones en un 29 % para 2028 en comparación con las cifras de 2015.

La segunda gran tendencia detrás de la demanda de movilidad eléctrica es la necesidad de reducir otros tipos de emisiones y contaminantes que son perjudiciales para la salud humana y la economía. La contaminación atmosférica por óxido de nitrógeno y partículas es en gran medida atribuible al sector del transporte. Según la Agencia Europea del Medio Ambiente, las partículas provocan 391 000 muertes prematuras al año [1]. El impacto económico de la contaminación atmosférica también es significativo: más de 100 mil millones de euros al año en costes asociados a seguros de salud y bajas por enfermedad, por no mencionar la reducción de la producción agrícola y la degradación de edificios, puentes, etc. como resultado de la exposición a estos contaminantes.

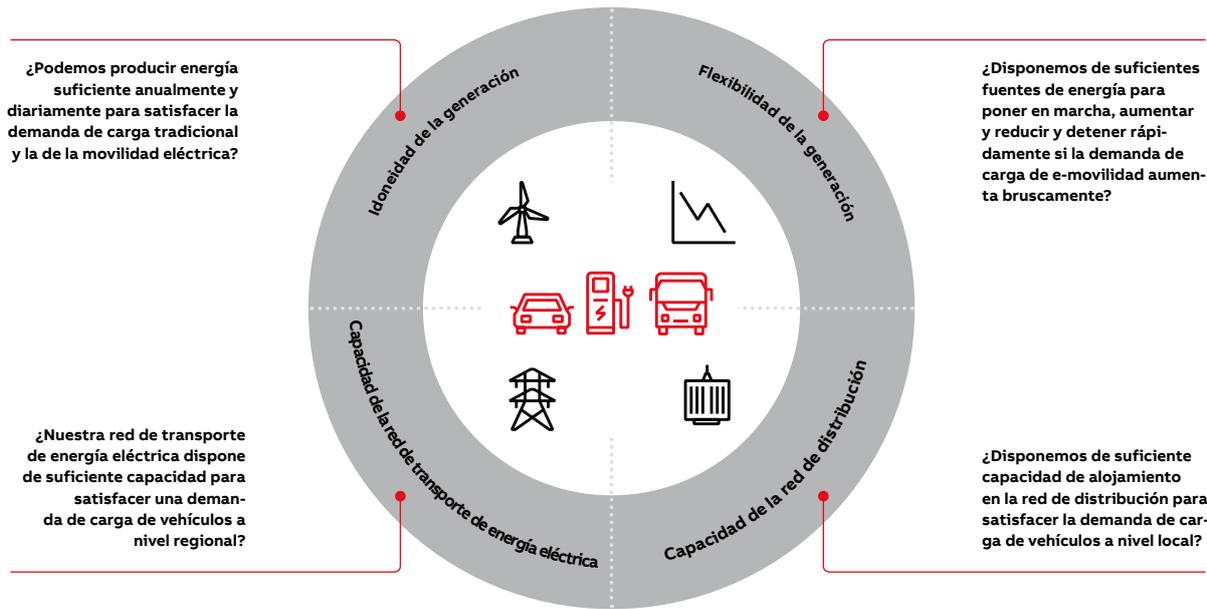
La tercera fuerza que impulsa la transición hacia la movilidad eléctrica es la necesidad de aumentar el atractivo y la viabilidad de las ciudades y regiones. Además de la contaminación atmosférica y acústica, la congestión en los centros urbanos se traduce en una pérdida de tiempo y productividad para los usuarios. Una mejor combinación de transporte público-privado, vehículos eléctricos autónomos y una gestión del tráfico cada vez más

sincronizada y optimizada basada en tecnología «vehículo a infraestructura» reduciría estas tensiones y ayudaría a las ciudades a atraer a empresas, start-ups y personas creativas que demandan infraestructuras de transporte eficientes y un entorno saludable.

— **ABB ha llevado a cabo un análisis en profundidad de múltiples escenarios para anticipar las necesidades de energía eléctrica de Alemania para los años 2020, 2030 y 2040.**

#### **Los mercados de vehículos eléctricos y la red: creciendo juntos**

Teniendo en cuenta las potentes fuerzas medioambientales, económicas y sociales que impulsan la demanda de un sistema de transporte basado en vehículos eléctricos alimentado por electricidad generada de una forma renovable, ABB ha llevado a cabo un análisis en profundidad de múltiples escenarios para anticipar las necesidades de energía eléctrica de Alemania para los años 2020, 2030 y 2040, un periodo que probablemente estará marcado por la adopción progresiva de la e-movilidad. Se realizaron análisis adicionales para Francia y el Reino Unido.



02

— 02 Consideraciones sobre capacidad que deberán abordarse para reducir al mínimo las interrupciones y maximizar una implantación ordenada de la e-movilidad.

03 Recuadro informativo: Un compromiso con la movilidad eléctrica.

El análisis de ABB indica que, aunque los sistemas de generación de energía existentes pueden responder en su mayoría a las necesidades de carga de los vehículos eléctricos, habrá casos -principalmente en picos de demanda en días en los que la generación de fuentes renovables es limitada- en los que la demanda supere el suministro disponible o sobrecargue las redes de transporte y distribución existentes →2.

Para garantizar un servicio continuo y fiable, será necesario en muchos casos mejorar y ampliar las redes transfronterizas y regionales con el fin de facilitar el intercambio de energía generada de forma renovable en zonas geográficas que tengan patrones complementarios.

Por otra parte, existen varias soluciones que pueden limitar los posibles efectos negativos de la adopción masiva de la e-movilidad en las redes. Entre ellas hay soluciones que cambian la carga de los vehículos eléctricos a horas valle o a momentos en los que se prevé que haya un exceso de oferta de energía generada de forma renovable. Por ejemplo, los sistemas actuales de carga de autobuses eléctricos ya son capaces de gestionar la carga durante la noche en una cochera de manera que no todos los autobuses se carguen a la vez [2] →3, 4.

No sería difícil aplicar técnicas similares a los sistemas de carga de otros vehículos. Un régimen de planificación reduciría el riesgo de sobrecargas provocadas por la modificación de los períodos tarifarios, aunque podría ser necesario ofrecer un

incentivo financiero a los usuarios privados para que carguen sus vehículos por la noche, presumiblemente reduciendo el coste energético en las horas valle.

— Se están estudiando soluciones que implican el uso de los conjuntos de baterías de los vehículos eléctricos como componentes de un sistema de almacenamiento de energía distribuido.

También es probable que los sistemas de almacenamiento de energía asuman un papel cada vez más importante en nuestros sistemas de energía eléctrica, especialmente a medida que crece la presión para desarrollar formas de almacenar la energía generada por fuentes renovables. A nivel de las redes de distribución locales, los sistemas de almacenamiento a pequeña escala permiten reducir considerablemente la carga inmediata de las redes, ya que permiten distribuir la transferencia de energía de la red en un intervalo más largo. Cada vez se están desarrollando más tecnologías de almacenamiento, tanto a grande como a pequeña escala, o ya están saliendo al mercado.

Además, se están estudiando soluciones que implican el uso de los conjuntos de baterías de los propios vehículos eléctricos como componentes de un

## UN COMPROMISO CON LA MOVILIDAD ELÉCTRICA POR TIERRA, MAR Y AIRE

Primer autobús eléctrico de Ginebra. El autobús utiliza cargadores ultrarrápidos en los trayectos para recargar parcialmente las baterías y reducir así el tiempo de carga en las estaciones terminales.

ABB está trabajando activamente para responder a los retos que plantea la electrificación de la movilidad. Para ello, está invirtiendo mucho en temas de investigación y desarrollo orientados a mejorar constantemente la eficiencia energética de tecnologías de a bordo y en el interior del vehículo, así como de soluciones de carga. La empresa también está comprometida con la identificación y el desarrollo de nuevas oportunidades de servicios que ofrece la digitalización de los sistemas de transporte.

### Tren de alta velocidad

ABB ha aportado tecnologías clave a todas las formas principales de transporte. En el sector ferroviario, los sistemas de ABB hicieron posible que el tren de alta velocidad TGV de Francia alcanzara un récord de 575 km/h en 2007. En 2012, en Filadelfia, la empresa implantó el primer sistema de recuperación de energía de frenado de trenes del mundo basado en el uso de almacenamiento de energía en baterías ubicadas en el lateral de la vía. Y en 2016, ABB electrificó el túnel del Gotardo de Suiza, el túnel ferroviario más largo del mundo.

### Carga rápida para autobuses, coches y barcos

Cuando se trata de transporte público y privado por carretera, la tecnología de ABB está ayudando a reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>. Así, en estrecha colaboración con las autoridades locales, la empresa desarrolló el primer autobús eléctrico de Ginebra basado en su tecnología de recarga ultrarrápida "TOSA" (Trolleybus Optimisation Systeme Alimentation) [1]. La tecnología utiliza cargadores ultrarrápidos en los trayectos para recargar parcialmente las baterías y reducir así el tiempo de carga en las estaciones terminales. En 2014, ABB recibió

un «smart Award» en la feria Smartgrid de París por esta tecnología.

Desde entonces, ABB ha instalado una de las primeras estaciones de carga ultrarrápida (150 kW) para vehículos eléctricos en Estados Unidos, ha lanzado el primer autobús eléctrico de 24 metros del mundo basado en tecnología de carga ultrarrápida y es la primera empresa del mundo que ha instalado una estación de carga de 350 kW [2]. La empresa también ha creado el primer ferri 100 % eléctrico que ahora opera entre Dinamarca y Suecia. El ferri es capaz de cargarse en menos de 10 minutos en el muelle.

En 2016, en colaboración con Volvo Buses, ABB automatizó dos sistemas de carga rápida para prestar servicio a autobuses eléctricos en Namur, la capital de Valonia (Bélgica). Los sistemas se basan en una «carga de oportunidad» en la que, en lugar de devolver un autobús a la cochera para conectarlo a un cargador individual, el autobús se recarga por minutos cada vez que llega a una estación terminal. Esto permite que los autobuses puedan llevar un conjunto de baterías más pequeño y ligero, lo que aumenta la capacidad para pasajeros. Como no tienen que volver a la cochera para cargarse, los autobuses pueden hacer más trayectos. Desde entonces, ABB ha vendido 10 500 cargadores de alta velocidad de CC en 73 países de todo el mundo [3].

### Vuelo eléctrico

Hace apenas unos años, ¿quién podía imaginar que se pudiera volar alrededor del mundo en un avión alimentado por energía solar? Solar Impulse hizo precisamente eso con la ayuda de ABB, resultado de una visión compartida entre dos aventureros y un equipo de ingenieros y científicos de ABB. •

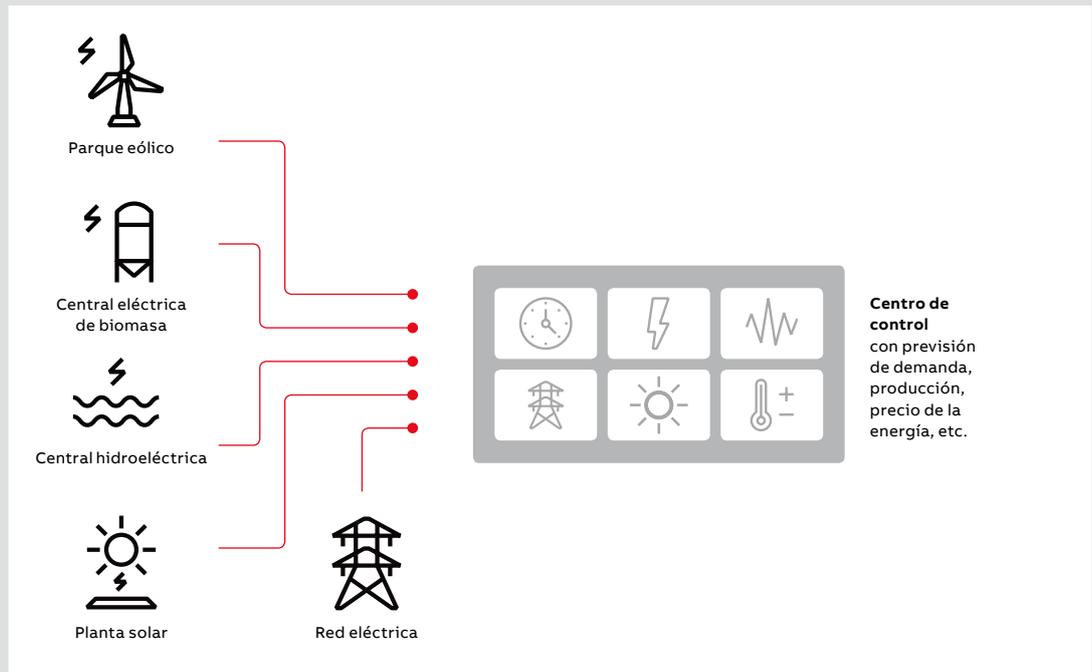
### Referencias

[1] A. McCraw, "The electric bus - range is a matter of perspective", ABB review 4/2019, pp. 24-28.

[2] <http://www.abb.com/cawp/seitp202/45ecf-5b55b2ab524c-125829d002c21a9.aspx>

[3] <https://new.abb.com/news/detail/24231/abb-to-supply-high-power-charging-for-new-era-of-E-MOVILI-DAD-in-scandinavia>





## CÓMO PUEDE LA RED ELÉCTRICA DAR RESPUESTA A LAS DEMANDAS DE LA MOVILIDAD ELÉCTRICA

Las centrales eléctricas virtuales (VPP) proporcionan una serie de herramientas totalmente nuevas para responder y optimizar el suministro de energía en una serie de activos.

A medida que la e-movilidad vaya adquiriendo más importancia, habrá que implantarla en línea con ciertas mejoras tecnológicas de las redes eléctricas, que ya están cambiando rápidamente ante la masiva integración de las fuentes de energía renovables. Estos son tres ejemplos de lo que se puede hacer.

### Carga secuencial en cocheras de autobuses eléctricos

Los autobuses del mañana se alimentarán con baterías recargables. Teniendo en cuenta la inmensa cantidad de energía que esto requerirá, se puede esperar una gran cantidad de carga cuando haya poca demanda de energía. Para optimizar sus inversiones, las autoridades de transporte se beneficiarán de compartir el uso de cargadores para varios autobuses. Teniendo en cuenta este escenario, ABB ha desarrollado cargadores con una capacidad de hasta 150 kW que pueden cargar sucesivamente hasta tres autobuses. Este proceso, conocido como carga secuencial, se puede programar a distancia. Esto distribuye la potencia de carga a lo largo de la noche, al tiempo que garantiza una carga completa al día siguiente.

### Almacenamiento de energía para distribuir la demanda de energía

Como parte de la implantación de una línea de autobuses eléctricos en Ginebra, Suiza, ABB integró

baterías en paradas de autobús seleccionadas equipadas con estaciones de carga ultrarrápida. Estas baterías «buffer» se recargan entre dos operaciones de carga de autobuses a una potencia de unos 50 kW; sin embargo, se descargan a una potencia de 600 kW en unos veinte segundos. Esta importante innovación reduce la demanda máxima de energía de la red local de distribución a menos de una décima parte. El mismo concepto podría aplicarse a muchas otras áreas, incluidas las estaciones de carga de alta velocidad para vehículos eléctricos. Estos sistemas también prometen garantizar una mejor calidad de la energía, soporte de tensión y reservas de energía.

### Gestión centralizada de las estaciones de carga

Las centrales eléctricas virtuales (VPP) pueden integrar estaciones de carga, sitios de demanda, sitios de generación de energía y sistemas de almacenamiento de energía, proporcionando así a los operadores de VPP una serie de herramientas totalmente nuevas para responder y optimizar el suministro de energía en una serie de activos. El uso de VPP ha permitido a la empresa energética Stadtwerke Trier en Alemania garantizar la carga de vehículos eléctricos utilizando electricidad 100 % renovable. La plataforma también ha permitido al operador prestar servicios a la red eléctrica local, tales como ajustes de tensión y reservas de energía. •

— 04 Recuadro informativo: Cómo puede la red eléctrica responder a las demandas de la movilidad eléctrica.

05 Posibilidad de futura escasez de energía en días de baja producción de fuentes de energía renovables en Alemania.

sistema de almacenamiento de energía distribuido. Dado que los vehículos privados suelen estar estacionados y no en uso el 95 % del tiempo, existe cierta lógica en intentar utilizarlos como fuentes de energía de reserva a las que recurrir para dar soporte a la red eléctrica en momentos de máxima demanda. Esto requeriría el uso de una interfaz de carga bidireccional, un enfoque que podría reducir el coste total de propiedad de los vehículos eléctricos al permitir que los propietarios vendieran electricidad del vehículo a la red cuando quisieran.

Además, cuando un vehículo eléctrico llega al final de su vida útil, sus baterías podrían utilizarse para un fin secundario en aplicaciones estacionarias para proporcionar almacenamiento de energía y trasladar la demanda a horas valle.

Otra técnica que puede utilizarse para distribuir la carga de los vehículos se basa en la gestión centralizada de las estaciones de carga. Una central eléctrica virtual, o VPP, consiste en centralizar y optimizar el funcionamiento de una serie de activos. Una VPP puede integrar estaciones de carga, sitios de demanda, sitios de generación de energía y sistemas de almacenamiento de energía, y a continuación optimizar y priorizar el consumo en toda una gama de activos. El uso de esta plataforma permitió a Stadtwerke Trier, una compañía eléctrica de Alemania, garantizar que los VE se recargan utilizando exclusivamente electricidad renovable.

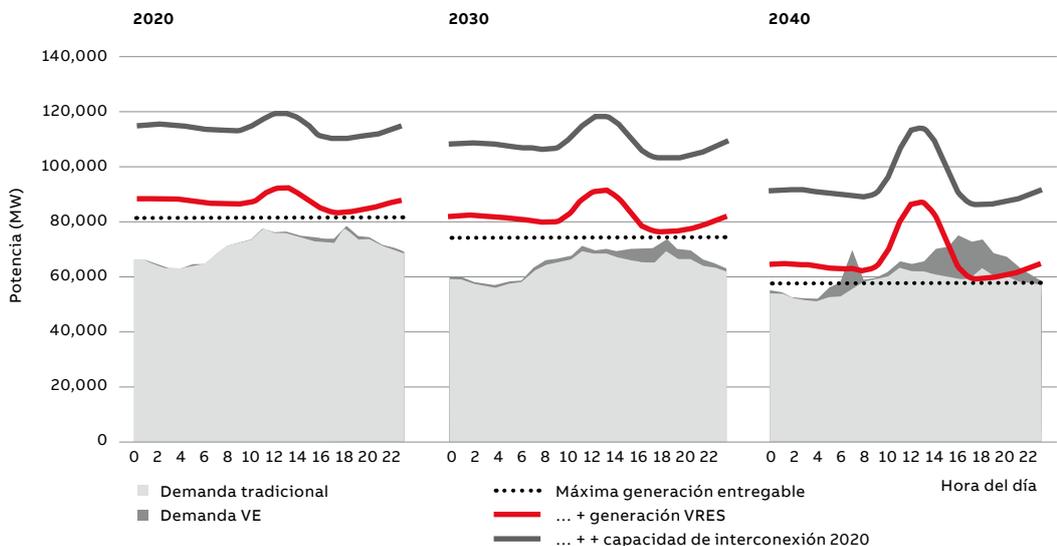
**Recomendaciones clave**

Debería ser posible modificar y fortalecer la actual infraestructura de generación, transporte y distribución local para satisfacer las necesidades del futuro sin incurrir en gastos o interrupciones indebidas.

Con respecto a la generación, los desarrollos futuros no deben perder de vista la flexibilidad →5. Por ejemplo, a diferencia de las centrales de turbina de gas de ciclo combinado o las de carbón, las centrales de turbina de gas de ciclo abierto pueden ponerse en marcha y detenerse con poca antelación y con poco desgaste del equipo. Su flexibilidad las haría fundamentales en caso de que las centrales de carga base y las renovables necesitaran ser complementadas para satisfacer la máxima demanda.

— Una central eléctrica virtual puede integrar, optimizar y priorizar el consumo en toda una gama de activos.

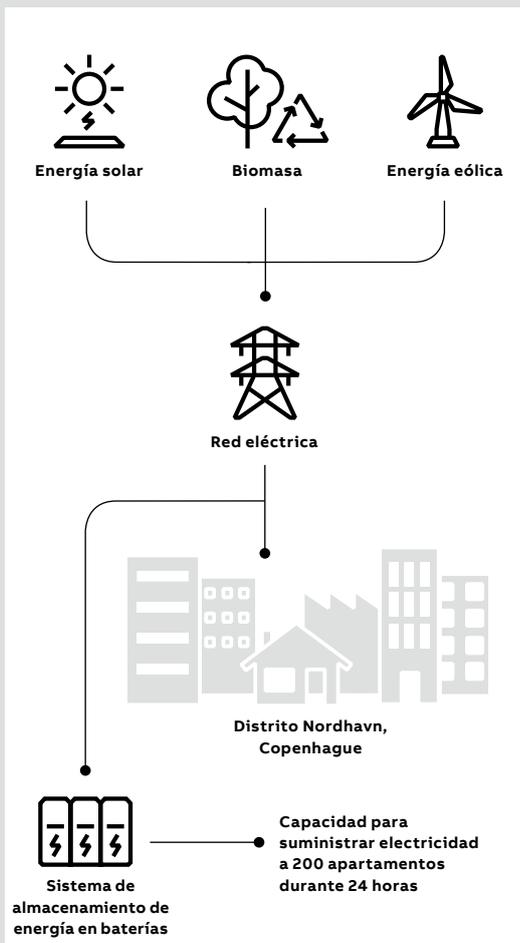
Las redes de transporte seguirán expandiéndose en los próximos años, en gran medida ante el creciente perfil de las energías renovables. La digitalización de las redes eléctricas →6,7 ya desempeña un papel fundamental en la revolución energética y se espera que asuma un papel aún más importante en el futuro. Las ampliaciones y el refuerzo de la red de transporte existente permitirán integrar las redes eléctricas y las nuevas fuentes renovables, así como una mayor versatilidad que permita dar soporte a nuevos patrones de demanda.





06a

## UNA SEGUNDA VIDA ÚTIL PARA LAS BATERÍAS: MAYOR ESTABILIDAD PARA LAS REDES DEL MAÑANA



06b

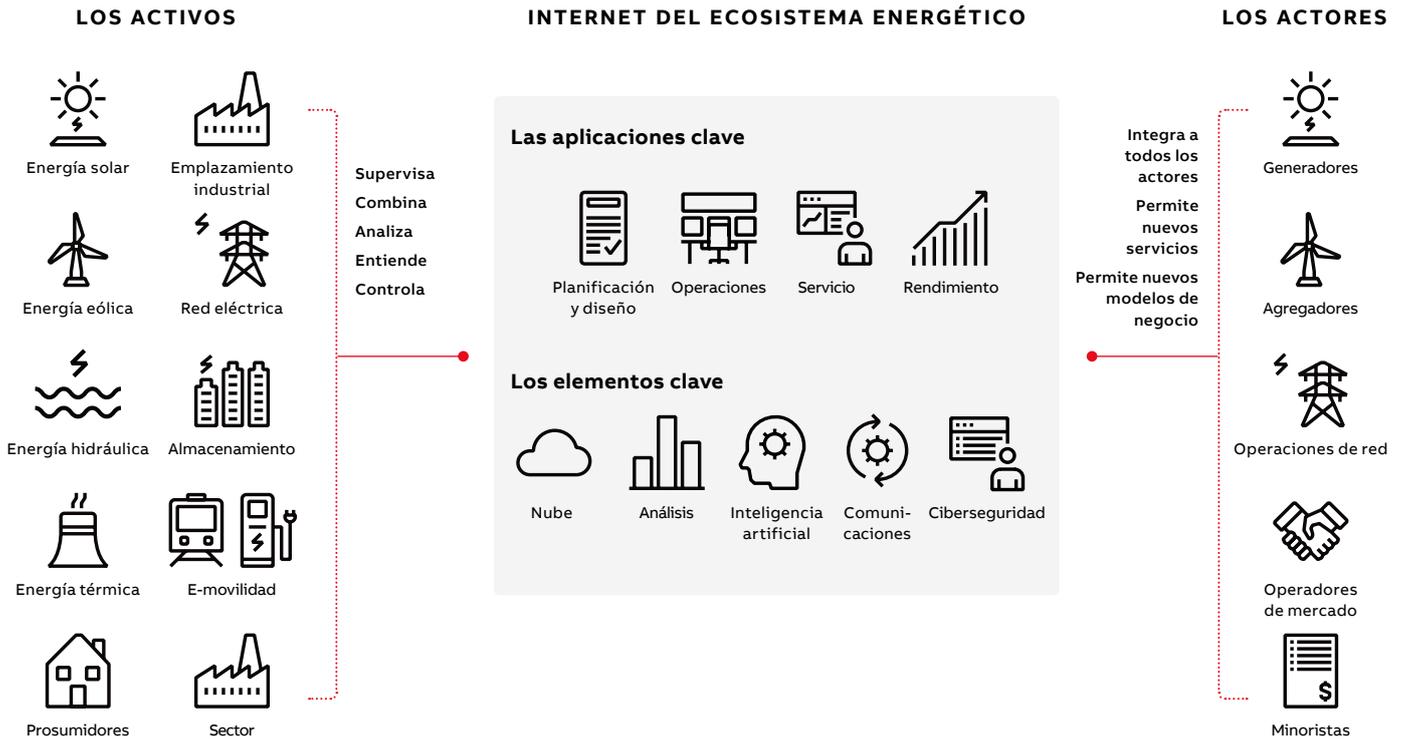
—  
06a Una solución ABB para el almacenamiento de energía basado en baterías en Dinamarca.

—  
06b Un sistema de almacenamiento de energía en baterías de ABB, que forma parte del proyecto EnergyLab Nordhavn de Copenhague, utiliza baterías estacionarias para suministrar electricidad generada de forma renovable para dar soporte a la red local durante los períodos de demanda máxima. En el futuro, estas soluciones podrían utilizar baterías de vehículos eléctricos dados de baja.

Hasta que la conducción autónoma y los vehículos compartidos sean la norma, la mayoría de los vehículos eléctricos privados probablemente terminarán utilizándose de la misma manera que sus homólogos con propulsión convencional, es decir, se pasarán aparcados en aparcamientos y garajes el 95 % de sus vidas. Del mismo modo, los autobuses, camiones y otros vehículos municipales y comerciales, aunque más utilizados, estarán mucho tiempo parados fuera de sus horarios bien definidos. Lo que todos estos vehículos tienen en común -suponiendo que se alimentan con baterías- es que tienen la posibilidad de ser utilizados como fuentes de reserva para dar soporte a la red →6a. Y lo que es más, este enfoque permite reducir el coste total de propiedad (TCO) de todos estos vehículos, así como reducir el coste de funcionamiento de la propia red eléctrica, ya que ayudarían a prescindir de las centrales eléctricas de pico.

Y una cosa más: una vez dados de baja los vehículos eléctricos, sus baterías pueden tener una segunda vida en aplicaciones estacionarias →6b, lo que también puede ayudar a estabilizar la red eléctrica y proporcionar energía de mejor calidad.

Naturalmente, todas estas baterías podrían cargarse in situ utilizando energía eólica, fotovoltaica o procedente de otras fuentes neutras desde el punto de vista medioambiental generada localmente o remotamente. De este modo, las baterías de los vehículos podrían constituir un depósito casi inagotable de electricidad generada de forma renovable. ●



07

06 Recuadro informativo: Una segunda vida para las baterías.

07 Se prevé que la digitalización de las redes eléctricas desempeñe un papel cada vez más importante en el desarrollo de un Internet de la energía.

Las redes locales de distribución, en particular para las instalaciones comerciales, deberían mejorarse progresivamente para responder a la mayor demanda de los VE, especialmente en aquellos emplazamientos en los que previsiblemente deban recargar un gran número de VE. Además, a medida que vayan surgiendo nuevas soluciones para el almacenamiento de energía, estas pueden implementarse estratégicamente para satisfacer las necesidades locales y regionales aligerando la carga de los sistemas de generación, transporte y distribución. Los responsables de la toma de decisiones deben seguir fomentando soluciones tecnológicas innovadoras que limiten el impacto global de las estaciones de carga en las redes eléctricas.

**Perspectivas futuras**

Un cambio gradual a la e-movilidad no sobrecargará repentinamente o drásticamente nuestros sistemas eléctricos existentes. En Alemania, por ejemplo, dependiendo de factores tales como el cambio de población, el índice de propiedad de automóviles, la distancia promedio de conducción y los kilómetros recorridos por vehículo, se prevé que la demanda adicional de electricidad asociada

a los VE sea del 0,3 % en 2020 y entre el 10 y el 12 % en 2040. Si la penetración de los VE fuera del 100 % en todo el mundo, se prevé que la demanda total de electricidad aumentaría entre un 5 y un 20 % en distintos países para 2040.

Si la penetración de los VE fuera del 100 % en todo el mundo, la demanda total de electricidad aumentaría entre un 5 y un 20 % para 2040.

En definitiva, la construcción de la infraestructura necesaria para recargar los millones de vehículos eléctricos que se espera que se construyan y vendan en las próximas décadas representa un desafío importante, pero no insuperable. Con una planificación y preparación adecuadas, debería ser posible crear esa infraestructura a un coste razonable, con interrupciones mínimas y de una manera que promueva la implantación rápida y ordenada de la e-movilidad. •

**Referencias**

[1] <https://www.eea.europa.eu/highlights/air-pollution-still-too-high>

[2] F. Muehlon, "EV infrastructure innovation through collaboration", ABB Review 4/2019, pp. 38-43.

## E-MOVILIDAD

# Innovación en la infraestructura de VE a través de la colaboración

El cambiante mercado de vehículos eléctricos (VE) está impulsando la innovación en la tecnología de VE y en la infraestructura asociada. ABB mantiene su posición a la vanguardia de la tecnología VE gracias a una combinación de inversión interna en investigación y desarrollo (I+D) y colaboración con socios expertos.



**Frank Muehlon**  
Soluciones de infraestructura de E-movilidad de ABB Heidelberg, Alemania

frank.muehlon@de.abb.com

Sin duda, el crecimiento del mercado de los VE está cobrando impulso, y algunos analistas predicen que para 2040 habrá 559 millones de VE en la carretera y el 33 % de la flota global será eléctrica [1]. No obstante, ya se ha avanzado mucho en el camino hacia este escenario de transporte más sostenible. Como prueba de la tendencia, ABB está asistiendo a una creciente demanda de soluciones de carga de vehículos eléctricos públicos y privados, con más de 10 500 cargadores rápidos de CC vendidos en 73 países en 2019. ABB también está ayudando a las partes interesadas de todo el mundo a establecer servicios de autobuses eléctricos que reducen el impacto humano sobre el medio ambiente →1.

—  
**La larga trayectoria de ingeniería y la sólida cultura de I+D de ABB ayudan a la empresa a ser pionera en tecnologías de e-movilidad.**

Para ofrecer su visión de un futuro sostenible y libre de emisiones, y satisfacer la creciente demanda en el ámbito de los VE, ABB tiene que innovar constantemente y desarrollar nuevas soluciones. La larga trayectoria de ingeniería y la sólida cultura de I+D de ABB son factores importantes que determinan la capacidad de la empresa para impulsar tecnologías pioneras en el área de

la movilidad eléctrica. Por ejemplo, ABB cofundó las normas de carga de la alianza CHAdeMO y CCS. ABB lanzó su primer cargador rápido de CC en 2010, las primeras redes de carga de CC de todo el país en 2012 y las primeras redes de carga para autobuses eléctricos en Europa en 2016.

## Transporte sostenible para el futuro

AABB cree que existen tres retos subyacentes clave asociados a la consecución de un transporte sostenible.

En primer lugar, la inversión en el sector debe seguir aumentando, no solo la inversión de los fabricantes de equipos originales (OEM) de vehículos en la mejora de la tecnología de las baterías para conseguir mayor autonomía y rentabilidad, sino también las inversiones de terceros en una red de infraestructuras de carga generalizada para satisfacer la creciente demanda. En muchos mercados, la situación actual presenta un panorama bastante diferente. En el caso de Estados Unidos, por ejemplo, si bien en 2017 se vendieron 200 000 vehículos eléctricos, no se ha producido una expansión proporcional de la infraestructura de carga en el país. Esta falta de correspondencia hace que los consumidores carezcan de confianza y tengan ansiedad de autonomía, que son las dos principales barreras para la adopción de los VE. A modo de respuesta, ABB está colaborando con Electrify America, una filial de Volkswagen Group of America, que es uno de los principales propietarios y gestores de la infraestructura de vehí-



01

— 01 En todo el mundo, las autoridades urbanas están sustituyendo los autobuses diésel por otros de accionamiento eléctrico, utilizando la infraestructura de carga de ABB. En Singapur, ABB ha ayudado a lanzar el primer autobús de pasajeros totalmente eléctrico, autónomo y de 12 metros.

culos eléctricos de Estados Unidos y Canadá, para crear la mayor red de estaciones de carga rápida jamás vista en el país.

En segundo lugar, debemos centrar la atención en la normalización y la operabilidad. El sector automovilístico solo tiene que echar un vistazo al sector del transporte público eléctrico para ver que las tasas de adopción aumentan significativamente con cada vez menos normas sobre carga. Para crear un cambio positivo para el futuro, este enfoque debe replicarse en los vehículos de pasajeros. En este caso, será fundamental la estrecha colaboración de las partes implicadas.

—  
El mundo tiene que aceptar que su ecosistema energético tiene que evolucionar para conseguir un futuro libre de emisiones.

En tercer lugar, el mundo tiene que aceptar que su ecosistema energético tiene que evolucionar para permitir un futuro libre de emisiones. Un aspecto clave de este ecosistema futuro es establecer una infraestructura eléctrica fiable con bajos costes de mantenimiento que permita a las ciudades dar respuesta cómodamente a los picos de demanda. Las redes eléctricas seguras, flexibles e inteligentes son de vital importancia para dar respuesta a estos picos. En este caso, por ejemplo, la integración de recursos energéticos, la instalación de tecnologías domésticas más inteligentes vinculadas a la carga de VE privados y la adopción de VE con mayores capacidades de batería podrían convertir los hogares en redes autosuficientes. La energía almacenada en las baterías de los coches eléctricos podría volver a venderse a la red eléctrica, lo que permitiría que las comunidades residenciales y comerciales se convirtieran en participantes activos de la revolución energética. En este contexto, ABB está desarrollando actualmente un cargador doméstico de CC



02

bidireccional y está trabajando estrechamente con agregadores de energía para configurar soluciones de infraestructura fiables.

—  
El Terra HP puede añadir 200 km de autonomía a un VE en un plazo de tiempo no mucho mayor del que necesita para repostar un vehículo con motor de gasolina.

**A prueba de futuro gracias a la carga de alta potencia**

Actualmente, el ritmo de cambio, tanto de los mercados comerciales como de los de consumo, viene marcado por la necesidad de cargas más rápidas y de mayor potencia. Sin embargo, el sector se enfrenta a un desafío clave: la capacidad de las baterías actuales de los VE. Actualmente, la carga de CC sigue siendo demasiado potente para la mayoría de los vehículos de consumo, aunque esto puede cambiar con el lanzamiento

inminente del primer coche de consumo, como modelo en 2020, capaz de asumir esta potencia: el Porsche Taycan.

Si bien las actuales baterías de VE no tienen capacidad para almacenar el nivel de carga disponible en un cargador de alta potencia, algunos productos como el cargador Terra HP (de alta potencia) de ABB dan servicio tanto a las baterías de hoy como a las baterías de mayor capacidad de mañana y, por lo tanto, proporcionan una solución a prueba de futuro que promoverá el desarrollo de los VE de nueva generación. Capaz de suministrar 350 kW de potencia, el Terra HP puede añadir 200 km de autonomía a un VE en un plazo de tiempo (8 minutos) no mucho mayor del que necesita para repostar un vehículo con motor de gasolina.

Mientras tanto, en el caso de autobuses y camiones, actualmente el sector está limitado a una carga máxima de 600 kW. Sin embargo, ABB está seguro de que aquí también hay margen para la evolución, con una carga de 1 MW en el horizonte.



03

—  
02 Un coche de Fórmula E perteneciente al equipo de Nissan "Nissan e-Dams" en acción durante la edición de 2019 del campeonato de Fórmula E en Marrakesh.

—  
03 Cargador Terra de CC de ABB.

La inversión de 10 millones de dólares de ABB en un nuevo centro de I+D, inaugurado en septiembre de 2019, incluye la creación de instalaciones para aumentar las capacidades de ABB en el creciente segmento de autobuses eléctricos, lo que facilitará que ABB desarrolle soluciones pioneras en este campo.

#### El poder de la colaboración

Junto con el progreso tecnológico surge la necesidad de una mayor colaboración, que es un poderoso facilitador de la innovación en el ámbito de los EV. El trabajo con otros actores de alto perfil permite a ABB ampliar los límites de la tecnología y desarrollar nuevas soluciones. Ante la rápida evolución del sector de los VE, esta necesidad de colaboración es hoy mayor que nunca. ABB sigue colaborando estrechamente con los OEM y operadores de puntos de carga para garantizar que la tecnología no solo satisface, sino que supera, las necesidades actuales, para facilitar el crecimiento futuro. Por ejemplo, ABB - en colaboración con la Universidad Tecnológica de Nanyang (NTU), la Autoridad de Transporte Terrestre de Singapur

y Volvo Buses- acaba de lanzar, en Singapur, el primer autobús autónomo de pasajeros de 12 m totalmente eléctrico del mundo →1. Este proyecto emblemático pretende demostrar que se pueden ofrecer itinerarios fijos y servicios programados impulsados por vehículos sin emisiones y demuestra los notables avances que pueden lograrse en el transporte público cuando se unen las dos tecnologías pioneras de VE y vehículos autónomos.

#### Impulsar la innovación

Llevando el arte de lo posible un paso más allá, ABB traspasa continuamente las fronteras de lo que puede ofrecer la tecnología de e-movilidad. De hecho, ABB es el socio titular de la serie del ABB FIA Formula E Championship, una clase de automovilismo deportivo que utiliza únicamente coches eléctricos. La serie ofrece una potente plataforma en la que probar las tecnologías de digitalización y electrificación de la movilidad, al tiempo que demuestra su potencial a un público mucho más amplio. La carga rápida de baterías para los coches de Fórmula E constituye un buen ejemplo práctico de esta innovación.

—  
A cambio de un aumento de peso del 20 %, la capacidad ha aumentado un 95 %.

Los últimos coches de Fórmula E alcanzan una velocidad máxima de 280 km/h y pueden acelerar de 0 a 100 km/h en 2,8 s, gracias en gran medida a las importantes mejoras en la eficiencia de la batería →2. La batería de los nuevos coches de carreras Gen2 es más pesada que la que utilizaban sus predecesores, que compitieron durante las cuatro primeras temporadas de ABB Fórmula E, pero tiene casi el doble de capacidad energética. A cambio de un aumento de peso de 65 kg (a 385 de 320 kg), la capacidad ha pasado de 28 kWh a 54: un aumento del 95 % en capacidad a cambio de un aumento de peso del 20 %. Este ritmo de progreso permite ahora a los coches Gen2 completar una distancia total de 45 minutos con una sola carga.

Esta evolución tecnológica también se está haciendo realidad en los vehículos convencionales. Por ejemplo, la serie Jaguar I-PACE eTROPHY de automovilismo deportivo incluye versiones de competición de los mismos SUV eléctricos Jaguar I-PACE que actualmente se venden a los consumidores y que utilizan estaciones de carga a diario. Para permitir este paso del mundo «civil» al mundo de las carreras de coches, los expertos en tecnología de ABB adoptaron un pensamiento lateral para desarrollar una solución que recargaría rápidamente las baterías de hasta 20 coches de carreras I-PACE eTROPHY durante los descansos entre los

entrenamientos, las calificaciones y las carreras en 10 ciudades diferentes de cuatro continentes a lo largo de la temporada.

La solución más obvia en este caso fue un cargador rápido de CC. Sin embargo, estos cargadores, que están diseñados para su uso público, miden 2,2 m de alto, lo que los hace demasiado grandes para encajar en las bodegas de los aviones que transportan a los corredores de la serie y a sus equipos por todo el mundo. Trabajando conjuntamente, se desarrolló una solución que rediseñó la funcionalidad de un cargador rápido de CC en una disposición sobre ruedas, con un perfil de solo 1,5 metros de alto →3-5.

Este caso es un buen ejemplo de cómo pueden afrontarse los grandes retos que plantea la e-movilidad con ingeniería y colaboración innovadoras.

—

Los grandes retos que plantea la movilidad eléctrica pueden afrontarse con ingeniería y colaboración innovadoras.

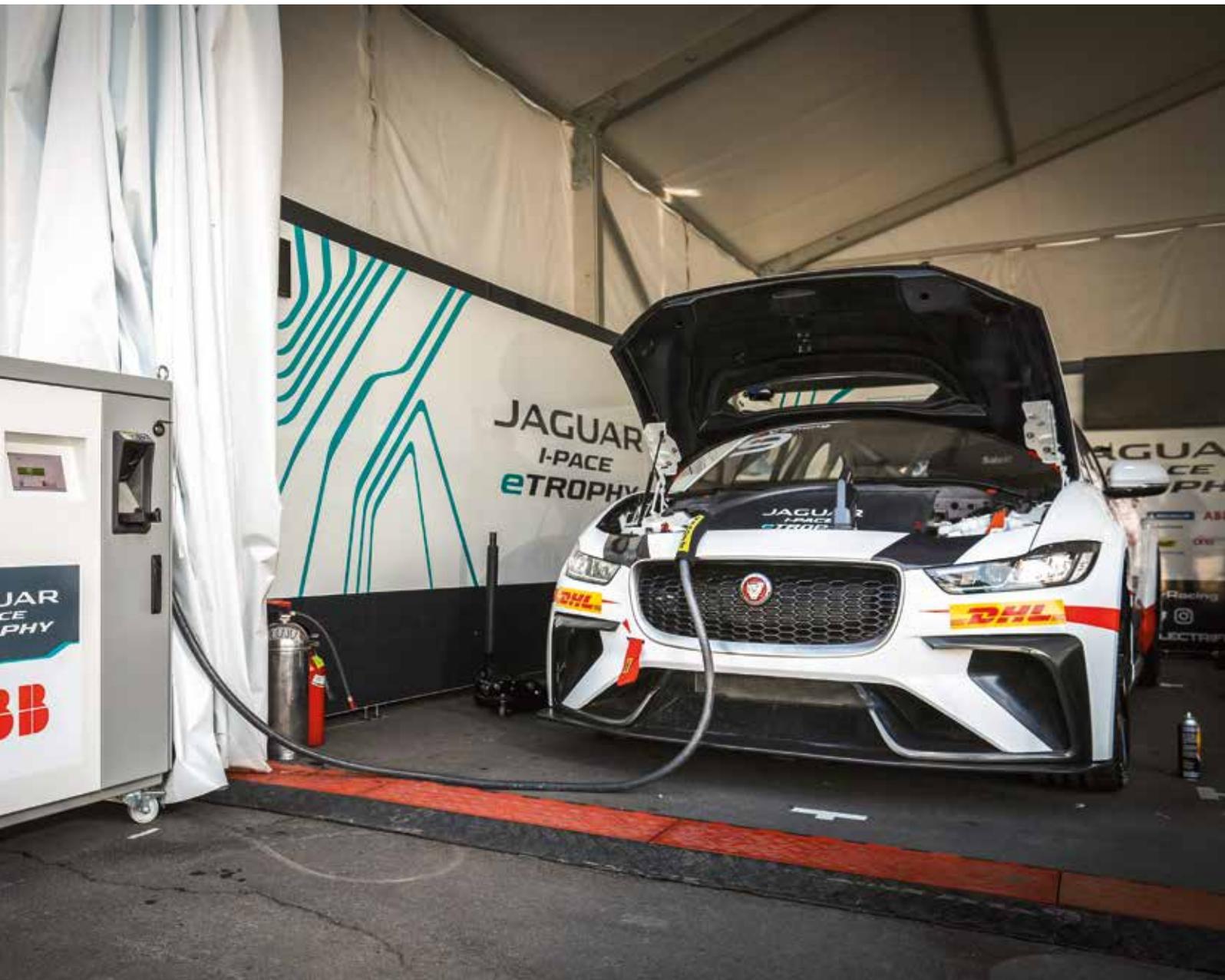
#### El futuro de la tecnología de e-movilidad

El mercado de la e-movilidad está lleno de oportunidades para actores que van desde desarrolladores de vehículos de próxima generación y componentes de apoyo hasta proveedores de tecnología de carga, operadores de carga, empresas de servicios públicos y participantes del sector de las energías renovables. ABB está asistiendo a ambiciosas iniciativas de diversificación por parte de empresas, incluidos algunos de los principales proveedores de energía y OEM, que les permiten tener un impacto en partes nuevas de la cadena de valor, especialmente en el funcionamiento de las estaciones de carga. En Europa, por ejemplo, ABB es el principal socio tecnológico y proveedor de IONITY, una joint venture entre el BMW Group, Daimler AG, Ford Motor Company y el Grupo Volkswagen, con Audi y Porsche, cuyo objetivo es operar una red



04

de unos 400 puntos de carga rápida en 24 países europeos para 2020. Como ocurre en el continente norteamericano con Electrify America, de la que ABB también es socio tecnológico clave, IONITY es líder en el campo de la carga de alta potencia en Europa. El enorme tamaño y la capacidad técnica de cada uno de los miembros que forman parte de IONITY significan que, más que solo clientes, son más socios de colaboración conjunta que impulsarán la implantación de la e-movilidad. En última instancia, este enfoque colaborativo y la inversión continua en nuevas tecnologías conformarán el futuro de la e-movilidad de las próximas generaciones. •



—  
04 Cargador Terra de CC de ABB en acción.

—  
05 Los coches de carreras eléctricos i-Pace de Jaguar utilizan cargadores ABB para recargar rápidamente sus baterías.

#### Referencias

[1] <https://www.businessgreen.com/bg/news-analysis/3033315/iea-electric-vehicles-to-triple-by-2020-and-soar-to-125-million-by-2030>



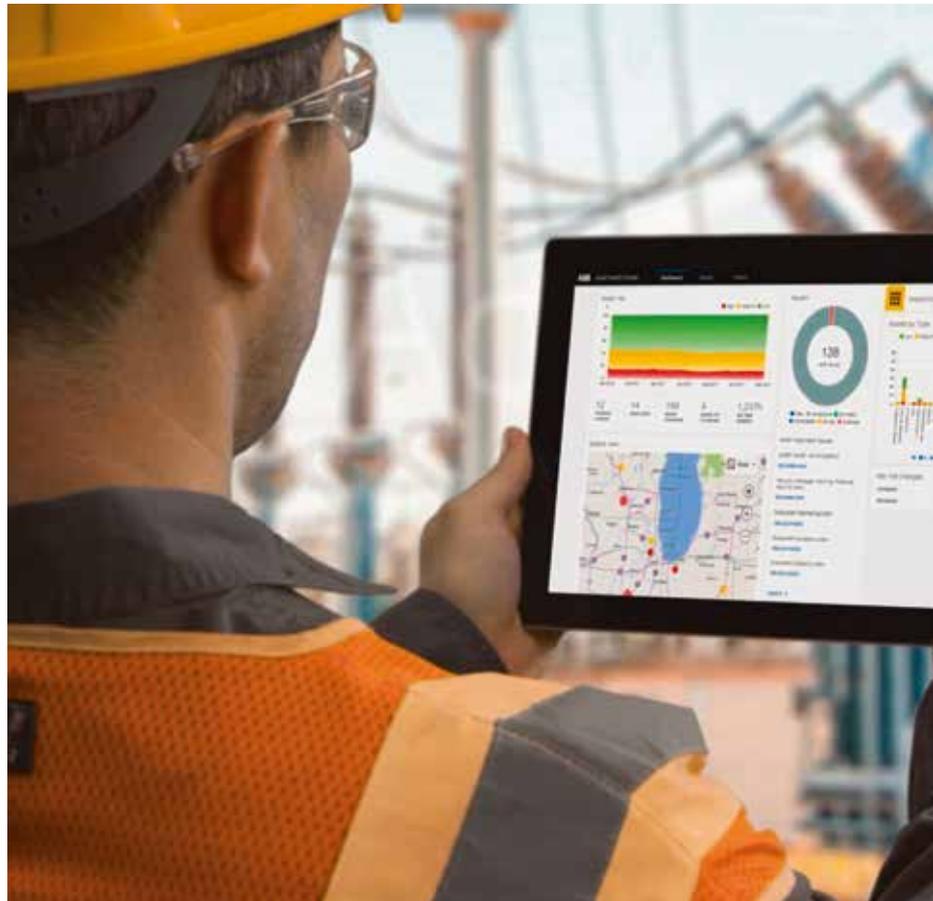
05



# Productiv



Foto: Tennet



# idad



La Digitalización ofrece herramientas de próxima generación para mejorar la productividad y fiabilidad de los sistemas eléctricos, lo que se traduce en mejores controles para los procesos industriales subyacentes que estos habilitan. Literalmente arroja luz no solo sobre lo que está pasando, sino sobre lo que podría suceder a continuación.

- 46 La IA aprende a imitar la dinámica de procesos
- 52 Optimización del tren de potencia eléctrico gracias a la supervisión digital
- 56 Prototipos virtuales de sistemas de sensores
- 64 Cómo aprovechar la optimización de activos
- 68 Desarrollo de accionamientos de interruptores basado en cosimulación
- 74 Supervisión del rendimiento de los transformadores de potencia en SCADA

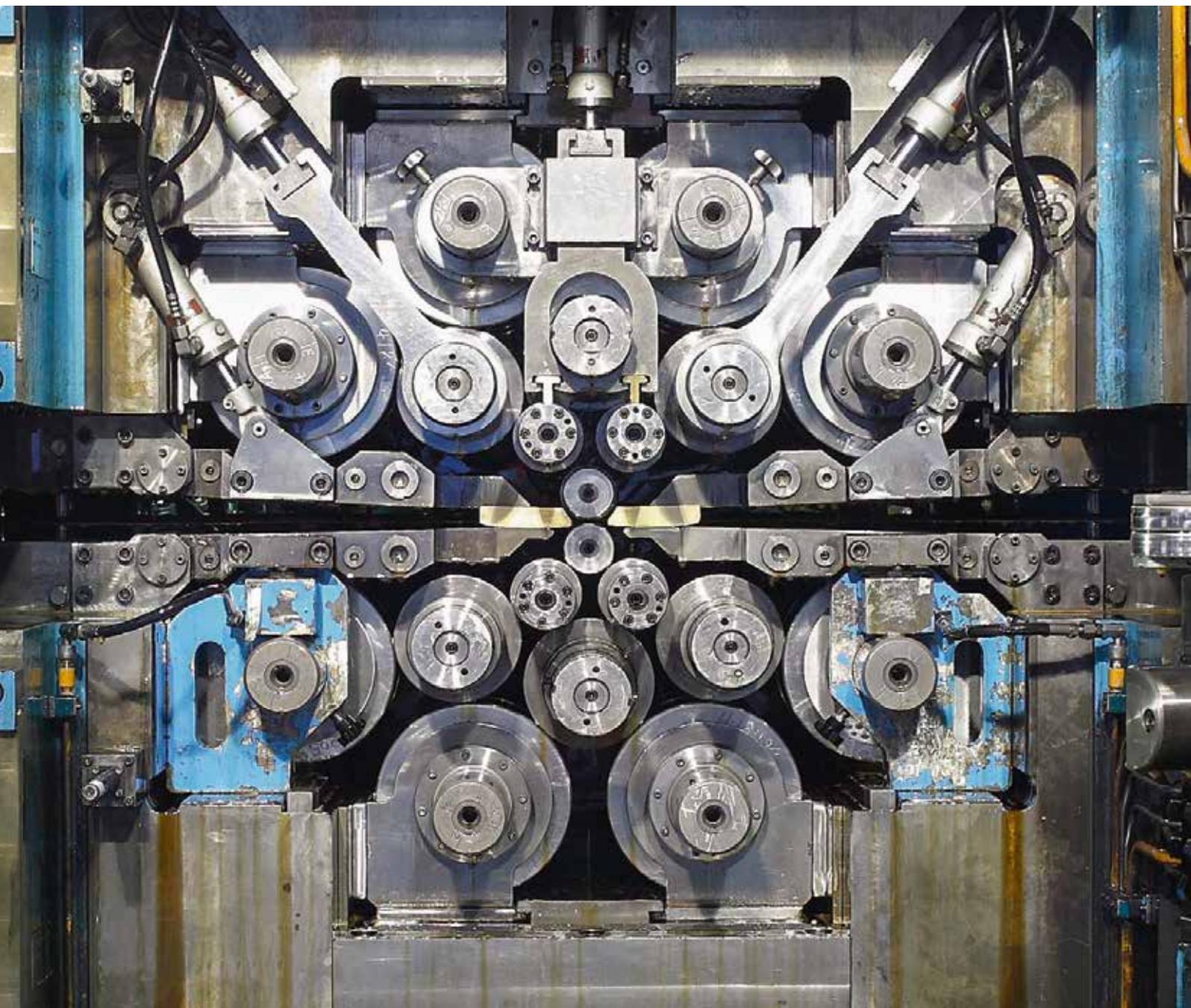


## PRODUCTIVIDAD

# La IA aprende a imitar la dinámica de procesos

Los sistemas industriales de control automático utilizan modelos de gemelos digitales para relacionar las entradas con las salidas de procesos. Hasta hace poco, habría sido necesario un inmenso esfuerzo de ingeniería para conseguir gemelos digitales siempre actualizados, pero los últimos avances en las tecnologías de inteligencia artificial están a punto de cambiar esto.

01



La función de los sistemas de control automático en las plantas industriales es mantener un funcionamiento seguro y estable, garantizar la calidad del producto modificando la variabilidad de los resultados clave a los actuadores del proceso y proporcionar flexibilidad y eficiencia operativas. Los gemelos digitales son herramientas potentes que ayudan a lograr estos objetivos.

Los profesionales del ámbito del control de procesos no son ajenos al concepto de los gemelos digitales, ya que hasta el más sencillo análisis de estabilidad requiere un modelo matemático, convencionalmente en forma de función de transferencia, para representar la relación entre las entradas y salidas de un sistema.

Otros conceptos de control automático, como la controlabilidad y la observabilidad, también se basan en la posibilidad de análisis basados en modelos. Por lo tanto, disponer de representaciones digitales siempre actualizadas de estas relaciones de entradas-salidas estimulará a los ingenieros de control, especialmente a aquellos que tratan con sistemas cuyo rendimiento o incluso cuya configuración están sujetos a cambios e incertidumbres. Hasta hace poco, esta idea habría sido pura fantasía o, en el mejor de los casos, algo que solo hubiera sido posible con un inmenso esfuerzo de ingeniería, pero los últimos avances en inteligencia artificial (IA) están a punto de cambiar esto →1.

### El gemelo digital frente al modelo matemático

Los enfoques de modelización matemática para el control de procesos pueden dividirse en dos categorías principales: aquellos que utilizan percepciones físicas y conocimiento de dominio, y los métodos basados en datos. Sin embargo, esta división no es necesariamente absoluta. La mayoría de los modelos basados en relaciones físicas contienen opciones de parametrización que se eligen en base a los datos de proceso (modelos de caja gris) y para los enfoques basados en datos (modelos de caja negra) no es raro seleccionar órdenes o formas de modelos (como primer orden más tiempo muerto) en base a la experiencia previa o al conocimiento de dominio.

Independientemente del enfoque de modelización, la práctica convencional es disponer de ingenieros experimentados que realicen pruebas en planta o analicen datos históricos para configurar estos modelos para aplicaciones específicas. Estas aplicaciones pueden ir desde la creación de un sencillo sensor virtual (por ejemplo, para determinar el número Kappa en la producción de pulpa) hasta el control predictivo por modelo (MPC), por ejemplo, para controlar una planta de gasificación

integrada y ciclo combinado. Lamentablemente, todas las plantas industriales se encuentran en constante cambio: los catalizadores de los reactores catalíticos se envenenan, los compresores o las turbinas se ensucian y los intercambiadores de calor se obstruyen. Estos fenómenos dan lugar a desviaciones en las predicciones de modelos.

Por el contrario, un gemelo digital es un modelo de proceso matemático que puede mantenerse actualizado y preferiblemente hacerlo sin necesidad de un ejército de ingenieros expertos que examinen los datos para ajustar y regular manualmente los componentes del modelo.

—  
Un gemelo digital es un modelo de proceso matemático que puede mantenerse actualizado.

### Gemelos digitales convencionales: un desafío de escalabilidad

En los modelos convencionales, los futuros cambios de sistema (por ejemplo, los depósitos de coque en un turbocompresor) deben conocerse y modelizarse con antelación. Pero a medida que aumenta la complejidad del sistema, resulta cada vez más difícil anotar las fórmulas matemáticas pertinentes e identificar los estados y parámetros asociados que deben estimarse. Para llevar a cabo esta tarea se necesitan ingenieros cualificados y experimentados y, con el tiempo, el coste de la solución supera la barrera de viabilidad comercial.

### El arte y la ciencia de la identificación de sistemas de caja negra

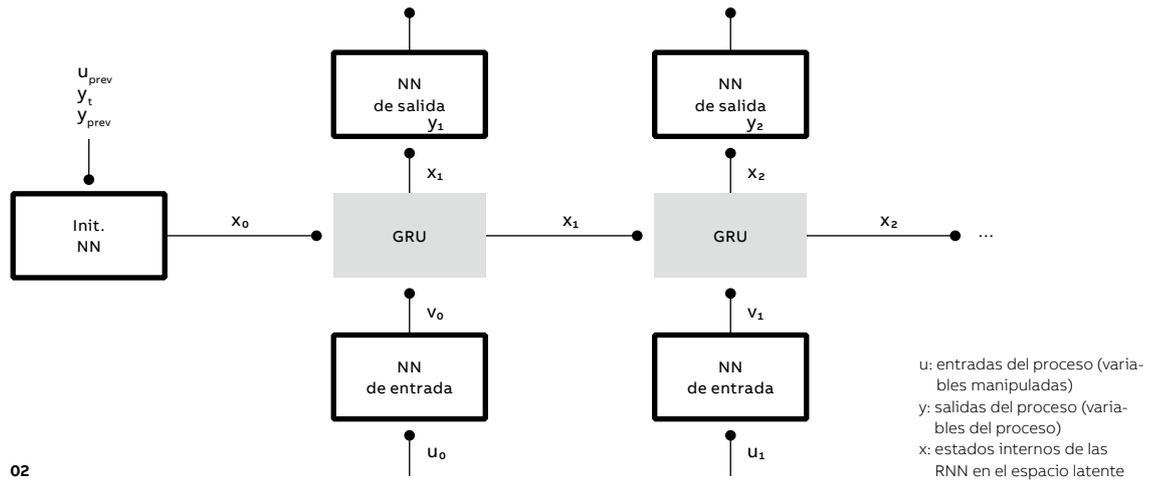
«Identificación de sistemas» se refiere al problema de estimación de los modelos para los sistemas dinámicos, basado en el comportamiento observado de entrada-salida [1]. Las técnicas de identificación de los modelos de caja negra que surgen de este ámbito de estudio han sido muy utilizadas en aplicaciones industriales. La modelización de caja negra destaca como una alternativa escalable a los enfoques de modelización de caja gris, especialmente porque el requisito deja de ser el conocimiento experto de dominio para pasar a ser la complejidad de los componentes y algoritmos matemáticos, y las mayores cantidades de datos de medición.

Sin embargo, siguen existiendo algunos retos. La práctica actual es utilizar una serie de pruebas en escalón en lazo abierto y variable única para generar los datos necesarios para la identificación del

—  
01 Los recientes avances en IA están abriendo nuevos enfoques hacia el control automático de procesos en la industria. Se muestra un tren de laminación utilizado para el procesamiento de metales.

—  
**Mehmet Mercangoez**  
**Andrea Cortinovis**  
ABB Corporate Research  
Baden-Dättwil, Suiza  
  
mehmet.mercangoez@ch.abb.com  
andrea.cortinovis@ch.abb.com

—  
**Luis Domínguez**  
Antiguo empleado de ABB



02

modelo utilizando técnicas de identificación de caja negra establecidas. Este procedimiento no solo requiere mucho tiempo, sino que también puede no ser viable si los lazos de control implicados no pueden operarse manualmente de forma segura.

Además, los modelos de respuesta, impulso o escalón pueden capturar parte del comportamiento dinámico no lineal de salida -como el tiempo muerto- pero deben superponerse linealmente para representar el comportamiento de múltiples entradas, múltiples salidas (MIMO) y solo pueden captar relaciones de entrada y salida lineales en estado estacionario.

Además, estos modelos rudimentarios no pueden representar un comportamiento inestable en lazo abierto. Se pueden utilizar métodos más avanzados, como la identificación de subespacios, para obtener modelos MIMO auténticamente, pero son intrínsecamente lineales y no pueden representar eficientemente el tiempo muerto o condiciones de saturación. Pueden utilizarse varios modelos para representar el comportamiento dinámico de un sistema y captar no linealidades, pero no es una tarea trivial y se requiere más esfuerzo de ingeniería.

### El paquete de IA: el manifold learning se une a las redes neuronales recurrentes

ABB decidió explorar un nuevo enfoque para construir gemelos digitales en las industrias de procesos, con varios objetivos principales:

- minimizar o eliminar la intervención de expertos o la ingeniería manual.
- tener la capacidad de construir los modelos sin ninguna prueba de planta en lazo abierto y preferiblemente a partir de datos históricos de funcionamiento.
- conservar o superar los niveles previos de precisión en la predicción.

Entre estas ambiciones, la que se topará con límites científicos fundamentales es la segunda, ya que ningún algoritmo ni computación podrá extraer la información necesaria si los datos no contienen esa información. Si el sistema no ha visitado una determinada condición de funcionamiento, la información necesaria estará ausente y la capacidad predictiva de los modelos derivados se verá limitada.

Para alcanzar los objetivos mencionados anteriormente, se aprovecharon los recientes avances en IA y, más concretamente, en el aprendizaje automático.

### ABB decidió explorar un nuevo enfoque para construir gemelos digitales en las industrias de procesos.

El uso de redes neuronales para modelar sistemas no lineales no es una idea nueva en el control de procesos. En los 90 ya se estudió el uso de redes feed-forward multicapa con capas ocultas para aproximar las respuestas de la planta y sus derivados [2]. Las conclusiones de estos primeros estudios pusieron de relieve principalmente las dificultades computacionales asociadas. Además, en esa época, las redes feedforward no eran, por diseño, óptimas para modelar sistemas dinámicos, y aún no se habían producido los desarrollos clave de las redes neuronales recurrentes (RNNs) o la memoria larga-corto plazo (LSTM) que representan mejor la dinámica. En la actualidad, muchos artículos de investigación contemplan el uso de las RNN para modelar sistemas dinámicos en problemas de control.

Otro desarrollo (el manifold learning) proporcionó otra pieza de la solución. El análisis de componentes

— 02 El esquema básico del algoritmo de IA que se utiliza para predecir el comportamiento futuro de una planta de procesos con valores futuros dados de entradas de la planta.

— 03 Resultados de validación para predicciones N-step-ahead en el estudio de caso de la máquina de papel. Los puntos indican actualizaciones de las mediciones; las predicciones sin corregir, cuyas mediciones e historiales se actualizan de nuevo, se encuentran entre los puntos. Los ejes Y están normalizados.

principales (PCA) y las técnicas de reducción de la dimensionalidad, en general, se han utilizado frecuentemente en la ingeniería de sistemas de proceso, especialmente para aplicaciones de supervisión del estado y detección de fallos.

— La idea principal del enfoque de ABB para crear gemelos digitales es aprender la dinámica de la planta en un espacio de baja dimensión codificado por los VAE.

La idea básica aquí es que las plantas de proceso son multidimensionales por naturaleza, pero muchas mediciones están correlacionadas debido a su física subyacente. De nuevo, los métodos predominantes aquí eran lineales y tenían un éxito limitado a la hora de captar el comportamiento no lineal. Aunque hubo algunas propuestas que ampliaban los métodos lineales que se implantaron con cierto éxito, los últimos avances en redes neuronales artificiales y su uso para la construcción de autocodificadores variacionales (VAE) han supuesto una mejora mucho más significativa del rendimiento de estos enfoques. Un VAE es un sistema de aprendizaje no supervisado

de una estructura de codificación y decodificación capaz de mapear datos en un espacio de orden reducido y volver a la dimensión original con el objetivo de reducir al mínimo la pérdida de información durante el proceso.

La idea principal del enfoque de ABB para crear gemelos digitales es aprender la dinámica de la planta en un espacio de baja dimensión codificado por los VAE. En la práctica, los VAE se realizan como redes neuronales feedforward. A diferencia de las disposiciones similares encontradas en la literatura, ABB sugiere una capa adicional que inicializa los estados de las denominadas GRU (o unidades recurrentes cerradas), que son el principal elemento de las RNN que captan la dinámica del sistema. Observe que las capas de red neuronal de entrada descritas en →2 solo se muestran a efectos de exhaustividad (normalmente en los problemas de control las entradas ya están reducidas al mínimo, son físicamente independientes y no están correlacionadas). Por lo tanto, no es necesario mapear las entradas en un espacio latente de dimensión más baja.

#### Puesta a prueba

Para probar el rendimiento y la robustez del enfoque sugerido, se eligió un sistema complejo para el control de la dirección de la máquina (MD) de una máquina de papel [3,4]. Las máquinas de papel presentan fuertes interacciones entre múltiples marcos de escaneado (sensores) y múltiples conjuntos de actuadores. Estas interacciones afectan a las propiedades del papel producido. Además, debido a los diferentes tiempos de respuesta y tiempo muerto de transporte entre los actuadores y las mediciones a lo largo del recorrido escaneado del sensor, las láminas pueden experimentar diferentes contracciones que conducen a diferentes anchos. En general, el sistema de control MD debería aplicar acciones de control que eliminen las variaciones rápidas de peso y humedad de las láminas durante las transiciones de fabricación de un tipo de papel a otro («cambio de grado»), teniendo en cuenta y prediciendo los tiempos muertos de transporte.

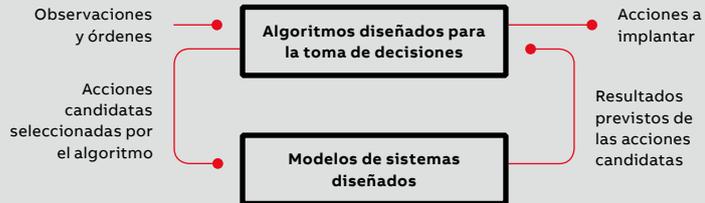
El modelo se validó con datos de la planta que constaban de tres entradas: Flujo de Stock (ST01), Presión de Vapor 1 (PR02) y Presión de Vapor 2 (PR03); tres salidas: Peso en seco (DW), Contenido de humedad 1 (MT1) y Contenido de humedad 2 (MT2); y tres perturbaciones: Retención de flujo de aire o Contenido de ceniza (RA01), Flujo de estuco brillante (CY01) y Velocidad de la máquina (MS). El objetivo de este estudio de caso es hacer un seguimiento de las referencias de las tres salidas definidas anteriormente, en el que se asume que se han medido las perturbaciones. Los principales retos del estudio de caso son la complejidad del sistema derivada



# ¿CÓMO FUNCIONA LA TOMA DE DECISIONES AUTÓNOMA?

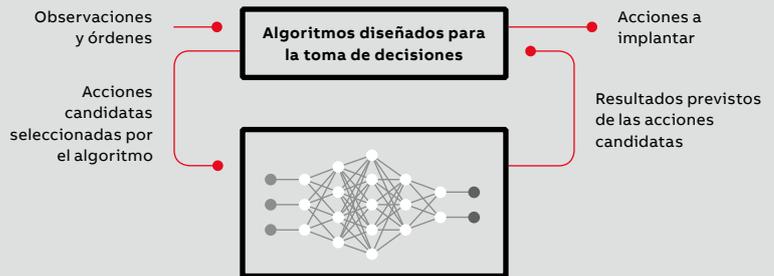
## Sistema tradicional de toma de decisiones autónomo

Los sistemas de toma de decisiones autónomos tradicionales son artesanales y se basan en modelos matemáticos diseñados que representan la realidad física. Como respuesta a observaciones u órdenes, las decisiones se toman escaneando las posibles acciones y utilizando los modelos matemáticos para determinar los resultados de esas acciones en un horizonte de predicción. El algoritmo implementa la acción que produce el mejor resultado que se ajusta a las órdenes.



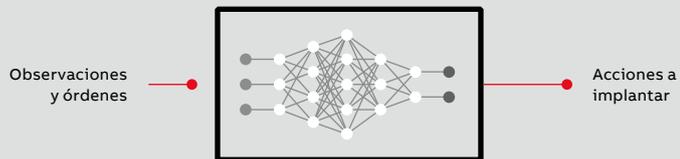
## Modelo generado por IA

El método de modelización propuesto en este artículo sustituye a los modelos de sistema diseñados con modelos de sistema generados por una aplicación de IA. Estos modelos generados por IA siguen siendo compatibles con la forma tradicional de utilizar los algoritmos de toma de decisiones y pueden utilizarse para generar predicciones basadas en posibles acciones. Se prestan a la optimización de las acciones para obtener el comportamiento y los resultados deseados.



## Un enfoque futuro prometedor

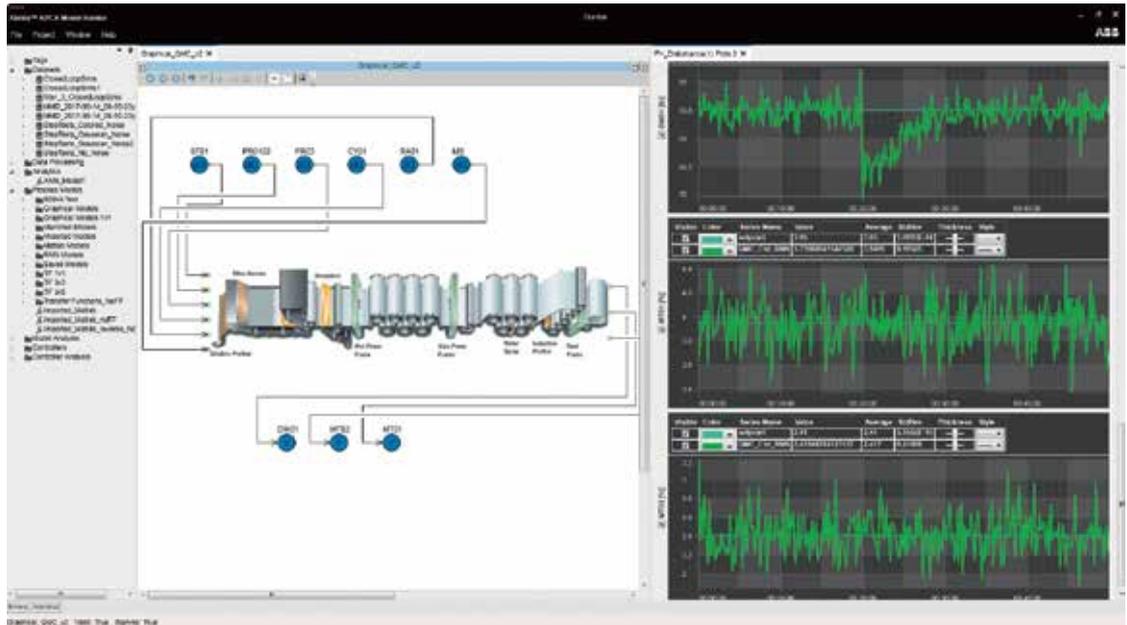
Los dos esquemas anteriores se basan en la computación de las acciones en tiempo real ante observaciones y cambios de órdenes. La creación de los modelos diseñados o el entrenamiento de los modelos basados en IA tienen que llevarse a cabo offline o en una etapa aparte. Un enfoque prometedor para el futuro consiste en utilizar la IA también para aprender las mejores acciones que corresponden a observaciones y órdenes, y dejar que sea la IA la que decida directamente sobre las acciones. La ventaja de este enfoque es la posibilidad de idear estrategias inimaginables que no estén limitadas por las construcciones



diseñadas en el pasado. El enfoque de aprendizaje propuesto en este artículo puede utilizarse para generar gemelos digitales a modo de patio de juegos para que estos algoritmos de IA construyan sus políticas en base a realidades simuladas.

—  
04 Toma de decisiones autónoma.

—  
05 La suite ABB Ability APCA aplicando el control MD de una máquina de papel utilizando el método de modelización basado en VAE y RNN. La suite APCA también admite modelos gráficos de primeros principios, regresión lineal y no lineal, PCA, redes neuronales artificiales (ANN) y máquinas de vectores de soporte (SVM).



05

## Referencias

[1] L. Ljung, "Perspectives on system identification," *Annual Reviews in Control*, 34(1), pp. 1–12, 2010.

[2] K. Hornik, et al., "Universal approximation of an unknown mapping and its derivatives using multilayer feedforward networks," *Neural networks*, 3(5), pp. 551–560, 1990.

[3] S.-C. Chen et al., "Use a Machine's full capability," *Pulp & Paper International (PPI), Process Control*, pp. 39–42, March 2009.

[4] S.-C. Chen et al., "Multivariable CD control applications," *IPW, Process and Quality Control*, pp. 16–20, October 2008.

[5] N. Lanzetti et al., "Recurrent Neural Network based MPC for Process Industries," *European Control Conference, Naples, Italy*, 2019.

[6] L. Dominguez and E. Galleste, "Leveraging advanced process control and analytics in industrial automation," *ABB Review*, 02/2018, pp. 38–45.

del gran número de estados, la gestión de varios tiempos muertos y el ruido de medición añadido a las señales de salida.

Los datos de entrenamiento para este ejercicio se generaron ejecutando un simulador de máquina de papel de alta fidelidad con diversos cambios de referencias de salida y registrando las señales de entrada/salida. Los cambios de referencias de salida se realizan de forma consecutiva (back-to-back), lo que significa que no es necesario un procesamiento previo para filtrar la operación en estado estacionario. Se añade ruido autocorrelacionado en cada canal de salida para que la configuración sea más realista. Se generan para validación conjuntos de datos independientes no incluidos en el entrenamiento.

El modelo RNN está construido en Keras con backend en Tensorflow. El entrenamiento de la GRU se basa en la retropropagación a través del tiempo (BPTT), que tiene un coste computacional relativamente alto.

Tanto →3 como las métricas cuantitativas demuestran que la RNN se comporta bien en el nuevo conjunto de validación y que, por lo tanto, es capaz de aprender la dinámica del sistema, incluidos sus tiempos muertos. Las predicciones obtenidas pueden utilizarse entonces para dar soporte a la toma de decisiones o para controles en lazo cerrado utilizando técnicas basadas en modelos y, en el futuro, para operaciones autónomas →4.

## Dónde está ahora ABB

Nuestro trabajo actual es solo el primer paso hacia la creación de gemelos digitales sofisticados para las industrias de procesos. Ya contamos con algunos ingredientes, como la capacidad de construir modelos

dinámicos no lineales multivariantes precisos a partir de datos operativos en lazo cerrado [5]. Los desencadenantes del reentrenamiento automático y la parametrización autónoma de las estructuras subyacentes de las redes neuronales asociadas constituyen trabajos en curso. La selección de arquitecturas, tales como el número de capas en los VAE o el número de GRU, es, por el momento, manual y requiere conocimiento de los entornos de deep-learning más que conocimiento de los dominios de ingeniería. La optimización de hiperparámetros puede solucionar esta dependencia.

—  
Las predicciones pueden utilizarse para dar soporte a la toma de decisiones o para controles en lazo cerrado utilizando técnicas basadas en modelos y, en el futuro, para operaciones autónomas.

Un activo valioso es la suite ABB Ability APCA: un conjunto de herramientas que simplifica el despliegue de controladores avanzados y modelos analíticos [6]. Con la suite APCA, pueden deducirse modelos analíticos de los principios básicos o de los datos del proceso y desplegarlos en el sistema APCA Run-time. El sistema de modelización descrito anteriormente, junto con los VAE y las RNN, forman ahora parte de la suite APCA y están listos para beneficiar a los clientes de ABB →5.

ABB pretende seguir mejorando estas capacidades y ofrecer a sus clientes mejoras tangibles en la seguridad, disponibilidad, calidad, eficiencia y flexibilidad de sus procesos. ●

## PRODUCTIVIDAD

# Optimización del tren de potencia eléctrico gracias a la supervisión digital

Los trenes de potencia de propulsión eléctrica son componentes fundamentales de la industria y es esencial que puedan funcionar de una manera continua. Con ABB Ability™ Condition Monitoring para trenes de potencia, ABB ayuda ahora a sus clientes a aumentar el tiempo de servicio de todo su tren de potencia. ABB Review entrevistó a Sonke Kock de ABB para saber más sobre el tema.

**AR** ABB Review (AR): Sonke, en primer lugar, ¿cuál es su función en ABB?

**SK** Sonke Kock (SK): Soy Digital Leader de ABB para la línea de negocio global de Drives. La innovación digital es un tema importante en Drives.

**AR** Comencemos por el principio: ¿Qué son los trenes de potencia eléctricos y por qué son importantes?

**SK** En la industria, las infraestructuras y los edificios es necesario impulsar cintas transportadoras, hacer funcionar bombas, girar mezcladores, desplazar o procesar materiales, girar ventiladores y otras mil tareas más. Estas tareas se llevan a cabo mediante trenes de potencia eléctricos, es decir, mediante la

conexión de una serie de accionamientos, motores, cojinetes y acoplamientos, engranajes y bombas, en diferentes configuraciones. Estos trenes de potencia son componentes fundamentales de las operaciones industriales, pero también de nuestra vida diaria. Imagine que un ascensor no funciona, que la presión del agua cae o que la cinta transportadora de la fábrica se detiene. Para evitar estos inconvenientes, interrupciones o situaciones potencialmente peligrosas, es muy deseable vigilar de cerca el estado de los equipos eléctricos y mecánicos.

**AR** ¿Y eso es lo que se hace ahora?

**SK** No del todo. Tradicionalmente, el coste de la supervisión de los trenes de potencia ha sido tal que



su uso resultaba prohibitivo para todo menos para las aplicaciones más críticas. Esto se debe a que la implantación de un sistema de supervisión integral requiere una instalación sofisticada que a veces cuesta más que los propios componentes del tren de potencia. Además, los equipos de supervisión y software deben instalarlos y mantenerlos especialistas externos. ¡Así que puede hacerse una idea del dineral que cuesta! Por este motivo, la industria a menudo recurría a mediciones anuales o bianuales de la vibración a modo de mantenimiento, evitando las instalaciones fijas de equipos de supervisión. Esto abarata mucho la supervisión del estado, pero a cambio deja un largo período entre mediciones en el que las cosas pueden ir mal. Y existe un riesgo para la seguridad, ya que el personal de mantenimiento debe acercarse a maquinaria giratoria.

**AR** ¿Cómo resuelve ABB esta coyuntura?

**SK** Con el servicio ABB Ability Condition Monitoring para trenes de potencia →1.

**AR** ¿Y cómo funciona?

**SK** Al disponer de sensores inalámbricos de bajo coste basados en IoT, o el Internet de las cosas, y transmisión de datos, podemos disponer de una supervisión permanente a un coste menor que el de los tradicionales sistemas de supervisión del estado. ABB Ability Condition Monitoring para trenes de potencia es un servicio en la nube que permite que estos datos estén disponibles permanentemente online con unos costes de instalación mínimos. La solución se basa en ABB Ability, que es la oferta digital unificada y transversal de ABB que va desde el dispositivo sobre el terreno hasta el borde y hasta la nube. ABB Ability permite un servicio global rápido, un mantenimiento proactivo y muchas otras ventajas. Esto significa que el cliente conoce mejor sus activos, permitiendo así un funcionamiento seguro, fiable y eficiente que mejora el tiempo de servicio y la productividad.

**AR** ¿Qué incluye la solución de supervisión del estado?

**SK** El servicio de supervisión del estado cubre actualmente accionamientos, motores, cojinetes y



**Sönke Kock**  
ABB Motion  
Ladenburg, Alemania

bombas →2. La supervisión del estado de los accionamientos, por ejemplo, es un servicio que proporciona información en tiempo real sobre eventos en los convertidores de frecuencia conectados. Los parámetros supervisados incluyen la disponibilidad de los accionamientos, las condiciones ambientales y los fallos. Con este servicio, pueden detectarse problemas potenciales con antelación y pueden ponerse en marcha las medidas de mantenimiento necesarias.

**AR** Y creo que los sensores inteligentes también son importantes, ¿verdad?

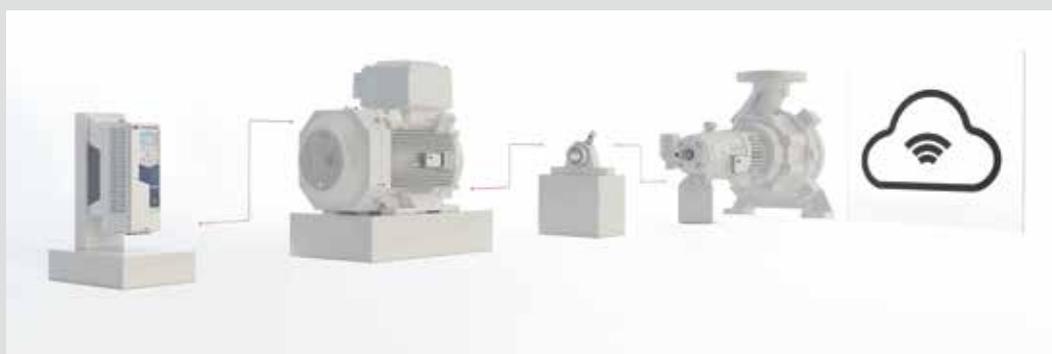
**SK** En efecto, podemos equipar a los motores con el sensor inteligente ABB Ability Smart Sensor, que convierte los motores tradicionales en dispositivos inteligentes conectados de forma inalámbrica →3. El sensor inteligente está conectado, por ejemplo, a motores de baja tensión para la supervisión a distancia a través de una aplicación en el portal de Internet. Esto permite perspectivas de predicción que pueden aumentar la disponibilidad al tiempo que reducen el consumo de energía.

**AR** ¿Se utilizan los sensores inteligentes en más sitios?

**SK** Sí, en cojinetes montados, por ejemplo, para facilitar información del estado. Los cojinetes son componentes críticos del sistema en general y pueden ser importantes indicadores de problemas, por lo que merece la pena vigilarlos de cerca. El análisis de datos procedentes de sensores inteligentes

01 ABB Ability Condition Monitoring para trenes de potencia permite a los operadores de planta mejorar el rendimiento, la fiabilidad y la eficiencia de los componentes del tren de potencia.

02 ABB conecta accionamientos, motores, cojinetes y bombas para la supervisión y el análisis avanzados.





03a



03b

también se utiliza en las bombas para controlar la temperatura de la bomba, la cavitación y el estado de los cojinetes a fin de evitar obstrucciones o el mal funcionamiento de la bomba.

**AR** ¿Qué otras ventajas ofrece ABB Ability Condition Monitoring para trenes de potencia a los clientes?

**SK** Un aspecto muy importante es que el tren de potencia digital proporciona a los usuarios una introducción de bajo coste a la supervisión digital. El bajo umbral de entrada permite a los clientes probarlo y verlo con sus propios ojos, y normalmente acaban convencidos. Otra ventaja es la rapidez de su puesta en servicio e instalación, ya que no es necesario cablear por separado motores, cojinetes y bombas. Esto supone una gran ventaja, ya que, si surgen problemas durante la puesta en servicio o el funcionamiento, el cableado suele ser el culpable. La facilidad de uso e integración, la independencia del fabricante, la escalabilidad y la flexibilidad son otras ventajas.

**AR** ¿Puede esta solución dar lugar a una supervisión más completa?

**SK** Sí, a diferencia de las soluciones anteriores que solo proporcionaban datos puntuales sobre el estado de componentes individuales, ahora puede hacerse una supervisión permanente de todos los componentes. Esta supervisión integral ofrece ventajas como menores costes, mayor tiempo operativo y un funcionamiento más eficiente.

Si es tan completo, ¿significa esto que el cliente tiene que instalar desde el principio un sistema de supervisión a gran escala?

**SK** ¡No, para nada! Nuestra solución es escalable. Cualquier componente individual de un tren de potencia (motor, cojinete o bomba) puede equiparse con un equipo de medición e incluirse en el sistema de supervisión. Y luego pueden ir añadiéndose otros componentes, como si se tratara de bloques de construcción. Los datos se recogen en un sistema móvil, fácilmente configurable y escalable basado en la nube que está disponible a través de aplicaciones y portales web →4. Todo esto significa que una solución acabada puede utilizarse solo para una parte del tren de potencia (por ejemplo, solo el motor) o para toda la línea de transmisión. Dado que su configuración es rápida y flexible, el cliente puede probar varias configuraciones e invertir en la solución de supervisión del estado que mejor se adapte a sus necesidades.

**AR** ¿Hay empresas que ya utilizan ABB Ability Condition Monitoring para trenes de potencia?

**SK** Hay empresas en todo el mundo que ya lo están utilizando para optimizar la supervisión de sus equipos. Por ejemplo, la empresa sueca Uppsala Vatten och Avfall lo utiliza para facilitar a sus operadores informes sobre indicadores en tiempo real de sus sistemas de bombeo, tales como fiabilidad, uso, consumo de energía y carga. Glencore Nikkelverk, en Noruega, lo utiliza en un sistema de bombeo de agua de mar que distribuye agua de refrigeración por toda su planta. La integración de la solución de ABB ofrece a la empresa minera la oportunidad de recabar más información sobre el estado térmico de los accionamientos y comparar los datos con los de otras soluciones de supervisión.

**AR** ¿Hay más ejemplos?

**SK** Sí. En todo el mundo. El gigante siderúrgico finlandés SSAB utiliza ABB Ability Remote Assistance, una solución lista para el servicio que acompaña a ABB Ability Digital Powertrain, para aumentar la fiabilidad de los accionamientos clave de su planta de coque. El sistema de supervisión a distancia ya ha permitido acelerar la detección de fallos de un accionamiento de velocidad variable in situ. Además, la empresa agrícola global Olam International ha instalado el ABB Ability Smart Sensor en motores en varias fábricas: una planta de cacao en Singapur, una fábrica de lácteos en Malasia y una fábrica de azúcar en Indonesia.

Los sensores permiten la supervisión a distancia de los motores y, por lo tanto, su mantenimiento predictivo →5. Se han reducido considerablemente los tiempos de inactividad y se ha alargado la vida del sistema. El cliente está muy contento y nos ha dicho

—  
03 El ABB Ability Smart Sensor.

03a El sensor inteligente Smart Sensor convierte los motores tradicionales en dispositivos inteligentes conectados de forma inalámbrica y permite la alerta temprana de problemas potenciales. Aquí lo vemos en un cojinete montado.

03b El montaje y desmontaje del Smart Sensor es sencillo.

—  
04 Tablet del portal. Un portal de supervisión muestra los parámetros operativos clave de activos individuales como un sistema unificado.

—  
05 La empresa agrícola Olam International está reduciendo el tiempo de inactividad de sus motores gracias a los sensores inteligentes de ABB. Aquí, vemos el Smart Sensor montado en un motor en una instalación de Olam.



04



05

que el método de supervisión digital a distancia de ABB es mucho mejor que el método anterior, ya que permite evitar paradas y aumentar la fiabilidad en general.

Otro ejemplo importante es el mayor simulador de caída libre del mundo, Aero Gravity, en Italia. Para cumplir las normas de seguridad más exigentes, Aero Gravity utiliza el servicio ABB Ability Condition Monitoring basado en la nube para sus accionamientos. El servicio recopila continuamente datos sobre parámetros clave de los accionamientos y proporciona una visión general a través de un sistema de indicaciones que permite identificar áreas que pueden requerir atención adicional. Los técnicos pueden diagnosticar y analizar problemas potenciales a través de un conjunto avanzado de herramientas online.

**AR** Hablemos sobre la formación del personal para utilizar el sistema. ¿Es fácil de usar?

**SK** Una ventaja especial del análisis del tren de potencia es que todos los componentes reportan sus datos de estado en el panel de control del portal de usuario a través de una pantalla intuitiva con luces de semáforo. Verde significa que el componente está bien; amarillo indica que el usuario debe seguir observando el componente; y rojo indica que hay un problema importante. Los técnicos y operadores de mantenimiento pueden así mantener una visión general de los trenes de potencia. Por supuesto, también pueden acceder fácilmente a cualquier dato detallado que quieran revisar, como vibraciones, velocidades, temperaturas o consumo de energía.

**AR** ¿Hay algo más para los trenes de potencia que el mantenimiento inteligente?

**SK** Por supuesto. Imagine que usted es el gerente de una estación de bombeo importante. La transparencia total del punto operativo y el esfuerzo de todos los componentes de sus sistemas de bombeo le permitirá seleccionar puntos operativos para diferentes bombas que maximicen su vida útil y minimicen el consumo de energía de su instalación. Por tanto, no se trata sólo de fallos predictivos, sino también de un funcionamiento inteligente y sostenible.

**AR** ¿Qué pasos se van a seguir?

En 2019 lanzamos ABB Ability Digital Powertrain en la feria de Hannover y hemos estado ocupados trabajando en este importante lanzamiento de producto. Sin embargo, ya tenemos ampliaciones y mejoras en curso. ¡Tal vez tenga que volver a pasarme por aquí pronto para contarlos!

**AR** Sonke, gracias por la entrevista. •

## PRODUCTIVIDAD

# Prototipos virtuales de sistemas de sensores

La creación de prototipos virtuales de sistemas que contienen varias tecnologías de sensores optimiza el diseño y reduce el plazo de comercialización de los productos. Ejemplos como las mediciones de alta tensión, la detección de fallos por arco y la protección electrónica contra sobrecargas ilustran las numerosas ventajas de este método basado en la cosimulación.

— 01 Las plantas industriales modernas pueden incluir sistemas en los que muchas tecnologías de sensores diferentes tienen que trabajar juntas. La creación de prototipos virtuales de estos sistemas acelera el desarrollo de los productos y permite diseños menos propensos a errores y más precisos.

Los sistemas industriales modernos suelen incorporar muchos componentes heterogéneos que operan en diferentes modalidades (software, ópticos, eléctricos, térmicos o mecánicos) y en diferentes escalas de tiempo. El diseño óptimo de estos sistemas exige metodologías que permitan la cosimulación de la interacción de estos componentes sin necesidad de construir prototipos físicos. Estos enfoques a menudo se denominan «prototipos virtuales» o «simulación de sistemas» →1.

— Uno de los principales objetivos de la creación de prototipos virtuales es reducir el número de prototipos físicos necesarios para desarrollar nuevas tecnologías.

El enfoque de simulación aquí descrito se denomina en ocasiones «simulación de redes». En este enfoque, se simula la interacción de las unidades de diseño de conformidad con un conjunto predefinido de reglas, como las leyes de Kirchhoff en los sistemas eléctricos. Este método contrasta con la simulación de elementos finitos en la que se simulan todos los elementos de un problema.

— **Yannick Maret**  
**Matija Varga**  
**Stefano Marano**  
ABB Corporate Research  
Baden-Dättwil, Suiza

yannick.maret@ch.abb.com  
matija.varga@ch.abb.com  
stefano.marano@ch.abb.com

— **Francisco Mendoza**  
ABB Corporate Research  
Ladenburg, Alemania

francisco.mendoza@de.abb.com

— **Joris Pascal**  
Antiguo empleado de ABB





Uno de los principales objetivos de la creación de prototipos virtuales es reducir el número de prototipos físicos necesarios para desarrollar nuevas tecnologías y reducir así el plazo de comercialización →2.

**Motivación para la creación de prototipos virtuales**

El crecimiento de los componentes heterogéneos en los sistemas de sensores industriales está perfectamente ilustrado por los cambios que están viviendo los sistemas de medición de alta tensión. Aquí, por ejemplo, los transformadores de instrumentos convencionales (IT) están siendo constantemente sustituidos por transformadores de instrumentos no convencionales (NCIT).

Los IT convencionales son transformadores de corriente o tensión que permiten realizar mediciones precisas en la red eléctrica. Sin embargo, a medida que aumenta la potencia que transporta

la red, la magnetización del núcleo de hierro del IT empezará a saturarse y, por lo tanto, limitará el rango dinámico. Los IT convencionales también presentan: efectos de sobrecalentamiento debido a corrientes parásitas; un comportamiento lento de los transitorios que ralentiza su respuesta ante eventos críticos como cortocircuitos o sobretensiones; y riesgos de incendio, explosión o fuga si el IT está lleno de papel o aceite. Otras limitaciones de las tecnologías de los IT convencionales son su tamaño, su peso y su coste. Los NCIT resuelven estas limitaciones utilizando principios de detección alternativos como, por ejemplo, electro-ópticos, bobinas con núcleo de aire, etc.

La creación de prototipos virtuales abre paso a una nueva metodología de diseño que abarca la totalidad de un sistema complejo.

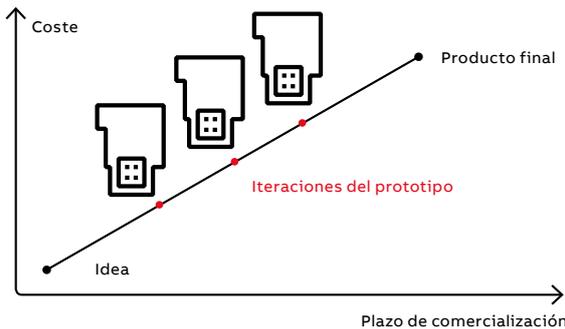
El desarrollo de un nuevo NCIT requiere conocimientos de física (por ejemplo, componentes ópticos, piezas mecánicas), electrónica (por ejemplo, acondicionamiento de señales, comunicaciones) y matemáticas (procesamiento de señales).

Esta interdependencia multidisciplinar se deriva de la arquitectura de los NCIT, en la que los elementos que la componen dejan de tener una conexión pasiva simple para tener que interactuar en un lazo cerrado.

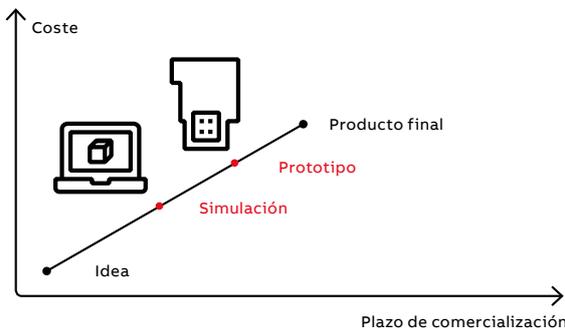
La creación de prototipos virtuales abre paso a una nueva metodología de diseño que abarca la totalidad de un sistema complejo. Los prototipos virtuales resultantes permiten al equipo de desarrollo verificar, probar y mejorar de manera eficiente el diseño en su conjunto en lugar de como unidades independientes.

**Ventajas de la creación de prototipos virtuales para el desarrollo de sistemas de sensores**

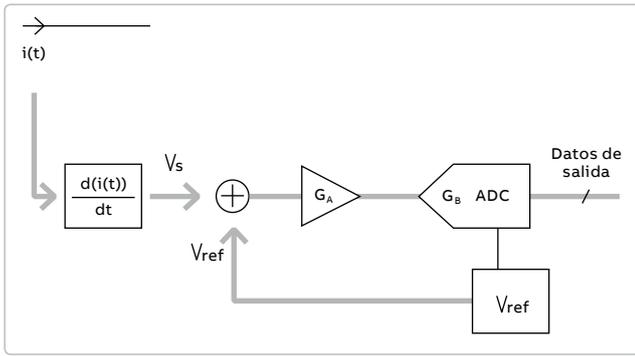
Los prototipos virtuales ayudan a dividir los diseños de una forma óptima y objetiva. En otras palabras, ayudan al equipo de diseño en sus decisiones sobre qué tareas deben implementarse en hardware y cuáles en software y, de manera similar, si las señales deben procesarse analógicamente o digitalmente.



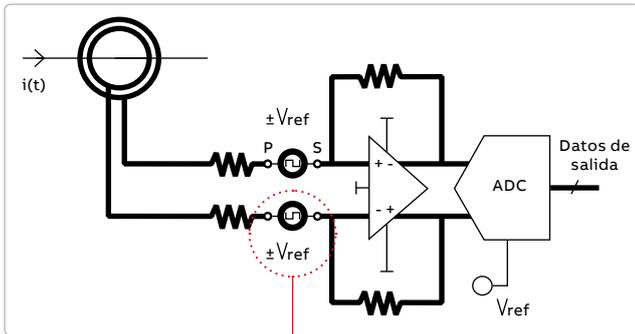
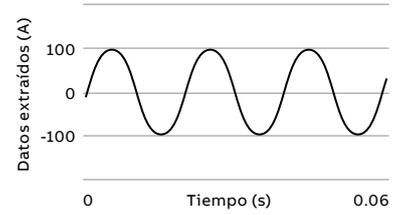
02a



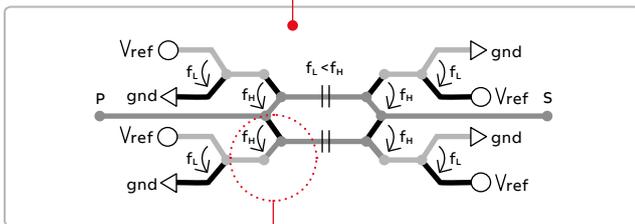
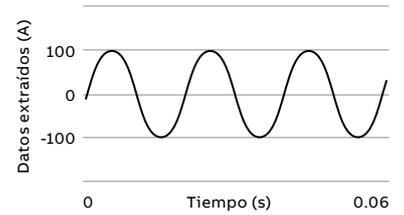
02b



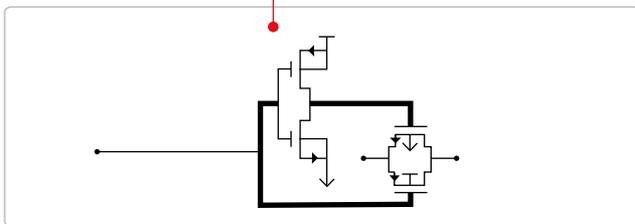
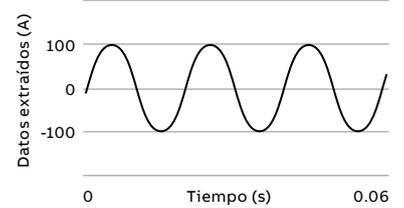
VHDL-AMS totalmente comportamental



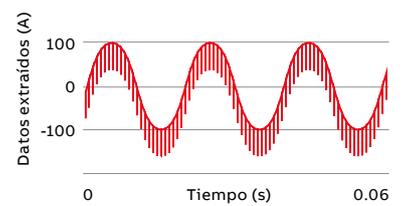
Sensor: modelo físico  
ADC, amplificador: comportamental  
Interruptores: VHDL-AMS estructural



Interruptores: Fabricante IC  
Modelo Spice  
VHDL-AMS/Spice



Modelo de transistor VHDL-AMS



Nivel de abstracción

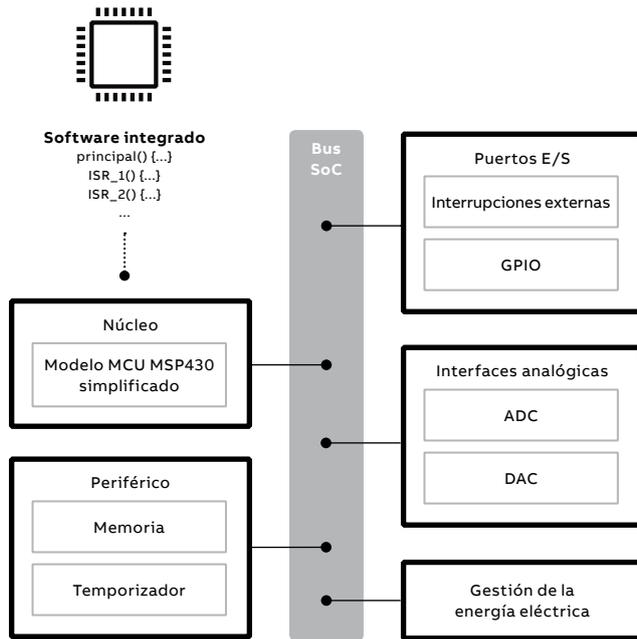
03

02 La creación de prototipos virtuales reduce radicalmente el coste, el plazo de comercialización y el número necesario de iteraciones de los prototipos físicos.

02a Enfoque tradicional.

02b Uso de prototipos virtuales.

03 Diferentes niveles de detalle de un frontend autocalibrado para un NCIT basado en una bobina de Rogowski.



04

Además de dividir, los prototipos virtuales también ayudan a asignar correctamente las especificaciones del sistema a módulos individuales, lo que permite estudiar la propagación de errores entre módulos y la precisión general del sistema de sensores. Los errores de diseño también se detectarán más fácilmente y antes que con los prototipos tradicionales. Además, puede evaluarse rápidamente el impacto en el sistema completo de un cambio de diseño (por ejemplo, una medida de optimización de costes) en un único módulo.

Los prototipos virtuales aceleran también futuros proyectos de desarrollo gracias a la reutilización de modelos. Idealmente, los componentes desarrollados deben organizarse en bibliotecas que sean recuperables por los futuros diseñadores o herramientas de diseño automático.

Otra aplicación de la creación de prototipos virtuales es la colaboración entre distintas familias de productos. Por ejemplo, un modelo de sensor de corriente puede reutilizarse en un prototipo virtual de interruptor, que se reutilizará a su vez para el modelado de las aplicaciones del cliente.

En cuanto a las aplicaciones del cliente, los prototipos virtuales permiten obtener un conocimiento de las necesidades del cliente que va mucho más allá del simple cumplimiento de los requisitos establecidos en las normas, por ejemplo, cuando los clientes superan regularmente las especificaciones de los sistemas de sensores. Al introducir estas nuevas condiciones de uso en los prototipos virtuales, ABB puede conocer el impacto que tendría ese uso indebido, cuantificarlo e informar al cliente en consecuencia. Estos requisitos específicos pueden tenerse en cuenta en el próximo desarrollo del sensor.

—  
**Los prototipos virtuales aceleran también futuros proyectos de desarrollo gracias a la reutilización de modelos.**

#### Creación de prototipos virtuales: metodología

Existen varias metodologías para crear prototipos virtuales. Para el desarrollo de sensores, ABB utiliza una herramienta basada en el lenguaje de descripción del hardware VHDL-AMS (norma IEEE 1076). Las letras AMS a continuación de VHDL significan «señales analógicas y mixtas». Como su propio nombre sugiere, AMS admite el modelado de entidades analógicas y de señal mixta y funciona con simuladores que manejan señales con información temporal continua y discreta. El simulador está impulsado por eventos, lo que significa que solo un cambio en el valor de la señal dispara la computación de un nuevo punto operativo. Esta técnica es muy eficaz en términos de tiempo de simulación en el caso de simulaciones combinadas de señales analógicas y digitales. Además, ABB emplea SystemC, una clase de biblioteca (norma IEEE 1666) basada en C++ para el modelado y la simulación de componentes de hardware digital y software en sistemas integrados. Para construir prototipos virtuales que tengan en cuenta componentes de hardware y software digitales, se cosimulan modelos SystemC y VHDL-AMS.

El uso de VHDL-AMS facilita las técnicas de diseño ascendente o descendente e incluso la combinación de ambas. Esta flexibilidad permite a los equipos de proyecto iniciar parte de un

—  
04 Modelo de simulación de un microcontrolador en SystemC.

—  
05 Se ha obtenido una instalación eléctrica doméstica real con un modelo que incluía cables, cargas y un fallo por arco. Alterando los parámetros del modelo se puede generar un rico conjunto de datos de señales de corriente y tensión. Reproducir la misma configuración con mediciones reales, de ser posible, sería muy costoso y llevaría mucho tiempo.

05a Tensión de arco simulada.

05b Corriente de arco simulada.

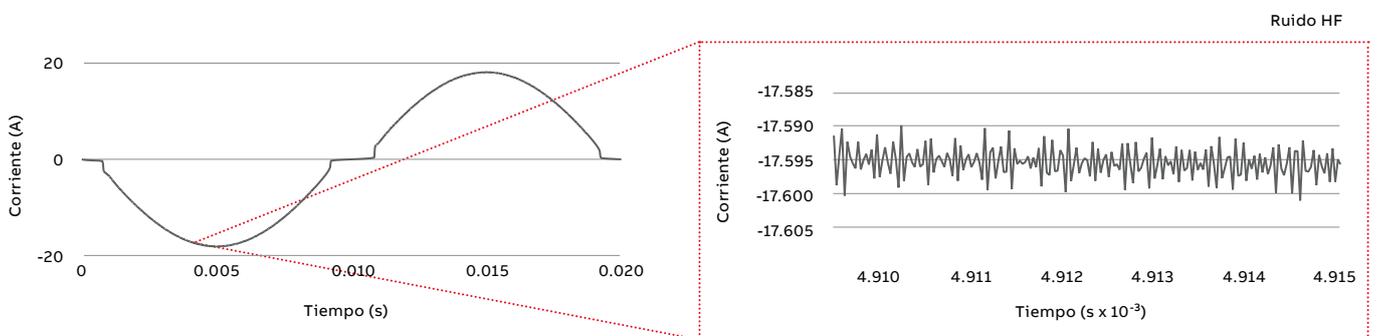
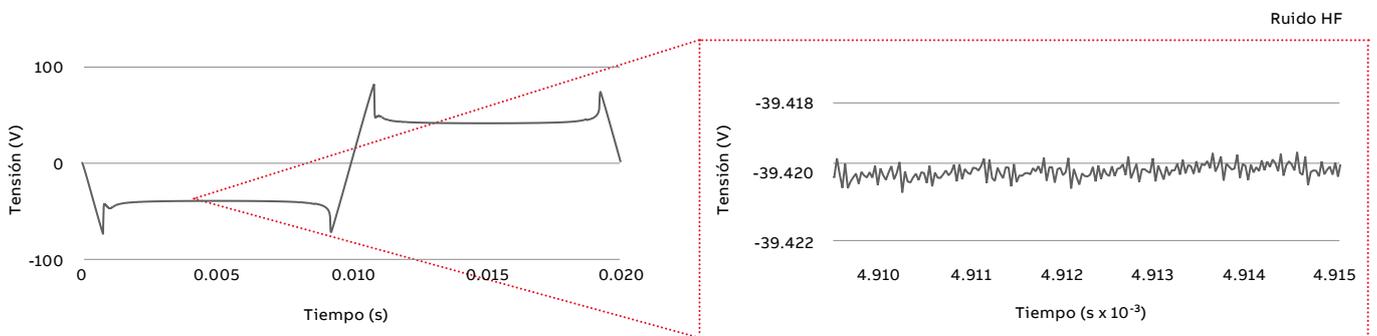
diseño con modelos de alto nivel y vaya ajustando constantemente el nivel de detalle del modelo a medida que el proyecto avanza. Este es un enfoque descendente.

Paralelamente, si parte de un equipo del proyecto cuenta ya con algunos modelos detallados de otros componentes, estos pueden utilizarse tal y como están o simplificarse hasta un nivel de modelado más alto para acortar el tiempo de simulación. Este es un enfoque ascendente.

VHDL-AMS cuenta con un soporte integrado para múltiples descripciones de componentes y, por tanto, admite múltiples niveles de abstracción para un modelo dado. →3 muestra diferentes niveles de detalle de un frontend autocalibrado para un NCIT basado en una bobina Rogowski. La autocalibración se consigue inyectando una señal cuadrada de alta frecuencia con una amplitud muy estable en la electrónica. A continuación, el software calcula los coeficientes de calibración y los utiliza para corregir la señal de baja frecuen-

—  
Los equipos de proyecto pueden iniciar parte de un diseño con modelos de alto nivel e ir ajustando constantemente el nivel de detalle del modelo a medida que el proyecto avanza.

cia medida. El principio de autocalibración se demostró en primer lugar mediante simulación, utilizando un alto nivel de abstracción. El primer prototipo funcionó correctamente pero mostró un ruido de alta frecuencia en la señal medida. Este fenómeno podría reproducirse en la simulación aumentando el nivel de detalle de los transistores en los interruptores analógicos utilizados para la generación de señales cuadradas. ABB utilizó a continuación el prototipo virtual para identificar y validar las contramedidas apropiadas (a saber, el filtrado analógico).



05a

05b

Se utiliza SystemC para crear modelos de simulación de componentes digitales tales como microcontroladores, convertidores analógicos-digitales, unidades de almacenamiento, transeptores, etc. →4. El alto nivel de abstracción con el que se describen los modelos permite crear y reutilizar componentes con un esfuerzo considerablemente menor que con lenguajes de descripción del hardware como VHDL. Estos componentes se unen para crear prototipos virtuales que imitan el comportamiento de plataformas de hardware reales y que pueden ejecutar aplicaciones de software nativas. Esto hace posible que los desarrolladores de software empiecen a codificar y depurar mucho antes de que haya prototipos de hardware disponibles.

Los prototipos virtuales de un sistema pueden diseñarse en cuanto haya disponibles modelos de alto nivel de todos los componentes clave. Lo ideal sería que esto ocurriera en una etapa temprana del proyecto, ya que ofrece una visión general clara del

producto en desarrollo y promueve la generación de ideas y decisiones arquitectónicas clave.

#### Simulación de dispositivos para la detección de fallos por arco

Los fallos por arco eléctrico en las instalaciones domésticas constituyen un riesgo de incendio. Los dispositivos para la detección de fallos por arco (AFDD), que constan de un interruptor electromecánico, sensores y un microcontrolador, interrumpen el circuito eléctrico cuando detectan un evento de arco, reduciendo así el riesgo de incendio. Los AFDD distinguen la formación de arcos peligrosos de las señales producidas por los aparatos domésticos (por ejemplo, taladros, bombas, comunicaciones de línea eléctrica), aunque evitar su disparo por error provocado por determinados aparatos domésticos de baja calidad puede plantear un reto.

—  
Los desarrolladores de software pueden empezar a odificar y depurar mucho antes de que haya prototipos de hardware disponibles.



06a

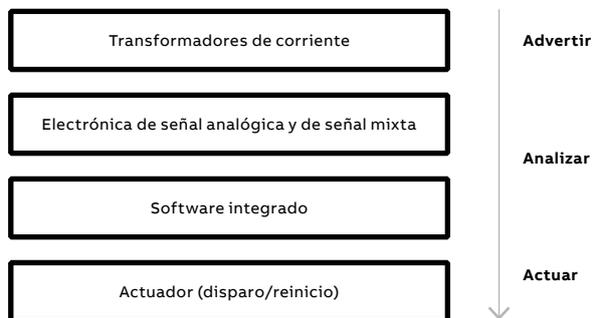


06b

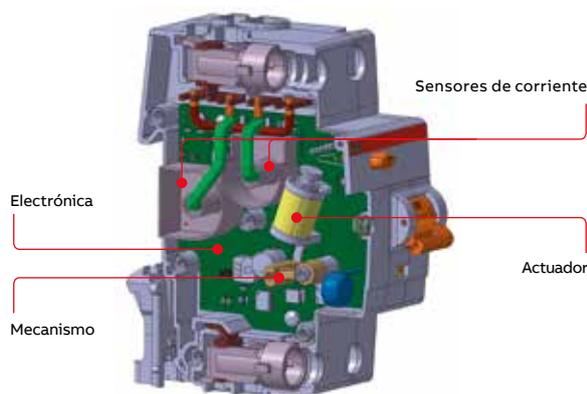
Para simular las distintas señales de corriente y tensión que un AFDD puede experimentar durante un funcionamiento normal o anormal, ABB diseñó un modelo VHDL-AMS de una instalación eléctrica doméstica formado por cables, distintos tipos de carga y un fallo por arco. Se establecieron mediante parámetros varias topologías eléctricas, tipos de carga y ubicaciones de fallos →5.

El modelo de alto nivel de la sección de detección utilizaba una función de transferencia medida aproximada como una expresión racional de Laplace. El algoritmo de detección de fallos por arco del microcontrolador se extrae como un script Matlab para su uso en la simulación.

Combinar el prototipo virtual del AFDD con el del aparato doméstico facilita diferentes escenarios de prueba y permite hacer un seguimiento del estado del AFDD a lo largo del tiempo mientras se exploran los detalles de por qué o por qué no se produjo un disparo. El nivel de detalle y la personalización de este banco de pruebas virtual permitirán la exploración de nuevos principios de detección, electrónica y algoritmos y la evaluación



06c



06d

—  
06 Los dispositivos para a detección de fallos por arco y los relés EOL son dos productos de ABB cuyo diseño abarca muchos ámbitos.

06a Dispositivo para la detección de fallos por arco.

06b Relé EOL.

06c Rango de dominios en dispositivos para la detección de fallos por arco y relés EOL.

06d El interior del dispositivo para la detección de fallos por arco muestra los distintos dominios.

de nuevos requisitos estándar sin necesidad de prototipos físicos o experimentos de laboratorio. Una vez que un principio se haya probado con éxito con el prototipo virtual, se realizarán las validaciones finales en un prototipo físico.

### Simulación de un relé de sobrecarga electrónica (EOL)

Un relé EOL utiliza un transformador de corriente para medir la corriente en un motor. Transcurrido un tiempo determinado, las sobrecargas de corriente dispararán un relé. Los relés EOL ofrecen así una protección fiable y precisa del motor en caso de sobrecarga o fallo de fase.

Se utilizó un prototipo virtual inicial del EOL con componentes digitales parecido al mostrado en →4 para realizar pruebas de software-in-the-loop. Esto ayudó a validar la funcionalidad de un algo-

ritmo de detección recientemente desarrollado. El tiempo de simulación para cada caso de prueba fue de tan solo un par de minutos, lo que facilitó la adaptación iterativa y la mejora del algoritmo de detección.

—  
Los resultados de la simulación proporcionaron perspectivas valiosas y ayudaron a identificar y resolver defectos de diseño antes.

En una fase de desarrollo posterior, se utilizó un prototipo virtual más completo para probar toda la cadena de medición del dispositivo. Este método más sofisticado requería la simulación de transformadores de corriente, electrónica analógica, electrónica digital y subsistemas de software integrado →6. A continuación se utilizaron simulaciones Monte Carlo para conocer los efectos que tienen las desviaciones típicas de los componentes (por ejemplo, en resistencias, condensadores, tensiones de salida del regulador, tensiones de compensación op-amp, etc.) en la precisión del cálculo del tiempo de disparo del relé EOL. Los resultados de la simulación proporcionaron perspectivas valiosas y ayudaron a identificar y resolver defectos de diseño antes de lo normal. Las pruebas en distintos puntos de funcionamiento y a distintas temperaturas pueden realizarse ahora en un par de horas, reduciendo así los días de pruebas en el laboratorio.

A medida que las herramientas de modelado mejoran y las bibliotecas se vuelven más extensas y detalladas, los prototipos virtuales reproducirán el comportamiento de los dispositivos en la vida real de una forma aún más estrecha y, por lo tanto, se utilizarán en muchas otras áreas de productos. Esta evolución vendrá impulsada por los cada vez más cortos ciclos de vida de los productos en casi todas las áreas de la tecnología industrial moderna y los menores tiempos de desarrollo y producción que estos requieren. •

### Agradecimientos

La configuración de la metodología aquí descrita y algunos resultados se consiguieron con la colaboración del Profesor Jurgen Becker, FZI (Forschungszentrum Informatik), el Instituto Tecnológico Karlsruhe; Dr. Alain Vachoux y Juan Sebastian Rodriguez Estupinan, EPFL (Ecole Polytechnique Federale de Lausanne); y Dr. Jean-Baptiste Kammerer y Simon Paulus, UNISTRA (Universidad de Estrasburgo).

## PRODUCTIVIDAD

# Cómo aprovechar la optimización de activos

Un reciente estudio de mercado de ARC Advisory Group declaró que ABB es el proveedor de software de gestión de activos empresariales (EAM) número uno del mundo en empresas de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica.



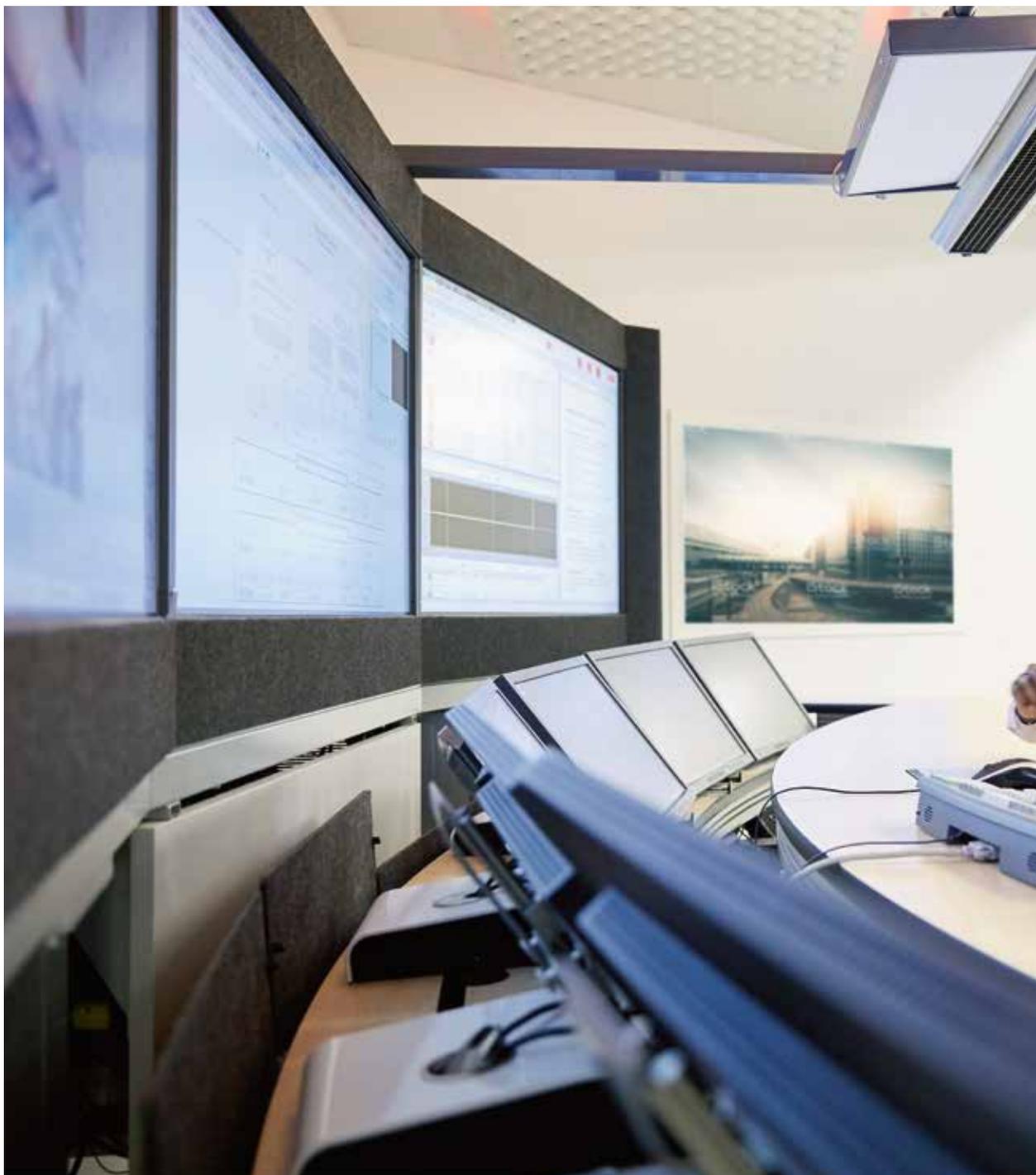
**Matt Zafuto**  
Enterprise Software  
Grid Automation  
Broomfield, CO,  
Estados Unidos

matthew.zafuto@  
us.abb.com



**John Finney**  
Grid Automation  
Zúrich, Suiza

john.finney@ch.abb.com



Impulsado por la potencia cada vez mayor del aprendizaje automático, el nuevo software Ability™ Ellipse® de ABB unifica cada vez más las funcionalidades de las soluciones punteras de la empresa para la gestión de activos empresariales (EAM), la gestión de mano de obra (WFM) y la gestión del rendimiento de activos (APM). En tanto este proceso evoluciona, la solución está lista para revolucionar el mantenimiento predictivo y preventivo.



La complejidad de la red crece por momentos. Esto puede verse en los contadores y conmutadores inteligentes y en las fuentes de energía distribuidas como la solar y la eólica de hoy en día: en el futuro aumentarán correspondientemente los vehículos y edificios eléctricos que no son solo clientes de energía, sino también sistemas de almacenamiento de energía e incluso productores de energía.

Este aumento de la complejidad viene acompañado de un enorme aumento de los datos disponibles. Esto plantea tanto retos como oportunidades. El reto es que es evidente que no bastará con los enfoques tradicionales para la gestión de activos.

—  
**Las compañías eléctricas ahora pueden utilizar una única solución optimizada para la gestión, el mantenimiento y la supervisión de sus activos.**

La oportunidad es que gracias al uso efectivo de los datos puede crearse una visión digital más precisa y holística del mundo real, lo que permitirá solucionar problemas a través de la digitalización y la automatización.

En este contexto, ABB ha anunciado el lanzamiento mundial de su software Ability™ Ellipse®, una solución integral que permitirá a las compañías eléctricas optimizar el uso de sus activos, reducir los costes de mantenimiento y reducir los fallos de los equipos y las interrupciones del sistema.

«Entendemos los retos a los que se enfrentan las compañías eléctricas para conseguir mayores niveles de rendimiento en una red cada vez más compleja», afirma Massimo Danieli, jefe del negocio de automatización de redes de ABB. «Con ABB Ability Ellipse, las compañías eléctricas ahora

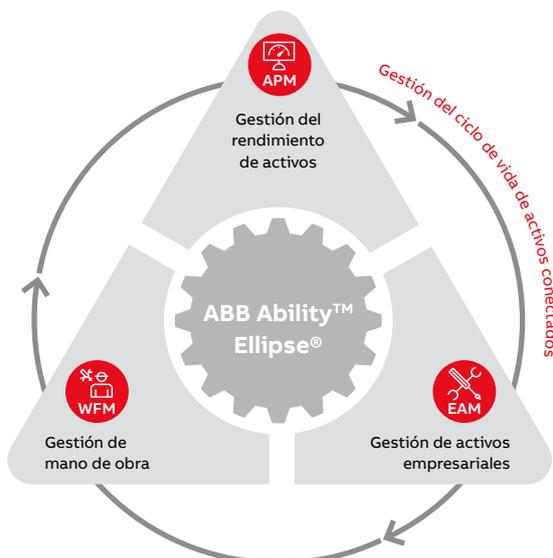
pueden utilizar una solución única y optimizada para gestionar, mantener y supervisar sus activos, lo que permite una red eléctrica más fuerte, más inteligente y más ecológica».

#### Aprovechar el poder del aprendizaje automático

Impulsando estas capacidades está la creciente implantación del aprendizaje automático, que está empezando discretamente a revolucionar la evaluación de la gestión del rendimiento de activos y las capacidades de gestión de activos basadas en el riesgo.

### Los modelos de aprendizaje automático compactos están ahora disponibles en la plataforma ABB Ability™ Ellipse®.

Aprovechando los enormes volúmenes de datos generados por los sensores online, las mucho mejores capacidades de comunicaciones que permite el Internet de las Cosas (IoT) y la potencia de la tecnología Azure de Microsoft, los algoritmos de aprendizaje automático están listos para ingerir estos datos, aprender, generalizar y hacer inferencias con una intervención humana limitada o nula. Estos modelos de aprendizaje automático compactos están ahora disponibles en la plataforma ABB Ability Ellipse, que ofrece a los sectores ricos en activos soluciones para la priorización del mantenimiento y la renovación de sus activos.



Dada la naturaleza holística de la información recabada por los sistemas de aprendizaje automático, surgen nuevas oportunidades para derribar las barreras que separan a los silos específicos de cada dominio y optimizar las operaciones y estrategias. «El mayor riesgo al que se enfrentan las compañías eléctricas en el camino hacia la transformación digital es su incapacidad para unificar aplicaciones y datos», afirma Kevin Prouty, vicepresidente de IDC Energy Insights. «Uno de los puntos de partida más obvios para las compañías eléctricas es tratar el enfoque basado en silos que utilizan para la gestión de activos y mano de obra en sus organizaciones. A medida que la gestión del rendimiento de los activos pasa a ser un punto focal de la transformación de la red moderna, es fundamental que las compañías eléctricas gestionen sus activos y su mano de obra con una estrategia cohesionada».

Y eso es lo que la solución ABB Ability Ellipse está ayudando a los clientes a conseguir. ABB tiene 1,3 millones de activos que se encuentran en entornos de producción y que se analizan a diario en entornos de clientes. En un escenario de prueba real con un cliente existente, por ejemplo, el algoritmo de aprendizaje automático Ellipse fue capaz de predecir el fallo inminente de grandes transformadores de potencia basándose en datos (eléctricos) de descarga parcial con una antelación suficiente para evitar un fallo catastrófico. Hasta ahora, la predicción de fallos en los transformadores era del tipo «hit or miss». Este es uno de los varios ejemplos en los que el sector de las compañías eléctricas ha sido capaz de detectar fallos en curso en transformadores reales y en los que se ha podido abordar el problema antes de que provocara un corte del suministro.

En otra aplicación piloto interesante, el aprendizaje automático se aplicó con éxito para evaluar la gestión del rendimiento de activos de interruptores de punto y motores, que permiten a los trenes circular con éxito por los sistemas de raíles. El sector del transporte ferroviario está buscando activamente mejorar la predicción del deterioro de los activos, ya que las alarmas actuales tienden a generarse solo cuando ocurre un fallo o después de que haya ocurrido. Respaldadas por el aprendizaje automático, las técnicas avanzadas de reconocimiento de patrones ahora son capaces de identificar activos que funcionan fuera de las condiciones «normales», proporcionando así una alerta temprana a los operadores para el mantenimiento de activos específicos.



02

— 01 Con ABB Ability Ellipse, las compañías eléctricas ahora pueden utilizar una solución única y optimizada para gestionar, mantener y supervisar sus activos, lo que permite una red eléctrica más fuerte, más inteligente y más ecológica.

— 02 ABB Ability Ellipse conecta los sistemas de análisis predictivo y de gestión de los activos con el trabajador móvil sobre el terreno. Está disponible tanto como solución «in situ» o como solución de «software como servicio» para las compañías eléctricas y otros sectores con muchos activos, como las energías renovables, el transporte y la minería.

Como ilustran ambos casos, las posibles ventajas de las predicciones del rendimiento de activos basadas en el aprendizaje automático incluyen enormes mejoras potenciales en términos de seguridad, costes, gestión del rendimiento y mitigación de riesgos.

#### Número uno

A la vista del papel fundamental de ABB en estas áreas, un reciente estudio de mercado de ARC Advisory Group declaró que ABB es el proveedor de software de gestión de activos empresariales (EAM) número uno del mundo en empresas de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica. ARC Advisory Group es una empresa líder en investigación y asesoramiento tecnológico para la industria, infraestructura y ciudades. Los resultados formaron parte del estudio global de mercado y tecnológico de ARC titulado «Enterprise Asset Management Global Market Analysis 2017-2022».

El estudio de ARC también nombró a ABB principal proveedor mundial de EAM para activos lineales, tales como líneas eléctricas, subestaciones y torres; líder mundial de EAM para la industria minera y proveedor número uno de EAM y software de gestión de servicios sobre el terreno en Asia.

— La solución ABB Ability Ellipse está llamada a revolucionar el mantenimiento predictivo y preventivo.

«El negocio Power Grids de ABB está a la vanguardia de las soluciones digitales en el ámbito de la energía», afirmó Ralph Rio, vicepresidente de ARC Advisory Group. «ABB llegó a los primeros puestos de la clasificación de EAM de ARC Advisory en 2018 en generación, transmisión y distribución de energía eléctrica gracias a su gran experiencia de dominio y a su trayectoria en compañías eléctricas de todo el mundo», afirmó, y añadió que: «Nuestro estudio reveló que en 2017 el mercado global de EAM tuvo un crecimiento espectacular del 11 %. ARC Advisory espera que este alto crecimiento persista, algo que resulta especialmente positivo para ABB, ya que la energía eléctrica es el mercado de EAM más grande del mundo». En resumen, al unificar la funcionalidad de las soluciones punteras de ABB de gestión de activos empresariales (EAM), gestión de mano de obra (WFM) y gestión del rendimiento de activos (APM), la solución ABB Ability Ellipse está llamada a revolucionar el mantenimiento predictivo y preventivo. «Las soluciones de gestión de activos y mano de obra de ABB Ability™ se adaptan de una forma única a las necesidades del sector eléctrico», afirma Danieli de ABB, «Nuestro continuo liderazgo en el mercado de EAM refuerza la posición de ABB como socio preferido». •

## PRODUCTIVIDAD

# Desarrollo de accionamientos de interruptores basado en cosimulación

El desarrollo de accionamientos de interruptores de próxima generación exige conocer los fenómenos mecánicos, eléctricos y magnéticos y su interacción. La cosimulación de estos dominios permite acelerar el desarrollo y mejorar los accionamientos.

—  
**Schindler de Thorsten**  
**Arda Tuysuz**  
**Christian Simonidis**  
ABB Corporate Research  
Ladenburg, Alemania

thorsten.schindler@  
de.abb.com  
arda.tuysuz@  
de.abb.com  
christian.simonidis@  
de.abb.com

Las preocupaciones por el cambio climático, sumadas a la creciente demanda de energía, están impulsando una rápida expansión de la generación procedente de fuentes de energía renovables. De hecho, las energías eólica y solar son las fuentes de energía eléctrica de mayor crecimiento en el mundo actual. Sin embargo, la propia naturaleza de estas fuentes de energía plantea dificultades para las redes de transmisión y distribución a las que se conectan [1] →1.

—  
**El interruptor VM1 de media tensión de ABB no requiere mantenimiento y puede utilizarse en una amplia gama de aplicaciones.**

El carácter interruptivo de, por ejemplo, la penetración de la energía solar y eólica, obliga a los operadores de sistemas de transmisión y distribución a buscar soluciones disponibles y nuevas estrategias a medio y largo plazo. TenneT en Alemania, por ejemplo, incluso hoy apunta regularmente el tremendo aumento del número de intervenciones de emergencia necesarias para estabilizar la red [2]. Las causas detrás de

estas intervenciones son la variación en función del tiempo de la demanda de energía en el sur de Alemania y, lo que es más importante, la producción de energía eólica altamente estocástica del norte del país y la lentitud en la instalación de los enlaces norte-sur adecuados.

Las dificultades cualitativas, tales como el ajuste de más conmutación (capacitiva) y síncrona debido a la introducción de más sistemas de compensación, la conmutación más rápida y fiable o el dimensionamiento y reconocimiento adaptativos de la curva de recorrido, pueden solventarse con aparataje de accionamiento electromagnético. En comparación con los equipos tradicionales, este tipo de aparataje tiene menos piezas, secuencias mecánicas más sencillas, una fiabilidad y una calidad general extremadamente altas, una vida útil muy larga y universalidad de uso. Por ejemplo, el interruptor VM1 de media tensión (MT) de ABB no requiere mantenimiento y puede utilizarse en una amplia gama de aplicaciones: desde centrales eléctricas, pasando por la distribución controlada en subestaciones de transformadores, hasta múltiples usos por parte de las industrias química, siderúrgica y automovilística, además de para suministros eléctricos en aeropuertos, edificios y similares [3].

—  
01 El número cada vez mayor de fuentes de energía renovable que se conectan a la red plantea mayores exigencias a los equipos, especialmente a aparataje como los interruptores automáticos. La cosimulación de la mecánica, la electricidad y el magnetismo de los interruptores mejora el diseño de los interruptores.



En →2,3 se muestra la disposición del interruptor VM1, que consta de un actuador electromagnético lineal, un controlador electrónico, un condensador como fuente de energía intermitente, un eje principal conectado a los tres polos del interruptor de vacío (VI) y varios sensores para la detección de la posición del interruptor.

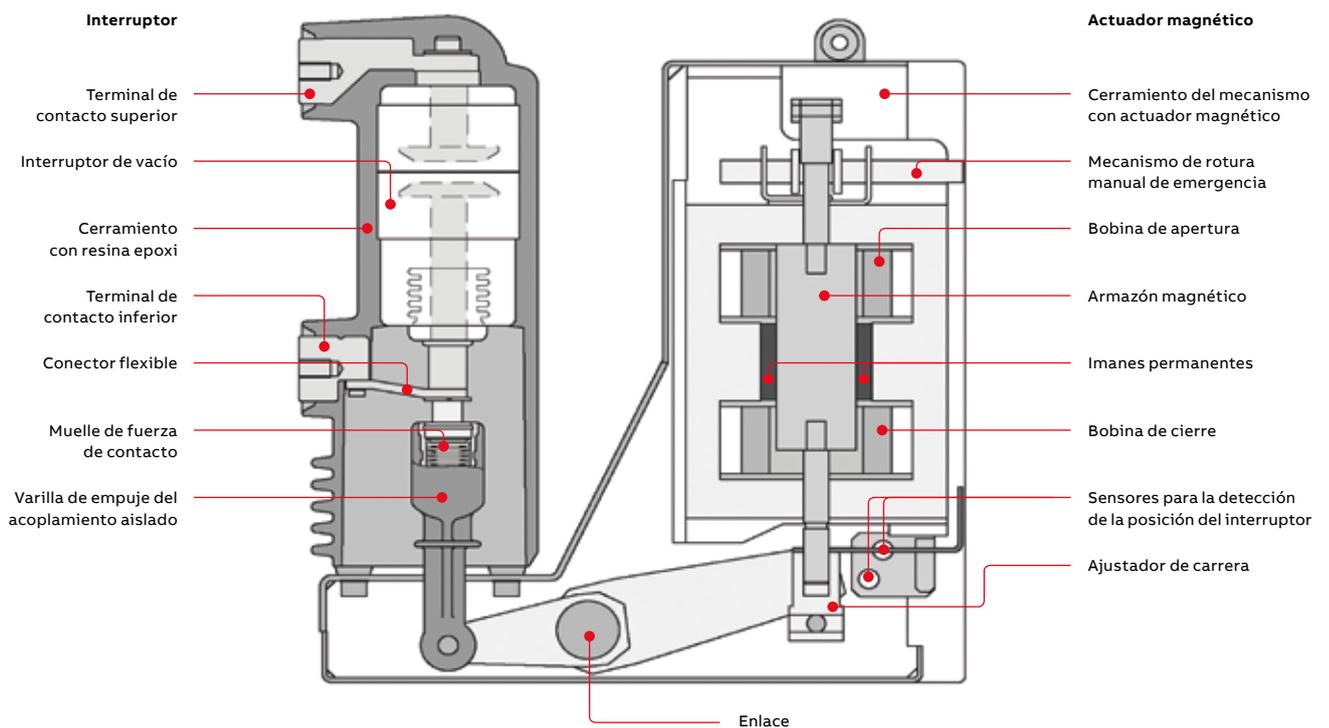
El carácter transitorio de la física del actuador electromagnético significa que hay que estudiar la mecánica y el electromagnetismo del sistema.

El sistema general tiene tres partes principales: los tres polos, el enlace al actuador y el actuador lineal magnético. Gracias a las bobinas de apertura y cierre, la apertura, el cierre, el bloqueo y la liberación pueden gestionarse con un único actuador.

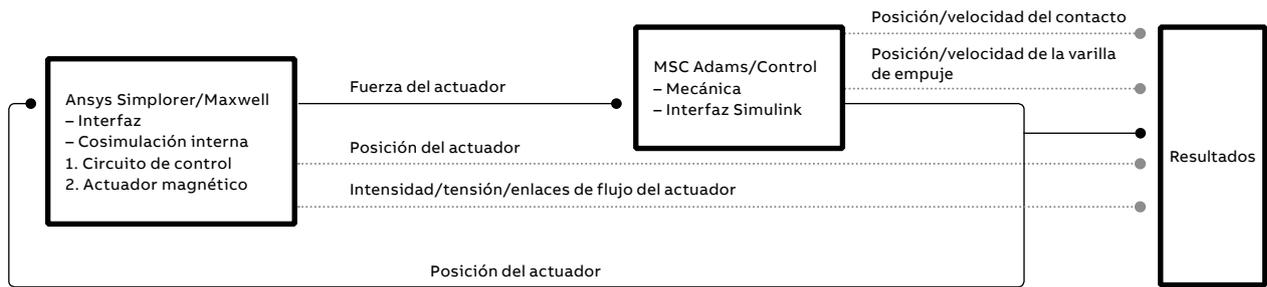
Para la operación de cierre, el actuador debe proporcionar un movimiento lineal a la varilla de empuje en un intervalo de 45 a 60 ms. La contrapresión que recibe el actuador es la suma de las fuerzas para comprimir los muelles de contacto, así como las fuerzas inerciales, proyectadas sobre el eje del actuador lineal. La fuente primaria de



02



03



04

—  
02 Disposición de interruptores VM1 [3].

—  
03 Interruptor VM1, vista esquemática [3].

—  
04 Visión general de la cosimulación.

energía es un condensador, precargado de 100 a 400 VCC, que el controlador electrónico aplica al devanado del actuador correspondiente. El carácter transitorio de la física del actuador electromagnético significa que hay que estudiar la mecánica y el electromagnetismo del sistema para comprender el funcionamiento general y optimizar su rendimiento robusto y eficiente. Por esta razón, se ha desarrollado un marco de cosimulación para el diseño de actuadores electromagnéticos.

#### Cosimulación - acoplamiento electromagnético y mecánico

Normalmente, para desarrollar actuadores de media tensión, se introduce un modelo mecánico simple del enlace y la separación de contactos en la herramienta de software electromagnético, o se utiliza una curva de fuerza sobre posición casi estática obtenida de la herramienta de software electromagnético con un modelado mecánico más sofisticado. Sin embargo, el uso de las denominadas herramientas de simulación multicuerpo, como MSC Adams, complementado con un modelado adecuado de deformación, fricción y holgura, es ahora indispensable para el desarrollo de interruptores.

El comportamiento preciso y robusto de los interruptores es sensible a estos mecanismos y obviarlos puede dar lugar a indicaciones engañosas. Por lo tanto, se ha introducido un entorno de cosimulación transitoria en el que un modelo de método de los elementos finitos (FEM) electromagnético cuasitransitorio por pasos de tiempo del actuador se acopla a un modelo mecánico multicuerpo del resto del sistema del interruptor. El modelo FEM del actuador utiliza el software de simulación de campos electromagnéticos Ansys Maxwell; el acoplamiento al modelo mecánico multicuerpo (basado en MSC Adams) se realiza utilizando una combinación de Ansys Simplorer, Matlab, Simulink y MSC Adams/Control. Simulink es un entorno de

programación gráfica para Matlab; Ansys Simplorer es un software de simulación multidominio. En →4 se muestra una visión general intermedia del marco de cosimulación.

—  
Tiene sentido representar modelos de los polos, enlaces y marcos de forma parametrizada para su reutilización en una biblioteca validada.

Básicamente, el modelo electromagnético alimenta la fuerza al modelo mecánico, que devuelve el desplazamiento lineal al modelo electromagnético.

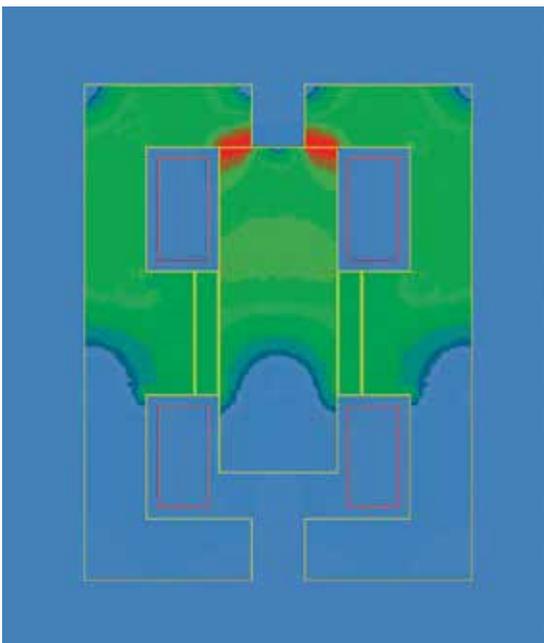
#### MSC Adams : simulación multicuerpo y acoplamiento

La simulación multicuerpo de los interruptores debe tener en cuenta un modelado sofisticado y sistemático de las juntas con fricción y holgura. Este modelado se realiza, por ejemplo, en MSC Adams →5. Tiene sentido representar modelos de los polos, enlaces y marcos de forma parametrizada para su reutilización en una biblioteca validada. Los parámetros físicos se toman de los respectivos diseños reales.

El modelo de acoplamiento final se consigue a través de MSC Adams/Control. La señal de entrada es la variable de fuerza, la señal de salida es como mínimo el desplazamiento del armazón, pero la separación de contacto y la velocidad del interruptor de vacío, así como la posición y la velocidad de la varilla de empuje, también pueden ser interesantes.



05



06

### Ansys Maxwell/Simplorer: simulación electromagnética y acoplamiento

El modelo electromagnético FEM del actuador VM1 se muestra en →6. Se utiliza un modelo 2-D para reducir el esfuerzo de cálculo a la vez que se mantiene una buena precisión en términos de modelado del rendimiento del actuador. Puesto que las bobinas se devanan con un cable fino, pueden obviarse los efectos pelicular y de proximidad, lo que simplifica aún más el cálculo. Por otro lado, aunque hace más exigente la solución numérica, la saturación magnética parcial del núcleo magnético se tiene en cuenta utilizando una curva de magnetización precisa, ya que la saturación tiene un papel importante en el funcionamiento del actuador.

El tamaño del paso de tiempo lo define Ansys Simplorer, incluyendo el acoplamiento a MSC Adams. El modelo electromagnético FEM (Ansys Maxwell) se inserta como un bloque de cosimulación transitoria, con Simplorer como maestro. Para el circuito eléctrico, es beneficioso utilizar un interruptor dependiente del estado que se enciende después de la atenuación de las vibraciones iniciales en el modelo mecánico (para asegurarse de que se alcanza un estado inicial estable) y se apaga cuando la carrera total alcanza un valor dado (para proporcionar un control básico y limitar el consumo de energía). Con Simplorer también se puede implementar una conmutación dependiente del estado más avanzada para modelar diferentes controladores de corriente y patrones de conmutación, y diseñar accionamientos de interruptores más controlables.

—

La cosimulación dinámica amplía la típica precomputación cuasi-estática de la fuerza del actuador con el acoplamiento dinámico y corrientes parásitas.

### Matlab/Simulink - acoplamiento y posprocesamiento

La visión general final desde el punto de vista de Matlab/Simulink se muestra en →4. La cosimulación se inicia en Matlab para el posprocesamiento de todas las variables interesantes a partir de simulaciones electromagnéticas y mecánicas. La cosimulación garantiza que todos los esquemas de integración de Ansys Maxwell/Simplorer, MSC Adams y Matlab/Simulink se ejecutan en paralelo en el intervalo de comunicación especificado. En cualquier caso, en el acoplamiento con Ansys Simplorer, Simplorer será el maestro de esta cosimulación de alto nivel.

— 05 MSC Adams - modelo dinámico multicuerpo.

— 06 Ansys Maxwell - modelo electromagnético [3].

— 07 muestra el comportamiento cualitativo cinemático que se espera del cierre de un interruptor, extraído de MSC Adams y Ansys Maxwell para su verificación.

**Resultados de la cosimulación**

En esta sección se analizan los resultados típicos de una cosimulación dinámica para un accionamiento lineal electromagnético.

El marco de la cosimulación para el diseño de, en particular, actuadores electromagnéticos de media tensión ha tenido resultados ejemplares.

La cosimulación dinámica amplía la precomputación cuasiestática clásica de la fuerza del actuador con dos fenómenos: el acoplamiento dinámico y las corrientes parásitas, ambos de los cuales dan lugar a pérdidas adicionales relacionadas con el nivel de fuerza del actuador. El nivel de fuerza realista solo puede representarse bien mediante

la cosimulación dinámica y, dependiendo del tipo de actuador, puede ser dos o tres veces más bajo que el propuesto por la simulación cuasiestática clásica. Como resultado, la simulación cuasiestática sobreestima, por ejemplo, las velocidades de cierre y da lugar a conclusiones engañosas a la hora de diseñar la actuación electromagnética de los interruptores.

**Cosimulación para accionamientos eléctricos**

El marco de la cosimulación para el diseño de, en particular, actuadores electromagnéticos para interruptores de media tensión ha tenido resultados ejemplares.

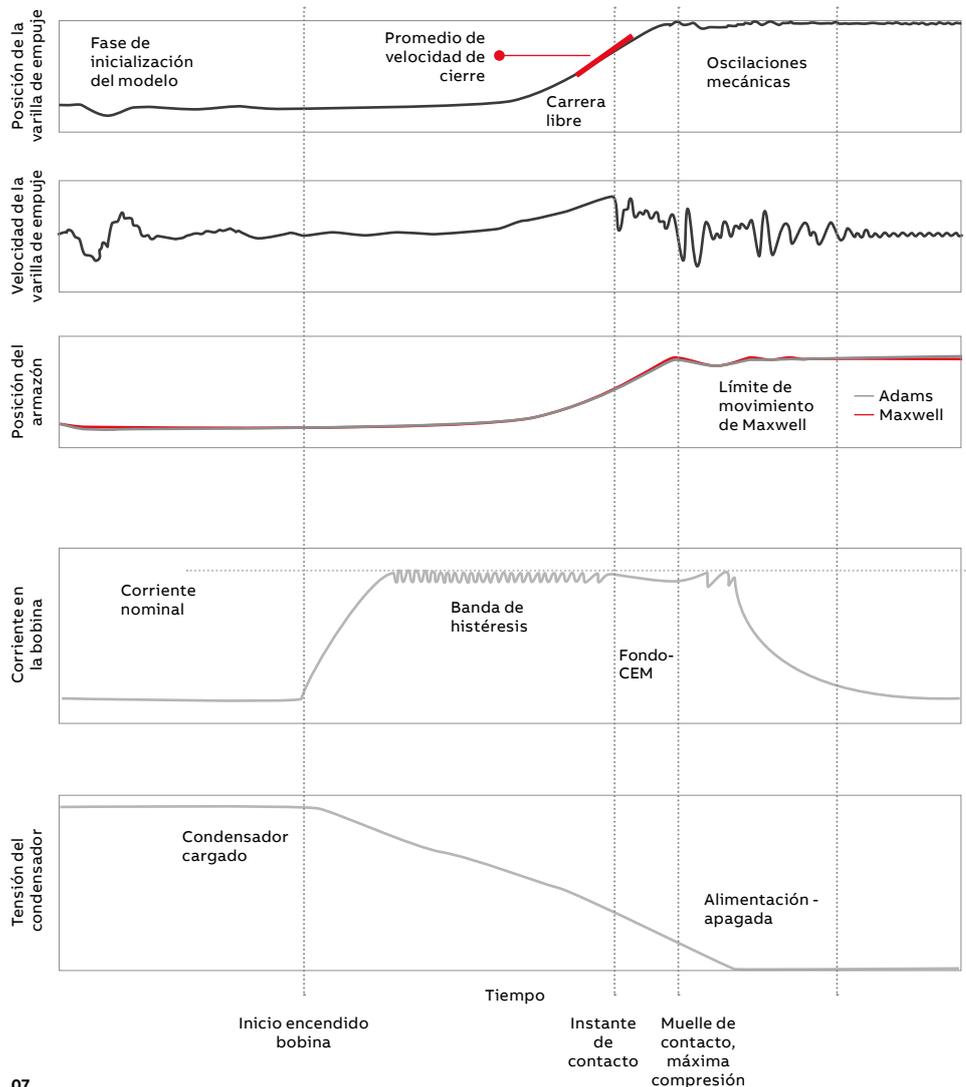
Este marco puede aplicarse fácilmente a cualquier tipo de acoplamiento electromagnético y mecánico necesario para el diseño de accionamientos eléctricos y puede ser útil para el desarrollo rápido y automatizado de actuadores que se ajusten a los requisitos de apartamiento de la red eléctrica en el futuro. •

**Referencias**

[1] Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena); dena Ancillary Services Study 2030, "Security and reliability of a power supply with a high percentage of renewable energy," German Energy Agency Energy Systems and Energy Services, Berlin, 2013.

[2] Focus Online, "Stromnetz unter Druck – Betreiber zahlten 2017 fast eine Milliarde Euro für Noteingriffe." Available: [https://www.focus.de/immobilien/energiesparen/foerderung-in-energie-wende-fehlt-stromnetz-unter-druck-betreiber-zahlten-2017-fast-eine-milliarde-euro-fuer-noteingriffe\\_id\\_8180597.html](https://www.focus.de/immobilien/energiesparen/foerderung-in-energie-wende-fehlt-stromnetz-unter-druck-betreiber-zahlten-2017-fast-eine-milliarde-euro-fuer-noteingriffe_id_8180597.html)

[3] ABB VM1 product brochure. Available: [https://library.e.abb.com/public/e090697e77f9425fbc2337890525a4d/Cat\\_VM1\(EN\)M\\_1VCP000157.pdf](https://library.e.abb.com/public/e090697e77f9425fbc2337890525a4d/Cat_VM1(EN)M_1VCP000157.pdf)



## PRODUCTIVIDAD

# Supervisión del rendimiento de los transformadores de potencia en SCADA

El nuevo sistema de supervisión basado en modelos probado sobre el terreno de ABB está integrado en equipos de subestaciones estándar y se presenta en MicroSCADA Pro. Este enfoque único permite evaluar el rendimiento de un activo mientras está en servicio y detectar fallos inminentes.

—  
**Tord Bengtsson**  
**Nilanga Abeywickrama**  
**Robert Saers**  
**Subrat Sahoo**  
ABB AB, Corporate  
Research,  
Västerås, Suecia

tord.bengtsson@  
se.abb.com  
nilanga.abeywickrama@  
se.abb.com  
robert.saers@se.abb.com  
subrat.sahoo@  
se.abb.com

En el mundo conectado de hoy en día, los clientes demandan más fiabilidad; esto requiere el fácil acceso a la información sobre el estado de los activos; incluso en el caso de activos como los transformadores que tradicionalmente no se supervisan → 1,2. Para abordar este problema, se han desarrollado varios métodos de supervisión para detectar problemas inminentes en transformadores de potencia y demás dispositivos de la red eléctrica. Actualmente, ABB ofrece una amplia gama de estos sistemas de supervisión de activos [1].

Sin embargo, existen lagunas: la instalación de sistemas de supervisión modernos requiere el uso de equipos especializados y software patentado. Además, la supervisión suele depender de modelos de evaluación del estado basados en datos obtenidos de sensores especializados de gas en aceite, temperatura, pérdidas dieléctricas y descargas parciales, entre otros.

Además, dado que la tasa de fallos de los transformadores de potencia ronda el 1 % al año [2-4], la mayoría de los transformadores se supervisan manualmente mediante mediciones periódicas offline. La falta de frecuencia de estas mediciones restringe considerablemente la capacidad de los operadores para reaccionar rápidamente ante los fallos o para correlacionar una lectura con un evento del sistema.

## Seguimiento del rendimiento

A la vista de estas limitaciones, los expertos de ABB evaluaron si los equipos de subestaciones estándar podían utilizarse con fines de supervisión mientras el transformador está en servicio, complementando así los actuales sistemas de supervisión online. Esta funcionalidad tendría ventajas indirectas:

- No habría necesidad de equipos especializados; ni de ninguna instalación de hardware adicional, en general.
- El sistema SCADA de las subestaciones podría utilizarse a efectos de análisis, presentación, alertas y registro de datos. Al integrar totalmente el sistema con todas las demás funcionalidades de la subestación, se lograría la comunicación con sistemas de niveles superiores.

—  
ABB ha desarrollado dos aplicaciones de supervisión exclusivas integradas en MicroSCADA Pro.

La información extraída no solo sería relevante para un gran número de situaciones de fallo conocidas, sino que también podría evaluarse el grado en que el activo supervisado cumple su función: supervisión del rendimiento.



01

— 01 Los operadores e ingenieros de ABB ofrecen a los clientes tecnología de vanguardia, como sistemas de supervisión, para garantizar la fiabilidad óptima de sus activos.

Basándose en esto, ABB ha desarrollado dos aplicaciones de supervisión exclusivas: un monitor de rendimiento de transformadores de potencia y un monitor de funcionamiento de cambiadores de tomas. Ambos monitores están integrados en MicroSCADA Pro de ABB y utilizan esta infraestructura a efectos de comunicación, presentación y alertas. Para obtener las medidas necesarias, las modificaciones de la subestación se limitan a la instalación de aplicaciones de supervisión y a la configuración de los relés de protección.

#### **Supervisión del rendimiento de transformadores**

El monitor de rendimiento de transformadores de potencia analiza todas las tensiones y corrientes de entrada y salida de un transformador para obtener estimaciones de su relación de espiras, impedancia de cortocircuito y pérdida de potencia [5-7]. Estos valores pueden compararse directamente con los valores declarados y con los valores de las pruebas de aceptación en fábrica. Por lo tanto, los resultados son fáciles de interpretar y la sensibilidad estimada a los cambios se ajusta a la precisión requerida de las pruebas offline [8,9]. El sistema de supervisión de ABB permite detectar varios problemas importantes de un transformador con una gran sensibilidad, como espiras cortocircuitadas, devanados deformados y corrientes parásitas. Al medir la pérdida de potencia online, los operadores reciben la indicación de cualquier cambio en el estado del transformador mucho más rápido que con la temperatura.

— El sistema de supervisión de transformadores de ABB permite detectar espiras cortocircuitadas, devanados deformados y corrientes parásitas con una gran sensibilidad.

Esta supervisión puede reducir la frecuencia de las pruebas offline tradicionales.

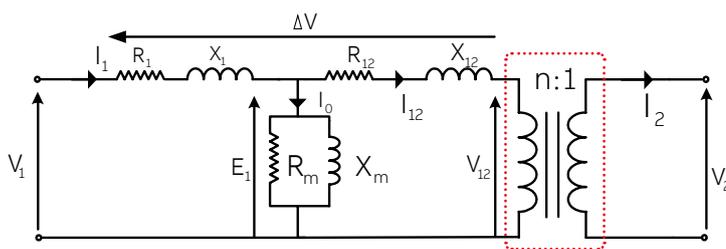
Además, las nuevas mediciones se comparan con las mediciones históricas. Por lo tanto, pueden detectarse cambios bruscos, aunque sean mínimos, en el rendimiento del transformador. Tras un incidente de sistema como un fallo, se puede comparar el rendimiento antes y después del incidente. Además, también pueden determinarse las condiciones del sistema eléctrico que afectan al rendimiento del transformador, como el flujo inverso de potencia procedente de la generación renovable.

#### **Supervisión basada en modelos**

El monitor de rendimiento toma muestras de formas de onda estacionarias de tensiones y corrientes de entrada y salida del transformador en intervalos periódicos, normalmente varias veces por hora. Inicialmente, las tensiones y corrientes observadas se utilizan para fijar los parámetros de un modelo de transformador sencillo, la



02



03

contribución de la magnetización,  $R_m$  y  $X_m$ , puede separarse de las impedancias del devanado utilizando mediciones realizadas en condiciones de carga variables; por lo tanto, se fijan todos los parámetros del modelo  $\rightarrow 3$ .

Una vez fijados los parámetros del modelo, el monitor proporciona continuamente nuevas estimaciones para detectar cualquier cambio potencial. Cada nueva medición se compara con las predicciones del modelo: esto permite detectar cambios bruscos en el rendimiento a la misma velocidad a la que se realizan las mediciones.

Sin embargo, la precisión limitada plantea un problema: los transformadores de tensión y corriente son precisos en un intervalo del 1%; la pérdida de potencia de un transformador moderno suele ser menor. Las exhaustivas pruebas sobre el terreno de ABB demuestran que los transformadores de instrumentos individuales son más sensibles al cambio de lo que sugiere el régimen de precisión (al menos un orden de magnitud mejor).

El monitor de rendimiento proporciona también estimaciones periódicas de la relación de espiras

del transformador, la impedancia y la corriente de magnetización; y evalúa tanto la pérdida de potencia como las desviaciones de las predicciones del modelo para cada nueva medición.

#### Supervisión del funcionamiento de las tomas

Los cambiadores de tomas en carga son los únicos componentes del transformador con movimiento mecánico y, por lo tanto, son responsables aproximadamente de una tercera parte de los fallos de transformadores [2-4].

El nuevo monitor de funcionamiento de los cambiadores de tomas analiza la pérdida interna del transformador durante un cambio de tomas.

En consecuencia, se han explorado muchos métodos para supervisar los cambiadores de tomas [10-12]. Estos métodos dependen del uso de sensores adicionales para la vibración o la corriente del motor y, por lo tanto, no proporcionan una estimación clara del tiempo de conmutación: un indicador de rendimiento adicional fundamental.

El monitor de funcionamiento de los cambiadores de tomas de ABB analiza la pérdida interna del transformador durante un cambio de tomas con las mismas señales de tensión y corriente que el monitor de rendimiento. Este novedoso monitor proporciona una estimación del tiempo de conmutación y de la

—  
02 Los clientes necesitan información inmediata y precisa sobre el rendimiento del transformador y el terminal del operario en la sala de control es el mejor lugar para presentar los resultados.

—  
03 Circuito equivalente convencional de un transformador de dos devanados referido al lado primario.

—  
04 Pérdida adicional observada durante el cambio de tomas, las líneas gris y negra muestran la contribución de fases individuales y la línea coloreada indica el total. Aquí, una fase abre el contacto principal unos dos ms después del resto.

—  
05 Se muestra el historial de desviaciones de corriente de los valores esperados. En este caso en concreto, el 22 de mayo se produjo un caso de irrupción simpática que provocó un cambio permanente de los parámetros del transformador. Cabe destacar que este cambio es minúsculo (30 mA) en comparación con el ruido y, en términos absolutos, con la corriente de carga nominal (aproximadamente 0,5 A).

pérdida de potencia adicional asociada a la conmutación. Un tiempo de transición demasiado corto indica un riesgo de que un arco haga puente en los contactos de las tomas; un tiempo de transición demasiado largo indica problemas mecánicos. La investigación de ABB demuestra que los cambios en la pérdida de potencia de conmutación se deben a las resistencias de transición: la pérdida de potencia esperada puede determinarse a partir de los valores declarados de los cambiadores de tomas.

**Función del monitor de funcionamiento de los cambiadores de tomas**

Un cambiador de tomas no solo cambia el número de espiras del transformador, sino que también cambia la relación de espiras en pasos sucesivos para evitar la formación de arcos excesivos y otros peligros potenciales. La corriente circulante entre la posición antigua y la nueva de la toma está accionada por la diferencia de tensión y limitada por las resistencias de transición.

La corriente circulante provoca una pérdida adicional temporal que puede extraerse mediante un cuidadoso análisis de las señales →4. El tiempo de conmutación y el valor de la resistencia pueden estimarse a partir de la duración y la magnitud de la pérdida adicional.

La supervisión del funcionamiento de las tomas analiza las formas de onda registradas durante un cambio de tomas a efectos de la pérdida de potencia adicional del cambio de tomas. Estos registros se obtienen fácilmente de un registrador de perturbaciones debidamente configurado.

**Estudios de caso del rendimiento de transformadores**

Los casos de campo demuestran la sensibilidad con la que puede supervisarse un transformador con las revolucionarias soluciones de supervisión de ABB. Las desviaciones del modelo pueden revelar información sobre la ocurrencia y el momento de un evento y, lo que es más importante, sobre su causa.

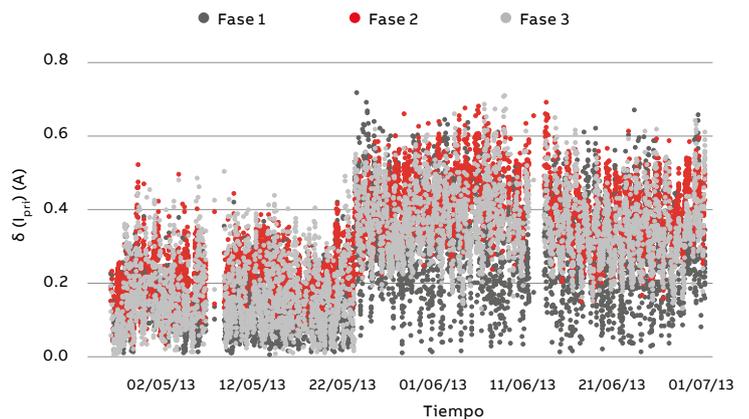
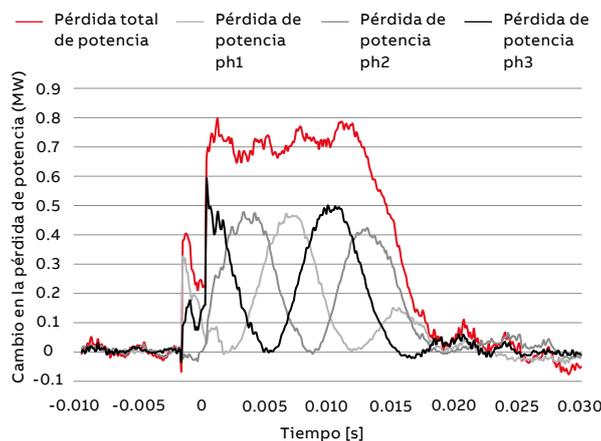
**Cambio permanente por saturación**

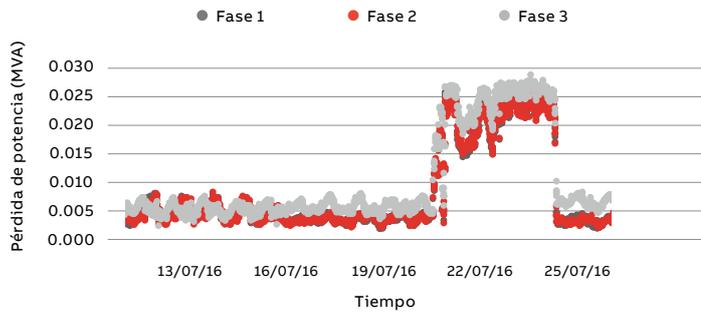
En un caso concreto, ABB evaluó un incidente del transformador ocurrido el 22 de mayo, cuando se produjo un cambio abrupto en la desviación de corriente del modelo establecido →5. Dado que este cambio no depende de la carga, se atribuyó a la presencia de una corriente de magnetización. El momento del cambio se correlacionó con la puesta en marcha de un transformador ubicado en las proximidades. Se postuló que el efecto de tensión asociado llevó al transformador a la saturación, lo que creó vías de corriente parásita permanentes en los componentes estructurales. Sin embargo, el transformador permaneció en servicio porque la subida de la pérdida de potencia era relativamente baja, alrededor del 20 % de las pérdidas sin carga.

—  
**Los casos de campo demuestran la sensibilidad con la que puede supervisarse un transformador con la revolucionaria solución de supervisión de ABB.**

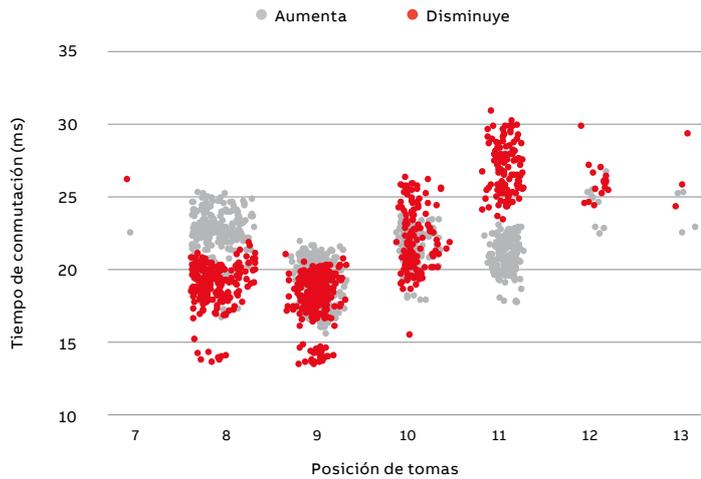
**Alta pérdida temporal debido a condiciones externas**

Dado que las condiciones del sistema eléctrico, fuera del transformador, también pueden afectar al rendimiento, ABB evaluó la pérdida de energía en un estudio de campo real. El transformador de 50 MVA estudiado presentaba un historial de generación de alarmas térmicas por altas temperaturas. El monitor de rendimiento registró con precisión una pérdida de potencia anormal →6. No se produjo un cambio permanente en las propiedades del transformador porque el aumento observado en la pérdida de potencia fue temporal. En ocasiones anteriores, también se observó una mayor pérdida de potencia y se correlacionó con el funcionamiento en una pequeña central hidroeléctrica situada en el lado secundario. El nuevo sistema de supervisión de ABB estableció el momento y la causa probable del evento. Conclusiones como esta corroboran la necesidad de supervisar la producción de energía renovable.





06



07

### Variación del tiempo de conmutación

Para algunos diseños de cambiadores de tomas, el tiempo de conmutación puede variar entre posiciones. Para ilustrar este hecho, ABB estimó el tiempo de conmutación de unos cuantos miles de operaciones de un cambiador de tomas en servicio →7. Las diferencias de tiempo observadas entre las tomas son significativas e indican que se ha producido un desgaste de los contactos y que este cambiador de tomas debe ser objeto de mantenimiento.

### Implementación de MicroSCADA Pro

Un entorno de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA) es ideal para la presentación de los resultados de la supervisión porque la mayoría de los demás aspectos del funcionamiento de las subestaciones, como la gestión de eventos y la ciberseguridad, están fácilmente disponibles. Un IED de protección configurado correctamente sirve como unidad de adquisición; los registros de perturbaciones están disponibles de conformidad con la IEC 61850-8-1. Los resultados preprocesados se envían a continuación a los objetos del proceso de la aplicación SCADA en el lenguaje de MicroSCADA Pro de ABB.

El uso de IED estándar para la adquisición de

señales básicas no solo elimina la necesidad de hardware de adquisición dedicado, sino que también permite el uso de señales convencionales (110 V/5 A) o digitalizadas en el bus de proceso de la subestación a efectos de supervisión.

Una actualización de los objetos de proceso que pertenece a una función específica de MicroSCADA Pro activa más análisis e indicadores de atención, tales como relación de transformador, pérdida, impedancia, diferencia de corriente, tiempo de funcionamiento de tomas y tendencia. Actualmente se calculan unas cuantas docenas de indicadores de atención: cada uno de los cuales se expresa en unidades específicas de un límite de aceptación.

MicroSCADA Pro de ABB es ideal para la presentación de resultados, ya que hay otros aspectos del funcionamiento de la subestación que están fácilmente disponibles.

Así, un valor del indicador de atención de uno significa que la cantidad supervisada es precisamente la del límite de aceptación.

Los indicadores de atención pueden resumirse como un único indicador principal, utilizando el valor máximo de todos ellos. Este indicador se utiliza a continuación para controlar el aspecto de los símbolos de supervisión →8. Gracias a este aviso, el operador puede hacer clic en el símbolo para obtener información adicional. Un indicador de atención por encima del límite de aceptación disparará un evento MicroSCADA Pro: el registro de eventos identificará entonces el indicador y el momento. Los diálogos de supervisión presentan todos los datos y resultados analíticos recientes, por ejemplo, pueden incluir los parámetros del modelo del transformador para cada posición de fase y posición de toma utilizados →8.

Gracias a la aplicación MicroSCADA Pro, se facilita el posterior procesamiento y registro; los resultados seleccionados pueden comunicarse a los sistemas de gestión de activos a nivel de flota. Además, las aplicaciones de supervisión generan sus propios registros, que pueden enviarse para su análisis detallado a los expertos remotos de ABB.

La pantalla de proceso muestra un diagrama esquemático con varios transformadores, junto a estos aparecen símbolos que indican el estado de supervisión de los transformadores. Al hacer clic en un símbolo, se abre la interfaz de usuario correspondiente a este símbolo. En este ejemplo se muestra la relación estimada, la corriente sin



08

06 Ejemplo de gráfico de pérdida de potencia de un caso de campo en el que la producción de electricidad en el lado de baja tensión incrementó las pérdidas de este transformador.

07 Tiempos de conmutación como una función de la posición de la toma para unas 1750 operaciones de tomas en servicio. El aumento de las operaciones está en gris, mientras que el descenso aparece en rojo.

08 Captura de pantalla de un ordenador SYS600C ejecutando MicroSCADA Pro.

carga y la impedancia del devanado según lo estimado por el monitor de rendimiento para cada fase y posición de tomas utilizada. Las líneas azules indican los valores nominales calculados a partir de los valores declarados. Un valor está fuera de la desviación aceptada como indica el color amarillo.

### Inicio de nueva capacidad de supervisión

El método y los resultados presentados ilustran el nuevo enfoque de ABB hacia la supervisión: las funciones de supervisión adicionales están totalmente integradas en equipos de subestaciones estándar. Los monitores no solo sirven para detectar fallos inminentes, sino que además evalúan el rendimiento de los activos en servicio.

Hasta la fecha, ABB ha probado con éxito las aplicaciones de supervisión en ocho transformadores de potencia que oscilan entre los 30 y 1000 MVA y entre los 120 y 750 kV. Se han registrado datos recogidos de aproximadamente diez transformadores, años y 10 000 operaciones de tomas; estos datos proporcionan un riguroso apoyo al nuevo enfoque de ABB.

Con la intención de ofrecer a los clientes los mejores sistemas de supervisión posibles tanto hoy como en el futuro, ABB sigue explorando funcionalidades adicionales utilizando una estructura similar. ●

### Agradecimientos

Los autores desean agradecer a sus compañeros de las unidades de negocio de ABB su apoyo y estímulo.

### Referencias

[1] ABB product guide, available under: <https://new.abb.com/products/transformers/service/advanced-services>

[2] CIGRÉ Working Group 05, "An international survey on failures in large power transformers in service," *Electra*, no. 88, May 1983.

[3] F. Vahidi, S. Tenbohlen, "Statistical Failure Analysis of European Substation Transformers," *ETG-Fachbericht - Diagnostik elektrischer Betriebsmittel*, 2014 pp. 5-9.

[4] M. Minhas, et al., "Failure in power system transformers and

appropriate monitoring techniques," presented at the 11<sup>th</sup> Int. Symp. High Voltage Engineering, London, U.K., 1999.

[5] T. Bengtsson and N. Abeywickrama, "On-line Monitoring of Power Transformer by Fundamental Frequency Signals", *Cigré 2012*, Paper A2-110.

[6] N. Abeywickrama, et al., "Transformer Explorer - monitoring transformer status by fundamental frequency signals", *Condition Monitoring and Diagnostics (CMD) Conference*, X'ian, China, Sept. 25-28, 2016, Paper 116.

[7] S. Sahoo, et al., "Monitoring Power Transformer Performance, Usage and System Event Impacts - A Case Study," 3<sup>rd</sup> International Conference on Condition Assessment Techniques in Electrical Systems (CATCON), Nov. 2017.

[8] IEEE Guide for diagnostic field testing of electric power apparatus - Part 1: Oil filled power transformers, regulators, and reactors, *IEEE Std.* pp. 62, Dec. 1995.

[9] Power transformers - Part I: General, *IEC 60076-1*.

[10] T. Bengtsson, et al., "Acoustic Diagnosis of Tap Changers", *Cigré 1996*, Paper 12-101.

[11] R. Jongen, et al., "On-load tap changer diagnosis with dynamic resistance measurements," *IEEE International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis*, Bali, 23-27 Nov. 2012, pp. 485-488.

[12] K.G. Lewis, et al., "A tap-changer monitoring system incorporating optical sensors," *Second International Conference on the Reliability of Transmission and Distribution Equipment*, Coventry, UK, 1995, pp. 97-102.

## DESMITIFICACIÓN DE TÉRMINOS TÉCNICOS

# Híbrido

Este trimestre tenemos un artículo menos desmitificador y más filosófico. Porque todos sabemos lo que significa la palabra «híbrido», ¿verdad? O al menos eso creemos y ahí reside la dificultad que plantea este término en 2019: se ha convertido en un término técnico.



**Michelle Kiener**  
ABB Review  
Baden-Daettwil,  
Suiza

michelle.kiener@  
ch.abb.com

Si buscamos híbrido en Google, lo primero que aparece es la definición de vehículo híbrido. De hecho, para este artículo hice una breve encuesta informal. La pregunta era: «¿qué es lo primero que piensas si digo «híbrido»?», y casi todos respondieron «coches».

Pero híbrido es mucho más que eso. La idea de utilizar este término para este artículo surgió cuando, al pasar por una tienda de bicis, vi que algunas bicicletas eléctricas estaban etiquetadas como «bicicletas híbridas». Como propietaria de un coche híbrido y de una bici eléctrica, estas etiquetas me llamaron la atención. Así que, entusiasmada, decidí aparcarme mis planes para investigar el asunto.. Esperaba ser una de las primeras personas en ver una bicicleta eléctrica con un sistema recuperación de la energía: un híbrido entre mi coche y mi bici. En cambio, descubrí que lo híbrido de estas bicis se refería a que son una mezcla entre bicicleta de carretera y bicicleta de montaña.

Ni siquiera la definición anterior de mi coche híbrido está bien. A pesar de que la propia naturaleza de la tecnología exige que mi coche sea bastante ligero, mi coche es un «híbrido pesado» que tiene un motor de gasolina y un motor eléctrico y utiliza un sistema de recuperación de la energía para cargar la batería, frente a los híbridos enchufables que, como su nombre indica, deben enchufarse para cargar la batería. Así que asumí que las bicicletas eléctricas híbridas eran híbridas pesadas. Es posible que el propietario de un híbrido enchufable no hubiera llegado a la misma conclusión. Por otra parte, híbrido significa algo totalmente diferente para los amantes de la jardinería. Las rosas al inicio de este artículo son rosas híbrido de té →1.



01

Del latín hybrida, una variante de ibrida, que significa específicamente «nacido de una cerda domesticada y un jabalí salvaje», parece que la palabra híbrido empezó a utilizarse en el año 1600 para referirse a los «nacidos del cruce de dos plantas o animales de una variedad o especie diferente». Sobre el 2002, el término híbrido empezó a utilizarse como abreviatura de «vehículo híbrido» [1].

El diccionario Merriam Webster [2] define híbrido como:

- 1 nacido del cruce de dos animales o plantas de diferentes razas, tipos, variedades, especies o géneros; un híbrido de dos rosas;
- 2 una persona cuyo origen es una mezcla de dos culturas o tradiciones distintas;
- 3a algo heterogéneo en su origen o composición: compuesto;
- 3b algo (como una central eléctrica, un vehículo o un circuito electrónico) que tiene dos tipos diferentes de componentes que realizan esencialmente la misma función.

Para ser justos con la tienda de bicis, quizás antes de pensar que estaban subiéndose al carro de lo híbrido para vender más, debería haber consultado la Wikipedia [3]. Allí, además de las entradas habituales de híbrido referidas a biología (recordemos las rosas de té), vehículo híbrido, híbrido enchufable y tren híbrido, en efecto, está «bicicleta híbrida», definida como «bicicleta que reúne características propias de una bicicleta de carretera y de una bicicleta de montaña». Pero, además, hay una lista fascinante que incluye, entre otros, términos como biblioteca híbrida, mercado híbrido, piedra preciosa híbrida y, por supuesto, palabra híbrida. Todos ellos son usos perfectamente válidos de híbrido, pero desde 2002 se han visto eclipsados por su uso como abreviatura de vehículo híbrido.



02

01 Es un híbrido: la rosa híbrido de té Chrysler Imperial.

02 No es un híbrido: el coche Chrysler Imperial.

#### Referencias

[1] Online Etymology Dictionary "hybrid (n.)" [online]. Available: <https://www.etymonline.com/word/hybrid> [Accessed: July 6, 2019].

[2] Merriam-Webster "hybrid" [online]. Available: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/hybrid> [Accessed: July 25, 2019].

[3] Wikipedia "Hybrid" [online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Hybrid> [Accessed: July 23, 2019].

El término «híbrido» tiene siglos de antigüedad pero ya no se refiere exclusivamente al cruce entre cerdas y jabalíes, ahora es un término técnico.

Y he aquí el reto moderno que plantea el término híbrido. Ya no se limita al cruce entre cerdas y jabalíes, sino que ahora es un término que o sobreutilizamos o es objeto de suposiciones restringidas. En el mundo de la tecnología, híbrido ha sido, de cierta manera, víctima del «fenómeno de la manzana»: primero fue iMac, luego iBook, seguido de iPod, iPhone e iPad. Ahora, las empresas que quieren sugerir el mismo nivel de innovación y diseño chic ponen la i delante del nombre de sus productos, independientemente de si son tecnológicos. He visto hasta un iUmbrella. En el mundo de la tecnología, algunos usan híbrido para referirse a un beneficio medioambiental, real o no, y otros, cuando vemos híbrido, hacemos suposiciones sobre el producto, su comportamiento y sus beneficios. Como con todo en esta vida, híbrido básicamente se reduce a «leer siempre la letra pequeña». De lo contrario, te arriesgas a confundir la rosa híbrido Chrysler Imperial con un coche →2. •

#### Suscripción

##### Cómo suscribirse

Si desea suscribirse, póngase en contacto con el representante de ABB más cercano o suscríbese en línea en [www.abb.com/abbreview](http://www.abb.com/abbreview)

ABB Review se publica cuatro veces al año en inglés, francés, alemán y español. ABB Review es una publicación gratuita para todos los interesados en la tecnología y los objetivos de ABB.

##### Manténgase informado

¿Se ha perdido algún número de ABB Review? Regístrese para recibir un aviso por correo electrónico en <http://www.abb.com/abbreview> y no vuelva a perderse ningún número.



Cuando se registre para recibir este aviso, recibirá también un correo electrónico con un enlace de confirmación. No olvide confirmar el registro.

#### Consejo editorial

##### Consejo de redacción

###### Bazmi Husain

Chief Technology Officer  
Group R&D and Technology

###### Adrienne Williams

Senior Sustainability  
Advisor

###### Christoph Sieder

Head of Corporate  
Communications

###### Reiner Schoenrock

Technology and Innovation

###### Roland Weiss

R&D Strategy Manager  
Group R&D and Technology

###### Andreas Moglestue

Chief Editor, ABB Review  
[andreas.moglestue@ch.abb.com](mailto:andreas.moglestue@ch.abb.com)

##### Editorial

ABB Review es una publicación de I+D y tecnología del Grupo ABB.

ABB Switzerland Ltd.  
ABB Review  
Segelhofstrasse 1K  
CH-5405 Baden-Daettwil  
Suiza  
[abb.review@ch.abb.com](mailto:abb.review@ch.abb.com)

La reproducción o reimpresión parcial está permitida a condición de citar la fuente. La reimpresión completa precisa del acuerdo por escrito del editor.

Editorial y copyright ©2019  
ABB Switzerland Ltd.  
Baden/Suiza

##### Impresor

Vorarlberger  
Verlagsanstalt GmbH  
6850 Dornbirn/Austria



##### Diseño

Publik. Agentur für  
Kommunikation GmbH  
Ludwigshafen/Alemania

##### Ilustraciones

Konica Minolta  
Marketing Services  
WC1V 7PB Londres  
Reino Unido

##### Declaración de exención de responsabilidad

Las informaciones contenidas en esta revista reflejan el punto de vista de sus autores y tienen una finalidad puramente informativa. El lector no deberá actuar sobre la base de las afirmaciones contenidas en esta revista sin contar con asesoramiento profesional. Nuestras publicaciones están a disposición de los lectores sobre la base de que no implican asesoramiento técnico o profesional de ningún tipo por parte de los autores, ni opiniones sobre materias o hechos específicos, y no asumimos responsabilidad alguna en relación con el uso de las mismas.

Las empresas del Grupo ABB no garantizan ni aseguran, ni expresa ni implícitamente, el contenido o la exactitud de los puntos de vista expresados en esta revista.

ISSN: 1013-3119

[abb.com/abbreview](http://abb.com/abbreview)

##### Edición para tablet

A finales de 2018 se suspendió la producción en la versión para tablet de ABB Review (para iOS y Android). Se recomienda a los lectores de las versiones para tablet que utilicen en su lugar las versiones en pdf o web, [abb.com/abbreview](http://abb.com/abbreview)





## 01|2019

### Las ideas importan

#### Lo más destacado en innovación

- 06 Noticias breves sobre innovación
- 21 ABB Customer World

#### Technology Ventures

- 24 Entrevista con SynerLeap
- 28 SynerLeap, Graphmatech y Algoryx

#### Conectados para aumentar la productividad

- 36 Rumbo a la navegación autónoma
- 39 Transformador de potencia ABB Ability™
- 46 Tecnología de sensores no invasivos
- 54 Bus de anillo con UPS estático de ABB
- 61 Nuevos interruptores Tmax XT de ABB

#### Mecánica y electricidad

- 64 Un nuevo sensor para cojinetes mejora la seguridad
- 68 Cableado sin herramientas

#### Desmitificación de términos técnicos

- 70 Deep learning



## 02|2019

### Gemelos digitales y simulaciones

#### Gemelos digitales y simulaciones

- 08 El mundo de la simulación
- 14 Sinergia de borde-nube con los gemelos digitales
- 20 Simulaciones electrotérmicas
- 26 Gemelo digital HVDC Light®
- 34 Análisis conectados
- 42 Simulaciones sencillas para ingenieros
- 47 Simulaciones avanzadas
- 52 Avatares digitales para trenes de potencia
- 58 Supervisión de máquinas rotativas
- 64 Mitigar el impacto de arcos internos

#### Productividad

- 72 Ingeniería de módulos de proceso

#### Desmitificación de términos técnicos

- 78 Computación en la nube, en el borde y en la niebla



## 03|2019

### Sistemas autónomos

#### Sistemas autónomos

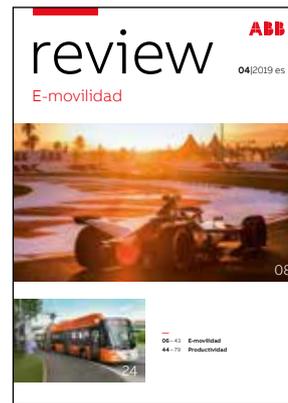
- 08 De la automatización a los sistemas autónomos
- 16 Visualización de modelos de redes eléctricas
- 23 Visualizaciones inteligentes
- 30 Orquestación de la planta y aplicación piloto
- 36 Herramientas de análisis de datos para la industria
- 44 Drive Connectivity Panel
- 46 Supervisión de los revestimientos de molinos

#### Energía

- 54 SAI PowerLine DPA para condiciones adversas
- 60 La pila de combustible, una central ecológica
- 68 Transformadores resistentes a la rotura

#### Desmitificación de términos técnicos

- 74 Sistemas autónomos



## 04|2019

### E-movilidad

#### E-movilidad

- 08 Una carrera hacia el futuro
- 14 Electrificación de los ferris de las cataratas del Niágara
- 18 Bienvenido a bordo, hidrógeno
- 24 ¿Por qué no importa la autonomía en los autobuses eléctricos?
- 30 El futuro de la red eléctrica
- 38 Colaboración en la infraestructura de VE

#### Productividad

- 46 Máquinas de aprendizaje automático
- 52 Optimización de todo el tren de potencia
- 56 Prototipos virtuales de sistemas de sensores
- 64 Optimización de activos
- 68 Accionamientos de interruptores
- 74 Supervisión del rendimiento en SCADA

#### Desmitificación de términos técnicos

- 80 Híbrido

---

Próximo número 01/2020  
**Un mañana inspirador**

**El primer número de ABB Review de la nueva década será más que un mero resumen de lo que ya es posible. Revelará nuevas tecnologías, casos de uso de los clientes y enfoques de desarrollo de procesos que serán necesarios para el éxito competitivo y, por lo tanto, deberían informar y cuestionar su planificación. Considérelo una guía del usuario para activar el futuro.**