

## review

**02**|2021 es

## Máquinas con inteligencia



**06**–37 **Máquinas con inteligencia** 

**38**–49 **Sensores y análisis** 

50-81 Energía para la acción





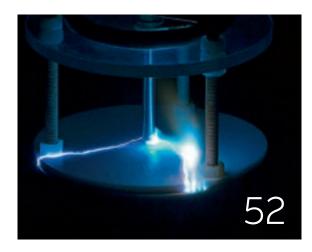
El interruptor digital Tmax XT

#### Seccionador de potencia tipo puffer





Análisis con «golden batch»



Pruebas dieléctricas por ordenador

#### 05 **Editorial**

#### Máquinas con inteligencia

- 08 El Programa digital Lighthouse
- 14 Detección autónoma de anomalías
- 18 Máquinas y robots
- 22 Solución integral
- 24 Inteligencia artificial explicable
- 31 Análisis con «golden batch»
- 36 Humanizando la tecnología

#### Sensores y análisis

- 40 De los sensores al conocimiento profundo
- 46 Servicios digitales para analizadores de gases

#### Energía para la acción

- 52 Pruebas dieléctricas por ordenador
- 58 Carga de VE
- 62 El interruptor digital Tmax XT
- 68 ReliaGear® neXT y ReliaGear® SB
- 72 Seccionador de potencia tipo puffer
- 78 Sensores de Rogowski

### Desmitificación de términos técnicos

- 82 Materiales inteligentes
- 83 Suscripción
- 83 Consejo editorial

### Máquinas con inteligencia

Las máquinas inteligentes se parecen mucho a las personas inteligentes: no lo saben todo, pero tienen la capacidad de aprender y aplican conocimientos en lugar de limitarse a ofrecer respuestas. Las máquinas no son innatamente inteligentes, pero pueden comprender y adaptarse. Este número de ABB Review se centra en cómo estas tecnologías están transformando la fabricación y el negocio, gracias al trabajo conjunto de personas inteligentes y máquinas inteligentes.

)21

#### **EDITORIAL**

### Máquinas con inteligencia



Estimado/a lector/a:

Normalmente existe una brecha entre lo que es científicamente posible y lo que es viable en la práctica. El objetivo de la ingeniería es reducir esa brecha y transformar los frutos de la investigación en beneficios tangibles que den servicio a las personas y a las industrias al tiempo que se preserva el entorno natural.

Este número de ABB Review se centra en cómo aplicar las capacidades cada vez más desarrolladas de la inteligencia artificial (IA) a los procesos industriales. La inteligencia artificial no solo mejora la recogida, la conexión y el intercambio de información, sino que permite transformar procesos de fabricación completos para hacerlos más eficientes, productivos y sostenibles.

Estas son algunas de las preguntas que nos planteamos en este número: ¿podemos confiar en la inteligencia artificial? En caso afirmativo, ¿cómo debemos hacerlo?; ¿cómo podemos mejorar el modo en que aprenden los sistemas de inteligencia artificial?; ¿cómo podemos utilizar la inteligencia artificial para guiar los sistemas existentes y para diseñar otros mejores?

Que disfrute de la lectura.

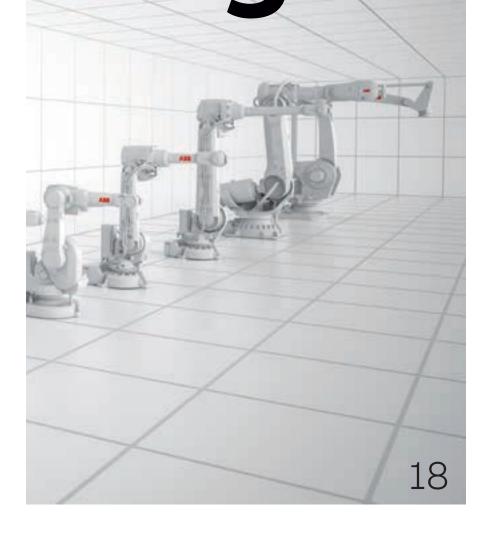
Björn Rosengren

Chief Executive Officer, ABB Group

## Máquinas

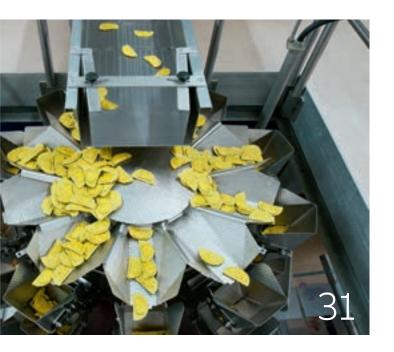
Con

inteligencia





02|2021



Las máquinas smart deben ser fiables, confiables, comunicativas y capaces de aprender antes de poder decir que son inteligentes.

ABB está ayudando a liderar el desarrollo de estas máquinas y a ponerlas en marcha en clientes.

80 Programa digital Lighthouse: provocando la transformación 14 Una fórmula para acelerar la detección autónoma de anomalías 18 Cuando las máquinas y los robots trabajan como una unidad 22 Solución integral para la automatización de máquinas y la robótica 24 Inteligencia artificial explicable: la clave para confiar en las máquinas 31 El análisis con «golden batch» ofrece una calidad superior uniforme 36 Humanizando la tecnología



## Programa digital Lighthouse: provocando la transformación

En 2017 ABB lanzó el Programa Lighthouse, una iniciativa que seleccionó y financió parcialmente el desarrollo de soluciones digitales innovadoras en colaboración con clientes. El programa ya ha supuesto la comercialización de 30 nuevos productos.

01 El Programa Lighthouse digital acelera la introducción de soluciones digitales innovadoras en el mercado. La innovación digital en una corporación global multiindustrial de 130 años no siempre es fácil. No obstante, la innovación es fundamental para las organizaciones que quieren ser líderes en la era de la digitalización. Uno de los facilitadores clave de la innovación es la capacidad para probar nuevas ideas, aprender de los resultados y repetir aquellas que prometen.

En 2017, ABB asumió el reto de catalizar la innovación digital. Para ello, la empresa lanzó el Programa digital Lighthouse, cuyo objeto era seleccionar y financiar parcialmente el desarrollo de soluciones digitales innovadoras en colaboración con clientes. ABB consideró que el Programa Lighthouse podría casar las buenas ideas internas con los recursos necesarios de financiación, recursos y coinnovación con clientes para acortar significativamente los plazos de comercialización de los productos →01.



Franziska Bossart ABB Technology Ventures Menlo Park, CA, Estados Unidos

franziska.bossart@ us.abb.com Dos años y medio después, cuando finalizó el programa, se habían implantado 66 productos viables mínimos (MVP) con clientes y se habían publicado más de 40 testimonios de clientes. A día de hoy, se han comercializado 30 de los



ABB REVIEW

productos desarrollados bajo el Programa Lighthouse. Pero la característica más importante de este programa es que fomenta la cultura de la innovación digital en ABB, lo que significa que, en el futuro, habrá cada vez menos innovaciones digitales esperando a ser probadas.

El Programa Lighthouse invitaba a personas con buenas ideas a defenderlas dentro de un marco empresarial.

#### La transformación digital

La innovación y la transformación digitales son vitales para el crecimiento de ABB y su capacidad para ofrecer un valor de cliente de orden superior al tiempo que asegura las ofertas de la empresa a pesar de la presión que supone la carrera a la baja de los precios. Si ABB es capaz de digitalizar y ampliar su cartera de soluciones digitales integradas para satisfacer las necesidades y expectativas de su enorme base de clientes leales, la empresa seguirá prosperando.

Pero cuando se trata de transformación digital, es más fácil decirlo que hacerlo.

La transformación digital en las grandes empresas es difícil por dos razones principales. En primer lugar, las organizaciones tradicionales dedican la mayor parte de su presupuesto de I+D a mejoras de producto incrementales que

aumentan, a paso lento pero seguro, la cuota de mercado en mercados bien definidos. Por el contrario, los programas de innovación digital giran en torno al futuro. En este caso, los recursos de I+D trabajan en productos novedosos o en mercados incipientes o que aún no existen →02, lo que hace que la agilidad, la velocidad de comercialización y la aceptación del riesgo sean factores fundamentales. Algunos proyectos fracasarán, pero los que tengan éxito pueden cambiar las reglas del juego.

En segundo lugar, el éxito de la innovación digital no se mide simplemente por la fecha de lanzamiento. Los productos digitales deben ser tratados como negocios incipientes por los equipos de marketing o de gestión del producto y sustentados con mucha experimentación. Los modelos que demuestren tener el mayor potencial deben ampliarse rápidamente. Los que no lo hagan deben abandonarse rápidamente.

#### Interruptor de encendido de ABB

El Programa Lighthouse se lanzó en abril de 2017 y se prolongó hasta finales de 2019. Los objetivos principales del programa eran:

- Acelerar el desarrollo y la implantación de soluciones digitales innovadoras construidas en la plataforma de Internet de las cosas (IoT) de ABB Ability<sup>TM</sup>.
- Fomentar el codesarrollo de soluciones con clientes, implicándoles en una etapa temprana.
- Acelerar la adopción en ABB de tecnologías digitales de última generación, como inteligencia artificial (IA), realidad aumentada, realidad virtual, gemelos digitales y blockchain.





02 Mientras que gran parte del gasto de I+D se destina a mejorar productos existentes en mercados bien definidos, los programas de innovación digital giran en torno al futuro.

03 Uno de los resultados del Programa Lighthouse fue un concepto de transporte inteligente.

El aspecto del programa de colaboración con el cliente en una etapa temprana era muy popular.

El Programa Lighthouse seleccionó, financió y lanzó una cohorte de aproximadamente 12 proyectos de innovación digital cada seis meses. Los dos criterios principales para la selección de proyectos eran:

- Cada proyecto aprobado debía presentar un alto perfil de riesgo e innovación que no pudiera financiarse sin el Programa Lighthouse.
- La entidad de ABB pertinente debía estar preparada para aportar recursos.

El programa financiaba el 50 % de cada proyecto, y el resto lo pagaba la entidad de ABB que lo proponía. Una ventaja inesperada de este modelo de cofinanciación fue que animó a las entidades de ABB que proponían proyectos similares a aunar esfuerzos para poder acceder a más financiación. Este enfoque no solo resultó ser más eficiente, sino que también permitió a los clientes acceder a aplicaciones que funcionan con más productos de ABB.

El Programa Lighthouse invitaba a personas con buenas ideas a defenderlas dentro de un marco empresarial. Los candidatos identificaban a clientes dispuestos a codesarrollar nuevos productos digitales, explicaban qué puntos débiles del cliente abordarían los productos, identificaban los obstáculos para el éxito y cómo el programa les permitiría superarlos, y subrayaban el potencial de ingresos a corto y largo plazo.

Todas las soluciones digitales lucharon por cumplir los dos últimos requisitos para el éxito:

- Implementar un MVP en un cliente en un plazo de nueve meses desde la puesta en marcha del proyecto.
- Publicar un testimonio público del cliente en un plazo de dos meses desde el despliegue.

El primer objetivo reducía drásticamente el tiempo de desarrollo al que los equipos de I+D de ABB estaban acostumbrados. El objetivo de implantar un MVP que fuera lo suficientemente bueno en lugar del estándar casi técnicamente prefecto habitual de ABB supuso un potente acelerador. Como señaló un participante, «el Programa Lighthouse introdujo la cocreación con el cliente. Históricamente, ABB desarrollaba productos internamente y luego los ofrecía a sus clientes. En el marco de este programa, ABB y sus clientes han colaborado desde el principio para desarrollar soluciones que abordan directamente los problemas de los clientes».

Las propuestas de proyectos recibían una consideración adicional si además eran capaces de demostrar:

- Una colaboración entre empresas que garantizara beneficios de networking sostenibles en el futuro y el intercambio de mejores prácticas.
- La medida en que el proyecto se integraba con la plataforma ABB Ability™ de Internet de las cosas (IOT) y la mejoraba.
- De qué manera integraría y desarrollaría el proyecto tecnologías digitales emergentes como la IA, el aprendizaje automático y las tecnologías de gemelos digitales.



Cada uno de los proyectos financiados se ponía en marcha oficialmente mediante una reunión virtual organizada por el equipo del Programa Lighthouse para garantizar que los equipos estuvieran preparados para empezar a trabajar. Una lección aprendida desde el principio fue que forzar el lanzamiento demasiado pronto se traducía en retrasos, pérdida de impulso y frustración. En la práctica, dos meses de tiempo de preparación entre la aceptación y la puesta en marcha garantizaban la adecuada dotación de personal y la idoneidad de los recursos. En muchos de los proyectos, los equipos globales estaban distribuidos entre varios continentes y múltiples zonas horarias.

En total, los empleados de ABB presentaron 170 proyectos al programa, de los cuales 73 fueron financiados.

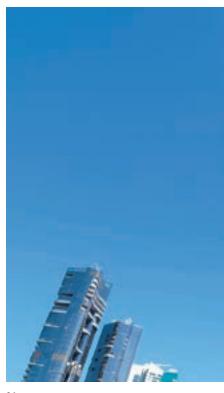
El equipo del Programa Lighthouse revisaba el progreso de cada equipo de trabajo cada dos meses. Esta planificación les permitía compartir mejores prácticas con toda la cartera de proyectos. Cada dos semanas, los equipos resumían sus logros y próximas metas en un informe sprint que a continuación se agregaba al panel del Programa Lighthouse de amplia circulación.

Curiosamente, el aspecto de la colaboración con el cliente en una etapa temprana del Programa Lighthouse se convirtió en una de sus características más populares. Inicialmente, los equipos de desarrollo acudían al programa sobre todo para obtener financiación interna. Sin embargo, pronto empezaron a darle la misma importancia al trabajo con los clientes en las primeras etapas del ciclo de vida del producto, lo que dio lugar a productos más centrados con plazos de comercialización reducidos.

#### Resultados del Programa Lighthouse digital

En total, los empleados de ABB presentaron 170 proyectos al programa, de los cuales 73 fueron financiados. Las 19 áreas de negocio de ABB estaban representadas, una inaudita y simultánea adopción del cambio a escala de toda la empresa.

Los proyectos financiados codesarrollaron e implantaron con éxito 66 MVP en clientes, 40 de los cuales dieron lugar a testimonios públicos de clientes. Más del 60 % de los proyectos probaron nuevos modelos de negocio, como los precios por suscripción. Dos de esos proyectos fueron



las primeras ofertas en el ABB Ability™ Marketplace online, donde los clientes pueden comprar soluciones digitales basadas en la nube. Varias entidades de ABB participaron en 17 proyectos, mientras que 19 utilizaron tecnologías digitales emergentes. Hasta la fecha, se han comercializado 30 MVP que se han puesto enteramente a la venta a clientes.

#### Dos ejemplos de éxito

El concepto de transporte inteligente diseñado en el marco del Programa Lighthouse introdujo dos soluciones remotas e inteligentes para ferris de pasajeros que utilizan tecnología LiDAR, radar, GPS y conectividad en la nube, y que pueden instalarse en prácticamente cualquier buque →03. El software predice dónde estará el ferri en 30 segundos y superpone la manera óptima de realizar maniobras a las condiciones circundantes reales, lo que permite a los controladores en tierra controlar el buque a distancia. La solución permite un bucle «captaranalizaractuar» totalmente automatizado, un paso importante hacia las operaciones autónomas, con humanos de respaldo en remoto por si es necesario intervenir. El cliente que colaboró en el desarrollo de esta solución fue Suomenlinnan Liikenne Oy, con la colaboración de Transporte Urbano de Helsinki y la Agencia Finlandesa de Seguridad del Transporte (TRAFI).

La detección fugas nocivas de metano, etano y otros procedentes de tuberías ha sido difícil y cara porque las tuberías a menudo recorren



04 Desarrollado conjuntamente con el cliente ULC Robotics, ABB Ability™ Mobile Gas Leak Detection utiliza drones para comprobar si hay fugas en las tuberías.

terrenos intransitables o inhóspitos. ABB Ability™ Mobile Gas Leak Detection, desarrollado conjuntamente con el cliente ULC Robotics, detecta fugas con una sensibilidad 1000 veces mayor que los métodos tradicionales gracias al uso de drones que vuelan rápidamente por las tuberías →04. Esto protege el medio ambiente, la infraestructura y los trabajadores al tiempo que protege los ingresos del propietario de las tuberías. La conectividad a la nube permite una distribución segura, rápida y eficiente de los datos en cualquier parte del mundo. Los usuarios autorizados pueden ver el progreso del vuelo de los drones en tiempo real, y revisar y actuar en función de los informes de fugas.

#### Rumbo al futuro

¿Ha sido el Programa Lighthouse un éxito? Michael Wade, profesor de Innovación y Estrategia en IMD en Lausana y director del Centro Global para la Transformación de Negocios Digitales, ha seguido atentamente el desarrollo del Programa Lighthouse. Su valoración: «El Programa Lighthouse ha sido una bocanada de aire fresco para ABB, en un sector en el que las cosas suceden en años, no en meses y, desde luego, nunca en semanas. La transformación digital es dura y la triste realidad a día de hoy es que la mayoría de los esfuerzos en esta dirección fracasan. Por lo tanto, la implantación de 66 MVP por parte de ABB en dos años y, lo que es más importante, la comercialización hasta la fecha de 30 de esos productos es un logro extremadamente insólito y prometedor».

El Programa Lighthouse tuvo éxito en varios frentes: activó la transformación digital, creó una plantilla operativa para la coinnovación en una etapa temprana con los clientes y demostró el compromiso de ABB de ayudar a los clientes a llevar a cabo sus transformaciones digitales.

El Programa Lighthouse consiguió animar a equipos de diferentes partes de ABB a aunar esfuerzos de una forma totalmente nueva y poderosa.

Conseguir una colaboración efectiva dentro de grandes organizaciones es todo un reto. El Programa Lighthouse consiguió animar a equipos de diferentes partes de ABB a aunar esfuerzos de una forma totalmente nueva y poderosa. Actualmente, todas las empresas de ABB tienen o están creando sus propios programas, aceleradoras o incubadoras similares al Programa Lighthouse. Fundamentalmente, la dirección de ABB promueve activamente estos esfuerzos por mantener el cambio a lo largo del tiempo y a escala. •

# Una fórmula para acelerar la detección autónoma de anomalías



El aprendizaje automático es cada vez más importante a la hora de identificar anomalías y mejorar así el nivel de autonomía del control de la calidad en las industrias de procesos [1], [2]. Pero entrenar estos sistemas para que identifiquen desviaciones significativas a partir de datos normales suele ser difícil debido a la escasez de ejemplos en el mundo real.

#### Marcel Dix Benjamin Kloepper ABB corporate Research

ABB corporate Research Ladenburg, Alemania

marcel.dix@de.abb.com benjamin.kloepper@ de.abb.com

#### Jean-Christophe Blanchon

Corys Grenoble, Francia

#### Elise Thorud

ABB Energy Industries Oslo, Noruega elise.thorud@ no.abb.com Para superar este inconveniente, Corys y ABB han combinado dos tecnologías de simulación para crear un entorno que genera datos muy similares a los producidos por procesos específicos en plantas industriales reales. Este nuevo nivel de precisión en la simulación abre la puerta a capacidades personalizadas, específicas y aceleradas para la detección de anomalías.

Las instalaciones industriales deben funcionar sin contratiempos. Para ello, es necesario detectar, identificar, analizar y gestionar en sus etapas más tempranas los indicios de posibles problemas, tales como vibraciones, temperaturas, presiones y sonidos anómalos. La detección de anomalías, una forma clave de aprendizaje automático, puede desempeñar un papel importante en este sentido al ayudar eficazmente a los operadores a supervisar el estado de los sistemas industriales.

Sin embargo, los modelos de aprendizaje automático suelen entrenarse utilizando datos históricos de la planta. Pero dado que los sistemas industriales son muy robustos, a menudo no hay suficientes ejemplos de casos reales de fallos en los datos para entrenar modelos fiables. Además, aunque se hayan producido algunos casos de fallo, a menudo es difícil encontrarlos en los datos porque el operador no los ha etiquetado como tales,

o porque no se observaron cuando tuvieron lugar. Además, esta situación puede llevar a identificar por error situaciones anómalas como normales.

#### Creación de una infraestructura para investigar el aprendizaje automático

Con vistas a superar estos inconvenientes, los científicos de datos utilizan simuladores de procesos de alta fidelidad, como el simulador Indiss Plus de Corys [1], para entrenar modelos de aprendizaje automático en situaciones normales y anormales específicas de la planta, como, por ejemplo, fallos de válvulas, con el fin de etiquetar correctamente estos eventos.

De hecho, Corys y ABB han creado una infraestructura para el aprendizaje automático diseñada para explorar el potencial (así como los requisitos de datos) de diferentes algoritmos en una configuración realista. →01 muestra la infraestructura para estudiar el aprendizaje

Una combinación de sistemas de simulación genera datos que son muy parecidos a los datos producidos en las plantas industriales.

automático del experimento creada por Corys y ABB. En el centro de la infraestructura se encuentran las herramientas de simulación de ambas empresas: el proceso de simulación Indiss Plus de Corys y el simulador de sistema de control 800xA Simulator de ABB [3]. Individualmente, ambas herramientas han demostrado ser muy precisas en varios proyectos de formación de operadores. Ahora, en una configuración combinada, las herramientas pueden generar una simulación del



simulación de procesos de Indiss Plus. El controlador de experimentos lleva a cabo lotes de experimentos, iniciando y parando la simulación del proceso en diferentes estados del proceso inicial y realizando las acciones del operador automáticamente. También inicia la recogida de

comportamiento de un proceso y su sistema de automatización asociado, como, por ejemplo, la lógica de control de una planta real, incluida la lógica de alarmas y seguridad.

Una ventaja clave de Indiss Plus en esta configuración es que también abre la puerta a la simulación de varios fallos de los equipos de la planta, como por ejemplo, una fuga en la válvula según se muestra en →02. Los datos de fallos resultantes pueden superar el obstáculo de no disponer de un número suficiente de casos de fallos para permitir el aprendizaje automático.

Para crear conjuntos de datos de simulación que sean adecuados para entrenar y validar un modelo de aprendizaje automático, debe automatizarse la ejecución de los experimentos de simulación. En este caso, se desarrolló un controlador de experimentos como se muestra en →01. El controlador de experimentos coge un plan de experimentos en el que se describe cuándo se realizan las distintas acciones del operador, como cambios de punto de consigna, y cuándo se desencadenan los fallos dentro de la

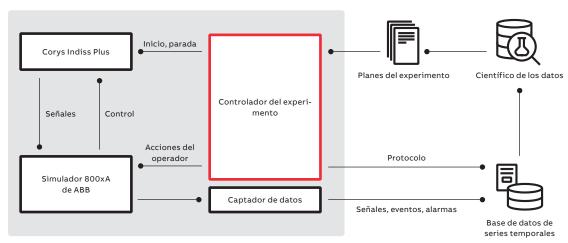
Los conjuntos de datos simulados se utilizaron para entrenar un modelo de detección de anomalías que pudiera detectar fallos simulados en el dispositivo.

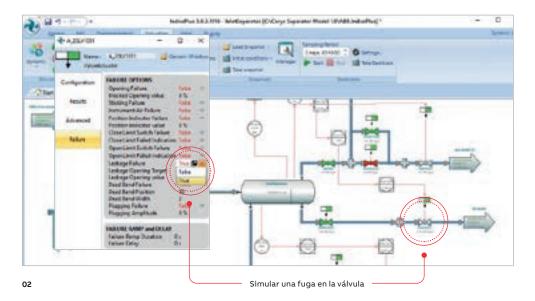
datos procedentes de un simulador 800xA, lo que permite utilizar el 800xA de ABB como sistema de control simulado en un simulador, con un diseño, una vista y una lógica de control del operador idénticas a las de la planta. Los datos y un protocolo de las acciones realizadas por el controlador de experimentos se almacenan en una base de datos de series temporales y se ponen a disposición del analista de datos para el entrenamiento de modelos de aprendizaje automático.

### Estudio de caso: desarrollo de un modelo de aprendizaje automático para la detección de anomalías

En la investigación descrita en este artículo, se utilizaron conjuntos de datos simulados para entrenar un modelo de detección de anomalías que fuera capaz de detectar fallos simulados en los dispositivos.







Un enfoque factible en el aprendizaje automático para detectar anomalías en señales de series temporales es utilizar los denominados autocodificadores [4]. Un autocodificador se compone de dos redes neuronales artificiales: la primera aprende a comprimir los datos (codificador) y la segunda aprende a reconstruir los datos comprimidos (decodificador). A efectos de la detección de anomalías, se utiliza el grado de error indicado por los datos reconstruidos para medir en qué medida son anómalos los datos.

A efectos de esta investigación se utilizó Indiss Plus de Corys (un simulador de procesos de alta fidelidad). Aquí, Corys había implementado un modelo de simulación de alta fidelidad de un proceso de separador trifásico que normalmente se utiliza en la producción de petróleo. El componente central de este proceso es un recipiente separador que separa los fluidos de un pozo en tres salidas: petróleo, gas y aguas residuales. Para que el separador funcione correctamente, es importante mantener equilibrados los niveles de petróleo, agua y gas. El sistema de control lleva a cabo esta función automáticamente mediante el ajuste de varias válvulas →03. Si se cambia el punto de consigna en uno de los niveles, el sistema ajustará el resto de válvulas automáticamente para mantener todo el separador en equilibrio.

Válvula de salida de gas

Válvula de entrada desde el pozo

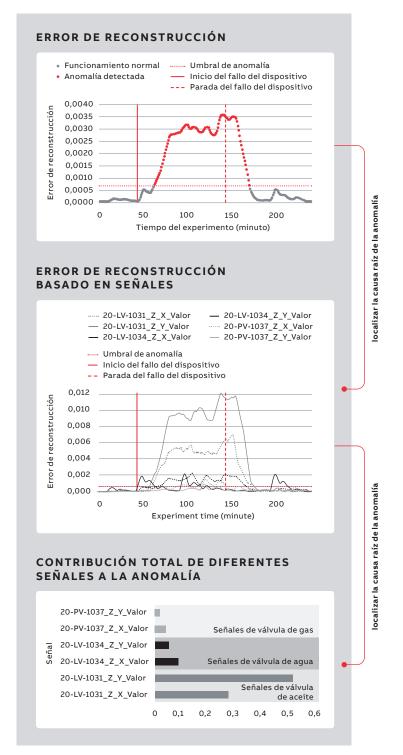
Válvula de salida Válvula de salida de agua de aceite

El simulador antes descrito se utilizó para entrenar un autocodificador con el fin de detectar un fallo físico de una válvula, como bloqueos o fugas. Estos fallos suelen ser difíciles de detectar por los operadores, especialmente si no están representados directamente en una HMI, lo que puede ocurrir, por ejemplo, si no hay sensores que los detecten. La idea era entrenar un autocodificador para que aprendiera las tendencias de señal de proceso del separador trifásico en funcionamiento normal, es decir, sin fallos. A continuación, el autocodificador entrenado se utilizaría para intentar reconstruir las tendencias de varios fallos simulados en el dispositivo.

En la evaluación actual, el autocodificador fue capaz de detectar fallos en el dispositivo como anomalías porque el autocodificador nunca había visto las tendencias de señal que representaban

Se utilizó un simulador para entrenar a un autocodificador con el fin de detectar un fallo físico de una válvula, como bloqueos o fugas.

estos fallos durante el entrenamiento del modelo. Esto dio lugar a un error de reconstrucción relativamente alto. Cuando el error superó un umbral predefinido, el autocodificador clasificó esta situación como anómala e informó de la anomalía al usuario. Como se muestra en →04, este umbral de anomalía se superó exactamente en el momento del fallo del dispositivo; pero cuando el fallo se eliminó en Indiss Plus, el error de reconstrucción del autocodificador volvió a la normalidad. Cuando se detecta una anomalía, el paso siguiente es localizar su posible causa raíz. En →04 se encontró la causa raíz en la válvula de petróleo.



Hacia los gemelos digitales híbridos

El estudio a que se refiere este artículo describe cómo ABB y Corys han trabajado juntos para crear una infraestructura para la investigación reproducible del aprendizaje automático. Las herramientas Indiss Plus de Corys y 800xA de Simulator de ABB crean un entorno que produce datos muy similares a los producidos por las plantas industriales reales. La diferencia clave es que los científicos de aprendizaje automático

Los gemelos digitales híbridos prometen convertirse en un facilitador clave de las futuras plantas industriales autónomas.

tienen pleno control de la generación de datos y pueden probar y evaluar su enfoque de una manera sólida y exhaustiva. La combinación de la simulación de alta fidelidad basada en modelos de primeros principios y el aprendizaje automático permite crear gemelos digitales de planta a partir de diferentes tipos de modelos que pueden aprovecharse en función de los diferentes tipos de funcionalidades que los gemelos digitales deban ofrecer a las distintas partes interesadas de la planta, desde los operadores hasta los directores de planta. Estos gemelos digitales híbridos prometen convertirse en un facilitador clave de las futuras plantas industriales autónomas.

El siguiente paso lógico de esta investigación será probar la infraestructura de aprendizaje automático descrita en este artículo en una simulación de una planta de cliente real. Esto permitirá investigar las posibles ventajas de modelos de aprendizaje automático que han sido entrenados previamente con modelos de simulación de aplicaciones reales.

04

02 Simulación de un fallo realista en un equipo de la planta utilizando Indiss Plus (en este caso: una fuga en la válvula seleccionada).

03 Recipiente separador en un proceso de separador trifásico.

04 Detección de un fallo del dispositivo (en este caso: fuga en la válvula) con ayuda de un modelo de autocodificador entrenado con datos simulados del proceso.

#### Referencias

[1] T. Gamer and A. Isaksson, "Autonomous systems," *ABB Review*, vol. 2018, no. 4, 2018.

[2] T. Gamer, M. Hoernicke, B. Klopper, R. Bauer and A. Isaksson, "The autonomous industrial plant - future of process engineering, operations and maintenance," *Journal of Process Control*, vol. 88, pp. 101 - 110. 2020.

[3] Corys, "Indiss Plus - Dynamic simulation platform," Corys, 03 6 2020. [Online]. Available: https://www.corys.com/en/indissplusr. [Accessed 20.04.2021].

[4] M. a. Y. T. Sakurada, "Anomaly detection using autoencoders with nonlinear dimensionality reduction," in Proceedings of the MLSDA 2014 2nd Workshop on Machine Learning for Sensory Data Analysia, 2014.

[5] Z. S. S. X. D. B. H. ZHIQIANG GE, "Data Mining and Analytics in the Process Industry: The Role of Machine Learning," *IEEE Access*, vol. 2017, no. 5, pp. 20590-20616, 2017.

[6] L. H. C. S. Joe Qin, "Advances and opportunities in machine learning for process data analytics," *Com*puters and Chemical Engineering, no. 126, pp. 465 - 473, 2019. [7] R. G. A. M. K. D. P. S. S. a. G. S. I. Amihai, "An industrial case study using vibration data and machine learning to predict asset health," in 2018 20th IEEE International Conference on Business Informatics, Wien, 2018.

[8] D. W. C. I. K.-D. T. Thorsten Wuest, "Machine learning in manufacturing: advantages, challenges, and applications," Production & Manufacturing Research, vol. 4, no. 1, pp. 23 - 45, 2016.

## Cuando las máquinas y los robots trabajan como una unidad

B&R, una división del Grupo ABB y líder mundial en la automatización industrial, ha desarrollado Machine-Centric Robotics, una solución que permite a las máquinas de la planta de una fábrica comunicarse con robots asociados en tiempo real.



01



**Sebastian Brandstetter** B&R Industrial Automation Eggelsberg, Austria

Sebastian.Brandstetter@br-automation.com

Machine-Centric Robotics facilitará el funcionamiento de las máquinas, ya que solo habrá una única interfaz de usuario para la máquina y el robot. Como resultado, por primera vez, ABB podrá ofrecer a sus clientes controles de máquinas, incluidos accionamientos, sistemas de seguridad, HMI, visión y robots, como un paquete a partir de una misma fuente, algo que ninguna otra empresa puede hacer.

Los robots están evolucionando. Cada vez más, trabajan junto a los seres humanos, aprenden de la experiencia, se conectan en red, son móviles e incluso autónomos. Estas características son muy demandadas por muchas razones: sociedades envejecidas, escasez de trabajadores cualificados y presión por obtener productos locales e individualizados que sean, sin embargo, asequibles y de la máxima calidad [1].

A medida que los fabricantes se esfuerzan por satisfacer estos requisitos en un mundo laboral transformado por las consideraciones de salud y seguridad relacionadas con la COVID-19, B&R ha desarrollado en colaboración con otros departamentos de ABB una solución que permite a las máquinas en la planta de la fábrica comunicarse con robots asociados en tiempo real →01.

#### Eliminación instantánea

Un ejemplo práctico de lo que hemos logrado hasta la fecha es la detección de imperfecciones mediante una cámara de B&R. En este caso, en menos de un milisegundo, los datos relativos a la imperfección se convierten en una orden de control a un robot asociado de ABB, y la pieza defectuosa se elimina de la línea de producción sin ninguna intervención manual y sin afectar a la velocidad del proceso de fabricación.

En menos de un milisegundo, los datos sobre imperfecciones se convierten en un comando de control de un robot de ABB.

Detrás de la solución, que integra robots de ABB en el sistema de control de B&R, hay una única arquitectura que reúne la información que necesitan estos dos sistemas previamente independientes. Esto elimina la necesidad de un controlador de robots dedicado, un armario de control aparte y personal especializado en lenguajes de robótica específicos.



#### **TECNOLOGÍA MAPP**

Esta tecnología está revolucionando la creación de software para maquinaria y equipos industriales. Los componentes de software modulares preprogramados (mapp) son tan fáciles de usar como una aplicación para smartphone. En lugar de escribir líneas y líneas de código para crear un sistema de gestión de usuarios, un sistema de alarma o una secuencia de control de movimiento desde cero, los desarrolladores de software automático simplemente configuran mapps listos para usar con unos pocos clics de ratón. Los algoritmos complejos son fáciles de gestionar. Los programadores pueden centrarse totalmente en los procesos de las máquinas.

0.2

01 Machine-Centric Robotics permite a las máquinas de la planta de producción comunicarse con robots asociados en tiempo real.

O2 Los componentes de software modulares preprogramados (mapp) son tan fáciles de usar como una aplicación para smartphone. La integración de los robots de ABB en soluciones de automatización está soportada por los módulos de software preconfigurados de B&R.

La integración de los robots de ABB en soluciones de automatización está soportada por los módulos de software preconfigurados de B&R.

La integración de robots de ABB en soluciones de automatización está soportada por los módulos de software preconfigurados de B&R. Los módulos están diseñados para que a los constructores de maquinaria les resulte extremadamente fácil crear aplicaciones de robótica. Por ejemplo, el software mapp Robotics de B&R →02 incluye funciones estándar para el control y la puesta en marcha, así como funciones avanzadas como el control de prealimentación y la supervisión del compresor y del espacio de trabajo. Esto permite al usuario implementar aplicaciones complejas y muy dinámicas sin tener que escribir código nuevo, lo que reduce drásticamente los tiempos de desarrollo.

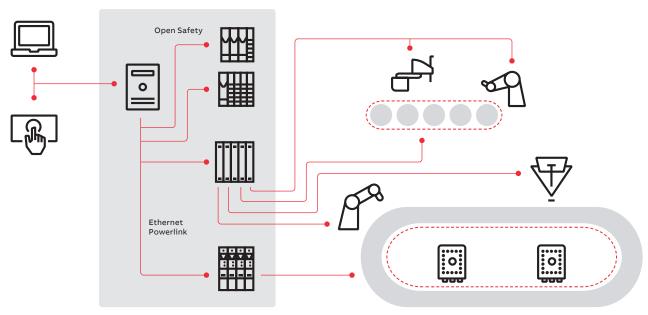
#### Fuente única

Estos desarrollos son exactamente lo que buscan los clientes de B&R, principalmente los que fabrican máquinas en serie. La razón principal es obvia: normalmente, la tarea de integrar y programar un robot consume muchos recursos, especialmente en el caso de los OEM pequeños y medianos, porque muchas máquinas dependen de procesos extremadamente rápidos y cronometrados. La coordinación de estos procesos en tiempo real con un dispositivo externo constituye un reto abrumador, si no imposible.

Una segunda razón es que el programador medio de PLC no está familiarizado con las herramientas y los lenguajes de programación que se utilizan para desarrollar aplicaciones de robótica. Y en tercer lugar, tener que tratar con un proveedor adicional consume tiempo y recursos.

Y además, si bien esta nueva solución proporcionará a los OEM una fuente única a la que recurrir tanto para la robótica como para el control de las máquinas, la oferta de robótica clásica de ABB seguirá siendo la misma. Esto significa que las aplicaciones centradas en robots, como la soldadura en la automoción, seguirán estando presentes en otras divisiones de robótica de ABB.







03 Los clientes de B&R pueden elegir entre una serie de robots con brazo articulado, SCARA, delta y paletizador de diversos tamaños y cargas útiles.

04 Los robots están totalmente integrados en el sistema de B&R.

#### Referencias

[1] T. Okuma, "Editorial," 2018. Available: https:// ifr.org/downloads/ press2018/Editorial\_WR\_2019\_Industrial\_Robots.pdf

#### Nota al pie

1) SCARA (Selective Compliance Articulated Robot Arm) es un tipo de robot rígido en la tercera dimensión. La diferencia entre estas dos áreas es sencilla. Si todo el proceso gira en torno a un robot, como ocurre con la soldadura, es evidente que se trata de una aplicación robótica. Pero si el robot solo desempeña una función de apoyo, como la clasificación de defectos a plena velocidad de producción, aquí es donde entraría la robótica basada en máquinas de B&R.

#### Campo de entrenamiento para robots

Obviamente, los clientes asociados son tan variados como estas aplicaciones. La robótica basada en máquinas está dirigida al público tradicional de B&R: los constructores de máquinas. Por otra parte, las soluciones basadas en robots suelen utilizarlas los integradores de sistemas y los usuarios finales, en definitiva, los clientes clásicos de ABB. Si tenemos todo esto en cuenta, queda claro que los equipos de B&R y ABB ahora son capaces de abordar las demandas únicas de los clientes de cada grupo.

Ya hay una operación piloto en marcha y la primera tanda de robots estará disponible a mediados de 2021.

Ambos grupos se beneficiarán de sinergias. Los constructores de máquinas podrán elegir entre una amplia gama de robots de ABB  $\rightarrow$ 03, incluidos robots con brazo articulado, SCARA1, delta y paletizador en diversos tamaños y con una variedad de cargas útiles. Estas características son especialmente importantes en el caso de las aplicaciones de máquinas que requieren un alto grado de sincronización con otros componentes, como es el caso de las soluciones de picking. También podrán recibir asesoramiento y soporte directos y exhaustivos de la robótica y del sistema de control de la máquina. B&R, por su parte, se convertirá en el canal de venta preferido por los constructores de máquinas que buscan soluciones de robótica.

En pocas palabras, lo que los equipos de ingeniería de B&R y ABB han logrado es optimizar la comunicación entre los servoaccionamientos de B&R y los motores de los robots de ABB →04. A medida que este proceso se acerca a su finalización, los equipos están entrando en una fase intensiva de pruebas.

Cada robot se someterá a seis meses de pruebas de fatiga en un campo de entrenamiento. Esta fase está diseñada para garantizar que los robots, los controladores y el sistema de propulsión de los clientes trabajen juntos a la perfección. Ya hay una operación piloto en marcha y la primera tanda de robots estará disponible a mediados de 2021.

# Solución integral para la automatización de máquinas y la robótica

Sebastian Brandstetter, especialista en robótica de B&R, explica cómo los clientes se benefician de una precisión sin precedentes gracias a la sincronización entre la robótica y el control de las máquinas.

- AR Sr. Brandstetter, ¿qué valor añadido puede esperar obtener un OEM de la integración de robots en sus máquinas?
- SB Veo tres ventajas principales. En primer lugar, los robots hacen que las máquinas sean más flexibles. En segundo lugar, un robot puede ser a menudo la forma más sencilla de realizar determinadas tareas. En tercer lugar, los robots pueden realizar trabajos que serían demasiado peligrosos, extenuantes o monótonos para los trabajadores humanos.
- AR ¿Hay muchos procesos que aún requieren la intervención humana manual?
- La cantidad de automatización en la fabricación claramente ha crecido de manera espectacular en las últimas tres décadas. Sin embargo, todavía hay muchas máquinas y plantas donde se requieren trabajadores humanos para ciertos pasos del proceso. Pensemos, por ejemplo, en una curvadora. Todavía hay trabajadores que tienen que introducir las láminas en el freno y girarlas según sea necesario hasta que se hagan todas las curvas. Es un trabajo muy exigente para el que resulta cada vez más difícil encontrar trabajadores cualificados.
- **AR** Lo que la convierte en una candidata perfecta para los robots.

- SB Exacto. Pero no solo eso. Además de introducir las láminas, el robot también puede servir como eje de control del movimiento adicional durante el proceso de curvado. Por no mencionar el hecho de que una curvadora totalmente automatizada podría funcionar 24 horas al día.
- AR ¿No se podría construir una máquina así con una solución de robótica convencional?
- SB No es tan sencillo. Los movimientos de la curvadora y los movimientos del robot están muy entrelazados. Para obtener resultados de calidad en el curvado, los ejes deben intercambiar datos

Creo que una inversión en robótica vale la pena en muchos más casos de los que la gente piensa, incluida la seguridad del operador.

constantemente. La única forma efectiva de hacerlo es que la aplicación de robótica forme una parte integral de la máquina, de forma que solo haya un controlador y una única aplicación de control.

- AR Antes ha dicho que los robots hacen que las máquinas sean más flexibles. ¿Podría explicar en qué sentido?
- Si observamos una máquina de producción típica, vemos que está diseñada para crear un producto específico o incluso un modelo específico de un producto específico. A veces existen sistemas mecánicos complejos para hacer cosas como desplazar productos de un nivel de la máquina al siguiente. Si algo cambia en el producto (su tamaño, forma o peso), todos estos sistemas deben ajustarse, sustituirse o incluso rediseñarse por completo. Pero a un



robot no le importa nada de eso. Basta con que recalcule rápidamente su ruta y ya está listo para seguir trabajando.

- **AR** Parece que los robots aumentarían la productividad de cualquier máquina.
- SB Tampoco diría tanto. Pero creo que una inversión en robótica vale la pena en muchos más casos de los que la gente piensa. Esto incluye casos en los que la seguridad del operador está en juego.
- AR ¿En qué sentido?
- Piense en algo con muchas piezas que se mueven muy rápido, como una línea de embotellado. Las botellas que estén defectuosas o que se caigan deben retirarse de la línea muy rápidamente. Si quiere que un operador humano haga eso, debe reducir la velocidad de la línea hasta una velocidad segura para que el operador pueda abrir la puerta de seguridad. Pero si tiene un robot que lo haga, la máquina puede continuar sin interrupciones a toda velocidad.
- AR Cuando se incorporan robots, ¿requieren las máquinas más espacio?

Los fabricantes de máquinas pueden ofrecer a sus clientes una nueva variedad de máquinas: las que se adaptan automáticamente a los nuevos productos.

SB De hecho, es justo al revés. Los robots integrados en efecto reducen el espacio de una máquina al realizar manipulaciones que de otro modo requerirían sistemas mecánicos complejos (y, por tanto, grandes). Además, los robots pueden instalarse horizontalmente o del revés



**Sebastian Brandstetter**Product Manager
Integrated Robotics, B&R
Eggelsberg, Austria

para ahorrar espacio. Y para los fabricantes de máquinas que combinan robótica con un sistema de seguimiento inteligente, existe un potencial aún mayor de optimización.

- AR ¿Por ejemplo?
- SB Las lanzaderas del sistema de seguimiento pueden controlarse de forma independiente y sincronizarse con el movimiento del robot con una precisión de microsegundos. Las etapas del procesamiento pueden llevarse a cabo mientras las lanzaderas están en movimiento y adaptarse para diferentes productos sin necesidad de realizar cambios en el hardware. Se obtienen más resultados de una máquina que ocupa menos espacio en planta.
- **AR** ¿Qué significa esto para los fabricantes de máquinas?
- SB Pueden ofrecer a sus clientes una variedad de máquinas totalmente nueva: máquinas que se adaptan automáticamente a los nuevos productos, incluso a los que no existían cuando inicialmente se construyó la máquina. Pueden satisfacer una de las expectativas más apremiantes de los consumidores: productos individualizados a precios de producción en serie. •

# Inteligencia artificial explicable: la clave para confiar en las máquinas

¿Cómo podemos aprender a confiar en las máquinas? La clave es avanzar en la inteligencia artificial explicable (XAI). ABB repasa los últimos estudios de empresas leviatanas y analiza las investigaciones en marcha en este campo esencial para el negocio.



Jinendra Gugaliya
ABB corporate Research,
Process Automation
Bangalore, India

jinendra.gugaliya@ in.abb.com



K. Eric Harper Antiguo empleado

Los modelos de inteligencia artificial (IA) se extienden por nuestra vida diaria, a menudo sin que nos demos cuenta. Por ejemplo, Netflix utiliza un motor recomendador para sugerir películas a sus usuarios. Este proceso aparentemente sencillo utiliza el aprendizaje automático para ayudar a los algoritmos a automatizar millones de decisiones en función de las actividades del usuario [1]. Facebook utiliza su proceso patentado de «sistema de detección por contacto de visión por computadora» para reconocer objetos a medida que hace una selección de imágenes en cuentas de usuario en busca de logotipos y marcas para que los anunciantes puedan dirigirse a los usuarios con

Estos modelos de IA son difíciles de explicar incluso entre los científicos de datos, lo que hace que su aceptación sea problemática.

anuncios mediante publicaciones de historias patrocinadas [2]. Más allá del entretenimiento y la publicidad, la ciencia del big data y el aprendizaje automático están colándose en aplicaciones de misión crítica, como la detección y el diagnóstico de enfermedades, la toma de decisiones sobre

préstamos y los coches autónomos. Estas aplicaciones pueden tener un impacto crucial en nuestras vidas. La película que va ver podría ser una frivolidad, pero que le den o no una hipoteca es algo sumamente pertinente. He aquí el quid de la cuestión: estos modelos de IA son difíciles de explicar incluso entre los científicos de datos, lo que hace que su aceptación sea problemática. Al no disponer de la capacidad para explicar los modelos, o «explicabilidad», es probable que estos modelos no se acepten y no se utilicen. Por otra parte, el Reglamento general de protección de datos (RGPD) exige una mayor transparencia en el tratamiento de datos y claridad en los procesos de IA, por lo que resulta esencial explicar los modelos [3].

Tanto si se trata de seres humanos como de máquinas, una explicación de la decisión fomentaría que se comprendiera la motivación que hay detrás de los modelos y crearía un sentido de urgencia, lo que aumentaría la probabilidad de que se aceptaran y aplicaran las



recomendaciones resultantes. Sin esa comprensión, es imposible confiar en las máquinas que construimos. Por lo tanto, los investigadores de ABB han profundizado en la historia de la XAI para permitir la expansión de la IA en el futuro.

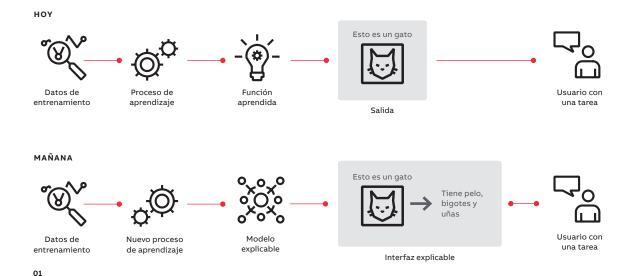
#### Explicación de la primera IA industrial

Esta área de investigación actualmente activa inició con el requisito de que los diagnósticos tenían que ser defendibles. En la década de los 80, Westinghouse inventó y comercializó junto a la Universidad Carnegie Mellon el primer sistema de apoyo a la toma de decisiones basado en el conocimiento y centrado en el funcionamiento [4]. Eric Harper, que contribuyó a los logros citados en este artículo, participó directamente en GenAID, TurbinAID y ChemAID (Artificial Intelligence Diagnostics) y contribuyó a los avances en materia de propiedad intelectual y tecnología de software basándose en una patente clave que se centraba en un sistema operativo [5] con pruebas y mejores prácticas para abordar las condiciones anormales. Las subsiguientes patentes de

Westinghouse describen un método y un sistema que permiten ejercer exhaustivamente una base de conocimientos con vistas a confirmar que los resultados previstos proceden de entradas conocidas de datos anormales [6]. Harper creó las herramientas y las técnicas para explorar el conocimiento y rastrear el apoyo para justificar acciones específicas en base a diagnósticos. Esta propiedad intelectual crítica es ahora de dominio público y sus conclusiones siguen siendo relevantes [7].

#### Innovaciones para explicar los resultados de la IA

Recientemente, una importante consultoría de software ha adoptado ideas para generar un modelo basado en la representación del conocimiento. Su solicitud de patente estadounidense sugiere que una combinación del algoritmo de agrupamiento Kmeans, el análisis de componentes principales, el encadenamiento hacia adelante o hacia atrás y la lógica difusa resolvería el problema general de explicar los resultados de la IA en el mundo real [8]. Utilizando métodos



adicionales, una agencia de calificación del crédito que gestiona riesgos de crédito ejecuta modelos de manera exhaustiva con distintas entradas para demostrar con éxito a los clientes cómo entradas distintas dan lugar a resultados distintos, ayudando así a los clientes a comprender las decisiones de crédito adoptadas [9]. En una solicitud de patente de EE.UU., Intel describe una técnica para identificar discrepancias entre los resultados observados en la fase de entrenamiento del aprendizaje automático y los resultados obtenidos durante la operación [10]. Otra solicitud de patente de Intel describe la influencia de las redes neuronales en la IA explicable: este proceso hace un seguimiento exhaustivo de las dependencias y la solidez del apoyo, entre las capas inferiores y superiores de la red neuronal, de vuelta hasta sus características de entrada de una forma sorprendentemente similar a la de un sistema experto de encadenamiento hacia adelante [11]. Google combina estas ideas con sus herramientas y marco de trabajo [12]; IBM creó una plataforma parecida [13].

#### Tendencias de la IA explicable

Esta creciente atención hacia el estudio de la XAI puede clasificarse en distintas categorías en función del grado de transparencia: desde las de características de caja negra completa (baja transparencia) hasta las de caja blanca (alta transparencia) [14]:

- · Sistemas opacos
- · Sistemas comprensibles
- · Sistemas interpretables

Aunque el diseño y el desarrollo de modelos de XAI aportan muchos beneficios, también pueden suponer importantes costes. El equilibrio se encuentra entre la explicación y la precisión. Este equilibrio y este grado de transparencia estarán impulsados por las necesidades comerciales y por cómo se adopta la aplicación en el mundo real

La lógica detrás de las decisiones de los modelos de aprendizaje automático es compleja y no evidente. Confiar en las decisiones críticas resultantes sin gobernanza resulta problemá-

El desarrollo de la XAI se verá impulsado por las necesidades comerciales y por la forma en que los modelos se adopten en el mundo real.

tico. Esta inquietud ha sido abrumadora desde el principio: las redes neuronales han estado disponibles desde la década de los 80 para el diagnóstico de máquinas, pero no se implantaron. Por ello, es cada vez más importante que la XAI llegue a ámbitos específicos. De este modo, los modelos de XAI pueden someterse a una verificación formal, una capacidad que resulta especialmente importante para las aplicaciones médicas en las que las recomendaciones tienen consecuencias de vida o muerte.

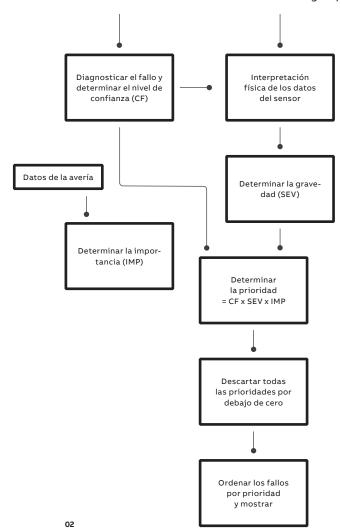
01 El esquema ilustra cómo abrir «cajas negras» con IA explicable hoy y en el futuro. Este modelo ha sido desarrollado por FICO [9].

02 Se muestra un apoyo práctico para la toma de decisiones extraído de Bellows, et al., [23]. La toma de decisiones se basa en el cálculo de la confianza (CF), la gravedad (SEV) y la importancia (IMP).

#### Nota al pie

 Go es un juego abstracto de estrategia para dos jugadores. Es necesario abordar otro reto antes de que los modelos de aprendizaje automático puedan aceptarse sin más: si los datos de entrenamiento no abarcan todo el espacio de la solución se muestra un sesgo [15]. Estos defectos de sesgo podrían detectarse si se realizan pruebas en una amplia gama de condiciones para comparar los puntos fuertes y los puntos débiles de la solución.

Aun así, los modelos de XAI pueden aportar nueva información deslumbrante. Los sistemas de aprendizaje automático actuales se entrenan con millones de ejemplos para poder reconocer patrones de datos que no son obvios para el ser humano. El antiguo sueño de Westinghouse de que los ingenieros pudieran algún día analizar los datos recabados de modelos como GenAID, aplicar métodos de ciencia de datos y descubrir nuevas innovaciones está a punto de cumplirse. Gracias al uso de sistemas de XAI ha surgido nueva información: se puede extraer conocimiento destilado del aprendizaje automático para adquirir nuevas percepciones; por ejemplo, se han desarrollado nuevas estrategias para



jugar a Go¹ con aprendizaje automático que ahora utilizan los jugadores humanos.

Sin embargo, el apoyo opaco a la toma de decisiones no resulta atractivo para las empresas. Está claro que un banco debe comunicar por qué ha rechazado una solicitud de crédito. Y los modelos de IA deben cumplir la ley aportando pruebas que justifiquen las decisiones adoptadas.

La generalización de estas inquietudes ha llevado a la Unión Europea a adaptar nuevas normativas que implementan un «derecho a la explicación», en virtud del cual el usuario tiene derecho a pedir la explicación detrás de una decisión algorítmica pertinente. Se espera que la XAI proporcione la confianza, la imparcialidad y la seguridad necesarias para que los modelos de aprendizaje automático en modos de entrenamiento y funcionamiento se ganen la confianza de las empresas [16].

#### Explicar los modelos de IA: situación actual

Actualmente se utilizan dos enfoques para hacer más explicables los modelos de IA. En primer lugar, las estructuras de los modelos se seleccionan con un objetivo intrínseco de interpretación en mente. Alternativamente, los modelos complejos de IA son objeto de ingeniería inversa para hacerlos comprensibles. Sin embargo, diseñar modelos que ofrezcan una explicación que sea fácil de entender puede comprometer la precisión y viceversa; por ejemplo, las redes neuronales profundas (DNN) complejas son precisas, pero no pueden interpretarse. Los algoritmos como la regresión lineal o los modelos basados en árboles de decisiones son mucho más fáciles de explicar, pero menos precisos. Alcanzar el equilibrio entre la precisión y la interpretabilidad de los modelos de IA constituye actualmente el objeto de una intensa investigación [17].

Los sistemas de aprendizaje automático se entrenan con millones de ejemplos para que puedan reconocer patrones de datos que no son obvios para el ser humano.

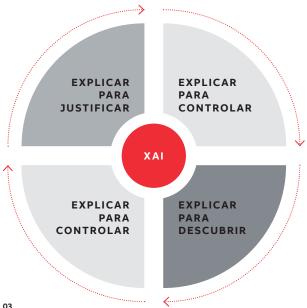
Otro ámbito de investigación de la XAI analiza la diferencia entre la interpretabilidad local y la interpretabilidad global [18] →03. La perspectiva local, a partir de los principios del análisis de sensibilidad (SA), identifica cómo la salida del modelo cambia en caso de perturbaciones en los parámetros de entrada o ajustes. Si bien no ofrece una explicación del valor de la función

en sí misma, el análisis de sensibilidad permite determinar los factores y las configuraciones que explican los resultados del modelo. La perspectiva global utiliza dos técnicas. La propagación de relevancia por capas (LRP) redistribuye la función de predicción hacia atrás, empezando por la capa de salida de la red neuronal y propagándose hacia atrás hasta la capa de entrada. La LRP explica las decisiones del clasificador por descomposición y puede representarse mediante mapas de calor [19]. El sistema de detección de

ABB ofrece valor a los clientes incorporando los avances de la IA para mejorar el mantenimiento predictivo, la optimización y el rendimiento.

intrusiones (IDS) basado en datos es un enfoque contradictorio que se utiliza para identificar las modificaciones mínimas (de las funciones de entrada) necesarias para clasificar correctamente un conjunto dado de muestras mal clasificadas. La magnitud de la modificación visualiza las funciones más relevantes que explican el motivo de la mala clasificación. Los investigadores han combinado la LRP y el IDS para jugar a juegos de Atari impulsados por el aprendizaje profundo por refuerzo (DRL) [20].

La investigación en el ámbito de la XAI se ha ampliado para permitir comparaciones de conjuntos de datos. Se han combinado resúmenes lingüísticos y reglas difusas para diseñar un sistema capaz de comparar numéricamente varios conjuntos de datos [21] y explicar las diferencias





04

utilizando el lenguaje natural. La denominada colaboración «hombremáquina» es un factor clave en la investigación de la XAI, donde la usabilidad constituye una consideración importante para el diseño y el uso de modelos. En este caso, los modelos de aprendizaje automático deben permitir al usuario ajustar los modelos de forma interactiva en base al aprendizaje iterativo [22].

#### Un enfoque práctico hacia el apoyo a la toma de decisiones

La ingeniería nos enseña que cualquier problema complejo puede resolverse dividiendo el trabajo en varios componentes, reconstruyéndolos y comprobándolos de forma independiente e integrándolos de nuevo para obtener una solución completa. En la década de los 80, un sistema Westinghouse para el apoyo a la toma de decisiones y la gestión de activos explicables inventó técnicas [23] para priorizar la reparación de los equipos de una planta mediante la validación de las mediciones y la posterior fusión de las condiciones actuales con el diagnóstico y la recomendación del sistema. Un importante fabricante de equipos eléctricos sigue utilizando este sistema para la supervisión de sus centrales eléctricas y turbogeneradores, y ejecuta el servicio en su centro de diagnósticos eléctricos [24]. Básicamente, los posibles problemas pueden clasificarse conforme a tres dimensiones:

- · CF: nivel de confianza en un diagnóstico
- SEV: recíproco del tiempo hasta el fallo
- IMP: costes asociados a los fallos y reparación del máximo daño

Estas dimensiones se calculan para cada uno de los sensores, componentes y sistemas del equipo que contribuyen a un fallo o avería: esta combinación se utiliza para determinar la prioridad de acción para cada fallo posible. La lógica detrás





05

03 La IA explicable permite a los usuarios comprender y aceptar decisiones. La capacidad de descubrir, controlar y justificar están interconectadas entre sí.

04 En ABB, la IA tiene un potencial radical y se está aplicando en muchos ámbitos industriales. Por ejemplo, durante un análisis industrial en una planta, el ingeniero etiqueta patrones de interés que luego pueden utilizarse para entrenar a un clasificador basado en las RNN.

05 Al diseñar IA explicable en los diagnósticos de los sensores de ABB, los operadores y los responsables de planta pueden comprender y aceptar lo que hay que hacer.

06 Los clientes se benefician de la IA explicable sin necesidad de comprender todos los cálculos que se han utilizado para la toma de decisiones.



06

de esta clasificación era explicable de cara a los clientes: se podía hacer un seguimiento de las tres dimensiones y de los detalles del diagnóstico a través de los componentes y las lecturas de los sensores. De este modo, los clientes podían aceptar las clasificaciones sin tener que necesariamente ahondar en los detalles.

#### Relevancia para ABB

Dado que la potencia de computación escaseaba en los 80, se procedió a ajustar las soluciones automatizadas de servicios para obtener el máximo rendimiento con recursos limitados. En la actualidad, se puede calcular cada una de estas características originalmente interpretadas hasta la granulación más fina de los componentes y, a continuación, montarse en función de sus relaciones y dependencias. ABB sobresale en el uso del conocimiento y procesos obtenidos de sus primeros trabajos con soluciones de servicios automatizadas. En la actualidad, ABB confía en numerosas soluciones de supervisión del estado que indican los niveles de confianza cada vez que surgen problemas con los equipos →04-06. Las soluciones ABB Ability™ Advanced Digital Services contienen funciones que abordan el problema crítico del tiempo hasta el fallo.

Gracias a los talentosos ingenieros y científicos de la información de los que dispone, ABB crea soluciones de ciencia de datos para calcular las dimensiones importantes: CF, SEV e IMP, cuando procede. Conocer al detalle el coste global de una reparación tras un fallo permite a ABB diagnosticar problemas a partir de datos, lo que ha dado lugar a nuevos servicios como el ABB Ability™.

Como líder pionero en el dominio de la automatización industrial, ABB ofrece valor a los clientes incorporando los avances de la IA para mejorar el mantenimiento predictivo, la optimización y el rendimiento. Con todo, antes de implementar acciones potencialmente costosas, los operadores y los responsables de planta deben conocer la explicación y el fundamento detrás de las decisiones que generan los modelos de IA y que recomiendan las aplicaciones de operaciones y servicio →05. Al incluir Al explicable en el diseño de sus aplicaciones, ABB destaca en el mercado: esto fomenta la confianza, algo que es ahora más crucial que nunca. Cuando los modelos son explicables, los expertos y los usuarios finales pueden estar seguros de que los resultados no tienen parcialidades, son seguros, legales, éticos y adecuados. •

#### Referencias

[1] Code Academy, "Netflix Recommendation Engine", Available: https://www.codecademy.com/. [Accessed: May 5, 2020]

[2] A. Razaaq,
"Facebook's New Image
Recognition Algorithm
Can Scan your Picture
for Advertising Opportunities" in B2C Business
to Community, May 19,
2019, Available: https://
www. business2community. com/. [Accessed
May 5, 2020]

[3] A. Woodie, "Opening up Black Boxes with Explainable AI" in *Datanami*, May 30,2018, Available: https:// www.datanami. com/. [Accessed May 5, 2020].

[4] E.D. Thompson, et al., "Process Diagnosis System (PDS) - A 30 Year History" in *Proc. 27th Conf. on Innovative Applications of AI*, Jan. 2015, Available: https://dl.acm.org/doi/10.5555/2888116. 2888260. [Accessed: May 5, 2020]

[5] Thompson, et al., "Methods and apparatus for system fault diagnosis and control", US Patent no. 4,649,515 March 10, 1987.

[6] K.E. Harper, et al., "Expert system tester", US Patent no. 5,164,912, November 17. 1992.

[7] Y. Lizar, et al., "Implementation of Computer Damage Diagnosis by Expert System Based Using Forward Chaining and Certainty Factor Methods" in International Journal of Scientific & Technology Research, vol. 8 issue 6, June 2019, pp. 141 - 144. Available: http://www.ijstr.org/. [Accessed May; 5, 2020].

[8] L. Chung-Sheng, et al., "Explainable Artificial Intelligence", US Patent Application no. 20190244122, August 8, 2019.

[9] FICO, "How to Make Artificial Intelligence Explainable: A new Analytic Workbench", in FICO/blog, Sept. 18, 2018, Available: https:// www.fico.com/blogs/. [Accessed May 5, 2020].

[10] J. Glen, et al.,
"Misuse Index for
Explainable Artificial
Intelligence in Computing Environments", US
Patent Application no.
20190197357, June 27,
2019.

[11] K. Doshi, "Mapping and Quantification of Influence of Neural Network Features for Explainable Artificial Intelligence" US Patent Application no. 20190164057, May 30, 2019.

[12] GoogleCloud, "Understand Al Output and Build Trust", Available: Google Cloud: https://cloud.google. com/. [Accessed May 5, 2020].

[13] A. Mojsilovic, "Introducing AI Explainability 360", August 8, 2019, Available: IBM Research Blogs: https://www.ibm.com/blogs/. [Accessed May 5, 2020].

[14] D. Doran, et al., "What does explainable Al really mean? A new Conceptualization of Perspectives", in ariXiv, October 2, 2017, Available: https://arxiv.org/abs/1710.00794.
[Accessed May 5, 2020].

[15] N. Mehrabi, et al.,
"A Survey on Bias and
Fairness in Machine
Learning" preprint
based on work supported by DARPA, in ariXiv,
September 17, 2019,
Available: https://arxiv.
org/abs/1908.09635.
[Accessed May 5, 2020].

[16] M. Miron,
"Interpretability in
Al and its relation to
fairness, transparency,
reliability and trust" in
European Commission
HUMANIT, September
4, 2018, Available:
https://ec.europa.eu/
jrc/communities/en/
community/humaint.
[Accessed May 5, 2020].

[17] W.J. Murdoch, et al., "Definitions, methods, and applications in interpretable machine learning", in *Proc. of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 116, issue 44, 22071 October 29, 2019, Available: https://www.

pnas.org/.[Accessed May 5, 2020].

[18] A. Adadi and M. Berrada, "Peeking Inside the Black-Box: A Survey on Explainable Artificial Intelligence (XAI)" in *IEEE Access*, September 17, 2018, Available: https://ieeexplore.ieee.org/document/8466590. [Accessed May 5, 2020].

[19] W. Samek, et al., "Evaluating the Visualization of What a Deep Neural Network Has Learned" in IEEE Transactions. On Neural Networks and Learning Systems, Nov. 2017. [Abstract]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7552539. [Accessed May 5, 2020].

[20] H. Jo, and K. Kim,
"Visualization of Deep
Reinforcement Learning
using Grad - CAM:
How Al Plays Atari
Games?" in IEEE Conf
on Games, August 23,
2019, Available: https://
ieeexplore.ieee.org/
document/8847950

[21] A. Jain, et al.,
"Explainable Al for
Dataset Comparison"
in IEEE Int. Conf on
Fuzzy Systems, June 26,
2019, Available: https://
ieeexplore.ieee.org/
document/8858911.
[Accessed May 5, 2020].

[22] A. Kirsch, "Explain to whom? Putting the User in the Center of Explainable AI" in Proc. 1st Int. Workshop on Comprehensibility and Explanation in AI and ML, October 21, 2018, Available: https:// hal. archivesouvertes. fr/hal-01845135/ [Accessed May 5, 2020].

[23] Bellows, et al., "Automated system to prioritize repair of plant equipment", US Patent no. 5,132,920, July 21,

[24] I. Becerra-Fernandez and R. Sabherwa, "Knowledge Application Systems: Systems that Utilize Knowledge" in Knowledge Management: Systems and Processes, 2nd ed. New York: Routlege, 2015, pp. 3-105



## El análisis con «golden batch» ofrece una calidad superior uniforme

Los procesos por lotes, si bien ágiles, son complejos, dinámicos y no lineales. ABB Ability™ BatchInsight detecta rápidamente las anomalías cambiantes de los procesos y aísla las variables relevantes del proceso para que el operario pueda reducir el consumo de energía y los productos que no cumplen las especificaciones y aumentar la productividad.

01 El big data puede aprovecharse para mejorar la productividad y la eficiencia energética en las industrias de procesos.

#### Martin Hollender Benedikt Schmidt

ABB corporate Research Ladenburg, Alemania

martin.hollender@de.abb com benedikt.schmidt@ de.abb.com

#### Chaojun Xu

ABB Industrial Automation, Energy Industries Mannheim, Alemania

Chaojun.xu@de.abb.com

#### **Moncef Chiou**

Departamento de Ingeniería Química, Politécnica de Montreal, Canadá Las arquitecturas de procesamiento de big data, como Hadoop o Spark, permiten nuevas posibilidades de analizar y explotar los datos históricos generados por las plantas de procesos [1,2]. El mantenimiento predictivo, el soporte operativo, los sensores virtuales para la supervisión y el control y la integración de las capas de control y planificación de recursos empresariales (ERP) son solo algunas de las aplicaciones previstas de estas tecnologías en el sector de la industria de procesos.

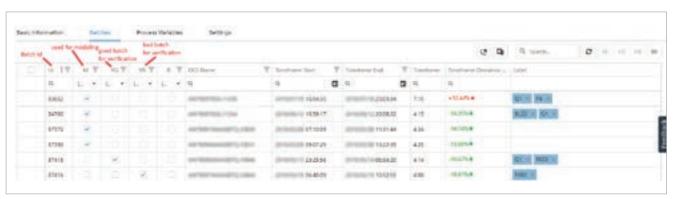
Un área en particular en la que el big data puede aprovecharse para lograr mejoras importantes es la industria de procesos por lotes  $\rightarrow$ 01. En consecuencia, ABB, en colaboración con usuarios finales con experiencia en aplicaciones piloto, ha desarrollado ABB Ability<sup>TM</sup> BatchInsight, un sistema de apoyo a los operadores capaz de detectar y solucionar anomalías en un lote en



tiempo real. Este sistema online ayuda a los operadores a operar plantas de una manera sencilla y sin problemas dado que pueden detectarse problemas de proceso incipientes en una etapa temprana y pueden tomarse medidas correctivas mientras el lote está ejecutándose.

El enfoque adoptado utiliza datos históricos para aprender el comportamiento previsto de los procesos por lotes en condiciones nominales y construye un modelo estadístico de lote de oro o «golden batch», que a continuación se utiliza como referencia para el lote que actualmente está en producción. Las desviaciones respecto de este modelo de lote de oro generan un aviso para el operador.

02



03



02 Diálogo de etiquetas de lotes de ABB Ability™ BatchInsight.

03 Editor de modelos ABB Ability™ BatchInsight

04 Contribuciones a la desviación por variable y a lo largo del tiempo.

#### Análisis por lotes del escenario de aplicación

De la planta piloto se obtuvieron más de 300 tandas de lotes a lo largo de un período de más de dos años que se utilizaron para generar un modelo estadístico «golden batch» que reflejara todos los buenos comportamientos posibles de los lotes →02.

ABB Ability™ BatchInsight contiene un modelo detallado de un lote, según se define en la ISA88.

Como primer paso, estos lotes se etiquetaron como «buenos» o «malos», un ejercicio que a menudo no es tan sencillo como parece. Por ejemplo, un lote podría haber empezado a ir en la dirección equivocada, pero luego el operador intervino y se aseguró de que el lote se produjera de manera fluida, es decir, en tiempo y con buena calidad. Desde el punto de vista de la planta, se trata de un lote bueno, mientras que desde el punto de vista del aprendizaje automático es un lote malo, porque sin la intervención del operador se hubiera producido un problema de producción. Para complicar las cosas, el operador también puede haber intervenido por un motivo que no tiene nada que ver con un posible comportamiento no deseado. Durante la producción, normalmente los operadores tienen claro lo que está pasando, pero más adelante a veces es mucho menos obvio por qué las curvas de tendencia se ven como se ven; puede perderse contexto operativo importante. Las herramientas modernas de análisis de big data dependen de este tipo de información contextual. Es crucial desarrollar un sistema que registre esta información para poder formar y motivar a los operadores a utilizarla correctamente.

→02 muestra un ejemplo de un diálogo de etiquetas de lotes de ABB Ability™ BatchInsight. Puede ampliarse fácilmente con grupos de etiquetas adicionales. En este ejemplo se muestran cuatro grupos: BatchDuration, Quality, BatchOperation y Shift («Schicht») y etiquetas individuales. El grupo de etiquetas seleccionado actualmente está marcado en azul y las etiquetas que contiene se muestran más abajo. El cuadro de diálogo de

etiquetas de lotes puede abrirse desde todos los lugares donde hay lotes involucrados. También pueden asignarse etiquetas automáticamente mediante scripts. Más adelante, cuando el analista deba decidir qué lotes se utilizan para construir el modelo, las etiquetas pueden ser de gran ayuda.

El editor del modelo se utiliza para seleccionar los lotes históricos adecuados para el modelo de «golden batch» →03. Además, los lotes buenos y malos conocidos pueden utilizarse a efectos de verificación con el fin de garantizar que el modelo tenga un nivel de calidad suficiente.

#### Alineación de lotes

ABB Ability™ BatchInsight contiene un modelo detallado de un lote, según se define en la ISA88, una norma que aborda el control de procesos por lotes. Este modelo incluye registros horarios del inicio y el final de cada operación y fase por lotes. La duración del lote difiere de un lote a otro. La deformación de tiempo dinámica (DTW), una técnica de alineación en el tiempo, se utiliza para estirar o comprimir los conjuntos de datos para que sean comparables sin perder ni cambiar las características dinámicas de los datos.

Alternativamente, puede utilizarse un cálculo de similitud entre lotes para generar un índice de similitud que pueda compararse con un valor de referencia. Este enfoque permite un análisis más fino y eficiente: dado que un grupo (o «cluster») de lotes podría presentar los mismos tipos de anomalías, el diagnóstico podría hacerse solo para un subconjunto de estos lotes. Idealmente, estos grupos separarían los lotes buenos de los malos.

#### Reducción de la dimensionalidad

Aunque el agrupamiento permite separar los lotes que son similares al lote de referencia (nominal/sano), se requieren más detalles para diagnosticar lotes defectuosos. Por tanto, se utiliza un análisis multidireccional de componentes principales (MPCA) [3] para analizar las razones del fallo del lote. Este enfoque se centra en las variables del proceso que explican estadísticamente la variabilidad del lote detectada. La aplicación online de esta técnica permite detectar precozmente una evolución anormal de un lote en curso.

#### Estimación de la calidad del lote

Un objetivo clave de una operación de lote es garantizar que se alcanza la calidad objetivo del producto. La práctica industrial actual consiste en tomar muestras del lote durante su evolución y enviarlas para su análisis de laboratorio. En función de los resultados del análisis, el operador del proceso ajusta las variables del proceso por lotes y la duración del proceso por lotes en consecuencia.

La regresión de mínimos cuadrados parciales (PLS) es un método lineal de reducción de la dimensionalidad que permite el análisis estadístico de conjuntos de datos multivariantes grandes altamente correlacionados. La supervisión de la calidad del proceso por lotes se basa en una variante de PLS: mínimos cuadrados parciales multidireccionales (MPLS).

Un modelo MPLS es un modelo de regresión que relaciona la calidad del lote con las variables del proceso por lotes, actuando, por tanto, como un sensor inferencial (blando) capaz de abordar un problema crucial en la industria de procesos: la falta de mediciones de calidad fiables online. Además, el MPLS es capaz de predecir mediciones de calidad horas antes de que las facilite el laboratorio. En algunos casos, esto puede acortar los tiempos de espera y llevar a una mejor utilización de los activos.

ABB Ability™ BatchInsight permite corregir dinámicamente lotes que se desvían hacia una mala trayectoria.

#### Diagnóstico de los detalles

Una vez que ABB Ability™ BatchInsight detecta una desviación significativa del modelo «golden batch», la pantalla del operador muestra cuáles son las diferencias →04. En comparación con



05

un análisis unifactorial, las técnicas del análisis multivariante pueden tener en cuenta correlaciones entre variables.

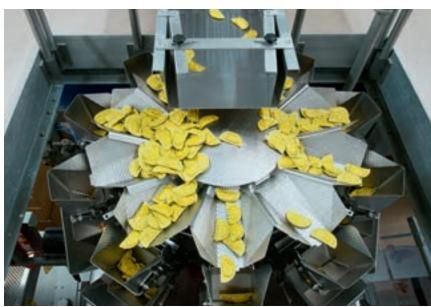
#### Apoyando a los expertos

Los algoritmos online de alineación de ABB Ability™ BatchInsight permiten corregir dinámicamente lotes que se desvían hacia una mala trayectoria y permiten mostrar variables clave del proceso dentro de un corredor a partir de lotes «golden» previos →06. Además, pueden utilizarse indicadores clave de rendimiento estadísticos calculados a partir de análisis multivariante para generar alarmas. Un reto al que se enfrenta la supervisión online es que a menudo no está claro hasta dónde ha avanzado el proceso.

#### Supervisión online de lotes

Los algoritmos online de alineación de ABB Ability™ BatchInsight permiten corregir dinámicamente lotes que se desvían hacia una mala trayectoria y permiten mostrar variables clave del proceso dentro de un corredor a partir de lotes «golden» previos →06. Además, pueden utilizarse indicadores clave de rendimiento estadísticos calculados a partir de análisis multivariante para generar alarmas. Un reto al que se enfrenta la





05 Dado que ABB Ability™ BatchInsight realiza gran parte del trabajo de análisis de procesos, se libera al experto de problemas fundamentales.

06 ABB Ability™ BatchInsight mejora el proceso corrigiendo dinámicamente los lotes que se salen fuera de la ventana de proceso deseada.

tema fue capaz de predecir un evento de formación de espuma como mínimo 5 minutos antes de que se produjera.

En el 83 % de los casos, el sis-

Referencias

[1] W. Otten, "Industrie 4.0 und Digitalisierung," atp Magazin, volume 58, number 1 - 2, pp. 28 - 32, 2016.

[2] I. Nimmo, "Operator effectiveness and the human side of error," CreateSpace Independent Publishing Platform 2015

[3] M. Atzmueller et al., "Big data analytics for proactive industrial decision support," atp Magazin, volume 58, number 9, pp. 62 - 74, 2016. supervisión online es que a menudo no está claro hasta dónde ha avanzado el proceso.

Feedback del socio de la aplicación

Se han llevado a cabo pruebas de usuario final (en una planta química por lotes) con datos históricos de lotes que emulaban un enfoque online (lo que significa que los datos del lote actual solo estaban disponibles hasta el paso actual). Se utilizó el modelo MPCA para detectar un problema de formación de espuma en una parte de los lotes. El modelo se entrenó solo con lotes que no presentaban formación de espuma. El en 83 % de los casos, el sistema fue capaz de predecir un evento de formación de espuma como mínimo 5 minutos antes de que se produjera. A menudo predijo la formación de espuma horas antes. Si

bien el problema se predijo equivocadamente en el 17 % de los casos, las predicciones resultan muy útiles ya que permiten al operador concentrarse en los lotes sospechosos.

#### Mantener el lote en buen camino

El asistente del operador online ABB Ability™ BatchInsight, desarrollado y validado en estrecha colaboración con un socio de aplicaciones, permite la detección temprana de anomalías del proceso y el aislamiento de las variables del proceso que las explican. Un operador puede ser responsable de varios lotes que se ejecutan en líneas de producción paralelas o incluso tener otras tareas dentro de la planta. En este punto, ABB Ability™ BatchInsight ofrece una herramienta muy apreciada que avisa a los operadores y les permite reaccionar de manera oportuna ante una situación anormal (en este caso, eventos de formación de espuma) ajustando la variable del proceso correcta. Estas intervenciones puntuales dan lugar a una reducción de los productos que no cumplen las especificaciones, un ahorro de energía y un menor tiempo de producción perdido. •

## Humanizando la tecnología

Las capacidades tecnológicas, de conectividad y de procesamiento de datos están desarrollándose y abriendo nuevos horizontes a un ritmo vertiginoso. Aun así, el rendimiento bruto es solo la mitad de la historia. Hasta el mayor de los avances tiene poco valor si el ser humano no puede aprovechar todo su potencial. En ABB, la experiencia del usuario (UX) y la experiencia del cliente (CX) forman parte integral del ciclo de diseño.







**Marjukka Mäkelä** UX design ABB Digital Helsinki, Finlandia

marjukka.makela@fi.abb.com

Las computadoras pretenden ser una extensión del cerebro humano. La transferencia de pensamientos, información y comandos debe ser lo más fluida y sencilla posible. En otras palabras, una interfaz debe ser intuitiva y fácil de usar. Los usuarios deben poder acceder y dominar nuevas herramientas y funciones con la menor curva de aprendizaje posible.

En los últimos años, ABB ha aumentado el número de expertos especializados en UX en todas las áreas de la empresa con el fin de promover y revolucionar los procesos de diseño de los productos digitales. Las ambiciones y los objetivos son imponentes: para 2025, todos los productos digitales de ABB habrán sido objeto de un rediseño, haciendo hincapié en la alineación y la coherencia.

Un buen diseño de UX no es solo un método o una disciplina, sino una mentalidad. Se hace hincapié en pensar «de afuera hacia adentro», lo que significa que el diseñador percibe los requisitos desde la perspectiva del cliente. Este enfoque suele etiquetarse como «pensamiento de diseño» [1] e implica una metodología holística, altamente creativa e iterativa →01.

ABB combina experiencia en el diseño centrado en el ser humano con un sólido conocimiento de las industrias en los que presta servicio. De este modo, ABB avanza en las capacidades de la automatización y aborda las dificultades de sostenibilidad, áreas clave para la eficacia y la rentabilidad del cliente en el panorama transformado digitalmente.

La calidad de la UX suele considerarse una ventaja competitiva y seguirá desarrollándose como una disciplina interfuncional. En 2020, Google anunció que la UX está a punto de convertirse en un factor de clasificación¹ importante para todos los sitios web, mientras que un reciente informe de Linkedin [2] indica que el diseño de UX es una de las cinco habilidades más demandadas.

Se hace hincapié en pensar «de afuera hacia adentro», lo que significa que el diseñador percibe los requisitos desde la perspectiva del cliente.

La creación de productos y servicios pondrá el foco en prestaciones significativas e interfaces intuitivas. El objetivo es humanizar las tecnologías que ABB ofrece a sus clientes y usuarios.

Los artículos de los próximos números de la ABB Review plantearán y profundizarán sobre diferentes aspectos del enfoque y la filosofía de la empresa en materia de UX. •

01 El diseño centrado en el ser humano es un proceso ISO normalizado. Básicamente consiste en trabajar de una manera altamente colaborativa, holística e iterativa, centrarse en el cliente en todas las actividades y aplicar habilidades multidisciplinarias.

#### Referencias

[1] Brown, T. (2011). "Change by Design". Journal of Product Innovation Management, 28(3), 381 – 383. [2] Evaluating page experience for a better web. http://developers. google.com/search/ blog/2020/05/evaluating-page-experience [Accessed March 9, 2021]

#### Lecturas recomendadas

Johansson Sköldberg, U., & Woodilla, J. (2013). "Design Thinking: Past, Present and Possible Futures". *Creativity and Innovation Management*, 22(2), 121–146.https://doi. org/10.1111/caim.l2023 Kolko, J. (2015). "Design Thinking Comes of Age". *Harvard Business Review* (September).

#### Nota al pie

1) El factor de clasificación describe los criterios aplicados por un motor de búsqueda al evaluar páginas web con el fin de elaborar las clasificaciones de los resultados de la búsqueda.

# Sensores y análisis





Hay un antiguo dicho que dice algo como: si tu única herramienta es un martillo, tiendes a tratar cada problema como si fuera un clavo. La capacidad analítica y predictiva de las herramientas digitales actuales solo pueden mejorar con más datos, pero estos tienen que ser más precisos y diversos. ABB está trabajando con sus clientes para ofrecer algo más que martillos.

- 40 De los sensores al conocimiento profundo
- 46 Servicios digitales avanzados para analizadores de gases



40 ABB REVIEW SENSORES Y ANÁLISIS

SENSORES Y ANÁLISIS

# De los sensores al conocimiento profundo

Los sensores inteligentes ABB Ability™ y los sistemas de supervisión a distancia aumentan la seguridad, prolongan la vida útil del equipo y eliminan significativamente, o incluso por completo, el tiempo de inactividad. También abren la puerta a la «Fábrica del Futuro», un concepto en el que los datos recogidos de equipos como motores, cojinetes montados, engranajes, accionamientos de velocidad variable y bombas se combinan y pueden accederse y analizarse en remoto, proporcionando un conocimiento profundo del estado de procesos completos.

01



01 Los sensores inalámbricos basados en loT permiten la supervisión permanente de una amplia gama de dispositivos y procesos.

02 El ABB Ability™ Smart Sensor para productos mecánicos.

03 El sensor inteligente de ABB permite a las empresas beneficiarse del IoT.



Artur Rdzanek Sensored Products ABB Dodge® Power Transmission Greenville, SC, Estados Unidos

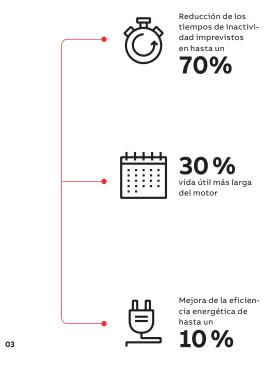
artur.rdzanek@ us.abb.com Más pequeños, más inteligentes y más seguros. Estas son algunas de las características clave que describen la evolución de los sensores en los últimos diez años. Sin embargo, más recientemente, el valor de los sensores se ha acentuado aún más gracias a tres desarrollos independientes: la disponibilidad de computación en la nube, los análisis de datos y la transmisión de datos móviles [1]. Estos desarrollos han abierto la puerta a la llegada de sensores inalámbricos basados en loT que permiten la supervisión permanente de una amplia gama de dispositivos y procesos a un coste menor que el de los tradicionales sistemas de supervisión del estado →01.

La sensorización digitalizada produce información continua, coherente y de alta calidad que respalda la explotación y optimización fiables.

De hecho, la supervisión inteligente del estado basada en sensores proporciona a los usuarios las herramientas de datos para hacer un seguimiento de sus equipos durante todo su ciclo de vida y ver exactamente cómo reaccionan esos equipos a las condiciones y procesos específicos de un usuario. Los usuarios pueden rastrear, cuantificar y, en última instancia, predecir los intervalos de mantenimiento, la esperanza de vida y los calendarios de sustitución.

Al representar un cambio cualitativo y alejarse de las medidas tradicionales de vibración, que requieren la colocación física de sensores discretos de puntos para recopilar datos, largos períodos entre mediciones y posibles riesgos de seguridad para el personal de mantenimiento, el mundo de la sensorización digitalizada produce información continua, coherente y de alta calidad que respalda la explotación y optimización fiables, al tiempo que permite detectar cualquier desviación de





las normas, garantizando así un control de calidad en tiempo real [2].

#### Ha nacido un sensor inteligente

Un ejemplo de la convergencia de estas tendencias y capacidades es el ABB Ability™ Smart Sensor para productos mecánicos →02. Esencialmente una solución de supervisión que facilita una indicación del estado general de un dispositivo, el sensor indica si se necesita o no mantenimiento. Durante este proceso envía

#### MANTENER OPERATIVO UN CAMPUS HISTÓRICO



04a

El ABB Ability™ Smart Sensor ya está demostrando su rentabilidad en la University of Virginia en Charlottesville, Estados Unidos →04a [3]. Cuando la pandemia del Covid-19 obligó a cerrar la universidad a principios de 2020, un equipo de mantenimiento responsable de la zona McCormick del campus confió en más de sesenta y cinco sensores ABB Ability™ Smart Sensor para productos mecánicos para mantener estables los entornos de laboratorio críticos y el rendimiento de los equipos. La capacidad de saber cuándo había un problema (sin estar físicamente ahí) también permitió al equipo de mantenimiento de la universidad operar de una manera segura.

El equipo de mantenimiento es responsable de garantizar que aproximadamente diez edificios del campus se mantienen a temperaturas cómodas para los estudiantes y el cuerpo docente, y que todos los laboratorios de investigación de la zona mantienen el entorno estable necesario para experimentos controlados. Las prácticas de mantenimiento anteriores requerían un ajuste casi diario de los equipos de tratamiento del aire, a los que es imposible acceder sin apagar los equipos →**04b**.

A finales de 2019, el equipo descubrió los sensores inteligentes ABB Ability™ Smart Sensors para productos mecánicos y decidió probar varios de ellos en rodamientos. Los sensores, que inmediatamente comenzaron a proporcionar información en tiempo real sobre el estado de los equipos, funcionaron de manera tan eficiente que pronto se instalaron también en rodamientos de unidades críticas



04b

de tratamiento del aire en toda la instalación. Esto, a su vez, dio lugar a la detección de problemas no identificados en equipos que antes no parecían necesitar mantenimiento o sustitución. Después de cada corrección, el equipo incorporaba un sensor y comparaba los resultados antes y después de la reparación, determinando en última instancia que los niveles de vibración posteriores a la reparación eran casi perfectos y demostrando que las reparaciones se habían realizado correctamente. Gracias a la calidad de la información obtenida, la planificación del personal de mantenimiento y la gestión de existencias de repuestos son ahora cada vez más predecibles. El personal de mantenimiento ahora sabe cada día lo que realmente requiere atención, en lugar de limitarse a depender de un programa de mantenimiento prescrito, y ha conseguido minimizar y optimizar el tiempo de inactividad.

04 Más de 65 sensores inteligentes ABB Ability™ Smart Sensors para productos mecánicos mantienen la estabilidad de entornos críticos de laboratorio y el rendimiento de los equipos en la Universidad de Virginia.

04a La University of Virginia se fundó en 1819.

04b Un sensor inteligente en una aplicación de HVAC similar a la de la University of Virginia.

05 La nueva pasarela plug&play de ABB permite a los clientes conectarse fácilmente a los ABB Ability™ Smart Sensors colocados en las ubicaciones más remotas a través de proveedores de telefonía móvil como AT&T o Verizon.

avisos, lo que permite a los usuarios planificar el mantenimiento antes de que surjan problemas y, por tanto, evitar tiempos de inactividad  $\rightarrow$ 03.

Además, gracias a la capacidad del sensor para supervisar el equipo en remoto, los equipos de mantenimiento pueden comprobar de forma segura el estado del equipo sin riesgo de contacto físico, una característica clave que evita la necesidad de que los técnicos tengan que retirar las protecciones de seguridad para acceder a los equipos para el mantenimiento rutinario.

Otra gran ventaja para el personal de mantenimiento y los operadores es que los datos de los sensores les permiten centrarse específicamente en aquellos equipos que realmente requieren atención, en lugar de tener que inspeccionar todas las máquinas para intentar averiguar si cierto nivel o tipo de vibración o temperatura puede llegar a plantear un problema. En lugar de recurrir a expertos, el Smart Sensor facilita al personal de mantenimiento los datos necesarios para tomar decisiones y evitar averías  $\rightarrow$ 04.

#### Opciones inalámbricas

Los operadores pueden elegir la frecuencia con la que se recogen los datos (por ejemplo, una vez cada 15 minutos o una vez cada 12 horas), en función de la dinámica del proceso. Y los técnicos tienen varias opciones inalámbricas para acceder y recoger los datos resultantes: a través de la pasarela de ABB, a través de una nueva pasarela Plug & Play →05, o mediante una aplicación de teléfono inteligente, lo que permite la supervisión del estado sobre el terreno o desde una ubicación remota.

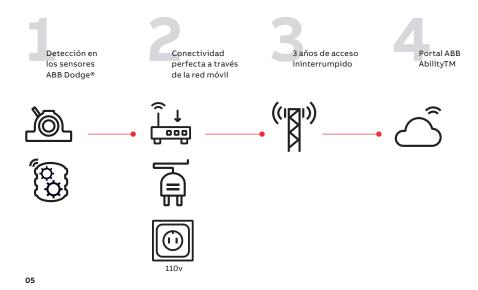
De hecho, los usuarios pueden comprobar el estado de los equipos en cualquier momento con un smartphone a través de la aplicación ABB Ability™ Smart Sensor →06. La interfaz incluye una pantalla de «semáforo» en rojo, amarillo y verde que ofrece una visión general rápida del estado de cada activo que se está supervisando.

Los usuarios pueden comprobar el estado de los equipos en cualquier momento con un smartphone a través de la app del ABB Ability™ Smart Sensor.

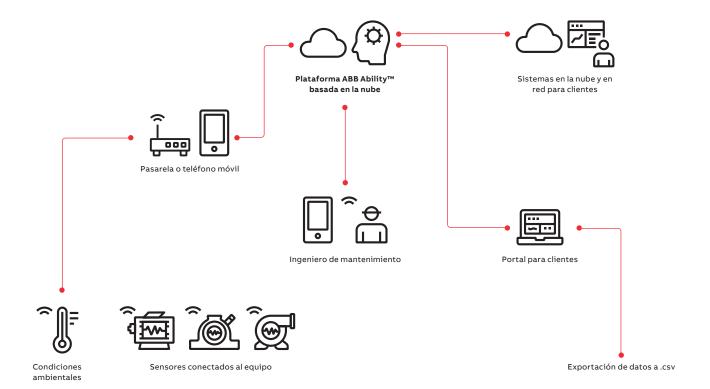
#### Fábrica del futuro

Las fábricas inteligentes y conectadas son el futuro del sector manufacturero. ABB Ability™ conecta a los usuarios con la potencia del Internet Industrial de las Cosas (IIoT) combinando los datos recogidos a partir de equipos como motores, rodamientos montados, engranajes, accionamientos de velocidad variable y bombas. Puede accederse a estos datos y analizarlos en remoto, lo que proporciona un conocimiento profundo sobre el estado a escala de todo el proceso.

En concreto, los datos pueden transferirse a la plataforma de supervisión ABB Ability™ Digital Powertrain. Esta oferta reúne un conjunto de soluciones digitales, que incluye dispositivos, software y servicios, y combina conectividad y



44 ABB REVIEW SENSORES Y ANÁLISIS



06

análisis de datos para conseguir que las operaciones del cliente sean eficientes, predecibles y seguras.

Los datos procedentes de varios sensores pueden transmitirse a través del smartphone del usuario o de la pasarela a un servidor seguro basado en la nube.

Los datos procedentes de varios sensores pueden transmitirse a través del smartphone de un usuario o de la pasarela de ABB a un servidor seguro basado en la nube, donde se analizan mediante avanzados algoritmos para identificar fallos. Los datos se almacenan en el portal digital ABB Ability™, desde el que se podrá acceder a ellos y donde se mostrarán gráficamente para su posterior análisis. Naturalmente, todas estas capacidades están basadas en el más alto nivel de ciberseguridad. Los usuarios tienen la opción de configurar un número de identificación personal para cada sensor y todas las comunicaciones están basadas en los últimos protocolos de seguridad de la capa de transporte (TLS).

Esta nueva solución de pasarela Plug&Play, basada en dos de los proveedores de telefonía móvil más conocidos en Estados Unidos, ofrece una conectividad sin interrupciones desde los sensores hasta el portal digital ABB Ability™.

En definitiva, el ABB Ability™ Smart Sensor convierte los motores, bombas, rodamientos montados y engranajes tradicionales en dispositivos inteligentes conectados de forma inalámbrica. Mide parámetros clave, como las vibraciones y las condiciones relacionadas con la temperatura desde la superficie del equipo, que pueden servir para obtener información significativa sobre el estado y el rendimiento. Esto permite a los usuarios identificar ineficiencias dentro de sus sistemas y reducir los riesgos relacionados con el funcionamiento y el mantenimiento →07.

Asimismo, gracias al nuevo firmware, el Smart Sensor puede actualizarse para mostrar también características como la RMS de la velocidad, el intervalo de medición del cambio, el rango del acelerómetro del cambio y la detección arranque/parada. Estas características, todas ellas procedentes de feedback de nuestros clientes, mejoran significativamente las capacidades existentes del Smart Sensor. • 06 Solución de supervisión del estado de ABB para motores.

07 Los sensores inteligentes ABB Ability™ han proporcionado a GrainCorp la capacidad de supervisar activamente los rodamientos de sus equipos.

07a GrainCorp ha trabajado con ABB y a1 Electric Motors para desarrollar una solución personalizada basada en la tecnología de sensores inteligentes ABB Ability™.

07b La tecnología de sensores inteligentes ABB Ability™ ayuda a GrainCorp avisando de los picos de temperatura en los rodamientos de su horno de cocción.



[1] Eros. L., World Cement, Progress in Real-Time, May, 2020. available: https:// search.abb.com/library/ Download.aspx?Document-ID=9AKK107 680A6860&LanguageC ode=en&Document-Part Id=&Action=Launch

[2] Eros. L., World Coal, September/October, 2020. Available: https:// www.worldcoal.com/ magazine/world-coal/ september-2020/

[3] ABB, University of Virginia maintenance team relies on ABB to keep campus running, May 5, 2020. Available: https://new.abb. com/news/detail/61748/ university-of-virginia-maintenance-team-relies-on-abb-to-keep-campus-running

[4] ABB, Digital trends: Smart sensors in oil refineries, July 16, 2020. Available: https://new.abb. com/news/detail/65329/ dig-ital-trends-smart-sensors-in-oil-refineries



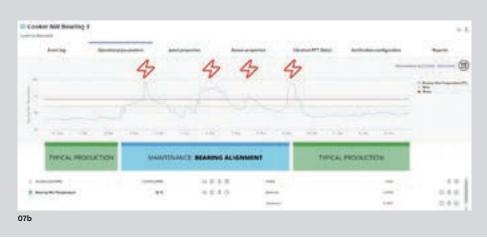
07a

#### MEJORA DE LA EFICIENCIA DEL REFINADO EN LA INDUSTRIA OLEAGINOSA

El ABB Ability™ Smart Sensor está contribuyendo a mejorar la eficiencia y aumentar el ahorro en la industria oleaginosa australiana. GrainCorp Oilseeds →07a es una empresa regional australiana dedicada a triturar semillas de canola y refinar aceite que cuenta con 20 años de experiencia en la producción de aceite de canola y de una gama de aceites y comidas para los mercados nacionales e internacionales [4].

Ante varios problemas de alineación y el consiguiente sobrecalentamiento de los rodamientos de su principal horno de cocción, GrainCorp trabajó con ABB y con su socio de canal, A1 Electric Motors, para desarrollar una solución personalizada basada en la tecnología de sensores inteligentes ABB Ability™. El sistema diseñado para GrainCorp incluyó sensores de rodamientos, sensores de motores y una pasarela. Esto hizo que Graincorp pudiera supervisar activa-

mente los rodamientos de sus equipos y evaluar su estado con vistas a evitar fallos. De hecho, la instalación ha tenido tanto éxito que GrainCorp ahora está en conversaciones para integrar los sensores en la plataforma de supervisión ABB Ability™ Digital Powertrain. La consolidación de este programa completo mejoraría la capacidad de A1 Electric Motors de supervisar en remoto los activos de GrainCorp, algo que resulta especialmente importante si se tiene en cuenta que el acceso a la planta está estrictamente limitado y las actividades tradicionales de supervisión del estado están restringidas a períodos limitados. En definitiva, conseguir que GrainCorp pueda supervisar proactivamente los rodamientos y motores de su principal horno de cocción y complementar estas medidas con un servicio experto ha mejorado la eficiencia del proceso y ha eliminado prácticamente el potencial de fallo del sistema →07b.



SENSORES Y ANÁLISIS



Debido al endurecimiento de la normativa medioambiental, los equipos de supervisión de las emisiones deben funcionar siempre a la perfección. Los servicios digitales ABB Ability™ para analizadores de gases mejoran los beneficios del mantenimiento preventivo y contribuyen a pasar del mantenimiento preventivo al mantenimiento predictivo.

Vinay Kariwala

ABB Ability™ Innovation Centre, Bangalore, India

vinay.kariwala@

**Chakravarthy Suhas Daniele Angelosante**Antiguos empleados
de ABB

Las normativas sobre contaminación atmosférica son cada vez más estrictas en muchos países y ponen el foco en la validación constante de las mediciones de emisiones. Muchos países requieren ahora un control 24/7 de sus emisiones de NOx, monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxidos de azufre, ácido clorhídrico y fluoruro de

Los servicios digitales para analizadores de gases pueden contribuir a pasar del mantenimiento preventivo al mantenimiento predictivo.

hidrógeno. A menudo también es preciso controlar el polvo, el mercurio y las dioxinas. No es sorprendente que estas normativas más estrictas supongan un aumento de los gastos generales de cumplimiento para los operadores: en Europa, por ejemplo, las mediciones deben validarse cada hora. Tres horas sin mediciones invalidan un día de seguimiento completo y el tiempo de inactividad de seguimiento anual no puede superar los 11 días (97,5 % de disponibilidad).

#### Servicios digitales ABB Ability™ para analizadores de gases

Lamentablemente, al igual que la normativa es cada vez más estricta, los expertos en análisis disponibles en plantilla son cada vez más escasos. Esta menor disponibilidad de recursos con conocimientos puede dar lugar a retrasos en la resolución de problemas de los analizadores de emisiones de gases y, por lo tanto, poner en peligro el cumplimiento en materia de emisiones. Una estrategia sólida de mantenimiento ayuda a contrarrestar este riesgo.

Hasta ahora, los analizadores de gases de ABB han estado muy a menudo sujetos a una estrategia de mantenimiento preventivo en la que se realizan inspecciones e intervenciones de mantenimiento periódicas para reducir las averías y mejorar la vida útil de los equipos →01. Este enfoque garantiza la disponibilidad y elimina la carga de conocimiento del personal del cliente.

Ahora, los servicios digitales para analizadores de gases pueden ayudar a reforzar los beneficios del mantenimiento preventivo y a pasar del mantenimiento preventivo al mantenimiento predictivo. La oferta de ABB Ability™ consta de:

- ABB Ability™ Remote Assistance para dispositivos de medición
- ABB Ability<sup>™</sup> Condition Monitoring para dispositivos de medición



01 El mantenimiento

los analizadores

de gases de ABB mostrados aquí en

preventivo a menudo se utiliza para mantener

excelentes condiciones

de funcionamiento. Los servicios digitales ABB

Ability™ para analizado-

mantenimiento preven-

tivo y permiten su uso más generalizado.

res de gases meioran ahora la eficacia del

#### ABB Ability™ Remote Assistance para dispositivos de medición

ABB Ability™ Remote Assistance para dispositivos de medición es un servicio destinado a mejorar la experiencia del cliente durante la asistencia técnica. El servicio permite a un ingeniero de mantenimiento autorizado de ABB iniciar sesión en una pasarela industrial in situ (una vez que el cliente ha solicitado la intervención en el centro de llamadas) y conectarse con el dispositivo en investigación para recoger todos los datos necesarios para resolver el problema. En lugar de que un ingeniero tenga que explicarle paso a paso el diagnóstico del dispositivo al cliente por teléfono, el ingeniero puede localizar la avería directamente. El cliente recibe, por correo postal o por teléfono, una visión general clara del progreso y una solución o una recomendación de solución.

La pasarela de grado industrial ABB Remote Assistance ha sido diseñada para cumplir estrictos requisitos de ciberseguridad. Se definen e implantan políticas de uso de pasarelas para evitar accesos maliciosos. Solo el personal de servicio autorizado y formado de ABB podrá acceder a la pasarela y a los datos del dispositivo, y solo con el consentimiento del cliente. El acceso a la pasarela puede realizarse a través de una red 4G o Ethernet. Se aplican rigurosas medidas de seguridad a estas redes, incluidas restricciones de firewall, para garantizar la ciberseguridad.

Junto con la asistencia por código QR dinámico de ABB para los analizadores, un producto de mantenimiento de ABB que ofrece diagnósticos exhaustivos y la comprobación del estado en tiempo real de un sistema analítico sin necesidad de entrenamiento o conectividad remota [1], el ABB Ability™ Remote Assistance para dispositi-

vos de medición representa la primera capa de



productos de servicios digitales que se ofrecen para este tipo de productos.

La intervención preventiva es crucial para los analizadores de gases que desempeñan un papel crítico en el control de procesos o la supervisión de las emisiones ambientales.

#### ABB Ability™ Condition Monitoring para dispositivos de medición

Un segundo producto de mantenimiento digital diseñado para facilitar datos de estado es el ABB Ability™ Condition Monitoring para dispositivos de medición. Este producto de mantenimiento, al igual que ABB Ability™ Remote Assistance para dispositivos de medición, se ofrece a través de una pasarela de calidad industrial. La pasarela está conectada a los analizadores in situ y supervisa regularmente las etiquetas clave que reflejan su estado. Los datos recuperados se almacenan en una base de datos y se procesan para detectar signos de alerta temprana de degradación y su posible causa. Los datos y hallazgos se recogen en informes de estado a los que pueden acceder los ingenieros de mantenimiento de ABB o el cliente y que pueden enviarse por correo electrónico al personal autorizado →02.

Las comprobaciones de estado pueden realizarse en intervalos programados (a diario, semanalmente o mensualmente) para recoger las mediciones y los diagnósticos en tiempo real. Los especialistas de ABB evalúan estos parámetros y los comparan con valores de referencia del rendimiento establecidos para ofrecer recomendaciones de mantenimiento. Los hallazgos pueden dar lugar a las actividades de mantenimiento específicas que son necesarias para evitar paradas inesperadas debido al deterioro excesivo de componentes críticos. Los problemas pueden resolverse durante una visita de mantenimiento programada o una parada de la planta antes de que se produzca un fallo real.

Esta intervención preventiva es crucial para los analizadores de gases que desempeñan un papel crítico en el control de procesos o la supervisión de las emisiones ambientales, así como para los analizadores ubicados en lugares inaccesibles, por ejemplo, en aplicaciones marinas, offshore o mineras. En última instancia, el objetivo de ABB Ability<sup>™</sup> Condition Monitoring para dispositivos de medición es evitar los tiempos de inactividad imprevistos y optimizar el coste total de propiedad. SENSORES Y ANÁLISIS

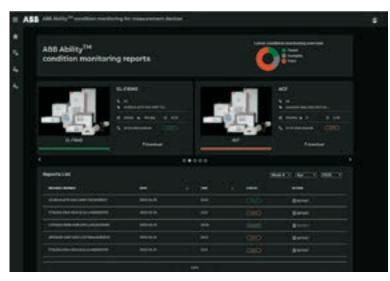


ABB REVIEW

02

#### Solución independiente

ABB Ability™ Condition Monitoring para dispositivos de medición puede funcionar como una solución independiente in situ sin necesidad de una intervención externa de ABB y el personal de mantenimiento del cliente puede analizar el informe de comprobación del estado. Los clientes pueden ponerse en contacto con ABB en cualquier momento para hablar sobre las estrategias de mantenimiento. Este enfoque es ideal para los que se encargan de su propio mantenimiento, ya que el personal de mantenimiento del cliente puede aprovechar los datos facilitados por ABB Ability™ Condition Monitoring para dispositivos de medición con la ayuda de recursos expertos internos.

ABB Ability™ Condition Monitoring para dispositivos de medición se complementa con ABB Ability™ Remote Assistance para dispositivos de medición para conformar una oferta completa de mantenimiento en remoto conectado con ABB.

#### Motor de inteligencia empresarial

En el centro de ABB Ability™ Condition Monitoring para dispositivos de medición hay un motor de inteligencia empresarial que captura los datos de los analizadores, los analiza y genera una indicación del estado del analizador. Este motor tiene forma de un servicio web que facilita el ajuste de los cambios de configuración de los equipos. Una versión basada en la nube de este servicio, disponible en breve, aumentará aún más la flexibilidad.

La solución se concibe como una plataforma que ofrece servicios básicos, como un generador de informes, un motor de análisis de datos, etc. Esta arquitectura simplifica la incorporación de nuevos analizadores. Las definiciones de datos y el software de análisis asociado para un tipo de analizador específico residen fuera de la plataforma (en los denominados ficheros de

definición de verificación), lo que acelera la incorporación de nuevos analizadores y simplifica el mantenimiento de los componentes de software.

#### Confidencialidad de la base de datos

Los datos constituyen una parte crítica de la solución y se almacenan en una base de datos personalizada de ABB. Esta base de datos mantiene una estructura flexible respecto del resto del software para garantizar la confidencialidad de los datos y un acceso controlado. Los datos del analizador se almacenan en la base de datos junto con la marca de tiempo de cada punto de datos para garantizar que se recupera el conjunto de datos correcto para crear informes históricos.

La solución incluye un sistema de gestión de usuarios integral que cumple las normas de ciberseguridad de ABB. También se abordan otros elementos críticos de la ciberseguridad, como el endurecimiento del sistema, el cifrado de datos y la transmisión segura de los datos. Los puntos de datos importantes se cifran y almacenan. Toda la solución, junto con el hardware, está probada por el Device Security Assurance Center, que es un laboratorio de seguridad avanzado dentro de ABB.

#### Más que analizadores de gases

ABB Ability™ Remote Assistance para dispositivos de medición y ABB Ability™ Condition Monitoring para dispositivos de medición son ahora compatibles con la línea de productos de ABB de analizadores de gases en continuo (CGA). Actualmente se está desarrollando la compatibilidad con otras líneas de productos, incluidos cromatógrafos y espectrómetros de gases. Los dos servicios digitales se ampliarán para incluir la oferta de servicios digitales avanzados de ABB, como el análisis de datos y el mantenimiento predictivo.

#### Una visión mejorada de las cosas

Para complementar la cartera de mantenimiento y mejorar la experiencia del cliente, ABB recurre a las nuevas tecnologías adecuadas, tales como la realidad aumentada (RA) que sirve para visualizar datos virtuales superpuestos en el mundo real. ABB Ability™ Remote Insights para mantenimiento, por ejemplo, es una aplicación colaborativa que mejora la interacción entre los expertos en remoto y el personal de campo al permitir dar instrucciones y orientaciones en directo que pueden superponerse en vídeo en directo mediante RA.

La resolución de problemas en dispositivos industriales se basa principalmente en la experiencia y en manuales offline. Un inconveniente de esto último es que el ingeniero tiene que alternar la mirada entre el manual y el dispositivo en cuestión. Se han desarrollado dos enfoques

02 Panel de control del estado..

03 Vista de realidad aumentada del ingeniero.

04 Las opciones flexibles de asistencia en remoto permiten a los expertos prestar asistencia al cliente.

Referencias

[1] D. Lincoln et al., "Dynamic QR Code speeds service response," ABB Review, 1/2018, pp. 40-45. basados en realidad aumentada para remediar esta situación: el primero utiliza un modelo 3D de diseño asistido por ordenador (CAD) del dispositivo superpuesto en el dispositivo real, junto con instrucciones detalladas para la resolución de problemas. El segundo enfoque conecta a un experto en remoto con el dispositivo de realidad aumentada del ingeniero local a través de una videollamada. Así, el experto ve exactamente lo que está viendo el ingeniero de mantenimiento y puede guiar al ingeniero en remoto →03-04. El experto puede anotar la opinión del ingeniero de mantenimiento y enviar artefactos, como imágenes y vídeos, para facilitar la resolución de problemas. Este enfoque aprovecha al máximo el tiempo del experto y permite cubrir muchos más emplazamientos de los que sería posible si el experto tuviera que desplazarse a cada uno de ellos.

Un ámbito de aplicación en el que se espera que la realidad aumentada suponga importantes beneficios es la reparación de los equipos de control de las emisiones en buques marinos. En la actualidad, cuando surge un problema, el ingeniero de mantenimiento a bordo debe llamar al servicio de ABB. Si el problema no puede solucionarse por teléfono, un técnico de servicio de ABB estaría esperando en el siguiente

puerto o, en casos extremadamente urgentes, sería dirigido directamente al buque. Gracias a la realidad aumentada, el ingeniero de mantenimiento es capaz de solucionar el problema con ayuda de modelos CAD 3D o del experto, que está conectado al equipo de realidad aumentada del ingeniero como se ha descrito anteriormente.

Estos productos permiten una intervención en remoto rápida e incisiva de los expertos de ABB.

#### Experiencia y tecnología

Con el endurecimiento de la normativa sobre emisiones, el aumento de las sanciones económicas por incumplimiento de emisiones y la escasez de expertos en análisis en plantilla, es importante que las empresas incorporen la mejor experiencia y tecnología externas para ayudarles a mantener sus equipos de análisis equipos de análisis de gases. ABB Ability™ Remote Assistance para dispositivos de medición y ABB Ability™ Condition Monitoring para dispositivos de medición son dos nuevos servicios digitales para analizadores de gases que ofrecen precisamente esa experiencia y tecnología. Con estos dos productos, se mejora la inspección preventiva periódica y se abre el camino hacia un mantenimiento predictivo más sencillo. Estos productos permiten una intervención en remoto rápida e incisiva de los expertos de ABB, garantizando así que se emplean las mejores habilidades para mantener los equipos de supervisión de las emisiones en perfecto orden y proporcionar tranquilidad. •





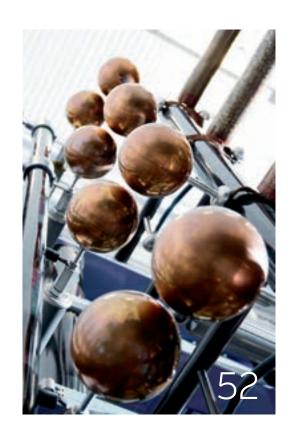
2|2021 51





La electricidad, que ya podría decirse que es la forma de energía con mayor penetración en todos los sectores y geografías, seguirá aumentando su dominio en áreas como el transporte. ABB lleva más de un siglo siendo líder en facilitar electricidad. La empresa está innovando con nuevas formas de hacerlo para seguir siéndolo en el próximo.

52	Virtual High-Voltage Lab
58	Alimentación de vehículos privados,
	sistemas de transporte público y
	puertos
62	Tmax XT: interruptores digitales
	para una era digital
68	Una nueva forma de hacer las
	conexiones eléctricas de los table-
	ros eléctricos
72	Seccionador de potencia tipo puffer
	para aplicaciones sin SF6
78	Sensores de corriente de bobina
	Rogowski para la detección de arcos
	eléctricos



#### ENERGÍA PARA LA ACCIÓN

## Virtual High-Voltage Lab

Predecir el rendimiento dieléctrico de los equipos eléctricos mediante cálculos del campo electroestático y experimentos puede dar lugar a resultados inexactos. La herramienta de simulación de ABB, Virtual High-Voltage Lab (VHVLab), basada en los conocimientos patentados de ABB, mejora la previsibilidad de la rigidez dieléctrica.

#### Andreas Blaszczyk Thomas Christen Patrik Kaufmann

Antiguos empleados de ABB

#### Christoph Winkelman

ABB Corporate Research Baden-Dättwil, Suiza

christoph.winkelmann@ch.abb.com

#### Pouria Homayonifar ABB Electrification

Skien, Noruega

pouria.homayonifar@ no.abb.com

#### Atle Pedersen

SINTEF Energy Research Trondheim, Noruega El dimensionamiento dieléctrico es un aspecto crucial del desarrollo de dispositivos de media y alta tensión como las aparamentas, los accesorios de cables y los transformadores. Cuando lanzan un nuevo dispositivo al mercado, los fabricantes se ven obligados a acreditar el producto mediante una serie de pruebas dieléctricas de tipo definidas en virtud de normas técnicas. Se considera que se ha superado una prueba si el aislamiento eléctrico del dispositivo es capaz de soportar estrés del campo eléctrico en CA y en impulso tipo rayo (LI) sin ruptura. La predicción

La herramienta de simulación VHVLab ofrece un marco de software centrado en la predicción de resultados de las pruebas dieléctricas.

de los resultados de las pruebas normalmente está respaldada por cálculos del campo electroestático que se comparan con los valores críticos especificados para los materiales dados, como gases, líquidos y sólidos, y las interfaces entre ellos. Sin embargo, este enfoque tan obvio a menudo resulta insuficiente porque los fallos dieléctricos no tienen una relación sencilla con las intensidades de campo.

La herramienta de simulación VHVLab de ABB ofrece un marco de software centrado en la predicción de los resultados de las pruebas dieléctricas y tiene por objeto cerrar la brecha entre los cálculos numéricos y los experimentos →01-02. Las predicciones de VHVLab se consiguen

combinando simulaciones de ingeniería con el conocimiento empírico obtenido a partir de experimentos y simulaciones de primeros principios de modelos microscópicos Este tipo de software no está disponible comercialmente porque los procedimientos de simulación integrados en VHVLab proceden de la experiencia en pruebas de ABB obtenida en un laboratorio real de alta tensión. Este tipo de plataforma a medida supone un diferenciador competitivo en el software de simulación comercial y permite diseñar bucles más rápidamente. El desarrollo de VHVLab se ha visto impulsado por la investigación industrial promovida por partners académicos especializados.

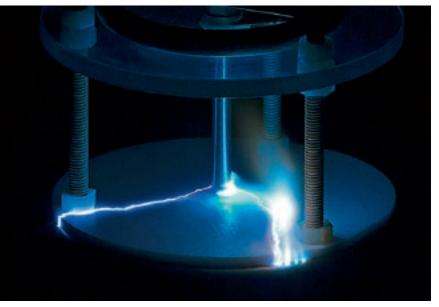
Este artículo presenta una breve descripción de la arquitectura de VHVLab, seguida de una serie de estudios de caso procedentes del desarrollo de un interruptor ecoeficiente de carga de media tensión [1]. Cada estudio aborda un procedimiento de simulación diferente, con características como streamer, bordes afilados, puntos triples y carga superficial.

#### Arquitectura de VHVLab

El componente central de VHVLab, que incluye la modelización de descargas, está conectado vía interfaces predefinidas con dos componentes externos: el visualizador y el solucionador de campos de fondo →03. Esta estructura abierta permite la integración de cualquier componente de software externo arbitrario. Las opciones preferidas en este caso son un solucionador interno electroestático del método de elementos de contorno (BEM), que ABB lleva utilizando en simulaciones eléctricas desde la década de los 90 [2], y una implementación personalizada de ParaView, un conocido visualizador científico de libre acceso.

O1 VHVLab, una nueva herramienta de simulación de ABB, ayuda a predecir los resultados de las pruebas dieléctricas. Se muestra parte del laboratorio de pruebas de SINTEF —una organización de investigación independiente de Trondheim, Noruega—con la que ABB trabaja estrechamente en el rendimiento dieléctrico.





02

5. Comenzar y hacer un seguimiento de los cálculos.

- 6. Evaluar los resultados de inicio de todos los puntos seleccionados y calculados.
- Activar la visualización de gráficos con las características de campo a lo largo de las líneas de corriente de descarga calculadas.
- 8. Definir las condiciones de contorno de carga superficial y calcular el campo de fondo con carga superficial. Volver al paso 3 hasta que la evaluación alcance un grado satisfactorio.

Los resultados se ilustran en los siguientes estudios de caso.

#### Inicio del streamer

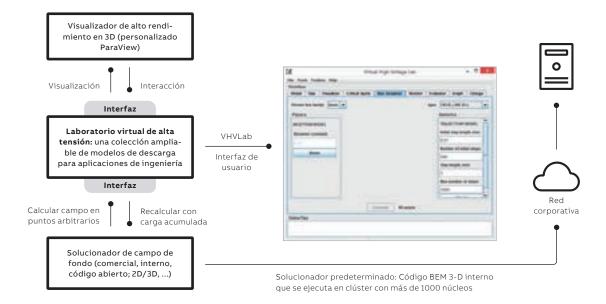
El inicio de una descarga de gas en un campo eléctrico comienza con la aparición del primer electrón libre desde el que se inicia una avalancha Townsend. Si se genera un número crítico de electrones, se forma una cabeza de streamer que

El módulo central de VHVLab se implementa como una aplicación Java que incluye una interfaz gráfica de usuario para guiar al ingeniero de ABB durante la evaluación de la descarga. El flujo de trabajo es el siguiente:

- 1. Cargar la solución de campo de fondo inicial, calculada antes de la sesión con VHVLab.
- Especificar la rugosidad de la superficie y las propiedades del gas: presión, temperatura, tipo de gas, composición de la mezcla, etc.
   En base a los datos especificados, VHVLab evaluará el estrés crítico por encima del cual puede iniciarse una descarga.
- 3. Calcular los puntos críticos en los que puede producirse el inicio de la descarga y seleccionar puntos para su posterior evaluación.
- 4. Especificar los parámetros para calcular el inicio y los recorridos de descarga.

El inicio comienza con la aparición del primer electrón libre desde el que se inicia una avalancha Townsend.

se autopropaga. Este criterio de inicio del streamer depende del coeficiente de ionización efectiva del campo, que tiene en cuenta la ionización del impacto y la fijación y el desprendimiento de electrones. El valor de la tensión de inicio se calcula de forma iterativa cambiando la tensión aplicada y escalando los valores del campo eléctrico a lo largo de un recorrido de descarga hasta que se cumplan los criterios de inicio.



02 El comportamiento dieléctrico es un aspecto crítico de los equipos eléctricos.

03 Arquitectura del marco de simulación de VHVLab.

04 Evaluación de la tensión de inicio del streamer y resultados de la prueba con un seccionador de unidad principal de anillo.

04a Intensidad del campo eléctrico a 125 kV LI y líneas de campo calculadas para puntos críticos (los colores/ puntos más claros muestran zonas más propensas a descargas).

04b Trazas de descarga en la superficie de un protector de cuchillas después de la prueba de LI. Una de las primeras aplicaciones de los modelos de inicio del streamer que se instaló dentro del marco de VHVLab fue para una nueva aplicación de aparamenta aislada en aire de 12 kV. La sustitución del SF<sub>6</sub> por aire presurizado, manteniendo al mismo tiempo el mismo tamaño de los compartimentos y la integridad del aislamiento, fue el principal reto de diseño, que solo pudo resolverse con el soporte intensivo de simulaciones para optimizaciones del tamaño. Curiosamente, el diseño obtenido también podía cumplir los requisitos de la aparamenta de 24 kV utilizando AirPlus de ABB (aire mezclado con cetonas fluoradas) como gas aislante. En ambos casos, VHVLab fue capaz de predecir una tensión de inicio que superó las pruebas de LI. →04 muestra una evaluación de la tensión de inicio del streamer y los resultados de las pruebas para un seccionador de unidad principal de anillo. Una diferencia de en torno al 10 % entre la tensión no disruptiva medida y la tensión de inicio simulada es típica en la predicción de los resultados de las pruebas de LI y los ingenieros la asumen como un margen de seguridad.

Los bordes afilados y los puntos triples son los lugares con mayor probabilidad de emisión de electrones en caso de un campo eléctrico alto.

#### **Bordes afilados**

Las mejoras de campo cerca de bordes afilados son fuentes conocidas de fallos en las pruebas de LI en aparamentas de media tensión, y la reciente tendencia a reducir el tamaño de los dispositivos (y, por lo tanto, los huelgos, es decir, la distancia más corta del gas entre dos electrodos estresados) exacerban la situación. Un proyecto de

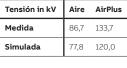
investigación de ABB con VHVLab estudió cómo la punta afilada de los electrodos influye en la tensión no disruptiva [3]. Uno de los resultados muestra claramente una relación entre el radio de redondeado del borde afilado y la tensión no disruptiva experimental, que disminuye cuando aumenta el carácter afilado del borde →05. Una ruptura es un proceso estocástico y múltiples pruebas proporcionan una distribución de probabilidad que permite calcular la tensión a la que la probabilidad de ruptura es del 2 % o del 50 %. Además, se confirmó que la simulación, basada en criterios de inicio, coincidía bien con el experimento. El alcance del estudio se limitó a un aspecto de los bordes afilados: distancias cortas, es decir, un huelgo reducido, que caracterizan los diseños de aparamentas compactas; para las distancias largas en aire, el afilado no importa.

→06 muestra una aplicación de simulaciones de bordes afilados para un interruptor de carga sin SF<sub>6</sub> diseñado recientemente. Los valores de inicio calculados para los puntos críticos A y B son 75 kV y 68 kV respectivamente, y han sido confirmados mediante pruebas LI de 75 kV en aire: no existe ruptura en el punto A, pero en el puno B se produjeron fallos con esta variante de diseño inicial.

#### **Puntos triples**

El punto triple es la unión dentro de la aparamenta de metal, dieléctrico sólido y gas, y es el lugar con mayor probabilidad de emisión de electrones en caso de un campo eléctrico alto. El punto triple también es una ubicación excepcional para que se inicie un salto de corriente o una ruptura. En el desarrollo de la aparamenta de 12 kV de →04, se encontraron problemas de punto triple durante las pruebas dieléctricas de CA de la borna mecánica, que consiste en un eje aislante que conecta mecánicamente el accionamiento a tierra con el seccionador rotativo que funciona en alta tensión →07a.

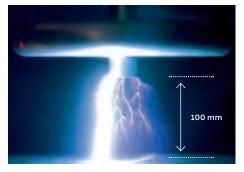
-
s
_
- 5



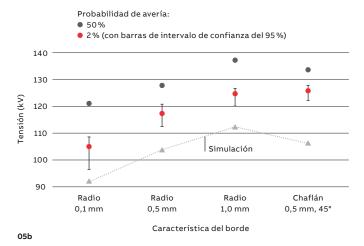


04b

ENERGÍA PARA LA ACCIÓN



05a



Para ayudar a ABB a estudiar el rendimiento dieléctrico de esta configuración en aire, los investigadores de SINTEF construyeron una configuración experimental que permite una selección flexible de configuraciones de puntos triples [4] →07b. La relación entre la tensión no disruptiva de CA medida (estimada estadísticamente como el promedio de la tensión disruptiva menos dos desviaciones estándar) y la separación de electrodos que se muestra en →07c es un ejemplo de un resultado experimental para una forma seleccionada del electrodo a tierra montado en torno al eje aislante.

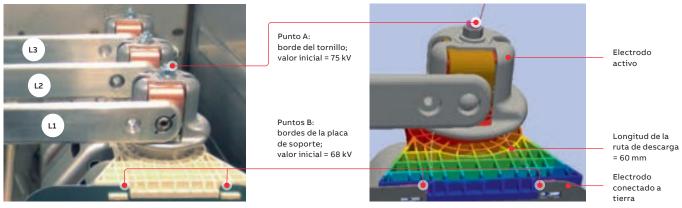
La simulación de inicio en los puntos triples no es evidente debido a la distribución de campos muy específica que existe en el estrecho espacio entre el dieléctrico sólido y el electrodo. Se puede realizar una evaluación de los criterios de inicio del streamer para varias variantes del recorrido de descarga y utilizando diferentes componentes de intensidad de campo para determinar los coeficientes de ionización →07d. Aunque este tipo de simulación puede reproducir adecuadamente las tendencias observadas en los experimentos, los valores simulados del voltaje de inicio difieren de los medidos. Según las orientaciones actuales de VHVLab, los ingenieros pueden seleccionar cualquiera de las variantes de evaluación propuestas. Todas estas variantes garantizan una predicción conservadora, si bien el margen de seguridad no está bien definido. Esta situación indica que las rupturas causadas por puntos triples requieren una investigación más profunda que se centre no solo en los modelos de inicio, sino también en otras influencias como la carga superficial, los cambios de polaridad, la rugosidad y las partículas atrapadas.

La simulación del inicio en puntos triples es difícil debido a una distribución de campo muy específica entre el dieléctrico y el electrodo.

#### Superficies de los aisladores y carga

La interacción de las descargas con superficies dieléctricas (p. ej., inicio del streamer sin electrodos, deformación de la descarga a lo largo de las superficies y acumulación de carga superficial) es muy relevante para las aplicaciones prácticas. Durante la última década, ABB ha colaborado con socios académicos en estas áreas [5,6].

Un ejemplo de interacción de descarga aplicable a simulaciones de ingeniería integradas en VHVLab implica la carga de saturación, que puede considerarse una condición de contorno prescrita en el cálculo de un campo electrostático. La carga de saturación se interpreta como



06a 06b

140

120

80

60

40

20 Ω

50

60

(k < 100

Tensión

07c

#### 05 Resultados de experimentos en bordes afilados y simulaciones en aire atmosférico [5].

05a Disposición de pruebas con una ruptura después de aplicar un impulso de rayo positivo. El electrodo expuesto es un cilindro con borde redondeado o biselado.

05b Comparación de tensión disruptiva/ tensión no disruptiva y el inicio simulado

06 Eiemplos de evaluación de bordes afilados en un compartimento de aparamenta de 12 kV aislada en gas (aire, 1,3 bar).

06a No hay ruptura en el punto A, pero se produjeron fallos en los puntos B para este diseño inicial.

06b Para garantizar una simulación precisa, los bordes afilados se han redondeado con un radio de 0,1 mm, que refleja adecuadamente el afilado de la pieza probada.

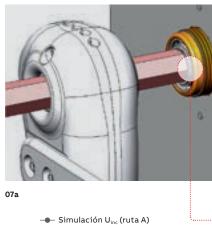
#### 07 Análisis de triple punto.

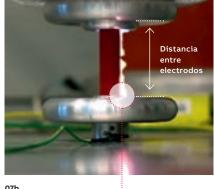
07a Borna mecánica hexagonal de una aparamenta de 12 kV con punto triple crítico en el lado de accionamiento a tierra, a la derecha.

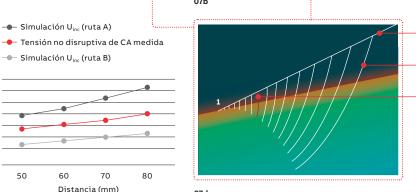
07b Instantánea de una descarga en la configuración experimental construida en SINTEF para la medición de la ruptura de AC en aire atmosférico.

07c Comparación de la tensión no disruptiva experimental de AC (valor pico) con dos variantes de la tensión de inicio simulada, Uinc, como una función de la distancia entre electrodos. Nota: los valores Uinc evaluados para el recorrido A deben reducirse por un factor empírico de 0,5 para una predicción segura.

07d Gráfico a color en 3D de la intensidad de campo eléctrico y dos variantes de recorrido de descarga evaluados cerca del punto triple crítico «1» con el valor de campo máximo. El recorrido a lo largo del aislador y todas las líneas de campo están en el mismo plano, que es perpendicular tanto al aislador como a las superficies del electrodo El recorrido a lo largo del aislador en el modelo 3D es perpendicular a la «línea triple», que es en esta imagen la línea marcada por altos valores de tensión (roio).







Ruta B a lo largo del aislante

Líneas de campo a partir de la superficie del electrodo

La ruta A se encuentra a lo largo de la línea de campo con la tensión inicial más baja (línea oscura)

la máxima carga superficial posible que puede acumularse en una superficie dieléctrica por una descarga. Los experimentos y las simulaciones de los primeros principios confirmaron el concepto y la naturaleza de la carga de saturación, en particular su capacidad para suprimir el consiguiente inicio del streamer y evitar la ruptura en las pruebas de LI [6]. Una implementación incluida en el marco de VHVLab permitió calcular de forma sencilla los efectos de la carga superficial en dispositivos con una geometría 3D muy compleja. Una característica atractiva que ofrece el análisis de la carga superficial es una explicación cuantitativa de por qué algunos dispositivos pueden superar la prueba de LI, aunque los cálculos que desprecian la carga superficial predicen una ruptura [7].

#### VHVLab - desarrollos futuros

VHVLab es un marco de simulación útil para las aparamentas de media tensión que puede ser utilizado por no expertos. Pueden lograrse iteraciones de diseño rápidas y estructuradas

como parte intrínseca del flujo de trabajo de desarrollo y se reduce la dependencia de la disponibilidad de laboratorios y variantes de pruebas físicas. Aun así, VHVLab no ofrece una prueba virtual totalmente automática en que permita simular y visualizar una descarga pulsando un botón. Sin embargo, la herramienta da un primer paso en esta dirección al ofrecer una serie de procedimientos numéricos y reglas empíricas que permiten a los ingenieros evaluar, visualizar y comprender los fenómenos de descarga. En este contexto, VHVLab no es solo una herramienta de ingeniería sino también una base de datos de conocimiento que aglutina la experiencia de investigadores y desarrolladores, ofreciendo una base para las pruebas digitales en el futuro. •

#### Agradecimientos

Los autores desean agradecer a los colegas de ABB Corporate Research, ABB Electrification Technology Centers, TU Munich, ETH Zurich, TU Eindhoven, CWI Amsterdam, University of Tartu, Estonia, HSR Rapperswil, Suiza, y NTNU y SINTEF —ambos en Trondheimsus contribuciones al desarrollo de VHVLab.

#### Referencias

[1] E. Attar. et al.. "SF<sub>6</sub>-Free Puffer Type Load Break Switch for Medium Voltage Applications," ABB Review, 2/2021, pp. 72 - 77.

[2] A. Blaszczyk et al., "Net value! Low cost, high-performance computing via the Intranet." ABB Review. 1/2002, pp. 35 - 42.

[3] P. Simka et al., "Air breakdown at sharp edges," IEEE 2nd International Conference on Dielectrics (ICD) IEEExplore, Budapest 2018, pp. 885 - 888.

[4] N. S. Stoa-Aanensen, "Initial testing of breakdown voltage, 50 Hz stresses on triple junction setup," Report AN 15.14.64 SINTEF

Energy Research, Trondheim, 2015.

[5] A. Chvyreva et al., "Raether-Meek criterion for prediction of electrodeless discharge inception on a dielectric surface in different gasses," Journal of Physics D: Applied Physics 51, pp. 1 - 11, 2018.

[6] H. K. Meyer et al., Surface charging of dielectric barriers in short rodplane air gaps. Experiments and simulations," IEEE Conference on High-voltage Engineering and Application, ICHVE 2018, Greece.

[7] A. Blaszczyk et al., Surface Charging Models for Prediction of Withstand Voltage in Medium Voltage Range," Proceedings of 19th Conference on Electromagnetic Field Computations (CEFC), Pisa, November 2020.



ENERGÍA PARA LA ACCIÓN

# Alimentación de vehículos privados, sistemas de transporte público y puertos

La demanda de todas las formas de vehículos eléctricos está en auge. Esta tendencia se ve impulsada por el deseo de contrarrestar la mala calidad del aire urbano, reducir el ruido, mejorar la calidad de vida y, sobre todo, minimizar el cambio climático global.

El sector más visible en el que está tomando forma esta tendencia es el transporte privado. Por ejemplo, según el informe Electric Vehicle Outlook 2020 [1,2] de BloombergNEF, las ventas anuales de vehículos eléctricos de pasajeros alcanzarán los 26 millones en 2030, mientras que los autobuses eléctricos dominarán completamente el sector a finales la década de los años 2020.

Pero los coches y los autobuses (además de los camiones) no son los únicos tipos de vehículos que se están pasando a la energía eléctrica. Los VE también son muy adecuados para aplicaciones como las que cumplen los vehículos de guiado automático (AGV).

Los AGV tienen una serie de ventajas: no requieren conductor, lo que permite reubicar al personal en tareas más productivas; su rendimiento y costes son predecibles; los vehículos funcionan 24/7; y mejoran la seguridad general del entorno de automatización en el que operan.

Con la llegada al mercado de tantos tipos de VE,

surge la prisa por construir estaciones de carga —y aquí es donde entra ABB. ABB cuenta con años de experiencia en el desarrollo, instalación, puesta en marcha y mantenimiento de infraestructuras de carga. De hecho, la empresa es ahora el socio preferido de los OEM de vehículos eléctricos más grandes del mundo y de los operadores de redes de carga de VE de todo el país. Esta experiencia ha respaldado la decisión de las principales empresas y entidades públicas

ABB es el socio preferido de los OEM de vehículos eléctricos más grandes del mundo y de los operadores de redes de carga de VE de todo el país.

de elegir a ABB como socio para implementar el transporte público, el vehículo privado y la carga de los AGV, temas sobre los que tratan los tres ejemplos a continuación.

#### Alessandro Di Nicco

ABB Electric Vehicle Infrastructure Terranuova Bracciolini, Italia

alessandro.dinicco@ it.abb.com

#### Diego Pareschi ABB Electric Vehicle

ABB Electric Vehicle Infrastructure Delft, Países Bajos

diego.pareschi@ nl.abb.com

#### Kumail Rashid

ABB Electric Vehicle Infrastructure Singapur

kumail.rashid@ sg.abb.com

#### — Referencias

[1] BloombergNEF, Electric vehicle outlook 2020. Available at: https:// about.bnef.com/ electric-vehicle-outlook/#toc-download [Accessed November 11, 2020]

[2] Energypost.eu, "EVs to make up third of market in 2040, e-buses to dominate end 2020s," May 28, 2018. Available at: https://energypost.eu/evs-to-make-up-third-of-market-in-2040-e-busses-to-dominate-end-2020s/ [Accessed November 11, 2020]

02|2021 CARGA DE VE

#### MILÁN: TICKET PARA UN FUTURO MÁS LIMPIO

La metrópolis industrial del norte de Italia tiene una hoja de ruta hacia un futuro verde. La ciudad, con más de tres millones de habitantes, tiene previsto cambiar sus 1200 autobuses diésel por autobuses nuevos totalmente eléctricos para 2030.

01 Los nuevos autobuses totalmente eléctricos de Milán pueden cargarse durante la noche en 5 horas en las estaciones de carga de ABB. La ciudad espera tener en servicio 1200 de estos autobuses para 2030.

Para 2030, toda la gama de servicios de transporte público de Milán, incluidos trolleys y metro, será 100 % eléctrica. El servicio de transporte público de la ciudad (Azienda Trasporti Milanesi o ATM), que opera 158 líneas de autobuses que cubren 1550 km, estima que, cuando esté totalmente implantada, la transformación de sus autobuses reducirá la demanda de combustible diésel en 30 millones de litros al año y reducirá las emisiones de CO<sub>2</sub> en 75 000 toneladas al año.

Además, ATM ha estipulado que debe garantizarse que toda la energía generada para sus sistemas eléctricos provenga de fuentes renovables certificadas y, por lo tanto, tenga una huella de emisiones cero. El plan de intercambiar los autobuses diésel por autobuses eléctricos —e instalar una infraestructura de carga asociada—, que se prevé costará 1500 millones de euros, es fruto del compromiso adquirido por la ciudad en la Cumbre del Clima de París.

Los planes iniciales exigen que tres de las cinco cocheras de autobuses de la ciudad se conviertan en centros de recarga eléctrica para autobuses, así como para grandes flotas de vehículos de servicio. Además, se construirán cuatro nuevas cocheras. Uno de los centros también se está equipando con estaciones de carga de 100 kW de ABB →01, así como estaciones de transformadores modulares de ABB y columnas de enchufes de carga, todas ellas gestionadas por algoritmos diseñados para optimizar el proceso de recarga

al tiempo que se minimiza la demanda de energía. También se ahorrarán importantes cantidades de energía una vez que se implemente un sistema de estacionamiento automatizado y optimizado para los autobuses que entren y salgan.

A finales de 2021, la ciudad tiene previsto operar 167 autobuses totalmente eléctricos y 8 estaciones terminales equipadas con pantógrafos de 200 kW, cada uno capaz de suministrar 35 kWh en un intervalo de 8 a 10 minutos: una potencia más que suficiente para garantizar el viaje de vuelta a la cochera sin problemas, independientemente de las necesidades de calefacción y refrigeración.

Los propios autobuses estarán propulsados por baterías de níquelmanganesocobalto (NMC) de 240 kWh capaces de completar un recorrido de 180 km con cero emisiones en las condiciones más estresantes. Los autobuses se recargarán por completo en 5 horas por la noche en sus respectivas cocheras.

En un informe [1] titulado «Elementos del éxito: Los sistemas de transporte urbano de 24 ciudades globales», McKinsey & Company situó a Milán entre las diez principales ciudades del mundo en términos de calidad de sus sistemas de movilidad. El informe analizaba la movilidad en términos de disponibilidad, accesibilidad, eficiencia, comodidad y sostenibilidad antes, durante y después de los trayectos y junto con las opiniones de los clientes.

#### Referencias

[1] McKinsey & Company, Elements of success: Urban transportation systems of 24 global cities." Available at: https://www.mckinsev. com/~/media/ McKinsey/Business%20 Functions/Sustainabi lity/Our%20Insights/ Elements%20of%20 success%20Urban%20 transporta-tion%20 systems%20of%20 24%20global%20 cities/Urban-transportation-systems\_e-versions.ashx



## CARGA RÁPIDA DE VE EN CUALQUIER MOMENTO Y EN CUALQUIER LUGA

Japón quiere modernizar su infraestructura de vehículos eléctricos y acelerar su transición hacia una movilidad sostenible. Más concretamente, su intención es aumentar la cuota de VE e híbridos enchufables en sus carreteras hasta el 20-30 % para 2030, frente a solo el 1 % en 2018 [2].

02 Los cargadores Terra 184 ofrecen características personalizables como sistemas de gestión de cables, pantallas y terminales de pago de tarjetas de crédito. Para cumplir este objetivo, e-Mobility Power Co., Inc, (eMP), una joint venture formada por Tokyo Electric Power Company Holdings (TEPCO) y Chubu Electric Power, dos de las empresas eléctricas más grandes de Japón, ha elegido los nuevos cargadores para vehículos eléctricos Terra 184 de ABB. Los cargadores compactos de alta potencia se instalarán en instalaciones minoristas de carretera y otros lugares públicos en todo el país para ofrecer a los usuarios opciones de carga rápidas y cómodas en cualquier momento y en cualquier lugar. A finales de 2020, eMP comenzó a sustituir los cargadores obsoletos por más de 250 unidades Terra 184.

Con capacidad para cargar hasta dos vehículos eléctricos simultáneamente, el Terra 184 forma parte de la línea de productos de ABB de cargadores rápidos de CC. Diseñados para producir 180 kW de potencia de carga para una salida de potencia o suministrar simultáneamente 90 kW para dos salidas de potencia independientes, los cargadores son capaces de manejar futuros modelos de VE equipados con sistemas de batería de alta tensión y permiten proporcionar un repostaje rápido de 60 millas de autonomía en menos de 8 minutos de carga.

Los cargadores Terra 184 están basados en el estándar de carga CHAdeMO, cuyo desarrollo ha estado liderado por TEPCO, el principal accionista de eMP. Los cargadores también están basados en OCPP, un protocolo estándar internacional, lo que permite su control y mantenimiento en remoto.

Gracias a su conformidad con estas normas, el Terra 184 puede conectarse a través de ABB Ability™, la oferta digital unificada y transversal de ABB que va desde el dispositivo hasta el borde y la nube, para ofrecer un control centralizado y un servicio global rápido de actualizaciones de software y mantenimiento, atributos que son fundamentales para la rápida implantación de las infraestructuras de carga de VE. Esto permite a los operadores de redes de carga de VE desarrollar profundos conocimientos y estadísticas sobre el uso de energía a nivel de cargador, emplazamiento y red [3].

Con características muy personalizables, como sistemas de gestión de cables, pantallas y terminales de pago con tarjeta de crédito, el Terra 184 ofrece la máxima comodidad de carga para una amplia gama de usuarios de VE →02. Al ofrecer una solución de carga segura, inteligente y sostenible que respalda la «Mission to Zero» de ABB Electrification, una visión de una realidad sin emisiones para todos, el Terra 184 está disponible directamente desde ABB en Europa y Estados Unidos.

#### Referencias

[2] ABB, "Terra 184 chargers to support modernization of Japan's EV charging infrastructure," Available: https:// new.abb.com/news/detail/66110/abbs-terra-184-chargers-to-support-modernization-of-japans-ev-charging-infrastructure [Accessed November 24, 2020]

[3] ABB, "ABB chargers to boost modernization of Japan's EV charging," Available: https://eepower.com/news/abb-chargers-to-boost-modernization-of-japans-ev-charging/[Accessed November 24, 2020]



02|2021 CARGA DE VE 61





03b

03 Tuas Port, Singapur, proyecto de terminal de contenedores automatizado.

03a Los 162 AGV del terminal estarán electrificados y alimentados por una infraestructura de carga de ABB.

03b Cada punto de carga estará integrado en un «eHouse» con infraestructura eléctrica de apoyo en una solución completa de e-movilidad.

#### Referencias

[4] ABB, "Smart charging infrastructure for Singapore port's automated guided vehicles," Available: https://new.abb.com/news/detail/63868/smart-charging-in-fra-structure-for-singa-pore-ports-automat-ed-guided-vehicles [Accessed November 24, 2020]

[5] ABB, "ABB to electrify autonomous vehicles for new port in Singapore," Available: https://new.abb.com/ news/detail/35893/ abb-to-electrify-autonomous-vehicles -fornew-port-in-singapore [Accessed November 24. 2020]

### UNA INFRAESTRUCTURA DE CARGA PARA EL TERMINAL DE CONTENEDORES AUTOMATIZADO DE SINGAPUR

Dos de las principales tendencias que impulsan todas las formas de movilidad son la introducción de los vehículos eléctricos y el auge de los vehículos autónomos.

En Singapur, estas tendencias convergen en el puerto de Tuas, que para 2040 tiene previsto contar con la mayor terminal de contenedores totalmente automatizada del mundo. Con una capacidad de manipulación anual de 65 millones de TEU (unidades equivalentes a veinte pies), la terminal constituirá un hito importante en el desarrollo de Singapur [4].

La terminal →03a tiene previsto entrar en servicio preliminar a finales de 2021 e introducirá progresivamente a lo largo de dos años una flota de 162 vehículos de guiado automático (AGV) para gestionar la distribución de contenedores de transporte pesados. Estos vehículos estarán electrificados y propulsados por la infraestructura de carga de CC del puerto, que suministrará ABB. Además, la empresa ha colaborado estrechamente con la rama de Land Systems de ST Engineering para establecer un contrato con PSA Singapur, el operador del puerto, para suministrar y poner en servicio estaciones de carga inteligentes integradas para la flota de AGV de la instalación.

El contrato incluye dieciocho estaciones de carga rápida inteligente que incorporan funcionalidades de tolerancia a fallos y autodiagnóstico. Cada estación estará integrada en una «eHouse» sobre un calce prefabricado, equipado con aparamenta de media y baja tensión, un transformador y cargadores de alta potencia de 450 kW con los equipos de control y supervisión asociados [5]. Esta configuración combina la carga de VE con su infraestructura eléctrica de apoyo en una solución de emovilidad completa →03b.

Los sistemas de gestión de flotas de PSA supervisarán de forma centralizada el estado de las estaciones de carga del puerto y los niveles de batería de los AGV y programarán los AGV para que se carguen en consecuencia. Cuando un AGV llegue a su estación de carga designada, indicará que está listo para comenzar su sesión de carga.

Todo un avance para ABB, el proyecto del puerto de Singapur marca la primera vez que se utilizarán los cargadores de la empresa para alimentar una flota de vehículos autónomos con fines comerciales. •

ENERGÍA PARA LA ACCIÓN

Tmax XT: interruptores digitales para una era digital

Diseñado para alcanzar niveles extremadamente altos de rendimiento, facilidad de uso y conectividad, el nuevo interruptor en caja moldeada SACE T max XT de ABB (MCCB) no solo proporciona una protección inteligente y completa de los circuitos, sino que también mejora la gestión de la energía, la instalación y el mantenimiento.



**Eumir Rizzi** ABB Electrification Bérgamo, Italia

eumir.rizzi@it.abb.com

Los primeros interruptores consistían en una unidad de disparo magnetotérmico simple que detectaba los niveles de corriente y accionaba un conmutador en caso de sobrecalentamiento o cortocircuito. A finales de la década de los 80, surgieron unidades de disparo electrónicas basadas en transformadores de corriente que medían la corriente en lugar de simplemente detectarla. Entonces entró en escena un elemento de control—como el disparo retardado, por ejemplo.

En los últimos años, la evolución de las necesidades de supervisión en el contexto de un mundo cada vez más conectado y la aparición de sofisticadas necesidades de control han forzado el ritmo de desarrollo de los interruptores. Por ejemplo, los sensores de corriente de núcleo de aire han sustituido ahora a los antiguos transformadores de corriente de núcleo de hierro, aportando ventajas como una mayor precisión en toda la gama operativa de la unidad de disparo, que en muchos casos es hasta 12 veces mayor que su intensidad nominal. La electrónica



01

moderna también permite integrar la medición de la tensión en el interruptor sin necesidad de transformadores de tensión adicionales, lo que ahorra espacio y tiempo de instalación.

La integración funcional ha mantenido su ritmo acelerado, eliminando la complejidad y haciendo desaparecer muchos de los transformadores, metros, cables, bloques de terminales y conductos que competían por el limitado espacio dentro del tablero eléctrico.

La electrónica moderna permite integrar la medición de la tensión en el interruptor.

#### Desde el dispositivo de protección hasta la fuente de datos

La capacidad de medición integrada que ofrecía la última generación de unidades de disparo brindó la oportunidad de construir una amplia arquitectura de medición sin aumentar las dimensiones ni la complejidad de un sistema de distribución. Este avance permite medir más variables en más lugares, con velocidades de muestreo de kHz. Los datos pueden digitalizarse y procesarse inmediatamente a bordo de la unidad. Si la unidad de disparo tiene un registrador



01 La gama de MCCB Tmax XT. de datos, los valores de intensidades, tensiones y demás parámetros pueden almacenarse, analizarse, visualizarse o descargarse en diferentes formatos en otros dispositivos.

Aunque estos dispositivos ofrecen un cierto nivel de sofisticación, la funcionalidad y la facilidad de uso del nuevo MCCB SACE Tmax XT de ABB cambian significativamente el juego de los interruptores →01.

#### El MCCB SACE Tmax XT de ABB

La gama de interruptores Tmax XT ofrece más rendimiento, mejor protección y más precisión de medición que otras unidades equivalentes, abarcando corrientes de 160 a 1600 A. El Tmax XT está equipado con unidades de disparo de protección Ekip Touch de ABB, que proporcionan interfaces digitales y analógicas preconfiguradas o personalizables. La combinación de Tmax XT y Ekip Touch ofrece un rendimiento que tradicionalmente estaba en el ámbito del multímetro o del analizador de redes: tensión, energía, potencia y armónicos medidos con niveles de precisión mejores que el 1 %; armónicos calculados hasta el 50º; y umbrales de detección por debajo del 0,4 % de la corriente nominal.

Tmax XT tiene a su disposición módulos enchufables para detectar la temperatura (por medio de termopares), las tensiones procedentes de una línea eléctrica diferente, la vibración y la presión. De hecho, cualquier sensor de 4–20 mA puede conectarse al Tmax XT. La información obtenida por estos sensores puede procesarse inmediatamente por la unidad de disparo —para generar alarmas, emitir un comando o disparar un interruptor— en lugar de enviarse a un sistema de supervisión en un bus de comunicación para su gestión en remoto. Todos estos sensores se interrelacionan a través de la unidad de disparo Ekip Touch instalada en el Tmax XT →02.

La gama Tmax XT ofrece más rendimiento, mejor protección y más precisión en la medición que otras unidades equivalentes.

#### Aspectos comunes en toda la gama

Con las unidades de disparo electrónicas más precisas del mundo en los bastidores más pequeños, la gama Tmax XT se basa en el Emax 2, el primer interruptor automático inteligente en aire de baja tensión de la industria. De hecho, la gama Tmax XT tiene las mismas lógicas, características e interfaces que el Emax 2. Estos elementos comunes, que solo ABB puede ofrecer en toda la gama de interruptores automáticos, permite ahorrar mucho tiempo y mejora la calidad de la instalación.



#### Una nueva forma de acceder a la información

Las unidades de disparo Tmax XT están equipadas con una pantalla táctil a color que, gracias a una batería interna, puede encenderse incluso con el interruptor desconectado. Esta disponibilidad significa que, después de un disparo, se puede navegar por el menú para encontrar los datos necesarios para conocer el motivo del disparo antes de volver a cerrar el interruptor.

La pantalla táctil utiliza iconos intuitivos como los que se encuentran en tablets o teléfonos móviles. Las complejas funcionalidades resultan fáciles de manejar, ya sea directamente desde la pantalla táctil o aprovechando la capacidad de comunicación por Bluetooth de la unidad de disparo: una vez emparejado el teléfono móvil con una unidad de disparo Ekip Touch en un Tmax XT →03, todas las actividades de lectura y configuración pueden realizarse a través de la aplicación gratuita para móviles Epic →04.

#### Conexión al Tmax XT

Los datos recogidos por los interruptores Tmax XT contienen mucho valor, especialmente si





#### El módulo Modbus garantiza la rápida integración de nuevos productos en los sistemas existentes.

pueden recogerse, agregarse, compararse y analizarse en su conjunto los datos procedentes de muchos interruptores en varias ubicaciones. Para ello, debe disponerse de un medio de transmisión de los datos. Las unidades de disparo Ekip Touch que encajan en el Tmax XT permiten liberar todo el potencial del ABB Ability™ Electrical Distribution Control System (EDCS), ofreciendo más de 10 protocolos de comunicación. (ABB EDCS es una plataforma basada en la nube que permite al usuario supervisar y gestionar la distribución eléctrica de una instalación a través de un smartphone, una tablet o un ordenador en tiempo real para optimizar el uso y los costes de energía). El interruptor admite la incorporación de módulos específicos para permitir estas capacidades de comunicación —por ejemplo, para buses de campo como Modbus RTU, Profibus DP y DeviceNet.

El módulo Modbus garantiza la rápida integración de nuevos productos en los sistemas existentes. A 12 Mbps, Profibus DP es la elección perfecta para en tableros eléctricos con automatización si se requiere una velocidad de intercambio de datos de alta velocidad. También 02 Accesorios Ekip que aumentan la potencia del Tmax XT.

02a Cartucho Ekip, un accesorio externo que puede instalarse en un carril DIN estándar de 35 mm para permitir la conexión de otros accesorios externos a Ekip Touch y Tmax XT.

02b Señalización Ekip 3T, un accesorio que se conecta a través de un cartucho Ekip para proporcionar tres entradas analógicas para sensores de temperatura y una entrada analógica para bucles de corriente de 4 a 20 mA.

03 El Tmax XT2–XT4 puede configurarse con la familia de unidades de disparo Ekip Touch. Se muestra la unidad de disparo Tmax XT5 de tres polos, Ekip Touch.

04 Ejemplo de una pantalla de la aplicación Epic. La aplicación funciona en la mayoría de los sistemas operativos de los teléfonos móviles.

05 La arquitectura de los módulos de Ekip Com que se conectan con Tmax XT. se ofrecen soluciones para conectar los interruptores a redes Ethernet: los módulos de comunicación Modbus TCP/IP se ejecutan a una velocidad de hasta 100 Mbps y pueden utilizarse como servidores web, permitiendo que el navegador acceda a los datos almacenados dentro de la unidad de disparo.

#### Interconexión con el mundo exterior

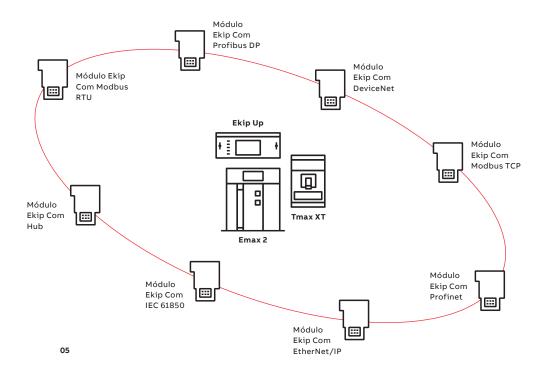
La norma IEC 61850 se está generalizando como protocolo de comunicación para los sistemas de protección y control de las plantas eléctricas. Los interruptores deben gestionar las condiciones de fallo muy rápidamente y, por este motivo, el Tmax XT incluye los dos tipos de servicios de comunicación de baja latencia descritos en la IEC 61850: MMS (Manufacturing Message Specification) para la comunicación vertical y GOOSE (Generic Object Oriented Substation Event) para la comunicación horizontal.

La conectividad del Tmax XT allana el camino para pasar de un enfoque de mantenimiento reactivo o de reparación a un enfoque predictivo. En lugar de hacer que el interruptor efectúe el disparo en primer lugar, el análisis de los datos procedentes del interruptor, o de una red de interruptores, puede ayudar a evitar que se produzcan esos fallos.



04

La conectividad del interruptor también permite el control en tiempo real de las plantas mediante la supervisión y el control en remoto. Si las unidades de disparo Ekip están equipadas con módulos específicos  $\rightarrow$ 05, puede implementarse la lógica de control, pueden reconfigurarse las





redes o pueden controlarse los generadores, por nombrar solo algunos ejemplos relacionados con las redes inteligentes. Por último, cuando se incorpora un módulo Ekip Com Hub a una unidad de disparo, pueden concentrarse datos procedentes de varios interruptores y conectar la red a un espacio en la nube gestionado por ABB.

#### Tmax XT para un mundo más ecológico

El control del consumo de energía a todos los niveles de una planta es un requisito previo para la optimización de la eficiencia energética, la reducción de la factura eléctrica y la prevención de multas por exceso de demanda. Además, una comparación de instalaciones similares en distintas ubicaciones puede ayudar a identificar mejores prácticas en una empresa.

Otro incentivo para controlar detenidamente la energía es la certificación de «Green Building», que se está convirtiendo en un elemento esencial en muchos países para la construcción de nuevas infraestructuras residenciales, como hospitales, centros comerciales y centros de datos. La certificación Green Mark Platinum, que indica el máximo nivel de eficiencia energética de los edificios, se está convirtiendo en una estipulación común de las especificaciones de construcción. El Tmax XT es ideal para este tipo de control exhaustivo de la energía. La conectividad incorporada del interruptor conecta smartphones, tablets y PCs con herramientas de análisis de datos en la plataforma de computación en la

nube ABB Ability™ EDCS con el fin de supervisar, optimizar, controlar y predecir el estado del sistema eléctrico →06. La extrema precisión de los

Existen tres modos diferentes de funcionamiento en la nube, cada uno con sus propias consideraciones especiales de seguridad.

datos medidos significa que los usuarios tienen acceso a información precisa, lo que facilita el seguimiento de los recursos y la identificación de oportunidades de ahorro. El uso del controlador de potencia inteligente integrado ayuda a reducir el consumo energético, permite una evaluación eficiente con fines de certificación de la marca verde y reduce eficazmente los costes de auditoría externa.

#### Ciberseguridad

La tecnología en la nube puede aumentar considerablemente la escalabilidad de las arquitecturas, mejorar la flexibilidad de la interconexión con dispositivos de nueva generación y de generaciones anteriores y ayudar a proteger las inversiones. Sin embargo, los sistemas distribuidos modernos conllevan un aumento significativo del perímetro de exposición a las ciberamenazas, tanto intencionadas como involuntarias. La arquitectura en la nube de ABB Ability™ ha sido desarrollada en unión con Microsoft para reforzar sus prestaciones y garantizar la mayor fiabilidad y seguridad →07. Existen tres modos diferentes de funcionamiento en la nube, cada uno con sus propias consideraciones especiales de seguridad:

- Escenario «Dispositivo a la nube». En este caso, se establece una «lista blanca» para la identificación única y solo se permite una puesta en marcha local. Se utiliza un canal de comunicación cifrado que utiliza el mismo protocolo que los sistemas bancarios. No se pueden enviar comandos desde la nube a la planta.
- «En la nube» se refiere a la comunicación entre los centros de datos. Los datos de ABB/cliente se almacenan exclusivamente en centros de datos certificados con normas de ciberseguridad de última generación, tomando como base la política de seguridad de la plataforma en la nube de Microsoft Azure.

06

06 Una pantalla típica de la plataforma de computación en la nube ABB Ability™ EDCS.

07 El Tmax XT no solo posee excelentes características de conectividad, sino que también cuenta con la máxima fiabilidad y seguridad.  Escenario «Navegador a la nube». Aquí, el acceso a los datos requiere primero una autenticación mediante un inicio de sesión único (SSO) de ABB y una autorización específica. La comunicación se produce a través de un canal cifrado y no se pueden enviar comandos desde la nube a la planta.

Todas estas implementaciones de seguridad están diseñadas de acuerdo con el análisis de posibles amenazas y se desarrollan de acuerdo con las directrices de seguridad y la revisión recurrente de los códigos. Además, la ciberseguridad se somete a evaluaciones y validaciones continuas a través de pruebas de penetración para verificar su solidez.

La amplia selección de características del interruptor lo ha convertido en una plataforma inteligente multifuncional y modular.

#### Un interruptor inteligente orientado al futuro

La familia Tmax XT ha evolucionado para afrontar y superar retos cada vez más complejos y amplios en el mundo de la protección eléctrica. La amplia selección de características del interruptor lo ha convertido en una plataforma inteligente multifuncional y modular que está a años luz de la humilde tecnología de interruptores de la década de los 80. Medición precisa, adquisición exhaustiva de datos, amplias comunicaciones, capacidad en la nube y ciberseguridad son solo algunas de las fortalezas de una familia de productos llamada a crear el futuro de los sistemas eléctricos y a dar a los clientes la oportunidad de crear nuevos niveles de sofisticación en sus instalaciones eléctricas. •



68



ENERGÍA PARA LA ACCIÓN

# Una nueva forma de hacer las cone-xiones eléctricas de los tableros eléctricos

ReliaGear® neXT y ReliaGear® SB de ABB cambian radicalmente la forma de hacer las conexiones eléctricas en los tableros eléctricos. Combinados con una estructura modular de los tableros y con los interruptores automáticos SACE® Tmax® XT de ABB, se obtienen instalaciones eléctricas más rápidas y fiables y de mayor calidad.

Bhavya Kapadia Kiran Bhattar Harshada Nagare ABB Smart Power Hyderabad, India

bhavya.kapadia@ in.abb.com kiran.bhattar@ in.abb.com harshada.nagare@ in.abb.com

#### **Tim Ford**ABB Smart Power

Cary, NC, Estados Unidos

tim.ford@us.abb.com

#### **Steven Greenwald** ABB Smart Power Plainville,

Plainville, CT, Estados Unidos

steven.greenwald@us.abb.com

La mayoría de las conexiones eléctricas de la industria se realizan mediante conectores enchufables o atornillados, ambos de los cuales tienen sus problemas. Las conexiones atornilladas, por ejemplo, son susceptibles de aflojarse con el tiempo, lo que puede provocar no solo efectos de alta resistencia como el calentamiento, sino también la formación de arcos y cortocircuitos. Dado que el estado de las conexiones eléctricas de una instalación desempeña un papel especialmente crítico en términos de seguridad, eficiencia, fiabilidad y longevidad, ABB ha introducido el nuevo diseño enchufable de los ReliaGear para garantizar unas prestaciones de conexión óptimas →01.

#### Conexiones enchufables de ReliaGear neXT y ReliaGear SB

El diseño enchufable de los ReliaGear de ABB representa una mejora significativa respecto del método clásico de instalación y conexión de dispositivos mediante uniones atornilladas. La

nueva característica fundamental del diseño de ReliaGear neXT y ReliaGear SB es el panel bus (vertical) fijo y las ranuras que incorpora →02. En consonancia, los conectores de los interruptores asociados (es decir, los conectores del lado de la línea) presentan una abrazadera de geometría equivalente que acopla las ranuras al conjunto de bus vertical →03. Además, mientras las fuerzas

ABB ha introducido el nuevo diseño enchufable de los Reliagear para garantizar unas prestaciones de conexión óptimas.

generadas durante corrientes de falta pueden aflojar las conexiones tradicionales, ReliaGear aprovecha de manera inteligente estas fuerzas para apretar la conexión. 01 El diseño enchufable de los ReliaGear de ABB simplifica el trabajo de instalación en el que se realizan las conexiones eléctricas. Se muestra el panel frontal de ReliaGear neXT en su posición cerrada.

02 Conectores de ReliaGear neXT.

03 La instalación de dispositivos, como este interruptor, es muy sencilla. Los conjuntos de interruptores enchufables de los ReliaGear incorporan el interruptor y el conjunto del conector del lado de la línea en un único componente montado en fábrica.

No existe un kit de bridas de sujeción con varios conductores ni un kit de hardware, y el conector del lado de la línea está premontado en una única unidad. Sin necesidad de montaje en obra ni de ningún kit complejo de piezas para su conexión, la instalación es sencilla y directa.

#### Montaje

El diseño modular del tablero ReliaGear neXT es la clave para acelerar la instalación. Un soporte de acero, fijado al interruptor, ofrece un punto de apoyo en el que se hace palanca en el interruptor hasta colocarlo en su posición, acoplando los contactos enchufables al bus vertical. A continuación, el interruptor se fija en su posición

mediante pernos de montaje de fácil acceso, que se insertan a través del soporte de acero. No es necesario ningún par para comprobar la conexión eléctrica y no se requieren herramientas especiales. El diseño del conector en el lado de la línea ayuda a garantizar la correcta alineación y aloja las abrazaderas durante las operaciones de instalación y retirada.

#### El diseño modular del tablero ReliaGear neXT es la clave para acelerar la instalación.

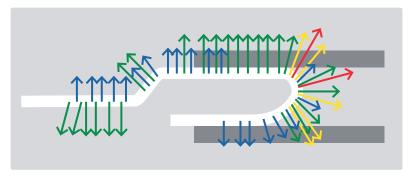
El sistema de carril neXT permite la instalación fácil y sencilla de dispositivos de varios anchos y longitudes gracias a sus ranuras equidistantes. En él podrá instalarse cualquier dispositivo que tenga ranuras en el soporte posterior que encajen con las aberturas del carril y sean compatibles con la pila de bus. Por el contrario, y por diseño, los dispositivos más grandes no podrán instalarse en las ranuras ni en el bus vertical si el panel no admite el dispositivo.

Las ranuras están diseñadas de manera que las separaciones «X» (el número de posiciones de montaje disponibles) permiten alojar los distintos anchos de los interruptores. Cada bastidor de interruptor y accesorio montado en la pila de bus posee requisitos específicos de separaciones X. El bastidor también cuenta con espaciadores en blanco para rellenar los huecos.









04

Cuando se instala un dispositivo en el sistema de carril, el orificio del bastidor subyacente se alineará con el taladro de sujeción del soporte posterior, permitiendo la instalación de los pernos. Este eficiente diseño garantiza que los dispositivos que se instalen estén correctamente colocados y completamente acoplados.

El sistema de ReliaGear neXT y ReliaGear SB se ha diseñado cuidadosamente para que la inserción sea lo más fácil posible al tiempo que permite conseguir la integridad del contacto. Dada la naturaleza enchufable del diseño, las fuerzas de inserción se adaptan a la corriente permanente admisible del dispositivo que se está instalando. En el caso de interruptores de baja corriente admisible, la inserción consistirá en una sencilla operación que requiere mínimos niveles de fuerza manual y asistencia. En el caso de interruptores con un bastidor más grande, el tablero eléctrico ReliaGear neXT está diseñado para soportar el peso del interruptor hasta su inserción final.

Los estudios han revelado que, en promedio, la instalación de un interruptor y de un kit de bridas de sujeción, por parte de un técnico experimentado, puede llevar 10 minutos o más y requiere el uso de una llave dinamométrica adecuada para garantizar una correcta conexión. En cambio, instalar un interruptor similar en el tablero ReliaGear neXT lleva menos de 30 segundos, sin afectar a ningún dispositivo adyacente y utilizando solo herramientas manuales básicas.

#### Rendimiento a carga nominal

El conector del lado de línea del interruptor incluye un muelle de compresión dentro de la abrazadera, fijado firmemente a la propia abrazadera, que permite alcanzar la presión de contacto requerida en condiciones de funcionamiento típicas. Al tratarse de una conexión con muelle, esta unión no se afloja con el tiempo, no incluye conexiones roscadas que deban inspeccionarse ni mantenerse y el muelle mantiene la presión de contacto. El conjunto de abrazadera de los ReliaGear es una solución patentada que

suministra una fuerza repetible y fiable a la conexión, contribuyendo a garantizar una conexión segura y robusta.

Al considerar el área de contacto de las conexiones eléctricas, es importante tener en cuenta la relación entre el área de contacto aparente y el área de contacto real. Aunque el sentido común podría sugerir que esta relación es mayor con una superficie perfecta que con un contacto en línea, la experimentación y los cálculos revelan que lo contrario es cierto: el conjunto de abrazadera de Relia-Gear neXT sujetado por el muelle de

Instalar un interruptor similar en el tablero ReliaGear neXT lleva menos de 30 segundos, utilizando solo herramientas manuales básicas.

compresión incorporado aumenta esta relación de cerca de un 20 % visto en el enfoque tradicional a más del 40 % →04. Conseguir un área de contacto equivalente utilizando una conexión clásica de estilo atornillada requiere sujetadores de alta resistencia y con un par elevado: una disposición que resulta especialmente vulnerable sobre el terreno.

#### Rendimiento en condiciones de cortocircuito

Las fuerzas electromagnéticas que se generan durante las corrientes de falta pueden afectar a la resistencia de la unión en el caso de conexiones atornilladas, afectando con ello al rendimiento térmico. En este caso, el diseño de abrazadera enchufable de los ReliaGear le da la vuelta a la tortilla y aprovecha estas fuerzas para crear el efecto contrario. Con ReliaGear, las fuerzas repulsivas entre la abrazadera y el panel bus son superadas por las fuerzas repulsivas que se generan en los brazos de la propia abrazadera

04 Diagrama vectorial de fuerzas que muestra las fuerzas repulsivas en el interior de la abrazadera de Relia-Gear neXT y ReliaGear SB convergiendo en el bus vertical y creando fuerza compresiva durante un evento de alta corriente/cortocircuito. La magnitud de la fuerza mostrada aumenta de azul a verde y hasta rojo. La fuerza compresiva resultante crea una conexión más fuerte que durante el funcionamiento nominal.

05 La conformidad del conjunto de pila de bus vertical como seguro para los dedos según la IP20 se determinó mediante pruebas con una sonda calibrada. →04. Lo que podría describirse como fuerzas de «alivio» se aprovechan y se convierten en fuerzas de «presión». Con esta disposición, la fuerza de contacto se intensifica proporcionalmente a la magnitud de la corriente, lo que permite que el conjunto de la abrazadera permanezca en su sitio en caso de fallos y cortocircuitos.

#### Prueba de vibraciones

La vibración es una causa importante de fallo de los conectores sobre el terreno, por lo que la integridad estructural y funcional del sistema de montaje del ReliaGear neXT se ha verificado mediante exhaustivas pruebas de vibraciones. Para ello se realizaron pruebas montando rígidamente un conjunto neXT en una mesa vibratoria y sometiendo el conjunto a valores que cumplían o superaban los exigidos por el código en cuestión: International Code Council – Evaluation Services Acceptance Criteria (156ICC-ES AC156).

#### Índice de protección (IP)

Un código de índice de protección (IP), de acuerdo con la norma IEC 60529, define el grado de protección de una carcasa mecánica contra la intrusión de polvo, contacto accidental y agua. El diseño patentado IP20 del ReliaGear neXT incorpora una barrera mecánica moldeada que protege determinadas configuraciones de la pila de bus principal contra el contacto accidental de objetos sólidos de tamaños superiores a 12,5 mm. Esto cumple con un nivel de protección IP20, generalmente reconocido como «seguro para los dedos». El diseño también minimiza el riesgo de que un cuerpo extraño entre en contacto con el sistema bus →05.

#### Conexión segura y fiable

RELIAGEAR® NEXT Y RELIAGEAR® SB

La seguridad y la fiabilidad son los aspectos más importantes de cualquier esquema de conexión eléctrica. El tablero ReliaGear neXT ha sido diseñado y probado para mejorar la seguridad y proporcionar fiabilidad a largo plazo. Las conexiones enchufables de los ReliaGear mejoran

La integridad estructural y funcional del sistema de montaje del ReliaGear neXT se ha verificado mediante exhaustivas pruebas de vibraciones.

las conexiones enchufables que tienen un largo historial de uso en equipos de distribución eléctrica y equipos de control, proporcionando una mejor relación contacto real/contacto aparente en corriente nominal que conexiones atornilladas equivalentes. El diseño incluso aprovecha las fuerzas electromagnéticas que se crean durante las condiciones de fallo para mejorar la conexión eléctrica. En resumen, el diseño de los ReliaGear hace que la instalación sea más segura, fácil y rápida al tiempo que garantiza un rendimiento a largo plazo y de alta calidad. •







# Seccionador de potencia tipo puffer para aplicaciones sin SF<sub>6</sub>

Los seccionadores de potencia (LBS) con tecnología de vacío se utilizan en aparamentas con soluciones alternativas al gas aislante  $SF_6$  respetuosas con el medio ambiente. Estos seccionadores tienen algunos inconvenientes. La refinada tecnología de los interruptores puffer promete una alternativa a los LBS confiable, rentable y fácil de usar.

**Elham Attar Magne Saxegaard**ABB Electrification
Skien, Noruega

elham.attar@ no.abb.com magne.saxegaard@ no.abb.com

Nitesh Ranjan Jan Carstensen Antiguos empleados Las inquietudes medioambientales asociadas al potencial de calentamiento global del  $SF_6$  están promoviendo una nueva generación de aparamenta aislada en gas (GIS) basada en gases aislantes respetuosos con el medio ambiente. En esta aparamenta, se utiliza tecnología de interrupción en vacío para los LBS y se han concentrado muchos esfuerzos en estudiar las dificultades dieléctricas y térmicas [1, 2] que plantea esta tecnología. Los interruptores en vacío también son caros y requieren un interruptor seccionador adicional, lo que incluye un complejo mecanismo de accionamiento.

La refinada tecnología de los interruptores puffer promete una alternativa a los LBS confiable, rentable y fácil de usar  $\rightarrow$ 01.

Tecnología de interruptores puffer para gases aislantes ecoeficientes El interruptor puffer consta de una cámara de

Foto: © Michael Voge

ABB REVIEW ENERGÍA PARA LA ACCIÓN



compresión y una cámara de interrupción →02. El principio de funcionamiento es «apagar» el arco utilizando la sobrepresión generada mediante la compresión del gas por el pistón. El gas comprimido se libera en la zona de formación del arco, donde enfría el arco iniciado entre los contactos. El arco se extingue en el primer cruce por cero (CZ) si la distancia de contacto y la refrigeración alcanzadas son suficientes para soportar la tensión transitoria de restablecimiento (TTR). La TTR surge de la energía magnética atrapada en las inductancias del lado de carga del interruptor, donde da lugar a una corriente que circula entre las capacitancias y las inductancias de ese lado. Esta corriente puede generar una sobretensión transitoria. La diferencia entre el potencial de tensión aguas arriba del interruptor y estas sobretensiones transitorias es la TTR.

El SF<sub>6</sub> resulta muy adecuado como gas aislante en interruptores gracias a su capacidad intrínseca para enfriar el arco y restaurar rápidamente el nivel de aislamiento después del evento de conmutación. Sustituir el SF<sub>6</sub> por alternativas ecoeficientes en un interruptor de tipo puffer reduce el rendimiento de la interrupción tanto en la fase térmica como en la dieléctrica (véanse las dos secciones siguientes) debido a las peores propiedades de extinción del arco y a la menor rigidez dieléctrica de los gases alternativos.

ABB ha diseñado un interruptor puffer que supera las dificultades que plantean los gases

ecoeficientes. Se logran alternativas al SF<sub>6</sub> con un rendimiento de la interrupción significativamente mejorado mediante la creación de un denominado patrón de flujo con puntos de estancamiento del gas alrededor de la zona del arco. Además, debido a que la débil rigidez dieléctrica tanto en zonas frías como calientes de los LBS puede provocar recebados, se han implantado soluciones innovadoras para adaptar el patrón de flujo del gas caliente y evitar la reignición del arco. Si bien la capacidad de interrupción es la principal dificultad, la funcionalidad del nuevo LBS también incluye un diseño dieléctrico y térmico optimizado. Los avances conseguidos en estos aspectos permiten crear un LBS compacto que utiliza alternativas ecoeficientes al gas de aislamiento al tiempo que se mantienen los niveles establecidos y la huella de SF<sub>6</sub> de la GIS.

## Interrupción térmica

En  $\rightarrow$ 03. se muestran diferentes topologías del flujo alrededor de una zona de arco del interruptor. El patrón de flujo que normalmente se utiliza en los interruptores puffer de media tensión (MT) de SF $_6$  se denomina «flujo simple». Aquí, el gas fluye directamente a través del contacto en movimiento y del sistema de boquilla hacia el contacto fijo. Los experimentos con un interruptor puffer de flujo simple con distintas presiones y cargas de gas han indicado que el rendimiento de la interrupción no es suficiente para las aplicaciones de MT sin SF $_6$  [3].

El principio es «apagar» el arco utilizando la sobrepresión generada por la compresión del gas por el pistón.

Se exploraron dos diseños alternativos: diseños de flujo único y flujo doble, ambos con un «punto de estancamiento» que mejora significativamente el rendimiento de la interrupción del aire en comparación con el diseño de flujo simple →03. Un punto de estancamiento es un punto en un campo de flujo donde la velocidad local del fluido es cero y toda la energía cinética se convierte en energía de presión. El tipo de flujo con punto de estancamiento suele utilizarse en interruptores de alta tensión, pero no se conocen aplicaciones en LBS comerciales de MT.

Durante la operación de apertura en los diseños de tipo punto de estancamiento, el pistón unido al contacto en movimiento comprime el gas, 01 Los nuevos interruptores puffer ofrecen ventajas en comparación con los interruptores en vacío (VCB) que se utilizan en aparamentas como esta GIS SafePlus Air CCV (es decir, 2 x VCB + 1 x seccionador).

02 Dibujo esquemático del interruptor puffer de gas.

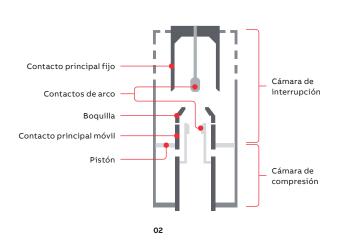
03 Flujo simple y dos flujos de tipo punto de estancamiento: flujo único y flujo doble.

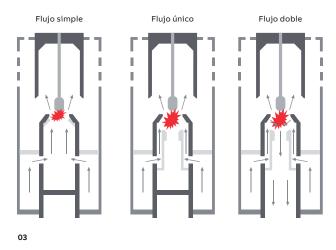
04 Operación de apertura de un interruptor puffer basado en la geometría de flujo doble. La disposición específica del patrón de flujo elegido mejora significativamente el rendimiento de la interrupción.

produciendo una sobrepresión en la cámara de compresión. Al mismo tiempo, el contacto tulipán de arco se aleja del pin de arco, lo que en consecuencia genera un arco →04. El inicio del arco calienta el gas, lo que en parte «obstruye» la sección crítica de la boquilla, provocando una presión aún mayor en el volumen de compresión. Finalmente, el gas presurizado del volumen de

compresión explosiona en la zona de arco y ayuda a extinguir el arco. La extinción del arco debe producirse preferiblemente en el primer cruce por cero y, por lo tanto, se necesita suficiente presión de gas para apagar el arco en ese punto. Como parte del nuevo diseño, se han dispuesto puertos personalizados alrededor de la zona del arco. Así, a través de estos puertos puede entrar gas nuevo para reemplazar rápidamente al gas caliente expulsado.

Muchos parámetros del diseño puffer influyen en el flujo de gas y la acumulación de presión en el sistema y dan lugar a diferentes capacidades de interrupción. En el dispositivo interruptor aquí descrito, el gas se utiliza tanto como medio dieléctrico como medio de interrupción del arco.





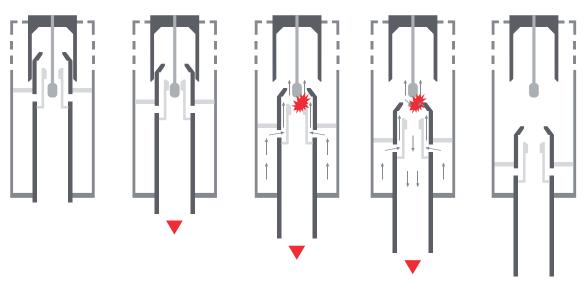






ABB REVIEW



La disposición específica del patrón de flujo elegido en la zona de arco mejora significativamente el rendimiento de la interrupción.

## Recebado dieléctrico

La fase dieléctrica —unos 10 a 100 µs después de CZ y caracterizada por una corriente residual próxima a cero— puede generar recebados en caso de que la mezcla de gas caliente y vapor metálico generada por el arco ardiente persista alrededor de los contactos. Esta mezcla posee una rigidez dieléctrica más baja que el gas de aislamiento frío y cuando aumenta la TTR, pueden producirse recebados dentro o fuera del canal de plasma original. Para cuantificar la robustez del nuevo diseño de interruptor en este sentido, se llevaron a cabo experimentos en diferentes etapas de desarrollo  $\rightarrow$ **05**.

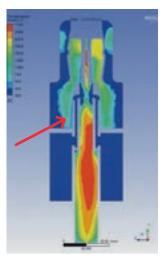
Además de los experimentos a escala completa, la modelización de la dinámica de fluidos computacional (CFD) es otra herramienta de

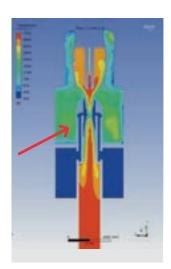
ajuste importante tanto para analizar la causa raíz como para analizar la sensibilidad de los nuevos conceptos de diseño de aparamenta. →06 ilustra la modelización CFD de la nube de gas caliente que se acumula alrededor de los contactos en el diseño de flujo doble para dos tiempos de arco diferentes. La situación ideal sería alejar este gas caliente del contacto principal en movimiento —es decir, es esencial adaptar el patrón de flujo del gas caliente generado durante el evento de interrupción de forma que se impida la reignición en la fase dieléctrica. El patrón de flujo puede controlarse dividiendo el contacto de arco fijo (pin de arco) y dando al contacto

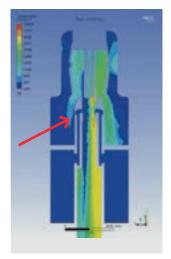
La modelización CFD es otra herramienta de ajuste tanto para analizar la causa raíz como para analizar la sensibilidad de nuevos diseños de aparamenta.

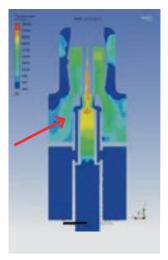
fijo principal varios elementos de contacto con aberturas para la liberación de presión. Además, las salidas de gas deben ser lo suficientemente grandes como para evitar el flujo de gas caliente hacia el contacto principal y cualquier cambio en los contactos no debería sacrificar la sección transversal requerida del recorrido de la corriente principal →07.

Al realizar algunas aberturas en los controladores de campo en torno a la cámara de interrupción,

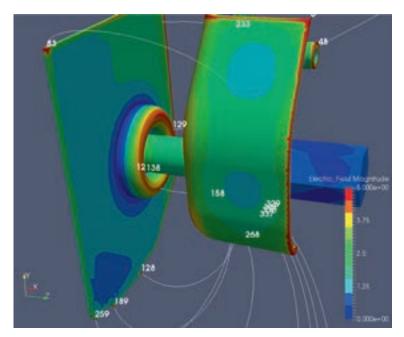








06a 06b 07a 07b



08

05 Una nube caliente procedente del arco asentándose alrededor del contacto principal en movimiento, lo que resultó en recebo. Los cambios en el diseño permiten alejar el gas caliente del contacto principal en movimiento e impedir el recebado dieléctrico.

06 Distribución de la temperatura justo después del cruce por cero. Las flechas indican el gas que se está expulsando.

06a Tiempo de arco = 5,25 ms.

06b Tiempo de arco = 13.3 ms.

07 Efecto de la salida del extremo del tubo en el gas caliente acumulado alrededor del contacto principal justo antes del cruce por cero. El diseño de flujo doble redujo el gas caliente acumulado alrededor del contacto principal.

07a Flujo doble.

07b Flujo único.

08 Estrés de campo eléctrico en una zona crítica. Los números identifican los puntos críticos que se utilizan para extraer los datos, los colores muestran la magnitud del campo eléctrico.

el gas caliente, los vapores y el gas de escape que se generan durante el evento de arco se transportan lejos de las zonas con alto estrés de campo eléctrico, lo que no solo contribuye a enfriar sino también a mantener la rigidez dieléctrica del gas en el nivel necesario entre fases.

# Diseño dieléctrico

Si bien la rigidez dieléctrica del aire en, por ejemplo, una aplicación de unidad principal de anillo (RMU) es casi un tercio de la del SF<sub>6</sub> [3], la huella de un nuevo interruptor aislado en aire no debería ser mayor. Por lo tanto, se ha hecho un esfuerzo sustancial para reducir el estrés de campo eléctrico cerca de los componentes [3]. Esta acción ha dado lugar a piezas muy lisas que son, en efecto, escudos de campo →08. Se han implantado diseños novedosos para resolver las zonas de alto estrés en puntos triples, donde se unen los sólidos conductores, los sólidos aislantes y los gases aislantes [4]. Por último, el

sofisticado diseño del interruptor puffer cumplía todos los requisitos dieléctricos de las normas comunes como IEC 62271-1 [5].

## Pruebas a escala real

Se realizaron pruebas de tipo de la interrupción a escala real en una unidad SafeRing/SafePlus Air de ABB disponible comercialmente, de conformidad con las clases de servicio de prueba de «carga activa» E3 y C2 de la norma IEC para una tensión nominal de 12 kV a una corriente nominal de 630 A [6].

Se han implantado diseños novedosos para superar zonas de alto estrés en puntos triples.

# Una alternativa rentable y fácil de utilizar a los LBS en vacío

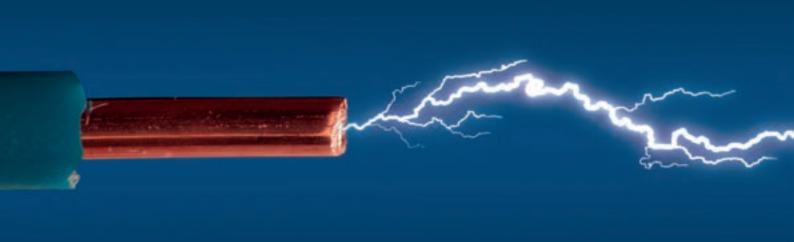
Los interruptores tipo puffer, que utilizan la explosión de gas producida por el movimiento relativo de los contactos fijos y en movimiento, se utilizan ampliamente en las aparamentas de SF<sub>6</sub> debido a su tamaño compacto, estructura sencilla y excelentes características de interrupción. En un interruptor puffer, la capacidad de interrupción depende de la interacción entre el arco, las propiedades del gas, el patrón de flujo, la acumulación de presión y la geometría. El tipo de flujo con punto de estancamiento mejora el rendimiento de la interrupción en comparación con el flujo simple en gases que no son SF<sub>6</sub>. El exitoso rendimiento de este interruptor de nuevo diseño lo convierte en una alternativa rentable y de fácil manejo a los LBS que utilizan interruptores en vacío y allana el camino para la próxima generación de RMU respetuosas con el medio ambiente. •

## Referencias

[1] T.R. Bjørtuft et al., "Dielectric and thermal challenges for next generation ring main units (RMU)," CIRED 2013, paper 0463, 2013.

[2] M. Hyrenbach et al., "Alternative gas insulation in medium-voltage switchgear," CIRED 2015, paper 0587, 2015. [3] M. Saxegaard et al., "Dielectric properties of gases suitable for secondary medium-voltage switchgear," CIRED 2015, paper 0926, 2015.

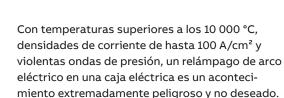
[4] A. Blaszczyk et al., "Virtual High-Voltage lab," *ABB Review*, 2/2021 pp. 52 – 57. [5] IEC, "High-voltage switchgear and controlgear – Part 1: Common specifications for alternating current switchgear and controlgear," IEC 62271-1 ed. 2.0, 2017. [6] IEC, "High-voltage switchgear and controlgear – Part 103: Switches for rated voltages above 1 kV up to and including 52 kV," IEC 62271-103 ed. 1.0, 2011.



# Sensores de corriente de bobina de Rogowski para la detección de arcos

eléctricos

El TVOC-2 Arc Guard System™ de ABB es un dispositivo óptico para la mitigación de arcos eléctricos con uno de los tiempos de reacción más rápidos del mercado. Al incorporar la unidad de sensado de corriente CSU-2 al TVOC-2 se eliminan los disparos molestos derivados de relámpagos no relacionados con la formación de arcos →01.



La mayoría de los accidentes por arco en equipos eléctricos se deben a errores humanos (por ejemplo, mientras el operador trabaja en el equipo), conexiones defectuosas o animales curiosos. Lo más corriente es que el accidente se produzca durante las labores de mantenimiento o instalaciones en la aparamenta mientras la puerta del armario está abierta. Con la puerta abierta, desaparece la primera línea de defensa

del diseño de la aparamenta a prueba de arcos: las puertas resistentes.

Los accidentes son raros pero graves cuando ocurren. Las lesiones pueden ser importantes o incluso mortales y los daños al equipo pueden ser muchos. Reemplazar y reparar el equipo dañado puede suponer largos tiempos de inactividad.

Por lo tanto, está claro que los arcos eléctricos son eventos que deben evitarse a toda costa. Si no pueden evitarse, deben minimizarse sus efectos. Un sistema de protección frente a arcos es, por tanto, una parte necesaria en un moderno diseño de aparamenta.

#### Jemima Widforss Jan-Peter Antin ABB Electrification

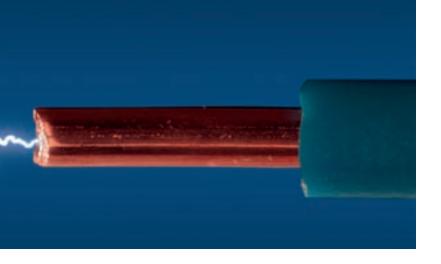
Vasterâs, Suecia

jemima.widforss@ jan-peter.antin@ se.abb.com

## Michal Bures

ABB Electrification Brno, República Checa

michal.bures@ cz abb com



01 La unidad de sensado de corriente CSU-2 de ABB.

02 TVOC-2 Arc Guard System™ de ABB.

Se han llevado a cabo muchas acciones para atenuar los efectos de los relámpagos de arco y ABB ha tenido en el mercado durante varias décadas productos con contramedidas efectivas. El TVOC-2 Arc Guard System™ de ABB —la nueva versión de un conocido sistema de protección contra arcos que ha protegido a personas y equipos eléctricos contra los peligros de los arcos eléctricos durante más de 35 años— es un dispositivo que utiliza sensores ópticos para detectar un arco eléctrico →02. El TVOC-2 interactúa perfectamente con los interruptores automáticos Emax 2 de ABB, por ejemplo, para proporcionar un sistema de protección activa de respuesta rápida que limita los efectos nocivos de la formación interna de arcos.

# **TVOC-2 Arc Guard System**

El TVOC-2 Arc Guard System utiliza sensores ópticos para detectar el flujo de luz asociado al fenómeno del arco eléctrico. Cuando detecta niveles de luz extraordinarios, el TVOC-2 envía una señal de disparo al interruptor. La interrupción de la corriente impide que la red eléctrica

# TVOC-2 Arc Guard System™ de ABB utiliza sensores ópticos para detectar un arco eléctrico.

local siga suministrando energía eléctrica al arco. El tiempo de reacción de la detección es inferior a 1 ms. →03 muestra ubicaciones de ejemplo de los sensores ópticos. El posicionamiento estratégico del sensor eliminará la interferencia entre las zonas de detección. Los sensores están calibrados para tener la misma sensibilidad a la luz y su diseño de lente de ojo de pez les permite observar un amplio ángulo sólido, por lo que la orientación no es crítica.

La inmunidad a las interferencias electromagnéticas (IEM) se obtiene mediante el uso de cables de fibra óptica, que no solo son impermeables a la IEM que ciertamente acompañará a un fallo por arco, sino que también son más rápidos a la hora de transmitir señales; cada microsegundo cuenta durante un evento de arco.

Para evitar falsos disparos debido a flashes de cámaras, actividades de soldadura en los alrededores, luz solar, etc., el dispositivo para la mitigación de arcos puede combinarse con una unidad de sensado de corriente y configurarse para que se active solo cuando se registre también una sobrecorriente. Aquí es donde entra en juego el sensor de Rogowski.

## Sensores de corriente de bobina de Rogowski de ABB

En las últimas décadas, ABB ha desarrollado sensores de corriente de bobina de Rogowski para su uso en equipos eléctricos como las aparamentas. Ahora, esa misma tecnología constituye la base de la nueva unidad de sensado de corriente CSU-2 de ABB para el TVOC-2. La CSU-2 detecta el rápido aumento de la corriente que acompaña a los fallos asociados a los arcos eléctricos. Para eliminar disparos innecesarios, el TVOC-2 solo disparará el interruptor si «ve» un relámpago y, en paralelo, la unidad de sensado de corriente CSU-2 detecta una sobrecorriente.

La bobina de Rogowski se coloca alrededor de los conductores. La corriente que fluye a través de los conductores crea un campo magnético en el bobinado del sensor, induciendo así una tensión en el bobinado. Esta tensión es proporcional a la primera derivada de la corriente primaria y se presenta como una salida en los terminales secundarios. La respuesta del sensor es lineal durante todo el intervalo de medición, hasta las corrientes de cortocircuito, lo que significa que el sensor cubre un rango mucho más amplio que el transformador de corriente utilizado convencionalmente.

El sensor de corriente de bobina de Rogowski tiene varias ventajas frente a los enfoques más tradicionales.



# Beneficios de los sensores de corriente de bobina de Rogowski de ABB

ABB REVIEW

Los sensores basados en principios alternativos, como el sensor de Rogowski, están reemplazando a los instrumentos convencionales en las aparamentas y otras instalaciones eléctricas como parte de una estrategia para reducir significativamente el tamaño de los equipos, aumentar la seguridad, ofrecer una mayor normalización de la clasificación y ofrecer un rango de funcionalidades más amplio.

Su sistema de sujeción variable para las nuevas instalaciones y su solución de núcleo partido con bucle abierto para las remodelaciones hacen que la instalación de la bobina de Rogowski sea rápida, fácil, segura y fiable. El sensor de corriente se conecta a la CSU-2 mediante un conector RJ45. Una luz indicadora verde encima de la CSU-2 indica que la conexión es segura. La unidad de detección de corriente CSU-2 supervisa continuamente la funcionalidad de las bobinas de Rogowski para garantizar la detección rápida y fiable de sobrecorrientes.

Puede utilizarse un sensor de corriente para intensidades nominales de 100 A a 4 kA y seguir midiendo intensidades pico de más de 150 kA sin saturarse. Este amplio rango de mediciones permite utilizar el mismo sensor de corriente en aplicaciones con cargas muy diferentes, como los alimentadores de entrada y salida. Este aspecto del sensor tiene más ventajas: los constructores de paneles pueden trabajar con un inventario más pequeño, al mejorarse la intercambiabilidad de piezas. Además, pueden utilizarse los mismos sensores en caso de que una subestación se actualice para intensidades primarias más altas.

Los sensores de bobina de Rogowski no solo suponen un ahorro de espacio considerable en comparación con los transformadores de corriente estándar, sino que también ofrecen una mayor facilidad de manejo y almacenamiento gracias a su peso ligero. Además, la ausencia de un núcleo ferromagnético elimina las pérdidas de potencia experimentadas por las soluciones convencionales y, por lo tanto, los sensores

Un sensor de corriente cubre de 100 A a 4 kA y sigue midiendo intensidades pico de más de 150 kA sin saturarse.

presentan un consumo de energía extremadamente bajo. El menor consumo de energía mejora las credenciales tanto económicas como medioambientales de la solución. Los núcleos de aire no se saturan, un problema importante de los transformadores de corriente con núcleos ferromagnéticos  $\rightarrow 04-05$ .

La CSU-2 utiliza sensores de corriente de bobina de Rogowski específicos y calibrados en fábrica para asegurar el disparo rápido y seguro en caso de alta o baja corriente.

# Protegemos el futuro de las instalaciones eléctricas

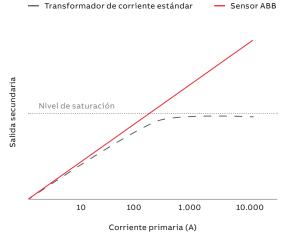
Los sistemas de protección de arco se están convirtiendo en un elemento esencial del diseño de armarios eléctricos. Debido a que estos sistemas reducen los costes de reparación y el



02|2021 SENSORES DE ROGOWSKI 81









03 Los sensores ópticos se colocan estratégicamente para lograr la máxima cobertura.

04 La linealidad de los sensores significa que no hay saturación ni distorsión de la señal secundaria.

05 Elementos sensores de bobina de Rogowski. La bobina de detección rodea al conductor.

05a Versión de media tensión con una bobina practicable.

05b Versión de media tensión con una bobina fija.

05c Versión de baja tensión con una bobina de pequeño diámetro.

05d Versión de baja tensión con una bobina de gran diámetro. tiempo de inactividad, algunas compañías de seguros fomentan su uso reduciendo el coste de cobertura de los emplazamientos que los tienen instalados. Asimismo, la protección contra eventos de arco también está empezando a contemplarse en la legislación. Por ejemplo, la Directiva de baja tensión de la Unión Europea señala, por ejemplo, que hay que tomar medidas para impedir daños debidos a un calor excesivo causado por las descargas de arcos.

La combinación del TVOC-2 Arc Guard System™ y la unidad de detección de corriente CSU-2 garantiza que la instalación eléctrica aborde correctamente todos los aspectos relacionados con los arcos eléctricos. Este dúo garantiza el funcionamiento, la seguridad y la protección continuos. El sensor de corriente de Rogowski es fácil de instalar o remodelar y ofrece mediciones de la corriente con una vida útil más larga y menos requisitos de mantenimiento.



La combinación constituye uno de los productos más eficaces y fiables para mitigar la formación de arcos.

Con un diseño basado en las décadas de experiencia de ABB en el campo de la mitigación de arcos, el TVOC-2 y la CSU-2 garantizan la seguridad del personal incluso con la puerta del armario abierta, ofreciendo una protección integral y completa contra la formación de arcos. La combinación constituye uno de los productos más eficaces y fiables para mitigar la formación de arcos. •









DESMITIFICACIÓN DE TÉRMINOS TÉCNICOS

# Materiales inteligentes

¿Pueden los materiales ser inteligentes? ¿Pueden recordar cosas? La respuesta es «sí».



Sebastian Breisch
ABB Process Automation,
Corporate Research
Ladenburg,
Alemania

sebastian.breisch@de.abb.com

El término «inteligente» probablemente responde al hecho de que estos materiales no son en absoluto rígidos y sólidos, como los materiales convencionales, sino que pueden adaptarse y cambiar de forma en función de estímulos externos como la temperatura o el campo magnético. Algunos incluso tienen «memoria» para recordar una forma previamente entrenada. En la práctica, pueden utilizarse para el accionamiento, el sensado y la recolección de energía sin modificarlos en modo alguno.

Los materiales inteligentes ofrecen una amplia gama de funcionalidades en muchas aplicaciones.

Existen cuatro clases de materiales inteligentes que están próximas a tener una aplicación industrial o que ya la tienen:

- Materiales piezoeléctricos
- Aleaciones con memoria de forma térmica (SMA)
- Aleaciones con memoria de forma magnética (MSMA)
- Elastómeros dieléctricos (ED)

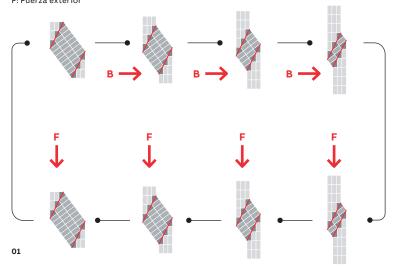
De todos ellos, los materiales piezoeléctricos son los más maduros. Ya se utilizan en aplicaciones industriales, especialmente en la industria de la automoción, lo que podría ser una de las razones de su ubicuidad. Una aplicación típica sería

un inyector para motores common rail. Como sensores, se utilizan, por ejemplo, en sensores de fuerza y captadores dinamométricos.

Las SMA también son una tecnología madura. Las aplicaciones más destacadas de esta clase de materiales se encuentran en la medicina (por ejemplo, los stents). La SMA más conocida es un clip de aleación de níquel y titanio capaz de deformarse drásticamente y de recuperar su forma inicial cuando se calienta con una vela o se sumerge en agua caliente. Este comportamiento es resultado de las dos estructuras de cristal diferentes del material, ambas dependientes de la temperatura. A temperatura ambiente, el material se encuentra en su estructura de cristal «fría». La estructura de cristal «caliente» de las SMA debe entrenarse mediante miles de variaciones cíclicas de la temperatura. Cuando, más adelante, se deforme mecánicamente y a continuación se caliente por encima de la temperatura de transición a la que el cristal reorienta su estructura interna, el material «recordará» su forma entrenada y volverá a ella. La temperatura de transición para los materiales estándar es de aproximadamente 60 °C.

Para los actuadores industriales de SMA, un diseño estándar es un cable sencillo que puede estirarse y luego retraerse calentándolo (haciendo pasar una corriente, por ejemplo). Este cambio estructural puede ejercer fuerzas elevadas si se utiliza una sección transversal grande.

#### B: Campo magnético exterior F: Fuerza exterior



01 La aplicación de un campo magnético externo (B) permite una deflexión proporcional de la estructura cristalina plegada. En aplicaciones estándar, el restablecimiento del tamaño original se realiza mediante una fuerza externa (F).

Al igual que las SMA, las MSMA reaccionan no solo a la temperatura, sino también a los campos magnéticos. La fabricación de MSMA es difícil porque el proceso requerido de fundir un lingote monocristalino constituye un proceso complejo. Dentro de este lingote, durante la solidificación, evolucionará una estructura de cristal magnético polarizada y plegada. Los elementos de MSMA («bastones») se cortan del lingote en una orientación beneficiosa. La estructura de cristal plegada y polarizada magnéticamente dentro de estos bastones permite su deformación cuando se aplica un campo magnético externo →01.

La combinación de efectos térmicos y magnéticos hace que las MSMA sean ideales para aplicaciones en las que se requiere una respuesta térmica y magnética, p. ej., en un interruptor automático en miniatura de uso doméstico (MCB).

Los ED constituyen la última clase de materiales inteligentes mencionada anteriormente. Los materiales ED gomosos suelen colocarse entre dos placas de electrodos de polaridad opuesta, como en un condensador estándar. La tensión aplicada hace que las placas se atraigan entre sí, aplastando el elastómero. Esta deformación básica permite una amplia versatilidad en el diseño de actuadores. En el modo de detección, cualquier desplazamiento del ED (configurado como membrana, por ejemplo) cambia la capacitancia, lo que permite una medición precisa de la deformación. Los primeros productos industriales que utilizan este principio se lanzarán pronto.

Los materiales inteligentes ofrecen una amplia gama —de sensores y actuadores— entre rango y funcionalidad, y todo ello con un diseño muy sencillo y un baja cantidad de piezas en comparación con soluciones alternativas. Inteligente, efectivamente. •

#### SUSCRIPCIÓN

#### Cómo suscribirse

Si desea suscribirse, póngase en contacto con el representante de ABB más cercano o suscríbase en línea en www.abb.com/ abbreview

ABB Review se publica cuatro veces al año en inglés, francés, alemán, español y chino. 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

# Theodor Swedjemark

Head of Corporate Communications

# Adrienne Williams Senior Sustainability

Advisor

# Reiner Schoenrock

Technology and Innovation

#### Bernhard Eschermann

Chief Technology Officer, ABB Process Automation

# Amina Hamidi

Chief Technology Officer, ABB Electrification

# Andreas Moglestue

Chief Editor, ABB Review andreas.moglestue@ch.abb.com

## Editor

ABB Review es una publicación del ABB Group.

ABB Ltd.
ABB Review
Affolternstrasse 44
Ch-8050 Zürich
Suiza
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 ©2021 ABB Ltd. Zúrich, Suiza

## Impresor

Vorarlberger Verlagsanstalt GmbH 6850 Dornbirn, Austria

#### Diseño

Publik. Agentur für Kommunikation GmbH Ludwigshafen/Alemania

#### Ilustraciones

Konica Minolta Marketing Services London, Reino Unido

# 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





# Próximo número 03/2021 Activos y conectividad

Igual que cuidamos nuestra salud física para poder rendir al máximo, las empresas debe proteger y cuidar sus activos para asegurar su productividad. En el próximo número de ABB Review hablaremos sobre la salud de los activos y cómo los clientes saben que pueden confiar en el estado de los equipos de ABB.