# review

04|2018 es

## Colaboración autónoma

**06** – 33 **Colaboración autónoma**
**34** – 41 **Alianzas**
**42** – 61 **Inspección y medición**
**62** – 75 **Energía**

44

Servicios de inspección de cintas transportadoras

20

Soluciones integradas para edificios

Valores de cortocircuito para interruptores

70

El gemelo digital en Industria 4.0

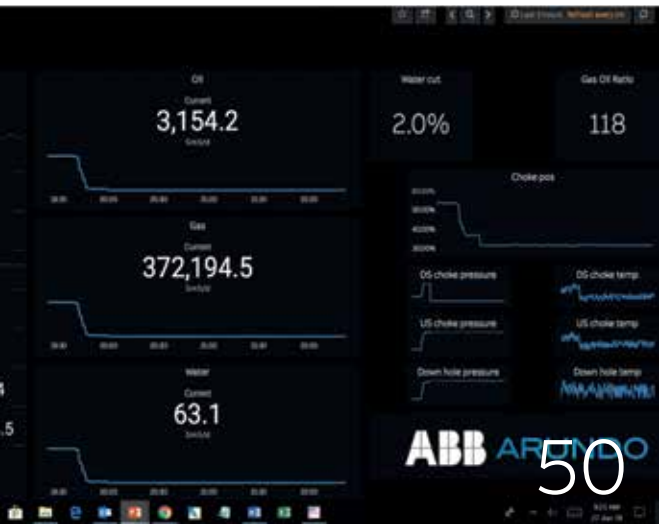
27

Oportunidades para los sensores eléctricos

54

Colaboración con la Universidad

Individualización de la producción




Caudalímetro multifásico basado en la nube

05 Editorial

## Colaboración autónoma

08 Sistemas autónomos
12 Individualización de la producción
20 Soluciones integradas para edificios
27 El gemelo digital en Industria 4.0

## Alianzas

36 Colaboración con la universidad

## Inspección y medición

44 Servicios de inspección de cintas transportadoras
50 Caudalímetro multifásico basado en la nube
54 Oportunidades para los sensores eléctricos

## Potencia

64 Conversión de líneas de transporte de CA a HVDC
70 Valores de cortocircuito para interruptores

## Desmitificación de términos técnicos

76 Minería de textos

77 Consejo editorial

78 Índice 2018

—

Un reloj mecánico funciona sin supervisión durante mucho tiempo, pero no se adapta a distintas temperaturas, ni responde a cambios geográficos, ni tampoco posee la inteligencia necesaria para recalibrarse a nuevos criterios matemáticos de segundos, minutos u horas. Los sistemas verdaderamente autónomos se programan para incluir la variabilidad, y en este número de ABB Review exploraremos el modo en que estos sistemas trabajan, evolucionan y producen resultados.

Como siempre, estaremos encantados de recibir sus comentarios en abb.com/abbreview

EDITORIAL

# Colaboración autónoma

Estimado/a lector/a:

La inteligencia se ha definido como la capacidad de adaptarse al cambio. Un ordenador avanzado para jugar al ajedrez anticipa muchos movimientos y supera en esto a cualquier jugador, pero no sabría adaptarse a un cambio de las reglas o los objetivos del juego.

La transición hacia la autonomía de los sistemas en la fabricación y los servicios públicos no es un simple paso en términos de la complejidad de las tareas que han de resolverse o de la potencia informática bruta necesaria para resolverlas: de lo que se trata es de crear sistemas capaces de adaptarse a situaciones cambiantes e incluso de aprender de ellas. El aumento gradual de la autonomía de los sistemas de automatización ampliará enormemente sus capacidades.

Confío en que este número de ABB Review le ayude a ver el potencial y las posibilidades que nos esperan.

Que disfrute de la lectura.

Bazmi Husain
Director de Tecnología

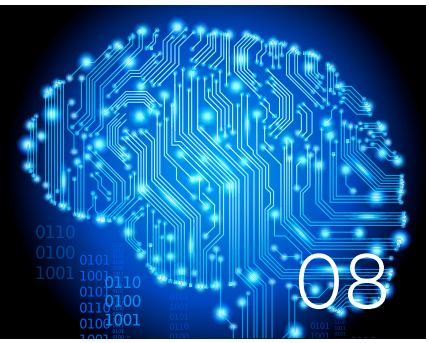
# Colaborac autónoma

# ción

# a

¿Un sistema de fabricación que se autoconfigura según el diseño de productos individuales? ¿Funciones diseñadas para conseguir un modelo de información unificado sobre para qué (y cómo) se hacen las cosas dentro de un edificio? La colaboración autónoma promete un inmenso cambio en los procesos, y ABB es pionera en este campo.


08 Sistemas autónomos
12 Individualización de la producción
20 Un entorno integrado de soluciones de automatización de edificios
27 Gemelo digital, un componente de software clave para Industria 4.0



COLABORACIÓN AUTÓNOMA

# Sistemas autónomos

La expresión “sistemas autónomos” se utiliza con frecuencia (y a menudo indebidamente) para describir sistemas que, sin intervención manual, pueden cambiar su comportamiento en respuesta a hechos imprevistos [1]. Propondremos aquí una definición más completa. Es un trabajo en curso que se publica aquí como opinión sobre los sistemas de automatización industrial.

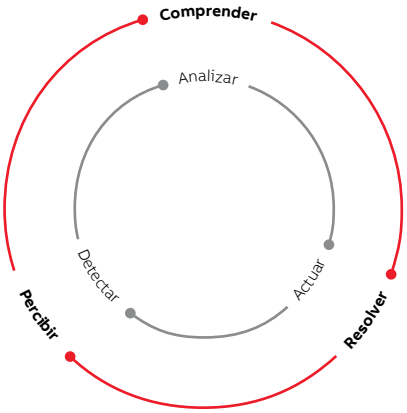
**Thomas Gamer**
ABB Corporate Research,
Ladenburg, Alemania

thomas.gamer@de.abb.com

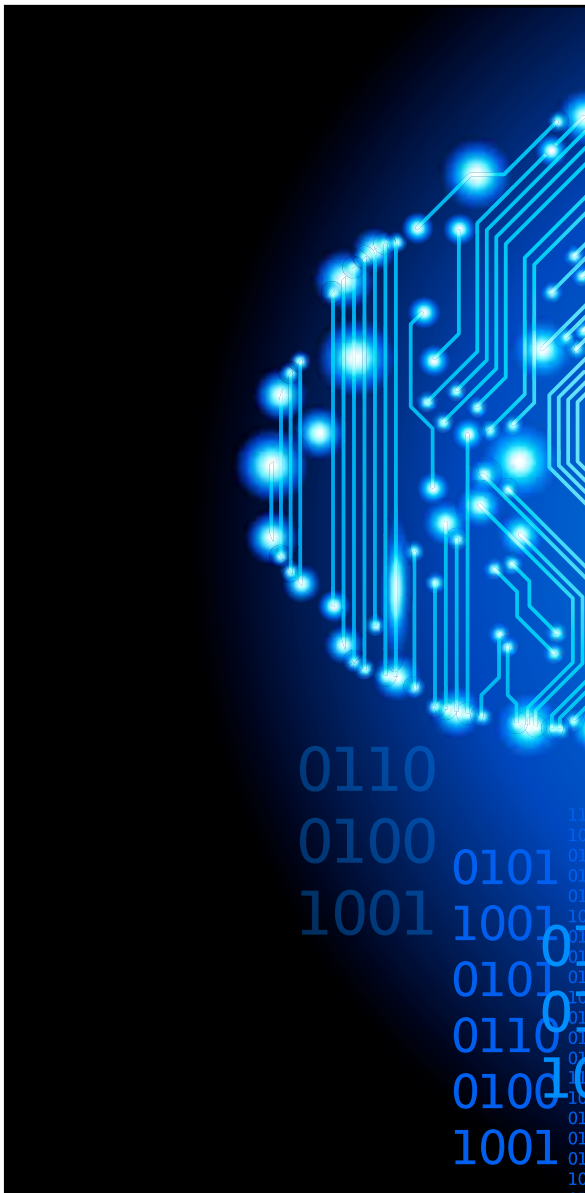
**Alf Isaksson**
ABB Corporate Research,
Västerås, Suecia

alf.isaksson@se.abb.com

Un sistema que reacciona en tiempo real ante entradas cambiantes no tiene nada de nuevo. Los coches, por ejemplo, ya cuentan con una considerable cantidad de automatización de bajo nivel, como el control electrónico de estabilidad (ESC) o el frenado antibloqueo (ABS). Aunque los algoritmos pueden actuar sobre infinidad de entradas y alcanzar una complejidad considerable, los datos de entrada están muy estructurados y la gama de posibles acciones es limitada. Por el contrario, un coche autónomo debe ocuparse de variables menos estructuradas que exigen mayor variedad de reacciones. El algoritmo debe reaccionar al encuentro con todo tipo de vehículos, así como ante peatones, geometrías de carretera, condiciones meteorológicas, comportamiento errático de otros y objetos y sucesos aleatorios que los programadores quizá no hayan previsto.




01



—
01 Bucles de control clásico (gris) y de sistemas autónomos (rojo).

Los sistemas convencionales de automatización permiten que los procesos de bajo nivel funcionen sin intervención humana en condiciones normales. Las tareas más complejas siguen precisando la decisión humana. Aumentar la autonomía de los sistemas de automatización consiste en pasar cada vez más tareas de este tipo al sistema.

—

La IA es un medio tecnológico para lograr un nivel concreto de autonomía. La autonomía es el objetivo que la IA puede ayudar a alcanzar.

**Crear un sistema autónomo**

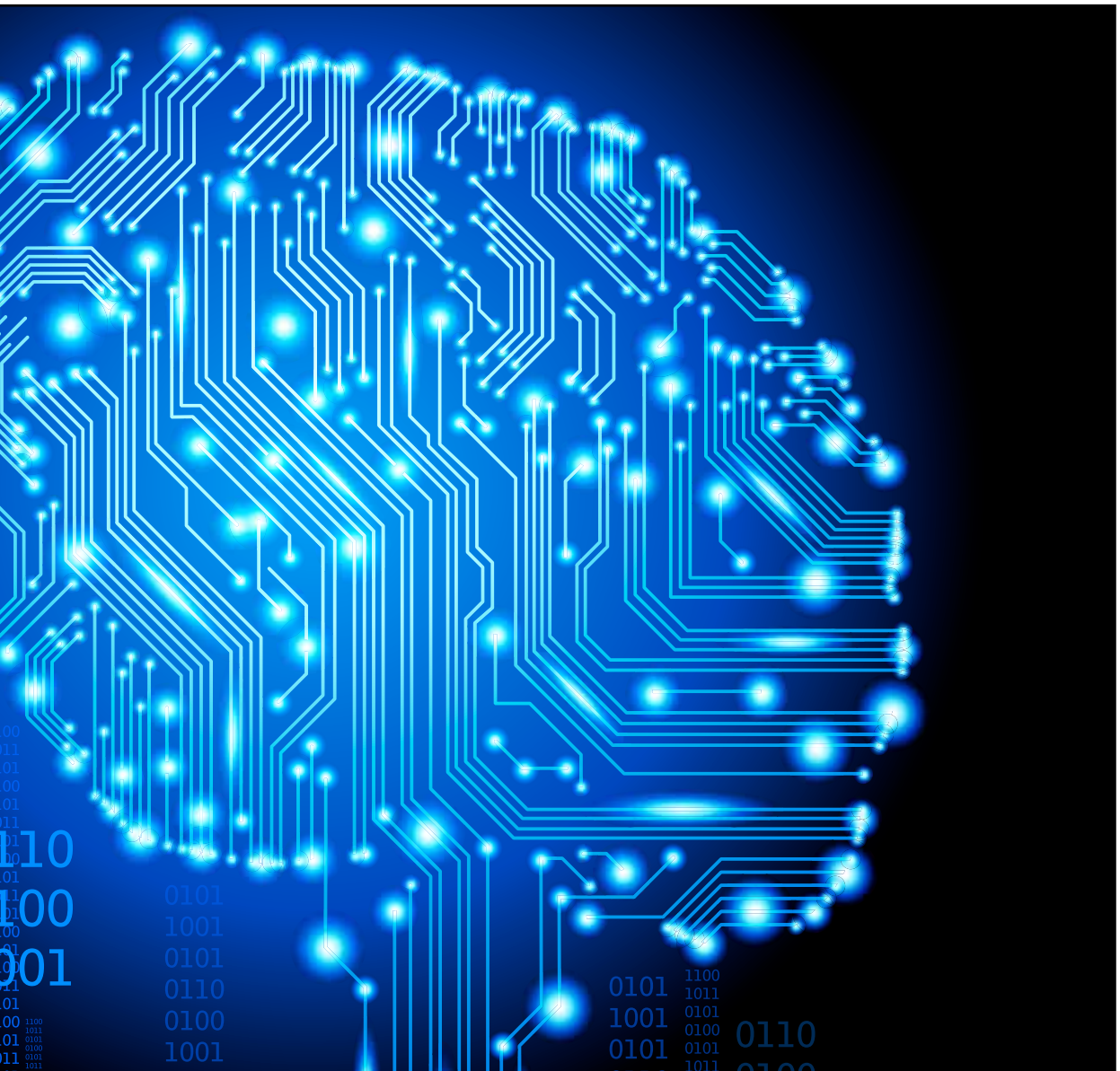
Muchas de las entradas necesarias para aumentar la autonomía ya están disponibles digitalmente. Incluyen el sensor y los datos de proceso de la automatización clásica, pero también las entradas de fuentes como cámaras de vigilancia o datos meteorológicos y de mercado.

La inteligencia artificial (IA) es una tecnología valiosa para el tratamiento de estos datos. Hay cierta tendencia a confundir IA con un sistema autónomo. La IA es un medio tecnológico para lograr un nivel concreto de autonomía. La autonomía es el objetivo que la IA puede ayudar a alcanzar.

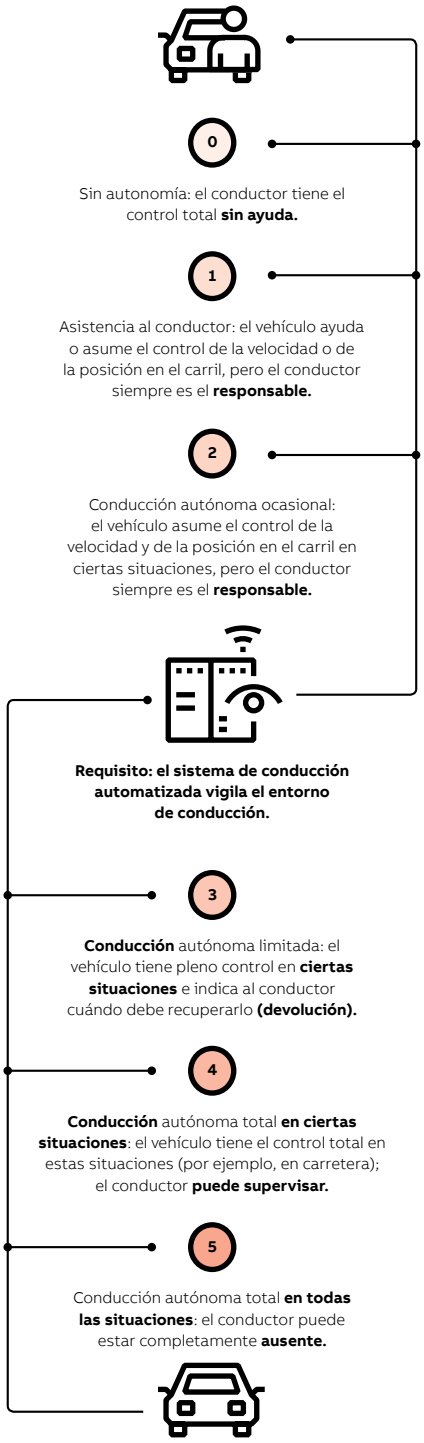
—

Muchas de las entradas necesarias para el funcionamiento autónomo ya están disponibles digitalmente.

Un sistema de automatización ejecuta instrucciones definidas con precisión dentro de un margen operativo limitado. Un bucle de control clásico puede dividirse en las fases de detección, análisis y acción. Por ejemplo, si un motor gira demasiado deprisa (detección), el controlador decide bajar la velocidad (análisis) y reduce la corriente que lo alimenta (acción). El bucle de realimentación de un sistema autónomo añade otra capa aplicando el mismo principio pero a un nivel más complejo, y afronta también lo desconocido o imprevisto.



02




| | |
|---|---|
| 0 | Sin autonomía, el operador humano es responsable del control sin asistencia. |
| 1 | Asistencia o control de tareas secundarias: el humano siempre es responsable y define los puntos de consigna. |
| 2 | Autonomía ocasional en determinadas situaciones: el humano siempre es responsable y define la intención. |
| Requisito: El sistema de automatización vigila el entorno. | |
| 3 | Autonomía limitada en determinadas situaciones: el sistema avisa. El humano confirma la solución propuesta o toma el control. |
| 4 | Control total del sistema en determinadas situaciones: el humano puede supervisar. |
| 5 | Actuación autónoma en todas las situaciones: el humano puede estar completamente ausente. |

03

Un vehículo autónomo identifica un obstáculo (percepción), reconoce que la situación podría volverse peligrosa (comprensión) y adopta medidas correctivas modificando la velocidad y la trayectoria del vehículo (resolución) →1.

**Niveles de autonomía**

Para definir objetivos en la transición a sistemas autónomos es importante establecer una taxonomía de manera que proveedores y clientes puedan definir dónde están y dónde quieren estar a corto, medio y largo plazo. Este artículo propone una taxonomía de la autonomía de seis niveles inspirada en las definiciones del sector de la automoción →2-3. Se basa esencialmente en dos dimensiones: alcance de la tarea automatizada y función del ser humano. La taxonomía empieza sin autonomía (nivel 0; se admite una automatización generalizada de bajo nivel) y avanza hasta el funcionamiento plenamente autónomo (nivel 5), en el que sistema decide y actúa.

—

La inteligencia artificial (IA) es un medio tecnológico para lograr un nivel concreto de autonomía.

En el nivel 1 el sistema presta asistencia operativa mediante el apoyo a la decisión o la asistencia remota. Son ejemplos el software de localización de vehículos subterráneos de minería o de buques mediante sensores adicionales como LIDAR y radar →4.

El nivel 2 bordea la autonomía ocasional en situaciones determinadas. Aquí, el sistema de automatización toma el control en situaciones determinadas cuando y como lo solicita un operador humano y durante períodos limitados. El operador está muy presente, vigila el estado de funcionamiento y especifica los objetivos para situaciones de control limitado. Un ejemplo es un piloto automático para buques que, a petición, asume el control de la velocidad y el rumbo en una ruta predefinida, pero con un capitán activo y plenamente responsable.

—
02 Niveles de autonomía ilustrados con el ejemplo de la conducción automática.

—
03 Definición de niveles de autonomía del sistema.

—
04 ABB Ability™ Marine Pilot Vision.

—
05 Robot cargador para minería subterránea (Imagen del proyecto SIMS de la UE).

—
**Referencia**
[1] David P. Watson, David H. Scheidt: Autonomous Systems, Johns Hopkins Applied Physics Laboratory, Technical Digest, vol. 26, no 4, 2005.

En el nivel 3, los sistemas automatizados asumen el control en ciertas situaciones. Esto también puede denominarse “autonomía limitada”. El operario humano “firma” para aceptar las soluciones propuestas o recupera el control. El requisito es la supervisión completa y automatizada del entorno. Un ejemplo sería la perforación autónoma seguida de la carga autónoma de explosivos en una mina subterránea →5. En esta configuración, el operador (remoto) puede recibir alertas en situaciones excepcionales y recuperar el control o confirmar una estrategia de resolución sugerida.

Este artículo propone una taxonomía de la autonomía de seis niveles.

En el nivel 4, el sistema asume el control pleno en ciertas situaciones y aprende de sus acciones pasadas para predecir y resolver mejor los problemas por sí mismo. Un ejemplo es el atraque autónomo de un buque, mientras el capitán actúa a lo sumo como supervisor.

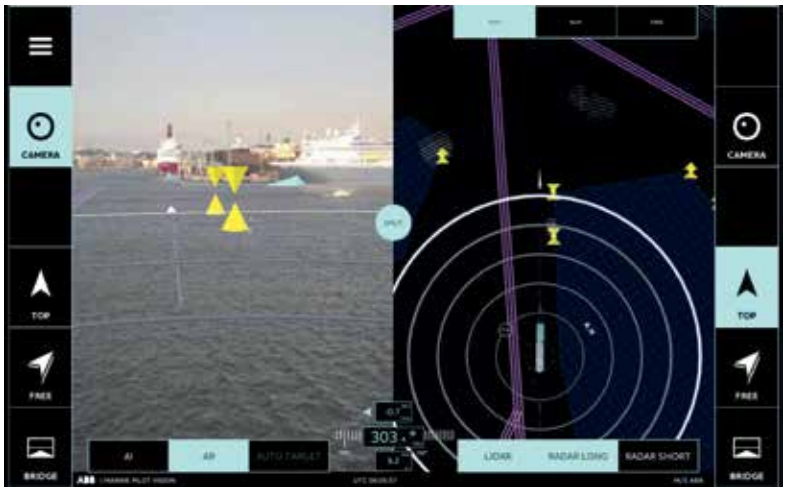
En lo alto de esta taxonomía está el nivel 5. El funcionamiento es siempre completamente autónomo. La interacción con el usuario es innecesaria y no hace falta ningún operador humano. Por el momento, esto es solo una aspiración, pero, por ejemplo, un vehículo minero eléctrico que cargase el mineral de forma totalmente autónoma tendría importantes ventajas de seguridad y productividad.

Hay un salto importante entre los niveles 0, 1 y 2 por un lado, y los 3, 4 y 5, por otro. En el primer grupo hay cierta autonomía, pero de alcance limitado, y el operador humano mantiene siempre el control activo. La situación cambia en los tres niveles superiores, porque el operador humano desempeña como máximo un papel pasivo.

Todavía no se ha prestado suficiente atención a la responsabilidad legal en caso de problemas con un sistema autónomo. El caso sería parecido al de un accidente en el que intervienen coches autónomos. La responsabilidad jurídica y la aceptación pública están aún por determinar.

La autonomía atrae inicialmente la atención en aplicaciones similares a la conducción autónoma. En ABB, esto significa barcos, robots móviles, grúas de puerto y vehículos y maquinaria de minería. ABB espera que la autonomía entre también en otros dominios tradicionales de ABB, como industrias de procesos, redes eléctricas y edificios. Se sigue trabajando en la definición de niveles de autonomía detallados para todas las aplicaciones anteriores sobre la base de la taxonomía presentada. Además de ser una herramienta taxonómica, estos niveles detallados pueden ayudar a las empresas a determinar en qué nivel están, en cuál quieren estar y dónde están los problemas de la transición. El nivel deseado estará influenciado por la aceptabilidad individual de las soluciones, incluidos aspectos de riesgo, beneficios y responsabilidad, y por la madurez de la tecnología pertinente. ●

Todavía no se ha prestado suficiente atención a la responsabilidad legal en caso de problemas con un sistema autónomo.



04

05

COLABORACIÓN AUTÓNOMA

# Individualización de la producción

Lejos de la personalización masiva, «lot size one» es la última tendencia de fabricación discrecional. Pero para que estos sistemas de producción sean rentables, deben autoconfigurarse y adaptarse a cualquier diseño de producto individual, sin intervención humana, y el producto individual debe tener una calidad perfecta. ¿Cómo se consigue esto?

**Dirk Schulz**
ABB Corporate Research
Ladenburg, Alemania

dirk.schulz@de.abb.com

**Lars Simora**
Busch-Jaeger Elektro
Lüdenscheid, Alemania

lars.simora@de.abb.com

La personalización masiva se sitúa a la vanguardia de la fabricación discrecional, ya sea en el sector de la automoción o de los productos básicos. Uno de los motores de Industria 4.0 (la tendencia actual de la automatización y el intercambio de datos en tecnologías de fabricación) es la fabricación rentable de bienes de consumo altamente personalizados en lotes pequeños, literalmente de un solo ejemplar («lot size one»).

Un buen ejemplo de producto ideal para la era «lot size one» es el elemento de control KNX ABB-tacteo® para edificios inteligentes, que permite al consumidor diseñar la funcionalidad y la estética de cada producto individual [1]. La fabricación de algo tan individual plantea dos problemas: para ser rentable, el sistema de producción debe autoconfigurarse para cualquier diseño individual sin necesidad de intervención humana; y, como prácticamente no se producen repuestos, la calidad de cada producto individual debe ser perfecta.

Pero al diseñar la línea de producción, se hizo patente que los conceptos de integración establecidos no iban a proporcionar ni la flexibilidad ni el control de calidad necesarios. La consecución de estos objetivos se materializó utilizando conceptos de Industria 4.0, como el gemelo digital [2] y los protocolos M2M (máquina a máquina) como OPC UA[1] →1. Los diseñadores de maquinaria de ABB se aliaron con el integrador de sistemas Neogramm GmbH para aplicar con éxito estas ideas.

**Fabricado previo pedido: KNX ABB-tacteo, el producto perfectamente individualizado**

El sensor KNX ABB-tacteo es un elemento de control capacitivo para la automatización inteligente de edificios como hoteles de lujo, oficinas y edificios públicos y residenciales →2.

La personalización masiva está a la vanguardia de la fabricación discrecional.

El sensor KNX ABB-tacteo de cristal cumple todas las exigencias del diseño moderno, los niveles más altos de calidad y, sobre todo, de comodidad para los residentes. Con KNX ABB-tacteo todo resulta fácil de controlar, desde las persianas, el alumbrado y la calefacción hasta la reproducción de medios y el acceso a las habitaciones.

01

—
01 Parte de la línea de producción del elemento de control KNX ABB-tacteo KNX para edificios inteligentes. Los conceptos tradicionales de línea de producción no se adaptan a lotes pequeños. Pero los conceptos de Industria 4.0, como los gemelos digitales y los protocolos M2M, ofrecen flexibilidad completa con cualquier tamaño de lote.

—
**Nota al pie**
1) La Arquitectura Unificada de OPC (OPC UA) es un protocolo de comunicación para la automatización industrial desarrollado por la Fundación OPC. Se diferencia de otros protocolos de comunicación M2M por la versatilidad de los patrones de comunicación (desde los basados en encuestas hasta los basados en eventos, desde sesiones punto a punto hasta publicación/suscripción) y la medida en que se pueden describir la estructura y la semántica de los datos.

El número de funciones que proporciona el elemento de control es variable y viene determinado por las necesidades y los deseos del cliente. Configurado individualmente al gusto del cliente con un configurador online fácil de utilizar, cada sensor es único en diseño y función.

Esto significa que el consumidor tiene control directo del diseño del producto final, al tiempo que se mantienen las ventajas de la red de valor tradicional →3, en la que los mayoristas se ocupan de la distribución e instaladores expertos integran los productos de automatización de edificios atendiendo a las necesidades de los clientes.

Un elemento de control está hecho de cristal de alta calidad con los iconos diseñados sobre un recubrimiento de fondo opaco, tras el cual se encuentra la electrónica del sensor KNX. Las fases de fabricación son las siguientes →4: Después de colocar los paneles sobre una bandeja, un láser de infrarrojo cercano (NIR) elimina el recubrimiento según la forma de los iconos diseñados. A continuación, una impresora digital vuelve a cubrir las zonas transparentes para proporcionarles el nivel de transparencia necesario para cada icono. Una vez seca la tinta, se monta la electrónica y el producto terminado se prueba antes de enviarlo al mayorista. Todas las características físicas, electromecánicas y de software del producto se individualizan según el diseño del cliente.

—
El consumidor tiene control directo del diseño de su producto, y se mantienen los puntos fuertes de la red de valor tradicional.

**Calidad perfecta en cada fase**
El contexto de Industria 4.0 admite numerosas innovaciones, como las máquinas autónomas que negocian entre sí el calendario de producción, o los productos inteligentes que se conducen de forma autónoma a lo largo del proceso de producción. El primer problema es decidir qué conceptos son útiles para un entorno de producción en particular.

02

Teniendo en cuenta la libertad de diseño con la que cuenta el consumidor, cada elemento de control es un producto potencialmente único. La calidad se convierte en una prioridad máxima, ya que

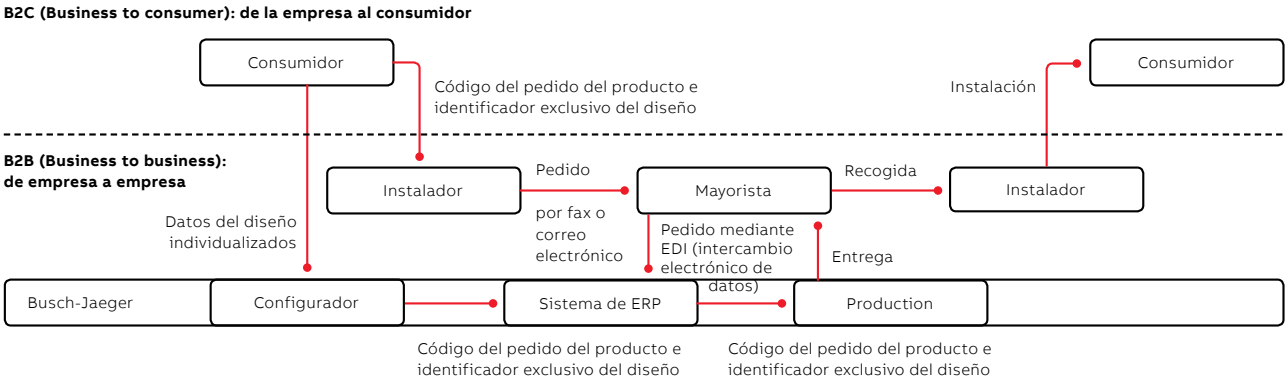
> En la producción individualizada, es vital detectar los fallos del producto lo antes posible y, preferiblemente, evitarlos por completo.

cualquier problema de calidad obliga a fabricar de nuevo todo el elemento, lo que retrasa el pedido del cliente.

Hoy en día, la falta de digitalización es determinante para los problemas de calidad: el material se obtiene y se transporta de forma manual, atendiendo a los datos del pedido que figuran en un papel. A menudo se producen errores difíciles de detectar. Aunque los datos de diseño están disponibles en formato digital, se transmiten a las máquinas de forma manual en medios extraíbles Los datos importantes para la calidad, como los valores de calibración de las máquinas, no se guardan y no se pueden auditar si la inspección de calidad del producto terminado revela algún defecto.

En la producción individualizada, es vital detectar los fallos del producto lo antes posible y, preferiblemente, evitarlos por completo. La producción individualizada no solo debe ser muy adaptable, sino también resiliente, y tanto los operadores humanos como las máquinas deben colaborar para cerrar el ciclo de la calidad.

**Digitalización completa con gemelos digitales**
La producción individualizada se apoya en dos puntales clave: la transformación de materiales adaptables dentro de las máquinas y la interoperabilidad digital entre ellas. Aunque ya hay tecnologías de materiales como los láseres NIR o las impresoras digitales, las máquinas aún han de aprender a trabajar juntas de forma natural para conseguir la eficiencia y la calidad necesarias.




03

—
02 Sensor KNX ABB-tacteo.

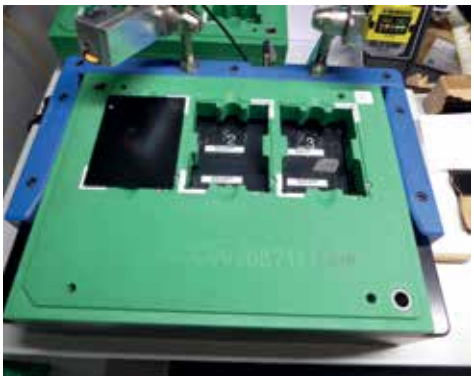
—
03 Red de valor integrada, unida por un identificador de producto y de pedido únicos.

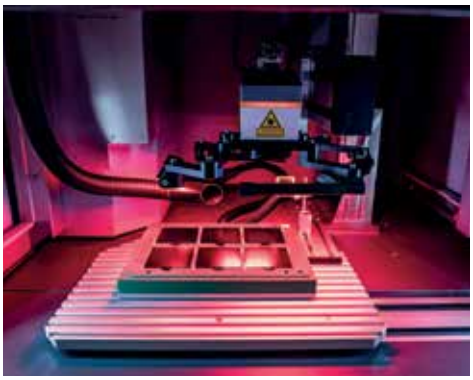
—
04 Fases de producción del sensor KNX ABB-tacteo.
04a Paneles de cristal en la bandeja.
04b Procesamiento con láser.
04c Bandejas en la rejilla de secado.
04d Montaje manual de la electrónica.
04e Montaje de la electrónica en el panel.
04f Cristal con la electrónica montada.

En la actualidad, las máquinas se conectan por cable o con software PLC. Aunque esta disposición ofrece una integración estrecha, supone un esfuerzo considerable y no ofrece mucha flexibilidad para nuevas variantes de productos, excepto las diseñadas al efecto desde el principio. Para conseguir una producción verdaderamente adaptable, la integración de las máquinas debe basarse en una conexión mucho más abierta, de manera que toda la línea pueda reconfigurarse de manera flexible con un esfuerzo mínimo. Esto se consigue con gemelos digitales [2] que representen las habilidades específicas de cada máquina en un formato común en la red, con independencia de cualquier conexión cableada o programada. Para evitar cambios de medios, el diseño del producto junto con los datos de calidad y pedidos se representan de la misma manera. Así, organizando los gemelos digitales de la máquina según el diseño del producto, cualquier reconfiguración del software se traslada sin cambios a las fases de producción en el mundo físico y la información sobre calidad se refleja en el dominio del software.

—

Toda reconfiguración del software se traslada sin cambios a las fases de producción en el mundo físico y la información sobre calidad se refleja en el dominio del software.

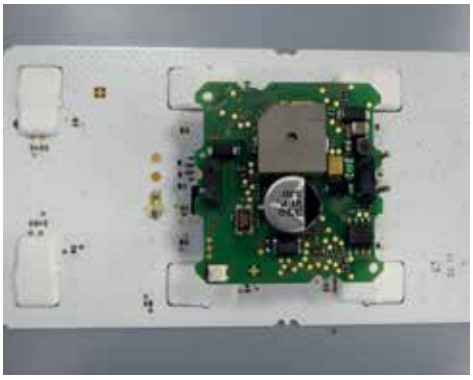

04a


04b

04c

04d

04e


04f

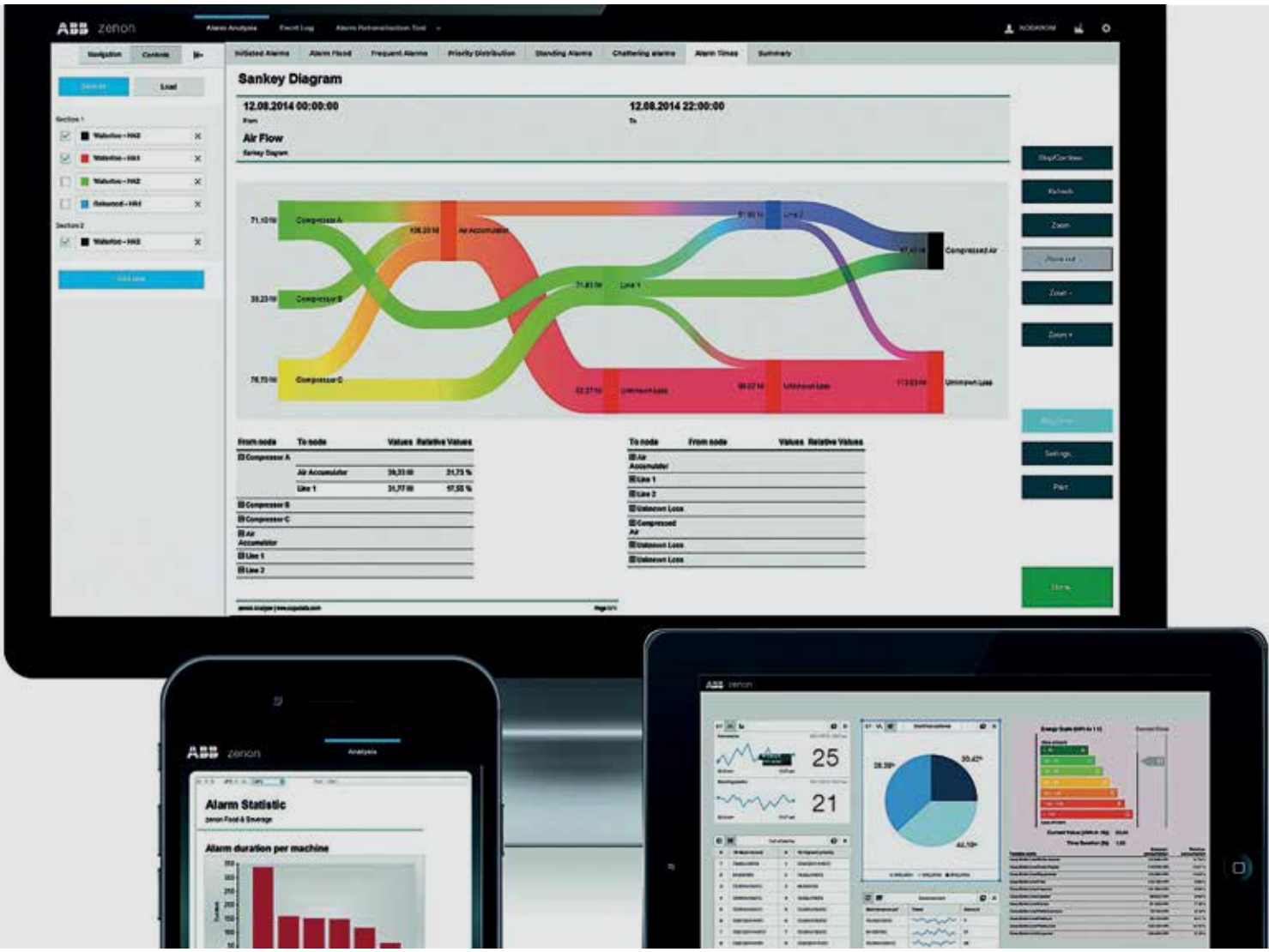
Usando el concepto de «gemelo digital», el elemento de control KNX ABB-tacteo pasa por cada estación de producción como sigue: cuando llega, el cristal se escanea y su identidad se utiliza para obtener la aprobación, los datos de diseño y los parámetros de proceso para la siguiente fase de producción.

Para crear estos gemelos digitales, lo mejor es crear primero un modelo de información de OPC UA descendente desde la perspectiva de las fases de producción.

Para ello, la máquina contacta con el servicio de planificación del sistema ABB Ability™ Operations Data Management zenon →5, que replica automáticamente la receta del producto a partir del sistema de ERP y almacena el historial de producción del cristal individual.

Una vez procesado el cristal, se informa al servicio de planificación junto con los datos de seguimiento de la calidad. El cristal pasa a la siguiente estación siguiendo las indicaciones de gestión de operaciones y como se muestra en la HMI (interfaz hombre-máquina) para dirigir al trabajador. Para los pasos normales de trabajo, los operadores de la estación interactúan con la máquina utilizando un panel de automatización 900 ABB B&R[2] estándar →5. Las fases manuales, como el transporte de materiales, se guían y se supervisan de forma electrónica.

Por ejemplo, si un cristal se introduce en la impresora antes de haber pasado por el láser, se rechaza y se ordena al operador humano que lo lleve a la estación de láser. Si los cristales se llevan del láser a una impresora en desorden, la impresora recibirá los datos raster correctos que coinciden con los iconos trazados por el láser en el cristal. Antes de salir de la impresora, se recogen los datos de calibración del cristal concreto. Lo mismo ocurre al calibrar el brillo del icono en el propio producto durante las pruebas




05a

—
05 Productos y soluciones de ABB utilizados para la línea de producción ABB-tacteo Industria 4.0.

—
**Nota al pie**
2) B&R es Bernecker + Rainer Industrie-Elektronik GmbH, el mayor proveedor independiente de soluciones de arquitectura abierta basadas en productos y software para la automatización de máquinas y fábricas del mundo. ABB adquirió B&R en julio de 2017. La importancia estratégica de la operación es que convirtió a ABB en el único proveedor de automatización industrial que ofrece a los clientes de industrias de proceso y discretas toda la gama de soluciones tecnológicas y de software para medición, control, actuación, robótica, digitalización y electrificación.

automatizadas. De este modo se puede rastrear cualquier problema de calidad de un producto hasta su origen, sea una máquina o un parámetro de proceso subóptimo. Pero lo más importante es que los problemas de calidad se detectan en cuanto surgen, el producto defectuoso se retira automáticamente y se reanuda la producción del diseño correspondiente.

—

Y sobre todo, los fallos de calidad se detectan cuando surgen, el producto defectuoso se retira automáticamente y se reanuda la producción del diseño correspondiente.

Para garantizar la interacción correcta entre las máquinas, los servicios y los operadores humanos, las máquinas y sus gemelos digitales se extraen de una plantilla de diseño común →6. También resulta más fácil añadir o reemplazar máquinas que siguen esta plantilla, porque se conectan de forma natural al sistema de producción existente.

Según este concepto de producción, el elemento de control KNX ABB-tacteo es un producto inteligente: la identidad de cada cristal genera activamente su propia producción y los pasos descritos permiten cerrar el ciclo de la calidad sobre la base de la memoria global del producto.

**El diseño de gemelos digitales**
El proceso de producción descrito depende de una combinación de datos muy diversos, unos relacionados con el diseño del producto, otros con el producto fabricado, otros con una máquina concreta, y otros describen información común a todos los productos o máquinas.

ABB Ability™ Operations Data Management zenon ofrece supervisión, control, adquisición de datos, programación e informes de rendimiento seguros sobre activos de producción, desde máquinas individuales hasta a líneas de producción completas. En el proyecto ABB-tacteo, zenon controla la línea de producción aprovechando su funcionalidad de supervisión y control y la conectividad OPC UA incorporada.

La gama AC500 PLC de ABB ofrece una plataforma fiable y potente para diseñar y crear soluciones de automatización escalables, rentables y flexibles. En el proyecto ABB-tacteo, el PLC proporciona el gemelo digital de la máquina y ofrece una forma económica de encapsular máquinas existentes como el láser NIR detrás de una pasarela OPC UA.

**05b**

El panel de automatización B&R 900 de ABB es una interfaz de operador industrial que satisface las demandas de calidad más estrictas. En el proyecto ABB-tacteo, el panel B&R 900 es la interfaz por defecto para la colaboración hombre-máquina en todas las principales estaciones de producción.

**05c**

—
06 Componentes de la plantilla de una máquina física y su gemelo digital utilizando OPC UA.

—
07 Flujo de materiales y comunicación máquina a máquina basada en el servicio con gemelos digitales. El mensaje clave es que los servicios y las máquinas colaboran en una «Intranet de las cosas» utilizando sus gemelos digitales, de manera que todo interactúa con las mismas técnicas que los equivalentes de la red.

Por ejemplo, para cada diseño de producto hay características independientes de las máquinas, como la disposición de los iconos de control, y propiedades genéricas de las máquinas, como el estado de funcionamiento actual; y hay propiedades, como los datos de calibración de la impresora, específicos de una máquina pero que no dependen del producto. El diseño del producto se traduce en artefactos específicos de las máquinas, como iconos rasterizados, y se generan resultados de pruebas para cada producto fabricado.

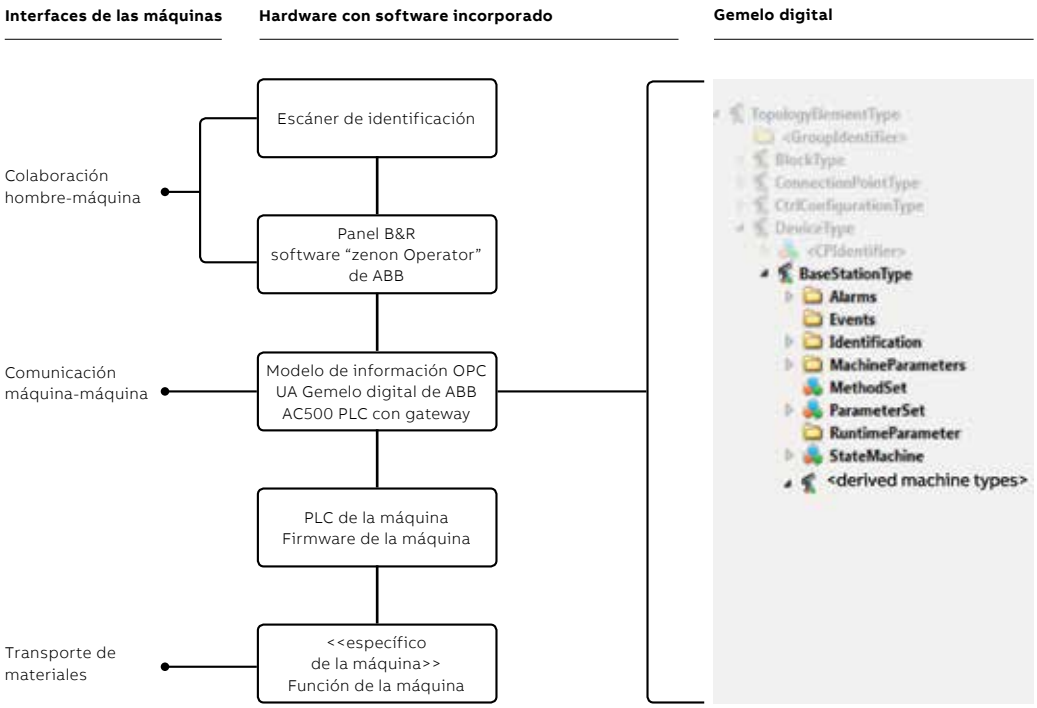
—

Las máquinas especializadas deben aprender a trabajar juntas desde el principio.

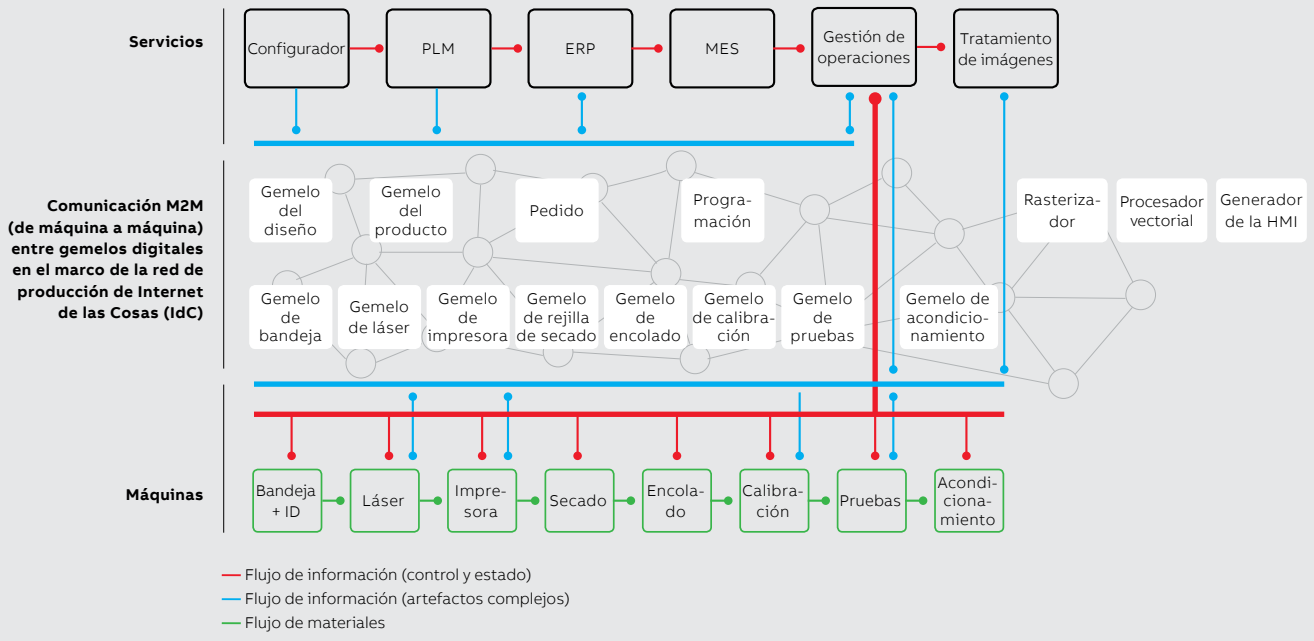
Para crear estos gemelos digitales, lo mejor es crear primero un modelo de información de OPC UA descendente desde la perspectiva del conjunto de las fases de producción, como se muestra en el centro de →7. El modelo no se divide hasta la etapa siguiente y se asignan componentes a los servicios de software y las máquinas correspondientes. La mejor forma de actualizar las máquinas con este modelo es usar un PLC AC500 de ABB →5 como pasarela de OPC UA integrada. Esto exige la colaboración estrecha de los diseñadores de información, el integrador y los fabricantes de máquinas para que las máquinas reales se puedan conectar sin más en la fábrica y formar el sistema de producción deseado.

**Industria 4.0 para todo**

El diseño de la línea de producción de ABB-tacteo aportó información de primera mano sobre las necesidades de los fabricantes de máquinas y los diseñadores de producción en el camino hacia Industria 4.0. El control de calidad perfecto y la reconfiguración automatizada son los principales retos que debe abordar una solución de automatización, especialmente en el ámbito de la producción individualizada. Estos retos se pueden superar con conceptos de Industria 4.0, como los gemelos digitales, los productos inteligentes y las tecnologías M2M como OPC UA.
Aunque la producción individualizada exige hoy




06




**07**

una importante inversión inicial, los presupuestos anuales deben cubrir las soluciones futuras para ser competitivos.

—

La idea es ofrecer la plataforma Industria 4.0 no como producto prémium, sino como solución en serie aplicable a todo tipo de producción, desde grandes fábricas hasta pymes.

A tal fin, las máquinas especializadas deben aprender a trabajar juntas desde el principio. Para ello, los proveedores de automatización deben suministrar procesos, herramientas y normas que permitan a los diseñadores de producción, a los fabricantes de máquinas y a los integradores crear fácilmente sus gemelos digitales de manera independiente y después ejecutar pruebas de integración virtual incluso antes de la construcción y la puesta en servicio de las máquinas físicas. En la actualidad, los productos prémium, como el elemento de control KNX ABB-tacteo, son magníficos catalizadores que impulsan este tipo de innovación. Pero la idea es ofrecer la plataforma Industria 4.0 no como producto prémium, sino como solución fabricada en serie que se pueda aplicar a todo tipo de producción, desde grandes fábricas hasta pymes. ●

—

**Referencia**

[1] «Sensor ABB-tacteo KNX». Disponible en: https://new.abb.com/buildings/es/tacteo

[2] «Gemelo digital, el componente de software de Industria 4.0», en este número de ABB Review, pp. 23-29.

COLABORACIÓN AUTÓNOMA

# Un entorno integrado de soluciones de automatización de edificios

Los flujos digitales continuos y el modelado de información unificado son indispensables para lograr flujos, herramientas y soluciones eficientes en el ámbito de la automatización de edificios moderna. ¿Cómo ayudan los nuevos conceptos y los estudios sobre viabilidad técnica en la transición hacia la era digital y la simplificación de la automatización de los edificios?

**Thomas Gamer**
ABB Corporate Research
Ladenburg, Alemania

thomas.gamer@
de.abb.com

La automatización de edificios, o tecnología de edificios inteligentes, es un mercado en rápido crecimiento. ABB desempeña un papel relevante en este ámbito, con productos basados en KNX [1], la primera norma abierta del mundo para el control de edificios industriales, comerciales o residenciales inteligentes. ABB también está a la vanguardia de la electrificación de edificios, lo que le permite ofrecer soluciones de automatización y electrificación en un único paquete. En el futuro, otros dominios como la interacción de la red, la generación local y la movilidad electrónica se relacionarán más estrechamente con el edificio y lo tratarán como un agregador central de información y soluciones digitales.

Pero los edificios comerciales como oficinas, hoteles o centros educativos, que suelen tener miles de dispositivos de automatización, no tienen muchos elementos comunes en relación con la electrificación y la funcionalidad de la automatización. Esto aumenta la complejidad y encarece la planificación, la ingeniería, la construcción, la puesta en servicio, el funcionamiento y el servicio de los edificios. La multitecnología y la integración de proveedores, tan comunes en los edificios comerciales, incrementan aún más esta complejidad →1,2.

01

Además, en el ciclo de vida de un edificio intervienen muchas personas, como asesores técnicos, integradores de sistemas, instaladores mecánicos y eléctricos, y gestores de instalaciones. Estos agentes suelen ser clientes de ABB y también deben adaptarse a la complejidad y la presión del tiempo, las herramientas ineficaces, las demandas de ecosistemas abiertos y las nuevas disposiciones reglamentarias.

Los edificios comerciales suelen tener miles de dispositivos de automatización y pocos elementos comunes en relación con la electrificación y la funcionalidad de la automatización.

Todo esto lleva a plantearse qué flujos de trabajo, herramientas y tecnologías se pueden usar en la automatización de edificios para resolver estos problemas y respaldar soluciones e interfaces abiertas más integradas y eficientes en términos de tiempo.

**Inconvenientes y ventajas**

Para responder a esta pregunta, ABB acometió un proyecto de investigación centrado en las primeras fases de la vida útil de la automatización de edificios comerciales: la planificación, el diseño y la puesta en servicio →3. Este ámbito aborda los retos antes citados y, por tanto, muchos de los problemas de los clientes de ABB. Muchos aspectos del trabajo son aplicables también a las viviendas inteligentes.

Las principales demandas de los clientes en esta fase de la automatización de edificios son:

- Seguir la tendencia de las especificaciones basadas en funciones.
- Respaldar proyectos multitecnológicos y multiproveedor.
- Garantizar la continuidad de los flujos de trabajo, desde el diseño hasta las operaciones, sin pérdida de información ni necesidad de intervención manual.
- Avanzar hacia ecosistemas abiertos pero funcionalmente integrados.

Las especificaciones basadas en funciones implican que, durante la fase de planificación, la funcionalidad de la automatización se especifica con independencia de la tecnología, los proveedores, los dispositivos, etc. Estas especificaciones suelen basarse, por ejemplo, en la norma VDI 3813 [2] para funciones de automatización de interiores.

La mayoría de los propietarios de edificios y, por tanto, los asesores técnicos y los integradores, desean combinar las mejores soluciones para lograr sus objetivos. Para ello podrían elegirse distintas tecnologías, como KNX para la automatización de interiores, BACnet para sistemas centrales de calefacción y ventilación, y ZigBee para obras de renovación o instalación en lugares caros de cablear. Además, también podrían elegirse distintos proveedores para distintos tipos de dispositivos.

Un ecosistema abierto facilita la continuidad de los flujos de trabajo porque garantiza la interoperabilidad, la flexibilidad y la adaptación de nuevas tecnologías o alianzas tecnológicas.

La continuidad de los flujos de trabajo presenta diversos aspectos:

- En la actualidad se utilizan para las distintas fases muchas herramientas que no suelen tener interfaces bien definidas.
- La información entre oficios se pasa impresa o en archivos PDF, por lo que no puede automatizarse.
- A veces la facilidad de uso es un problema, especialmente si han de integrarse varias tecnologías y dispositivos de distintos proveedores, con frecuencia a través de diversas herramientas.

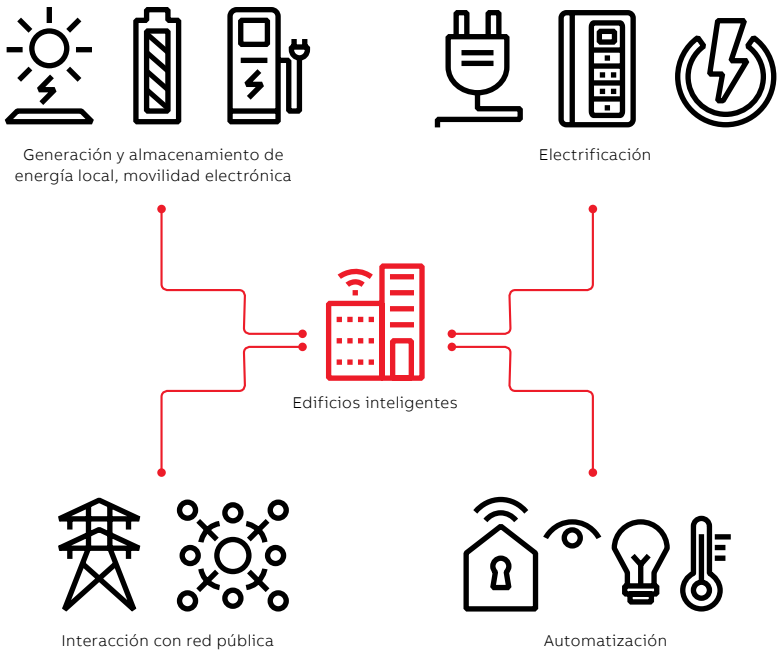
Un ecosistema abierto facilita la continuidad de los flujos de trabajo porque garantiza la interoperabilidad, la flexibilidad y la adaptación de nuevas tecnologías o alianzas tecnológicas.

Los beneficios para el cliente de la solución propuesta por ABB que surgió del proyecto de investigación son:

- Especificaciones funcionales basadas en normas.
- Aumento de la eficiencia temporal gracias a la automatización del mayor número posible de fases.
- Una cadena de herramientas continua y un modelo de información unificado para evitar el trabajo manual propenso a errores.
- Un concepto de paquete de dispositivos que ofrece una forma normalizada de integrar dispositivos con distintas tecnologías y proveedores.
- Una plataforma de software modular con interfaces bien definidas para integrar con las herramientas existentes, p. ej., ETS para KNX o servicios de nube.

**Panorama general de la solución propuesta**

El elemento principal para todas las fases de la vida útil descritas a continuación es el modelo de información unificado (UIM) de ABB. Se trata de un modelo de dominio que describe y estructura

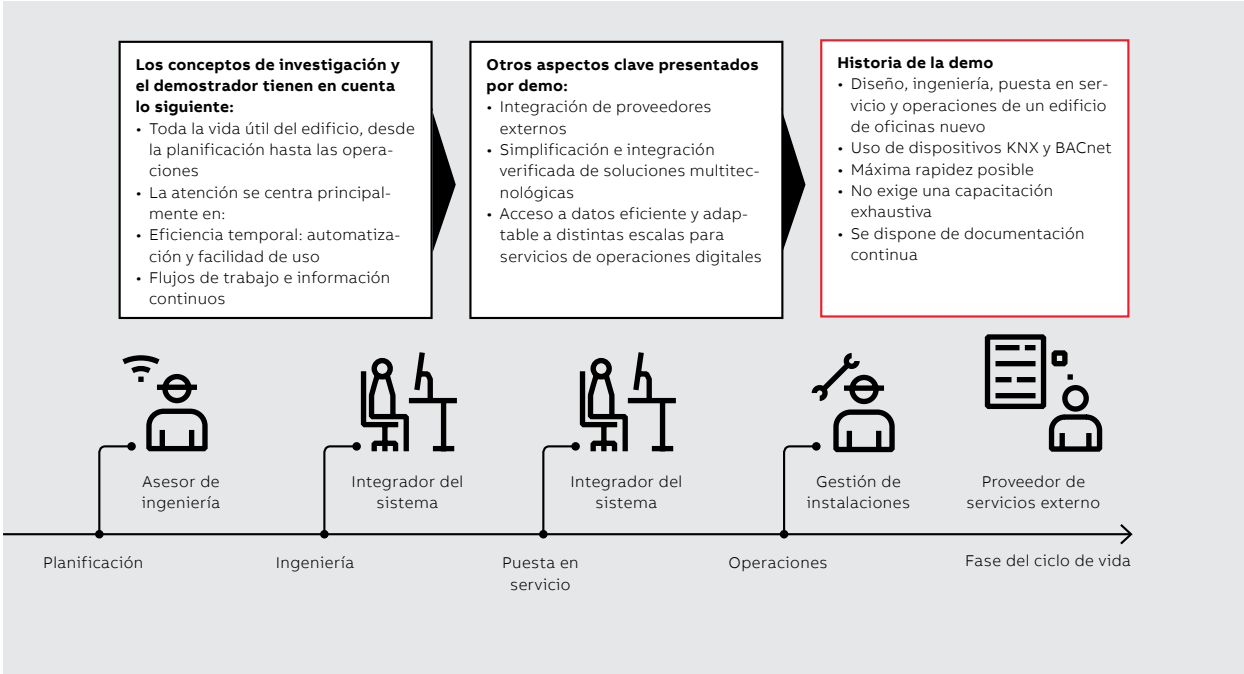



02

—
01 Dado que los edificios comerciales suelen ser individuales, planificar su funcionalidad de automatización puede ser una tarea cara y compleja. Un proyecto de investigación de ABB ha estudiado las formas de simplificar la automatización de edificios comerciales a través de soluciones más integradas y eficientes en términos de tiempo e interfaces abiertas (Foto: Anthony Byatt.).

—
02 Futuros edificios inteligentes como agregador central de múltiples dominios.

—
03 Evolución general y aspectos clave de la solución propuesta.




03

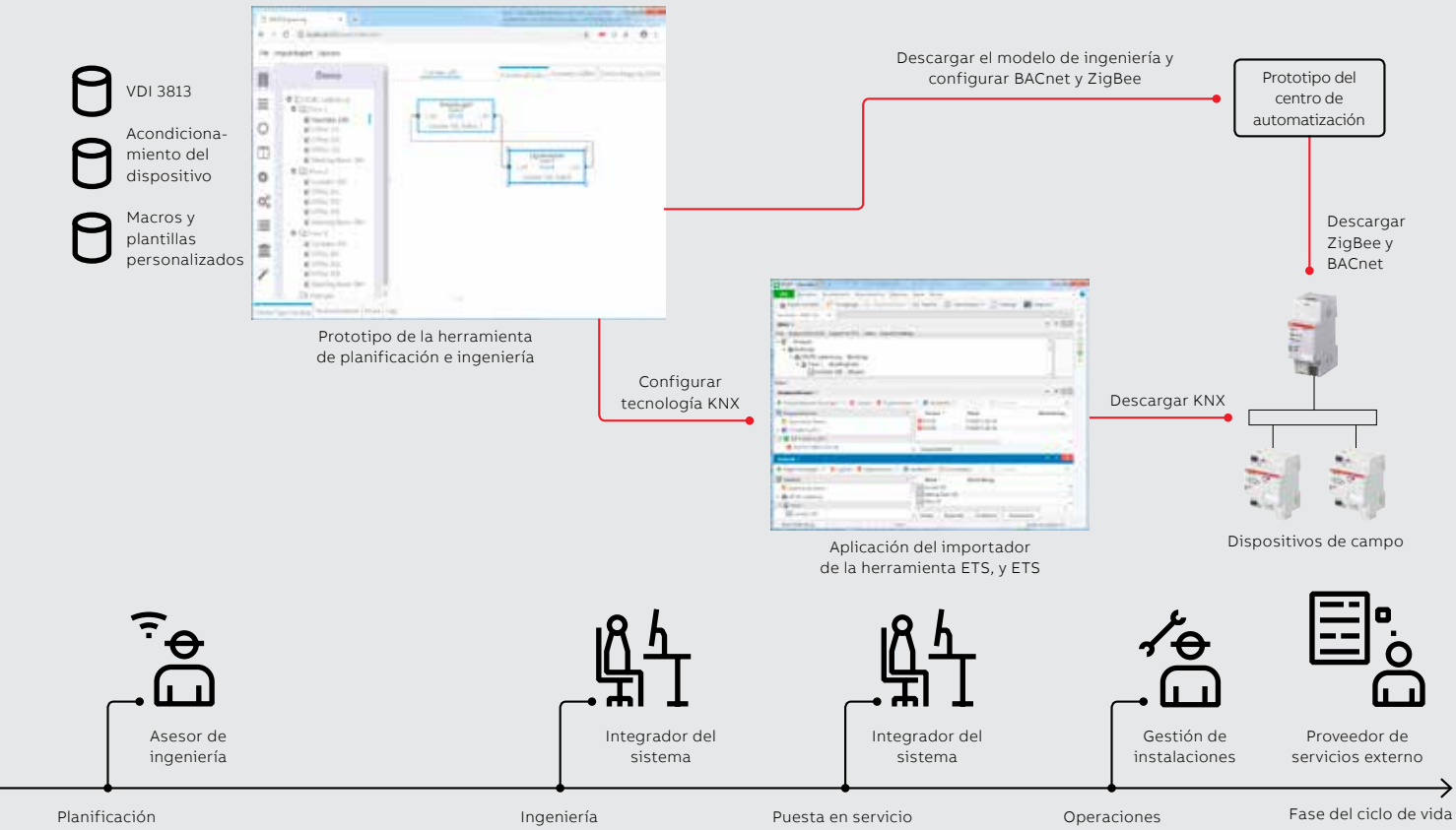
toda la información necesaria para la vida útil del sistema de automatización del edificio. Además, proporciona varios puntos de entrada y métodos de implantación. Los puntos de entrada son, por

—

El UIM es un modelo de dominio que describe y estructura toda la información para el ciclo de vida del sistema de automatización del edificio.

ejemplo, la estructura del edificio, las funciones de automatización o los dispositivos instalados. Para el prototipo, ABB decidió implantar una instancia única del UIM para todas las fases de la vida útil con OPC UA (arquitectura unificada de OPC) [3], y proporcionar interfaces adicionales.
Primero, se definieron claramente las fases del flujo de trabajo real, desde el diseño del edificio hasta las operaciones, comunes a todos los dominios y regiones geográficas →4. Durante la planificación, las tareas comunes son definir la estructura del edificio y la funcionalidad de la automatización y, por último, crear un documento de licitación. La planificación es totalmente independiente de la tecnología y de los proveedores, puesto que en este punto aún no se tienen en cuenta los dispositivos.
Durante la fase de ingeniería, las principales tareas son seleccionar dispositivos de automatización que cumplan las especificaciones y llevar a cabo una primera configuración de alto nivel, por ejemplo, los niveles de atenuación de los interruptores de la luz o los parámetros de temperatura predeterminados para los actuadores de la calefacción. En función de la región, el proyecto y el cliente, el integrador de sistemas puede elegir dispositivos de su propio catálogo de proveedores o solicitar a los instaladores mecánicos y eléctricos una lista de los dispositivos ya instalados. Esto significa que la solución propuesta debe tener en cuenta la organización del flujo de trabajo general. En esta fase se manejan los conceptos de multitecnología e integración de proveedores, puesto que en ella ya su usan dispositivos reales. El elemento principal de la solución de ABB en esta fase es el nuevo concepto de paquete de dispositivos, que permite representar de una forma normalizada los dispositivos reales y sus detalles tecnológicos en una abstracción funcional de la fase de planificación.

Durante la puesta en servicio, una tarea común es la configuración detallada de los parámetros específicos de la tecnología, así como el descubrimiento de los dispositivos de automatización y la descarga a estos. Algunas tecnologías imponen sus propias herramientas de puesta en servicio, como KNX con su herramienta ETS. En la solución de ABB, las herramientas existentes se integran directamente en el flujo de trabajo. En el caso de los sistemas multitecnológicos, también es necesario que el dispositivo (el “centro de automatización”)




04

entienda los distintos segmentos tecnológicos, los traduzca entre sí y ejecute la funcionalidad avanzada. El centro de automatización forma parte de la fase de operaciones, pero se podría usar asimismo con tecnologías de puesta en servicio como ZigBee, que no requieren una herramienta independiente.

—

Los elementos principales de la solución son prototipos de herramientas, plataformas de software, artefactos tecnológicos como el UIM y paquetes de dispositivos, además de herramientas como ETS.

**Elementos principales de la solución propuesta**
Los elementos principales de la solución son los prototipos de herramientas, las plataformas de software, los artefactos tecnológicos como el UIM y los paquetes de dispositivos, además de las herramientas existentes como ETS.

**Herramienta de planificación e ingeniería**
Este prototipo de herramienta →5 se basa en HTML5 y se puede presentar como herramienta web o como versión independiente para PC. La herramienta cubre la mayor parte de los aspectos de la planificación, la ingeniería y la puesta en servicio. Permite al usuario crear una estructura del edificio y una especificación funcional en poco tiempo, por ejemplo, con una biblioteca de bloques de funciones VDI 3813, macros personalizadas, funciones de búsqueda y filtrado, validación automática e importación BIM (modelado de la información del edificio) de la estructura del edificio. Se puede crear un documento de licitación o el proyecto se puede guardar y enviar a un integrador de sistemas. Para la fase de ingeniería se pueden seleccionar dispositivos de un catálogo con la función “arrastrar y soltar”. Se pueden configurar canales básicos y parámetros semánticos. Las funciones de búsqueda y filtrado de dispositivos (p. ej., en relación con la tecnología o el proveedor), preselección de dispositivos válidos para bloques de funciones específicas, importación de catálogos de dispositivos personalizados, consejos sobre herramientas o definición de plantillas garantizan la facilidad de uso y el ahorro de tiempo. Por último, también se ofrece exportación de archivos a ETS, descubrimiento de dispositivos ZigBee y descarga en estos.

**Paquete de dispositivos**
Este artefacto describe la funcionalidad de un dispositivo y una equivalencia entre parámetros

—
04 Visión general de los elementos e interacciones principales.

—
05 Editor funcional y barra lateral del prototipo de herramienta de planificación e ingeniería.

específicos de la tecnología y semánticos para respaldar o automatizar la selección de dispositivos para una especificación funcional. El concepto de ABB ofrece un método normalizado basado en esquemas XML para crear estas descripciones de dispositivos.

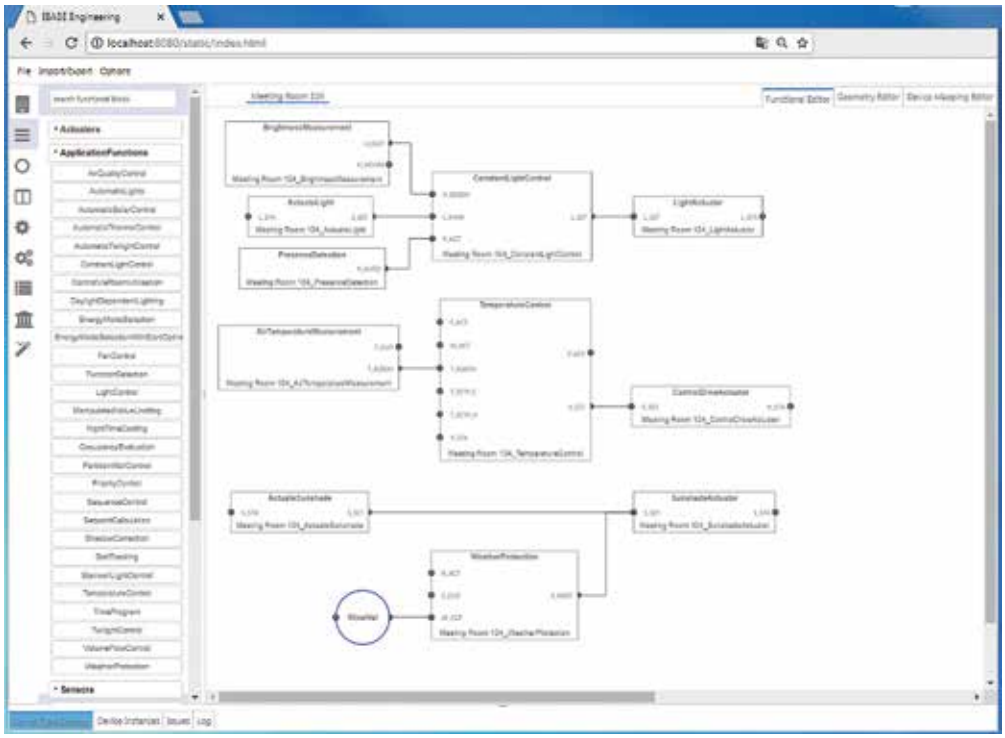
El UIM se basa en normas como el modelo OPC UA DI y define un pequeño modelo básico con puntos de extensión para la semántica más tecnologías.

Además, permite reutilizar e integrar información existente, como archivos KNXprod, que solo tienen que ampliarse con la información de la equivalencia semántica. El enfoque es aplicable a diversas tecnologías.

**Generador de configuraciones.**
Este artefacto forma parte de la herramienta de planificación e ingeniería, y automatiza totalmente la tarea de la configuración específica de la tecnología, es decir, se aplican reglas y criterios heurísticos para autogenerar una configuración completa y válida, p. ej., para la parte KNX de un sistema de automatización de edificios.

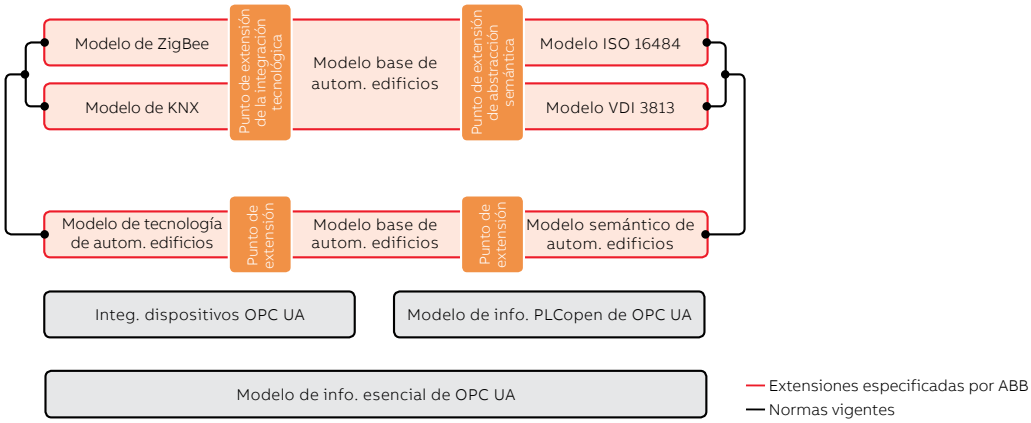
**Aplicación del importador de ETS**
Este prototipo de herramienta toma la exportación específica de KNX de la herramienta de planificación e ingeniería creada por el generador de configuraciones, e importa y traduce toda la información al modelo de datos de la herramienta de puesta en servicio de ETS, que es obligatoria para los dispositivos KNX. La idea es reutilizar las herramientas disponibles, pero también permitir que el usuario adapte la configuración autogenerada antes de descargarla, si es necesario.

**UIM**
Este artefacto ofrece un modelo estructural de toda la información necesaria, y garantiza la claridad y la portabilidad de la información gracias a su estructura bien definida, los puntos de entrada y la semántica. El UIM se basa en normas como el modelo OPC UA DI (integración de dispositivos) [4] y define un pequeño modelo básico con puntos de extensión para la semántica, así como tecnologías →6. Por lo tanto, es modular y permite el mantenimiento, además de ser abierto y ampliable, y admite el uso en paralelo de diversas semánticas y tecnologías. ABB implementó el UIM en un servidor OPC UA y lo está utilizado a lo largo de toda la vida útil de un edificio.



05

—
06 Arquitectura del modelo de información unificado con puntos de extensión.




06

—
**Referencias**
[1] KNX Association. Disponible en: http://www.knx.org

[2] VDI, «VDI 3813: Building automation and control systems (BACS), Room control», mayo de 2011.

[3] IEC, «IEC TR 62541-1 OPC unified architecture - Part 1: Overview and concepts», octubre de 2016.

[4] IEC, «IEC TR 62541-100 OPC unified architecture - Part 100: Device Interface», marzo de 2015.

**Centro de automatización**
Este prototipo de herramienta es una plataforma de software modular y flexible con el UIM como módulo central. El centro de automatización envuelve el servidor OPC UA con varias interfaces, como REST u oBIX, para facilitar la integración, por ejemplo, en servicios de nube. Puede incluir módulos adicionales para servicios avanzados, como una plataforma completa para la fase de operaciones, y se puede ejecutar, por ejemplo, en un modelo Raspberry Pi B+. También se puede presentar como módulo único junto con la herramienta de planificación e ingeniería para proporcionar toda la información necesaria sin que el usuario advierta su presencia.

**Estudio de viabilidad y racks de demostración**
Todos los conceptos y los elementos principales mencionados se han implantado e integrado en un rack de demostración para validar la viabilidad y poder debatir la solución con las partes interesadas del proyecto. El rack representa una sala de reuniones de un edificio de oficinas equipado con funciones de automatización avanzadas, como control constante de la iluminación, calefacción y ventilación, detección de presencia y sensores en las ventanas. Los dispositivos instalados proceden de diversos proveedores y utilizan KNX (iluminación, interfaz de usuario y detección de presencia), BACnet (control de la climatización e interfaz de usuario) y ZigBee (sensores en las ventanas), así como distintas tecnologías para garantizar su pertinencia y su heterogeneidad. Todas las tareas de planificación e ingeniería se realizaron con los prototipos descritos anteriormente. Para KNX se usó la configuración automática. Para BACnet y ZigBee se usó la función de descubrimiento y descarga del prototipo de herramienta de ABB, lo que significa que solo se utilizaron los perfiles y objetos estándar de dichas tecnologías. Los prototipos aplican aún ciertas simplificaciones y no están desarrollados por completo, sino que se centran en las características principales más complicadas.

—
El centro de automatización es una plataforma de software modular y flexible con el UIM como módulo central.

La primera demostración al cliente y las sesiones de feedback confirman que los conceptos propuestos y los estudios de viabilidad abordan los retos de los clientes, y que estos aprecian sus valiosos beneficios para su trabajo diario, así como para dominar la transición hacia la era de la digitalización. El futuro trabajo de investigación abordará temas ajenos al ámbito del presente proyecto, como la integración con la electrificación, la gestión del ciclo de vida de los modelos o la incorporación de características necesarias para tecnologías, segmentos de mercado y funciones de usuario específicos.

**Agradecimientos**
Este artículo no habría sido posible sin las ideas, el trabajo y la dedicación del equipo de proyecto y las partes interesadas. Nuestro agradecimiento especial a Roland Braun, Florian Kantz, Somayeh Malakuti, Johannes Schmitt, Katharina Stark, Michael Vach, Retus Cathomen, Jens Czudai, Dirk John y Christian Lehnert. ●

COLABORACIÓN AUTÓNOMA

# El gemelo digital: un componente de software clave en Industria 4.0

Un factor vital para Industria 4.0 es el «gemelo digital», que facilita la adquisición e intercambio de datos, el acceso a una variedad de información mayor que la actual y una interoperabilidad sin precedentes. ¿Cuáles son los últimos avances en el frenético universo de los gemelos digitales?

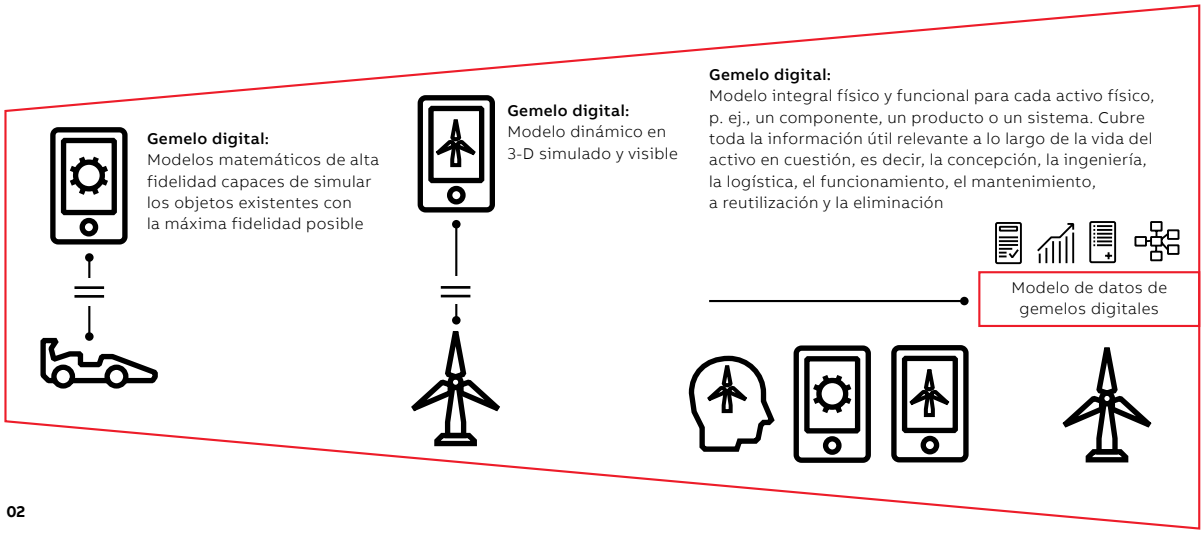
**Somayeh Malakuti**
**Jan Schlake**
**Sten Grüner**
**Dirk Schulz**
**Ralf Gitzel**
**Johannes Schmitt**
**Marie Platenius-Mohr**
**Philipp Vorst**
ABB Corporate Research Center
Ladenburg, Alemania

somayeh.malakuti@de.abb.com
jan-christoph.schlake@de.abb.com
sten.gruener@de.abb.com
dirk.schulz@de.abb.com
ralf.gitzel@de.abb.com
johannes.schmitt@de.abb.com
marie.platenius@de.abb.com
philipp.vorst@de.abb.com

**Kai Garrels**
ABB Electrification Products
Heidelberg, Alemania

kai.garrels@de.abb.com

01




02

Los sistemas del Internet Industrial de las Cosas (IIdC) conectan numerosos dispositivos heterogéneos y otros activos en un único sistema para extraer más acciones inteligentes de los datos. La aplicación del IIdC en los sistemas de producción industrial se conoce como Industria 4.0. El gobierno alemán, en particular, ha reconocido la importancia de Industria 4.0 e invierte continuamente en investigación académica y ensayos industriales.

## Un factor vital de los sistemas de Industria 4.0 es el concepto de “gemelo digital”.

Un factor vital de los sistemas de Industria 4.0 es el concepto de “gemelo digital”. Un gemelo digital no solo facilita la adquisición y el intercambio de una variedad de datos mucho mayor de lo posible hasta ahora y un mejor acceso a ellos, sino que también proporciona una interoperabilidad sin precedentes →1.

La definición de gemelo digital está evolucionando [1]. Merece la pena revisar la situación actual de la investigación en la materia, explorar el trabajo de la «Plataforma Industrie 4.0» alemana y examinar algunos casos de uso del gemelo digital.

**Definición del gemelo digital**

Como se ilustra en la parte izquierda de →2, el gemelo digital se consideró en sus inicios un conjunto de modelos matemáticos muy fieles que reflejan el comportamiento de activos reales (p. ej., dispositivos físicos, plantas y servicios) con la máxima precisión posible [2]. Esta percepción evolucionó hacia modelos dinámicos en 3-D simulados y visibles de los activos del mundo real (en el centro de →2). En la actualidad, gemelo digital se define como «un perfil digital en evolución del comportamiento de un objeto físico o un proceso, en el pasado y en la actualidad, que ayuda a optimizar los resultados empresariales. El gemelo digital se basa en mediciones de datos del mundo real, en tiempo real, masivos y acumulados en una matriz de dimensiones» [3] →3. Esta información se completa con metadatos, propiedades y documentos, como informes, documentación y procedimientos operativos, generados durante todas las fases del ciclo de vida del activo.

El valor real del gemelo digital se aprecia cuando interactúa con otros gemelos digitales o herramientas de software de los demás socios de la cadena de valor →4. Mientras el gemelo digital del centro del fabricante contiene varios modelos para diseñar y fabricar un tipo de producto, el gemelo digital de los centros de los

—
01 El mundo de la fabricación ha cambiado con la llegada del IIdC. Un componente clave de este cambio es el gemelo digital. Un componente clave de este cambio es el gemelo digital.

—
02 Evolución de la definición de "gemelo digital" (basada en [1]).

—
03 Dimensiones de la información que se pueden incluir en el gemelo digital de un dispositivo durante las fases de su vida útil (basado en [4]).

clientes contiene varios modelos para la compra, la instalación, el funcionamiento, el mantenimiento y la distribución de las instancias del producto. El intercambio de datos entre gemelos digitales completa el cuadro para ambas partes.

**Gemelos digitales en el ciclo de vida de plantas Industria 4.0**

El gemelo digital es un facilitador clave de los beneficios de Industria 4.0 porque vincula la información con el activo individual de la planta. Disponer de información contextual en el momento y el lugar adecuados permite habilitar nuevos casos de uso que no son posibles con documentación y datos estáticos no individualizados. →5 muestra la visión de ABB del diseño, la construcción y el funcionamiento de plantas Industria 4.0 y el papel que desempeña el gemelo digital en cada fase [5].

En la fase 1 debe desarrollarse un modelo digital completo de todos los resultados de la planificación (esto no sucedía en Industria 3.0). Las hipótesis y los conocimientos implícitos de los ingenieros de planificación se modelan y almacenan explícitamente en el gemelo digital de la fábrica. Las personas seleccionan los dispositivos necesarios en una biblioteca digital de funciones y estos se vinculan al gemelo digital de las instalaciones. Las funciones son abstractas e independientes del hardware; en fases más avanzadas, los dispositivos reales cumplirán algunas funciones específicas.

## El gemelo digital vincula la información con cada activo de la planta.

En la fase 2 se accede por vía electrónica a los catálogos de los tipos de productos del fabricante, que se pueden explorar con interfaces estándar. Estos catálogos mantienen el gemelo digital de los tipos de productos, que cubren todos los aspectos del ciclo de vida de los tipos y ofrecen una interfaz estándar para acceder a la información.

En la fase 3 se ejemplifican los tipos de productos seleccionados y la información relacionada con ellos (identificación, parámetros, etc.) se incluye en el gemelo digital de las instancias de los productos. Los gemelos digitales de las instancias de productos se incluyen en el gemelo digital de la planta y se vinculan con el gemelo digital de los tipos de productos. Los gemelos digitales de las instancias de los productos se pueden usar en función de la tipología de las instalaciones (p. ej., con fines de simulación y pruebas). Los resultados de la simulación se almacenan en el gemelo digital de las instancias de los productos.

| | Planificación | Construcción | Funcionamiento | Mantenimiento |
|---|---|---|---|---|
| **Información sobre ciclo de vida del producto** | Gestión ciclo vida de producto | Gestión ciclo vida de producto | Instrucciones de funcionamiento | Registros de servicio |
| **Representación en 3-D** | Dibujos del diseño | Instrucciones de fabricación | Visualización de la planta | Instrucciones de servicio, realidad aumentada |
| **Modelo** | Predicción del comportamiento | Puesta en servicio virtual | Rendimiento del control | Diagnóstico |
| **Simulación** | Simulación del diseño | Pruebas de "hardware-in-the-loop" | Estudios con escenarios hipotéticos | Predicción |
| **Modelo de datos** | Datos de ingeniería | Datos de fabricación | Datos operativos | Datos de servicio |
| **Análisis conectados** | | | KPI operativos | KPI sobre el estado de los activos |
| **Visualización** | Herramienta de diseño | Herramienta de diseño | Pantalla del estado operativo | Pantalla del estado de salud |

**03**

—
04 Interacción entre varios gemelos digitales.

En la fase 4 se piden productos reales utilizando el gemelo digital de las instancias de los productos. Aquí, las partes del gemelo digital pertinentes para el pedido se comunican al proveedor del producto. Más tarde, el producto se integra en las instalaciones, se configura, se prueba y se activa. En esta fase, se incorpora en los gemelos digitales la información sobre la instalación y puesta en servicio, la colocación de los dispositivos, los números de serie, etc.

—

El gemelo digital de un activo madura durante el ciclo vital de la planta, y cada etapa añade submodelos de informacion.

En la fase 5, el gemelo digital de instancias de productos individuales, así como la planta, se complementan con información operativa y de mantenimiento. Por ejemplo, se añade información sobre los parámetros de la vida real, el estado de salud y el número de fallos.

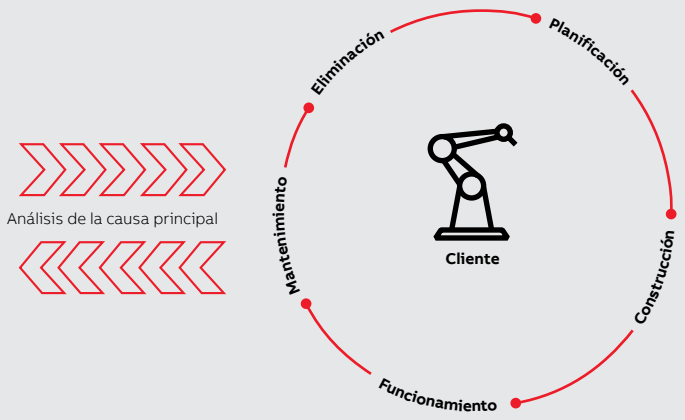
Cada una de estas fases enriquece los submodelos existentes o añade nuevos submodelos para ese caso de uso concreto.

**El gemelo digital como facilitador para casos de uso de Industria 4.0**
Un gemelo digital permite la viabilidad de varios casos de uso de una forma más eficiente. A continuación se comentan algunos ejemplos de casos de uso.

04

**Caso de uso: ingeniería integrada, funcionamiento integrado y mantenimiento integrado**
Durante el ciclo de vida de un producto, cobran importancia diversas fuentes de información, modelos y herramientas →3. Sin embargo, en la actualidad, el flujo de información en las fases del ciclo de vida suele romperse; p. ej., es difícil que la información sobre mantenimiento vuelva a la fase de ingeniería para perfeccionar los parámetros de un dispositivo. Esto provoca la dispersión o la pérdida de información, así como dificultades para acceder a la información correcta.

Un gemelo digital es un contenedor que integra información de varias fuentes en diferentes fases del ciclo de vida. La información incluida puede presentarse en distintos formatos desde distintas herramientas y no necesariamente se despliega en un depósito central. Un gemelo digital reduce el esfuerzo necesario para acceder a la información y gestionarla; p. ej., puede eliminar la necesidad de mantenimiento manual de los documentos de ingeniería para reflejar cambios in situ durante el funcionamiento. La información contenida en un gemelo digital se puede usar para aprender del rendimiento real de los activos y extraer una valoración para sistemas futuros.



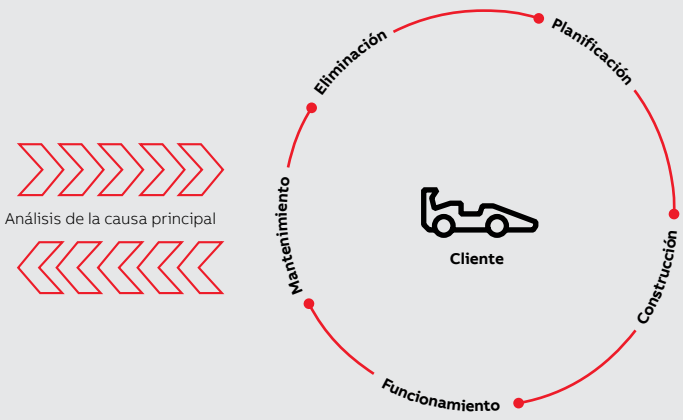

**Eliminación**
- Sustitución

**Planificación**
- Adquisición
- Planificación de la producción

**Construcción**
- Ingeniería predictiva

**Funcionamiento**
- Apoyo al operador

**Mantenimiento**
- Rendimiento de activos
- Gestión
- Gestión de la fiabilidad
- Mantenimiento predictivo




**Eliminación**
- Garantía

**Planificación**
- Concepción del diseño
- Optimización del diseño
- Diseño predictivo

**Construcción**
- Análisis de ingeniería predictivo
- Puesta en servicio virtual

**Funcionamiento**
- Control remoto
- Funcionamiento remoto
- Planificación y seguimiento de la producción

**Mantenimiento**
- Planificación del mantenimiento
- Control de flotas

**Caso de uso: diseño, fabricación y análisis predictivos de productos**

En la actualidad, es imposible intercambiar información entre organizaciones sin interrupciones. Por ejemplo, la información sobre el comportamiento de un producto vendido por ABB en el entorno del cliente solo es visible para el diseñador de tipos si el cliente envía reclamaciones de garantía o comparte informes de servicio o si el cliente ofrece feedback explícito al proveedor, por ejemplo, a través de un comercial. Pero todas estas fuentes son incompletas y posiblemente imprecisas, lo que significa que el diseñador cuenta con información incierta y limitada para el diseño de la siguiente generación del producto.

El gemelo digital es vital para intercambiar información entre organizaciones; por ejemplo, dentro del gemelo digital se puede gestionar información operativa y de mantenimiento concreta e intercambiarse con partes externas de un modo adecuado. En concreto, los modelos y los datos de procesos que ofrece un gemelo digital, así como los resultados de simulaciones en tiempo real, ayudan a predecir los requisitos y a mejorar el diseño para las siguientes generaciones de tipos de activos. El análisis predictivo ayuda a los fabricantes a calcular con confianza los retos futuros. En este caso de uso, el enfoque de gemelo digital permite mejorar continuamente los diseños de los tipos de activos a partir de datos reales.

**Caso de uso: «plug-and-produce» para dispositivos de campo**

En la actualidad, la obtención de la configuración correcta de dispositivos de campo a partir de un diseño de proceso existente requiere intervención manual. A veces no se usan formatos de descripción normalizados, o, si se usan, no se comparten de forma abierta, o se comparten pero las normas y el diseño de la automatización difieren en la forma de expresar la misma información. El flujo de información se puede interrumpir en todos los puntos de reenvío de los datos.

Además, con tecnología Fieldbus, el descubrimiento, el direccionamiento, la identificación y la configuración online de dispositivos son tareas muy manuales y expuestas a errores. Asimismo, los puntos de medición, los dispositivos de campo, las señales, etc., suelen tener distintos nombres o identificadores en las distintas herramientas. Por todo ello, a menudo es necesario un mapeo manual para crear asociaciones correctas. Y, sobre todo, si hay que sustituir un dispositivo durante el funcionamiento de la planta, estos pasos de puesta en servicio tendrían que repetirse.

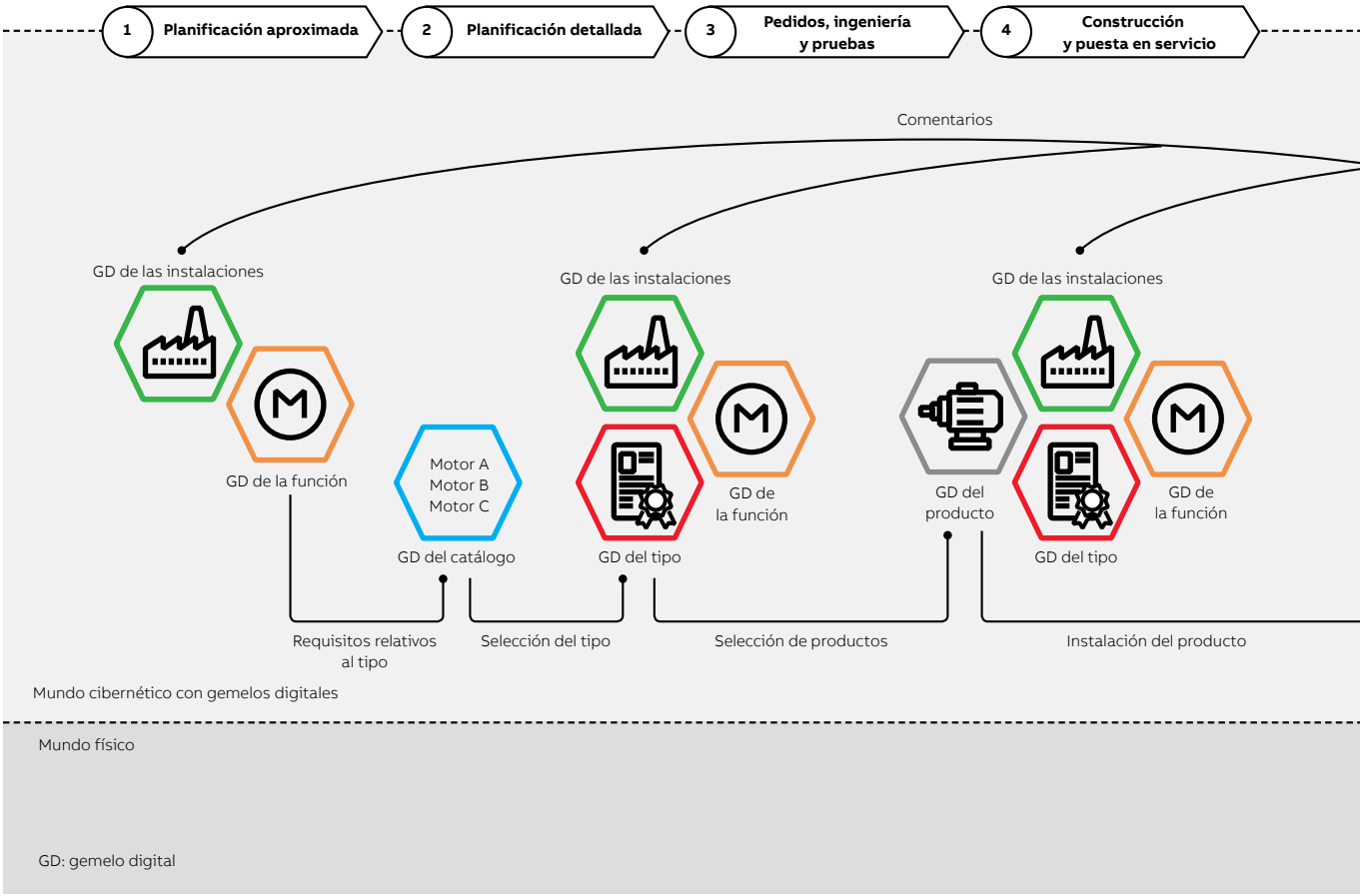
Tecnologías como FDI (integración de dispositivos de campo) y OPC UA (arquitectura unificada de OPC) ya reducen muchos de los problemas de puesta en servicio de dispositivos. El gemelo digital para dispositivos de campo se basa en

—

El gemelo digital reduce el tiempo necesario para llevar a cabo las tareas básicas de ingeniería y puesta en servicio de un dispositivo de campo desde unos 10 minutos (si no surgen problemas) hasta fracciones de segundo.

estas tecnologías y permite un escenario «plug-and-produce» para ellos. Incorporando más normas del ámbito de las TIC (tecnologías de la información y la comunicación) y dominios de automatización, en especial mediante la inclusión de recomendaciones de grupos de interés del cliente como NAMUR, el gemelo digital consolida toda la información necesaria para la ingeniería, la puesta en servicio, el uso y la sustitución de dispositivos de campo de manera uniforme. El vínculo entre el gemelo digital y su homólogo físico permite a los operadores descargar automáticamente parámetros a los dispositivos de campo y ponerlos en marcha. Aunque la sustitución física aún requiere personal capacitado, el gemelo digital permite la reconfiguración instantánea sin necesidad de que intervenga un experto en dispositivos o procesos.

Obviamente, el gemelo digital reduce el tiempo necesario para llevar a cabo las tareas básicas de ingeniería y puesta en servicio de un dispositivo de campo desde unos 10 minutos (si no surgen problemas) hasta fracciones de segundo. Para una planta de tamaño medio con 10 000 puntos de E/S, el trabajo de una semana se reduce a unos minutos.




05

—
05 El gemelo digital en plantas Industria 4.0.

—
**Referencias**
[1] R. Drath, "The Digital Twin: The Evolution of a key Concept, of Industry 4.0," firma invitada en visIT / Fraunhofer IOSB 2018. Disponible en: https://www.iosb.fraunhofer.de/servlet/is/81724/

[2] Michael Grieves, «Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication», libro blanco, 2014. Disponible en: http://innovate.fit.edu/plm/documents/doc_mgr/912/1411.0_Digital_Twin_White_Paper_Dr_Grieves.pdf

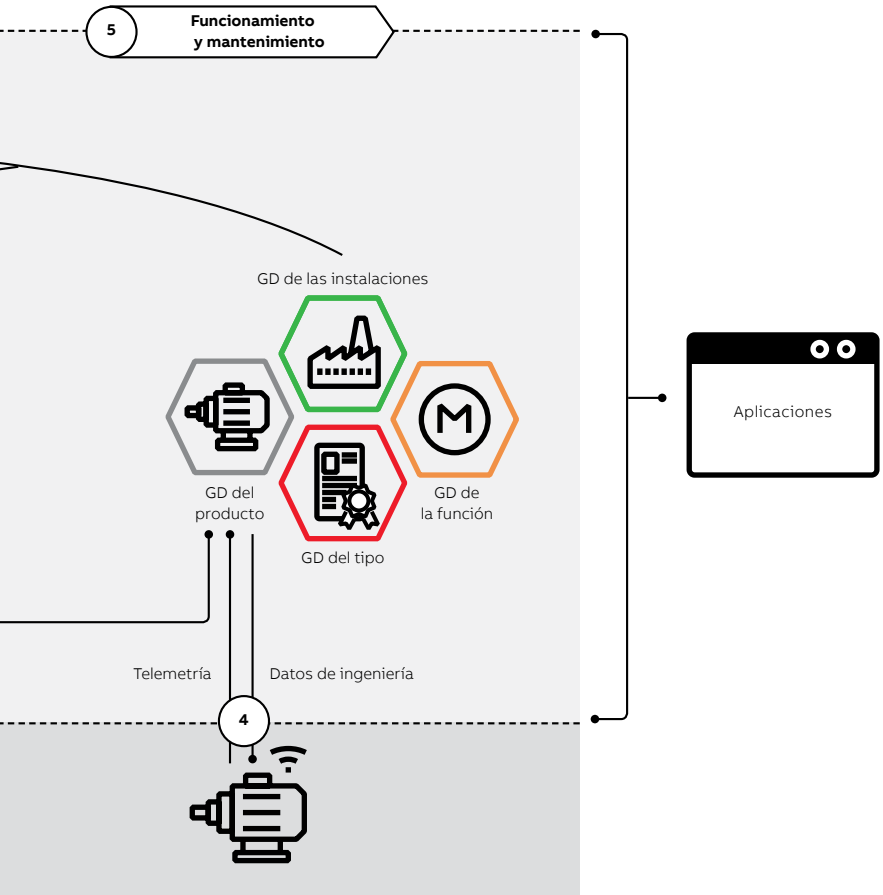
[3] Deloitte Consulting, «Industry 4.0 and the digital Twin – Manufacturing meets its match», Deloitte University Press, 2017.

[4] C. Ganz, «Digital twin – virtually identical?» ABB Review 04/2018; pp. 94-95

[5] C. Wagner et al., «The role of the Industry 4.0 Asset Administration Shell and the Digital Twin during the life cycle of a plant», IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, Limassol, Chipre, 2017.

[6] Plattform Industry 4.0, «Structure of the administration shell». Disponible en: https://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/structure-of-the-administration-shell.html

[7] https://www.basys40.de




Manteniendo el flujo de información a través de las fases del ciclo de vida, la reutilización sistemática de la información existente del diseño del proceso original puede tener aún más valor. La configuración de un dispositivo de campo se convierte en una consecuencia directa de las intenciones del ingeniero de procesos; la razón de cualquier configuración se puede rastrear de forma objetiva y automática hasta un requisito del cliente. Esta situación mejora la calidad de los datos de ingeniería, porque los errores se circunscriben al diseño del proceso original.

—

A medida que el IIdC avance, los gemelos digitales se convertirán en piedra angular de la automatización industrial.

**El gemelo digital en ABB**
Debido al importante papel que desempeña el gemelo digital en Industria 4.0, varios proyectos de investigación de ABB están analizando sus diversos aspectos. Por ejemplo, el proyecto BaSys 4.0 [7], cuyo cofundador es el BMBF (Ministerio de Educación e Investigación alemán), reúne a 15 socios industriales y académicos. El objetivo principal es desarrollar una plataforma abierta de referencia en la que el gemelo digital sea el factor clave para conseguir flexibilidad en las industrias de fabricación y proceso.

A medida que el IIdC avance, los gemelos digitales se convertirán en piedra angular de la automatización industrial. La habilidad para implantar gemelos digitales será crucial para escribir el futuro digital de la automatización. ●

# Alianzas

**Las alianzas que triunfan van más allá de la colaboración y se adentran en la auténtica integración de finalidades y procesos. La innovación no es un mero resultado, sino una herramienta para lograr que las cosas se hagan.**

36 Innovación digital impulsada por la colaboración con la Universidad

ALIANZAS

# Colaboración con la universidad

La combinación de los flujos de datos procedentes de los subsistemas en un proceso industrial típico es muy valiosa. Las colaboraciones de ABB con la universidad abordan los retos de la explotación de estos datos y facilitan a los investigadores los conocimientos necesarios para seguir ofreciendo innovaciones digitales.

**Anna Stief**
**James Ottewill**
ABB Corporate Research
Cracovia, Polonia

anna.stief@pl.abb.com
james.ottewill@pl.abb.com

**Nina Thornhill**
Presidenta de automatización de procesos de ABB, Imperial College London (Reino Unido)

Los procesos modernos a gran escala se han ido complicando a lo largo de varias décadas y ahora constan de muchos subsistemas complejos de procesos, mecánicos y eléctricos. Los esquemas de automatización tratan estos subsistemas como un todo integrado, por lo que surge la necesidad de cerrar los bucles de información entre ellos. Pero como estos subsistemas generan ahora gran cantidad de datos, el funcionamiento eficiente y sostenible de los activos a lo largo de su vida, normalmente de 30 a 50 años, requiere sofisticados conceptos holísticos para gestionar la información y los recursos. ABB ha trabajado en los últimos años en estrecha colaboración con las mejores universidades para abordar los retos que plantea la creación de tales conceptos.

Durante los últimos años ABB ha colaborado con las mejores universidades para abordar problemas de sistemas complejos.

—
01 Imperial College London, vista aérea del campus de South Kensington. El Imperial College London es una de las universidades con las que ABB colabora para abordar los retos de la digitalización a los que se enfrentan la industria de procesos. Fotografía © 2018 Imperial College London.

—
**Nota al pie**
1) Este proyecto ha recibido financiación del programa de investigación e innovación FP7-ITN de la Unión Europea, en virtud del contrato de subvención Marie Curie número PITN-GA-2010-264940.

**ABB e Imperial College London**
Las colaboraciones de ABB con la universidad abordan el problema de la digitalización de las industrias de procesos a un nivel fundamental. Por ejemplo, ABB e Imperial College London colaboran en un programa de proyectos para gestionar la información y los recursos de los procesos industriales, de manera que la información que encierran los datos se convierta en acciones directas en el mundo físico →1. El enfoque adoptado por el programa se caracteriza por su atención a la mejora de la eficiencia en la enorme base instalada de plantas de proceso, principalmente mediante la optimización del funcionamiento de los equipos de proceso utilizando técnicas que comprenden la predicción, la detección, el diagnóstico y la eliminación de las causas de las ineficiencias. El trabajo ha sido realizado por investigadores del Imperial College, ingenieros de investigación de ABB en comisión de servicio en la universidad y estudiantes de doctorado que reparten su tiempo entre el Imperial College y prácticas en ABB y otras empresas colaboradoras.

El hecho de que ABB haya patrocinado la cátedra de automatización de procesos del Departamento de Ingeniería Química de la universidad (donde se lleva a cabo gran parte de este trabajo) desde 2007 muestra que la colaboración es muy estrecha.

—
ABB e Imperial College London colaboran para gestionar la información y los recursos de los procesos industriales para que la información que encierran los datos se convierta en acciones directas en el mundo físico.

**ABB en proyectos europeos**
El proyecto Energy-SmartOps ITN (Red de Formación Innovadora)[1] se realizó entre febrero de 2011 y enero de 2015 y se centró en el control integrado y el funcionamiento de los procesos, las máquinas rotativas y los equipos eléctricos →2.

**01**

02

El proyecto se coordinó desde Imperial College y en él participaron ABB, empresas de usuarios finales como BASF y Equinor, y varias universidades (Imperial College, Cranfield, ETH Zurich, Politechnika Krakowska y Carnegie Mellon). Energy-SmartOps ha generado y probado sistemas de supervisión que integran múltiples mediciones de los subsistemas de procesos, mecánicos y eléctricos. Energy-SmartOps cerró el bucle con la supervisión y el control del rendimiento, captando información de los tres subsistemas y diseñando nuevos algoritmos que gestionan explícitamente las interfaces e interacciones entre ellos. Un ITN es un programa de formación de doctorado, y de Energy-SmartOps ha salido un grupo de investigadores bien cualificados con doctorados (así como formación industrial) en las áreas mencionadas.

—

Energy-SmartOps ha generado y probado sistemas de supervisión que integran múltiples mediciones de subsistemas de procesos, mecánicos y eléctricos.

El programa REAL-SMART (itinerarios académicos y asociaciones industriales)[2] arrancó en septiembre de 2010 y se prolongó durante cuatro años. Su contribución a la innovación digital se realizó en el ámbito del seguimiento basado en mediciones y la gestión de las redes eléctricas y de las cargas industriales que alimentan. También se coordinó desde Imperial College y en él participaron operadores de sistemas de transporte (Fingrid, National Grid y Statnett), empresas suministradoras de tecnologías (ABB y GE) y universidades (Aalto University, Imperial College London y Graz University of Technology). El consorcio interdisciplinar contaba con expertos en sistemas eléctricos, modelado, instrumentación, análisis de señales, control de estado y automatización de procesos de petróleo, gas y químicos.

—
02 El programa de la UE Marie Sklodowska-Curie apoya la iniciativa Energy-SmartOps. (Banner de SmartOps © 2018 Imperial College London; banner de Marie Curie © Unión Europea).

—
03 Sala de control de ABB.

—
**Nota al pie**
2) Este trabajo recibió el apoyo de la iniciativa Marie Curie FP7-IAPP, «Using real-time measurements for monitoring and management of power transmission dynamics for Smart Grid REAL-SMART», número de contrato PIAP-GA-2009-251304.

El programa IAPP financió intercambios de investigadores entre la industria y el ámbito académico. REAL-SMART ofreció a investigadores principiantes de los socios universitarios una primera experiencia de investigación y desarrollo industrial durante su etapa de doctorado, y refrescó los conocimientos de los investigadores experimentados mediante comisiones de servicios en ambas direcciones (socios industriales y académicos).

La Unión Europea apoyó estas actividades conjuntas a través de los programas Marie Sklodowska-Curie.

La sala de control de ABB en el Imperial College está en la planta piloto de captación de dióxido de carbono del Departamento de Ingeniería Química.

**ABB demonstrators**
Cabe destacar la sala de control de ABB en el Imperial College →3. Estas instalaciones integrales están alojadas en la planta piloto de captación de dióxido de carbono del Departamento de Ingeniería Química →4. Un acuerdo entre ABB e Imperial College concede a esta universidad acceso a tecnologías avanzadas de control e instrumentación, así como a servicios y apoyo para la instalación. A cambio, ABB tiene acceso a la planta piloto para realizar demostraciones y ofrecer formación a sus clientes, así como para realizar ensayos de nuevas tecnologías, todo ello en pleno centro de Londres. Se está construyendo una segunda unidad de demostración. El año pasado, ABB firmó un memorando de entendimiento con vistas a explorar oportunidades para la creación de una unidad de demostración de red eléctrica digital única que incorpora ABB Ability™, el servicio digital intersectorial unificado de ABB.

03

**El siguiente nivel de optimización de redes de procesos: PRONTO**

ABB participa en el proyecto PRONTO (PROcess NeTwork Optimization)[3]. PRONTO es un programa europeo de doctorado industrial financiado por la iniciativa Marie Sklodowska-Curie Actions, en el marco del programa Horizonte 2020 de la UE →5. Entre los socios del consorcio se encuentran universidades líderes como Imperial College London, TU Dortmund, la Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología, la Universidad AGH de Ciencia y Tecnología, la Universidad Cranfield, la Universidad de Valladolid y la Universidad Carnegie Mellon, y empresas de prestigio en innovación como BASF, Petronor, Equinor, Acciai Speciali Terni y INEOS.

PRONTO se centra en la optimización de redes de procesos para lograr el funcionamiento eficiente y sostenible de las industrias de proceso europeas, teniendo en cuenta el estado de la maquinaria y el rendimiento de los procesos. Los temas de investigación del proyecto son:

- Análisis de datos para evaluar el estado y el rendimiento de redes de equipos de producción de la industria de proceso.
- Optimización del uso de los recursos en redes de procesos, teniendo en cuenta la información en tiempo real sobre el estado y el rendimiento de los equipos de proceso.
- Nuevos conceptos de operación de procesos que los socios industriales consideran que podrían tener un potencial elevado.

El consorcio ofrece formación a investigadores en ciernes en el marco del programa europeo de doctorado industrial mediante la participación del sector no académico en la supervisión conjunta de la formación doctoral. Se hace especial hincapié en proyectos de doctorado pertinentes en términos industriales que conducen a demostraciones prácticas. La colaboración se manifiesta de formas muy diversas: desde la transferencia de conocimientos y la puesta en común de estudios de casos hasta publicaciones conjuntas y sesiones de intercambio de ideas durante las reuniones del proyecto.

Una solución combina enfoques probabilísticos en una estructura analítica innovadora para crear un marco de supervisión del estado transparente, flexible, modular y escalable.

El proyecto PRONTO produce continuamente innovaciones en la optimización de procesos. Uno de estos avances pretende combinar datos cuantitativos y cualitativos de diversas fuentes para supervisar el proceso y lograr una evaluación del estado más fiable y robusta →6. El motivo de esta investigación es que la maquinaria y los procesos industriales generan muchos datos procedentes de fuentes dispares, cada uno de los cuales puede ser una valiosa fuente para supervisar el proceso. Se pueden utilizar diferentes fuentes de información para supervisar el estado de los sistemas, y cada fuente o sensor es adecuado para diagnosticar diferentes fallos. Las estrategias de supervisión que fusionan datos de múltiples fuentes tienen el potencial de diagnosticar un mayor número de fallos con mayor precisión y fiabilidad.

04

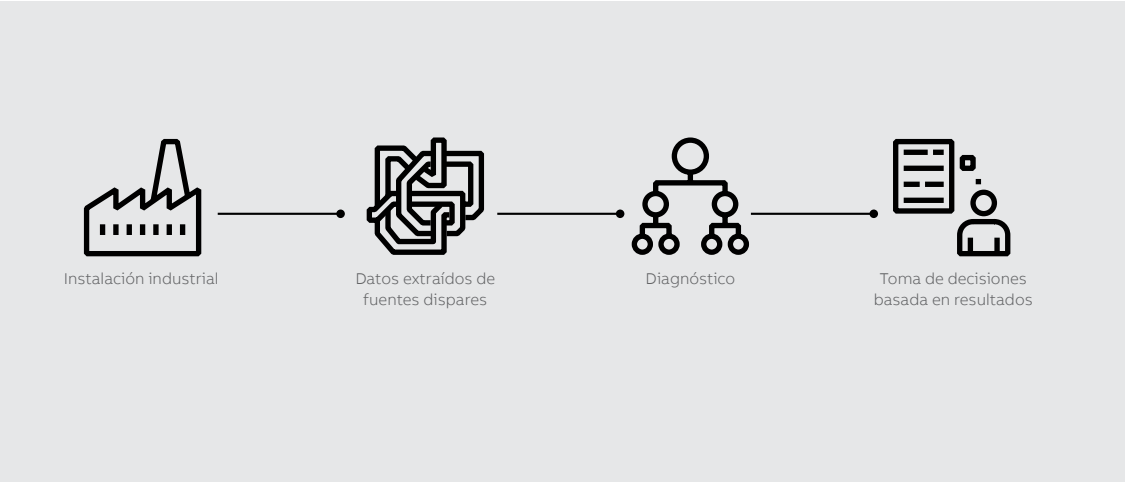
05

PRONTO
PROcess NeTwork Optimization

—
04 Planta piloto de captación de dióxido de carbono del Departamento de Ingeniería Química. Fotografía © 2018.

—
05 El proyecto PRONTO se centra en la optimización de la red de proceso.

—
06 Se pueden combinar datos dispares para ofrecer una supervisión más robusta y precisa.




06

—
**Referencia**
[1] Stief A. et al., «Two stage data fusion of acoustic, electric and vibration signal for diagnosing faults in induction motors», Elektronika ir Elektrotechnika, vol. 23, n.º 6, pp. 19-24, 2017.

—
**Nota al pie**
3) Este proyecto ha recibido financiación del programa de investigación e innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea, en el marco del acuerdo de subvención Marie Sklodowska-Curie número 675215.

Otro avance reconoce que se necesitan nuevas técnicas de supervisión del estado para abordar los nuevos retos de los datos masivos y heterogéneos. Una de estas soluciones combina enfoques probabilísticos, como la inferencia bayesiana y los análisis estadísticos multivariantes, como el análisis de componentes principales, en una estructura analítica innovadora para proporcionar un marco de supervisión del estado transparente, flexible, modular y escalable. Además de fusionar datos de múltiples fuentes para lograr un diagnóstico preciso de los fallos, el método permite al usuario final rastrear el proceso de toma de decisiones hasta el origen e identificar los tipos de señal que contribuyeron a la decisión [1]. Esta solución es solo una de las muchas que se están desarrollando actualmente en el marco del proyecto.

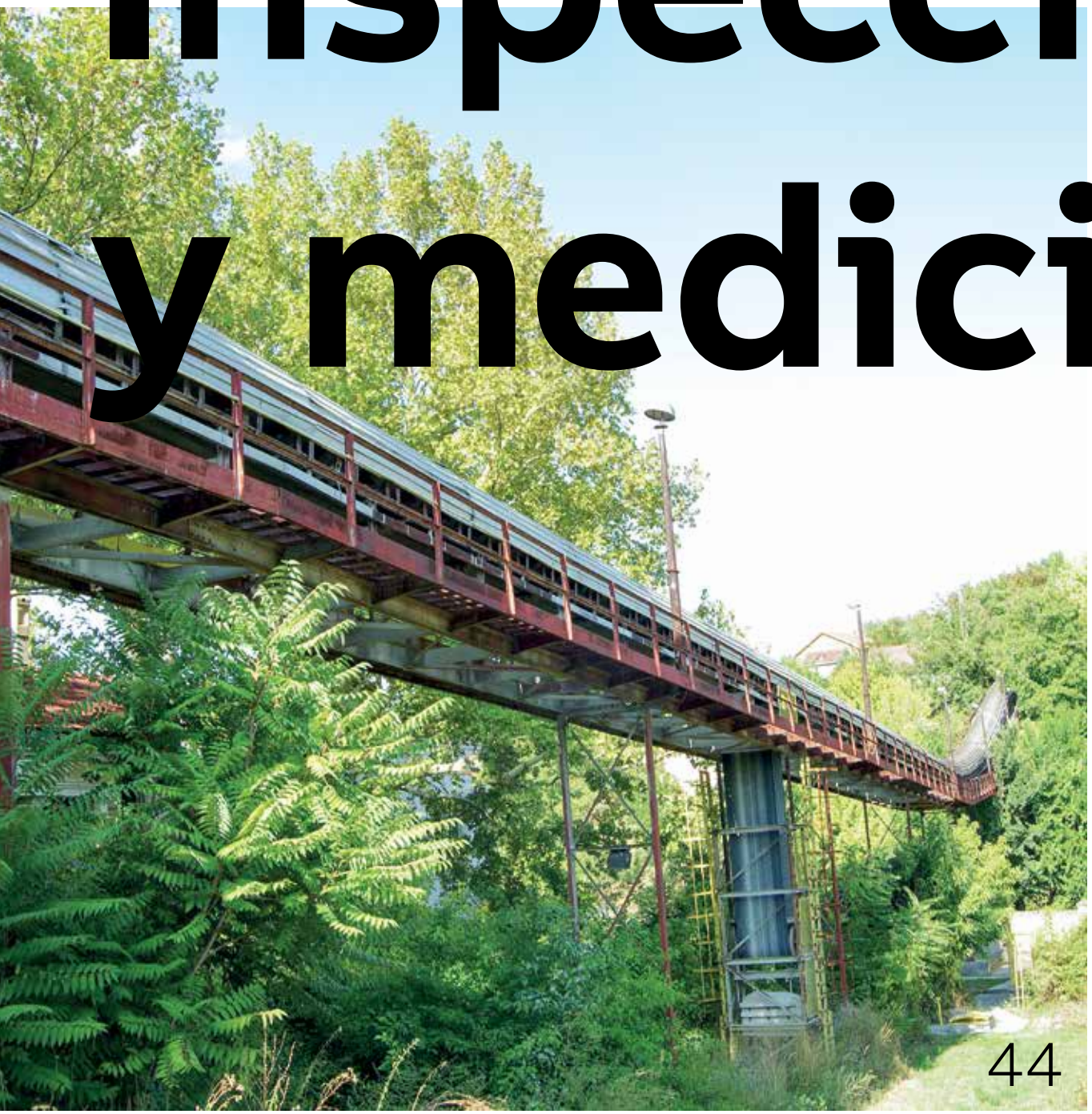
**Digitalización y colaboración**
La digitalización dictará las especificaciones de la próxima generación de productos, sistemas y servicios. También tiene el potencial de revolucionar y revitalizar aplicaciones consolidadas. Las soluciones digitales más avanzadas permitirán controlar con mayor precisión y fiabilidad el rendimiento de las plantas actuales, permitiendo así una gestión mejor fundamentada de los activos y los recursos.

Pero hay problemas sin resolver: los crecientes volúmenes de datos de los subsistemas de procesos exigen mejores formas de combinar información procedente de fuentes dispares. Por otro lado, a medida que se habilitan más sistemas para producir más datos, los límites tradicionales entre los distintos subsistemas de procesos, mecánicos y eléctricos son menos significativos, lo que exige una comprensión multidisciplinar de las interacciones que ocurren entre los distintos elementos.

—
Las soluciones digitales del próximo nivel controlarán con mayor precisión y fiabilidad el rendimiento de la planta y permitirán una gestión mejor fundamentada de los activos y recursos.

Para abordar muchos de estos retos, ABB sigue participando en diversos proyectos de colaboración con universidades líderes y empresas innovadoras. Los conocimientos y la experiencia compartidos en el marco de estas colaboraciones permiten resolver retos relevantes para la industria con tecnologías digitales de vanguardia. Además, estas colaboraciones entre academia e industria están proporcionando a la próxima generación de investigadores con talento la formación y la experiencia necesarias para seguir ofreciendo tales innovaciones digitales en el futuro a largo plazo. ●

# Inspección y medición



44

n

n

**La detección de anomalías de funcionamiento en lugares distantes, entornos complejos y gradientes de cambio cada vez menores requiere una nueva forma de ver e interpretar los datos de rendimiento en tiempo real. ABB está aplicando estas soluciones en sectores como la minería, el petróleo y el gas y el transporte de electricidad.**


44 Servicios de inspección de cintas transportadoras ABB Ability™

50 Medición del flujo multifásico basada en la nube

54 Oportunidades para los sensores eléctricos

INSPECCIÓN Y MEDICIÓN

# Servicios de inspección de cintas transportadoras ABB Ability™

La parada imprevista de las cintas transportadoras, muy utilizadas en minería, causa costes y pérdidas de producción considerables. Si bien ABB ofrece supervisión del estado de los motores, los accionamientos, las cintas y los transformadores, los miles de rodillos que sostienen la cinta y la carga permanecen en gran medida sin supervisar. Hasta ahora.

**Eduardo Botelho**
ABB Process Industries
São Paulo, Brasil

eduardo.botelho@br.abb.com

**Harald Staab**
ABB AG
Ladenburg, Alemania

harald.staab@de.abb.com

01

—
01 Las cintas transportadoras se utilizan mucho en la industria minera en todas las zonas climáticas y bajo tierra. La supervisión del estado de los miles de rodillos de forma efectiva y económica puede representar grandes beneficios.

Los bajos precios de muchas materias primas mineras están obligando a maximizar la eficiencia de su explotación. La fiabilidad de los equipos clave es un factor crucial en este empeño. Una estrategia para lograr la fiabilidad es introducir herramientas y servicios de supervisión, análisis y optimización inteligentes de los procesos. Los sistemas de cintas transportadoras esenciales para las explotaciones mineras suelen estar equipados con herramientas y servicios de supervisión de motores, accionamientos, cintas y transformadores. Pero hasta ahora no se había prestado atención a los miles de rodillos que sostienen la cinta y la carga.

—

Los intentos pasados de medir la degradación de los rodillos con sensores de vibración y temperatura situados en su interior resultaron poco fiables.

**El problema de los rodillos**

Los rodillos ruidosos pueden infringir los reglamentos de emisiones de ruido, pero los defectuosos desperdician la energía y además causan un desgaste excesivo de la cinta y su desalineación o, en el peor de los casos, la rotura o el incendio de la misma. Todos estos factores también entrañan riesgos para el personal.

Hay cintas transportadoras en todas las zonas climáticas, a altitudes grandes y pequeñas y bajo tierra →1. Las cintas suelen tener varios kilómetros de longitud, transportan miles de toneladas por hora y se mueven a varios metros por segundo. Estas cintas transportadoras tienen decenas de miles de rodillos →2-3. Un problema básico de la detección de la degradación del rodillo es que tiene varios síntomas, como las emisiones de ultrasonidos y el calentamiento de las caras de los cojinetes del rodillo, que requieren múltiples tecnologías de detección. Los intentos pasados de medir la degradación de los rodillos con sensores de vibración y temperatura situados en su interior no dieron buenos resultados; de hecho, ni siquiera se demostró que los sensores fueran más fiables que los propios rodillos, dada la dureza de los entornos mineros.

02

**Un nuevo servicio para los rodillos**
ABB descubrió que una combinación de instantáneas de ultrasonidos y termografía tomadas regularmente (por ejemplo, a diario), proporciona información abundante y suficiente para detectar la degradación del rodillo mucho antes de que se produzca el fallo. Este enfoque es similar a la práctica actual de las rondas de inspección de los operadores, pero con mucha mayor coherencia y mejor calidad de los datos, ya que por lo general los operadores sólo utilizan el oído o cámaras térmicas portátiles y el juicio personal. La práctica común actual de la inspección manual no solo es costosa e irregular, sino también peligrosa.

ABB ha desarrollado un sistema que realizará inspeccionará los rodillos de forma totalmente automática y muy homogénea, con mayor sensibilidad y rentabilidad que la inspección manual. Este nuevo servicio funciona con un vehículo automático que transporta los sensores, lo que garantiza la repetibililidad, rapidez y seguridad de las inspecciones.

03

El servicio se denomina ABB Ability Conveyor Roller Inspection Services (CRIS, Servicios de inspección de rodillos de cintas transportadoras). CRIS está dirigido a todas las empresas mineras y metalúrgicas con cintas transportadoras. Puede ofrecerse como elemento independiente o como complemento de otros servicios de ABB para cintas transportadoras. El servicio proporciona la supervisión automatizada de todos los rodillos

—

ABB ha desarrollado un sistema de inspección de rodillos totalmente automático y muy uniforme, con mayor sensibilidad y rentabilidad.

y detecta los defectuosos o predice el fallo con anticipación. Esto se consigue valorando el estado de los rodillos individuales en una curva de rendimiento →4 y localizando rodillos en las etapas iniciales de degradación, al inicio del intervalo de fallo potencial (P-F). Esto permite identificar los rodillos que deben limpiarse, engrasarse o sustituirse durante la siguiente parada planificada.

**Sistema de vehículo y raíl**
Uno de los principales retos, además de las tecnologías de sensor correctas, es la colocación de los sensores de forma automática, precisa y fiable. Dado que se requieren como mínimo registros termográficos y ultrasónicos, las instalaciones fijas no son una opción, aunque solo sea por razones de coste. Los sensores deben desplazarse a su objetivo con regularidad y quedarse allí durante la breve duración de los registros.

—
02 Las cintas pueden tener varios kilómetros de longitud y miles de rodillos.

—
03 Los rodillos giran muy deprisa y están sujetos a condiciones duras: vibración, golpes, polvo, calor, humedad, etc.

—
04 CRIS supervisa el rendimiento de los rodillos y detecta los que no están lejos del intervalo P-F, para planificar el mantenimiento a tiempo.

—
05 Prototipo tecnológico del vehículo de inspección CRIS.

05a El vehículo de inspección es un tren con una locomotora y un vagón sensor. El cabezal del sensor tiene una unidad de rotación e inclinación.

05b El vehículo tiene una sección transversal reducida.

5c El raíl puede montarse en A o C en cintas cubiertas, o mejor en B para ver mejor los rodillos.

Para transportar los sensores se pensó en un vehículo terrestre o aéreo, o la propia cinta. Pero se descubrió que la mejor opción era un vehículo sobre raíles, porque debe recoger datos automáticamente y durante muchas semanas sin intervención manual ni mantenimiento →5.

El raíl, el componente más costoso, es una barra en L corriente, preferiblemente de acero, que puede obtenerse en todo el mundo en medidas métricas o imperiales. Los soportes que sujetan el raíl a la estructura de la cinta también son baratos y solo deben adaptarse para su montaje en la cinta.

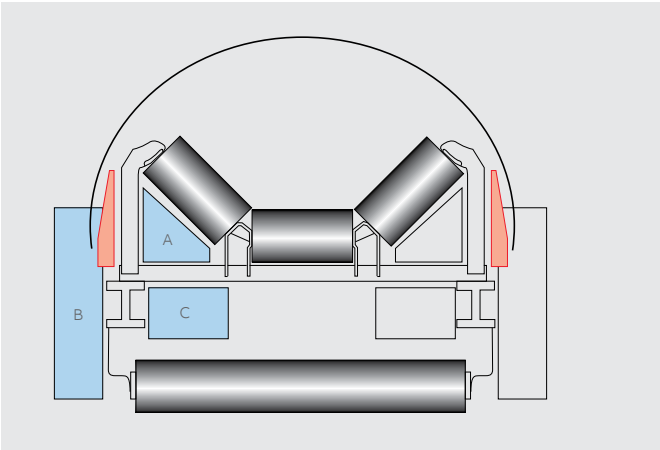
## El vagón sensor controla el movimiento de la locomotora y la posición del cabezal del sensor en una unidad de rotación e inclinación.

El vehículo es un tren suspendido (para mejorar la estabilidad) con al menos una locomotora y un vagón sensor. La locomotora proporciona tracción y alimentación. El vagón sensor controla el movimiento de la locomotora y la posición del cabezal del sensor en una unidad de rotación e inclinación. Los recorridos de inspección se programan y ejecutan de manera regular, lo que elimina la necesidad de una conexión de radio continua al vehículo y hace que el comportamiento del sistema sea predecible y uniforme.

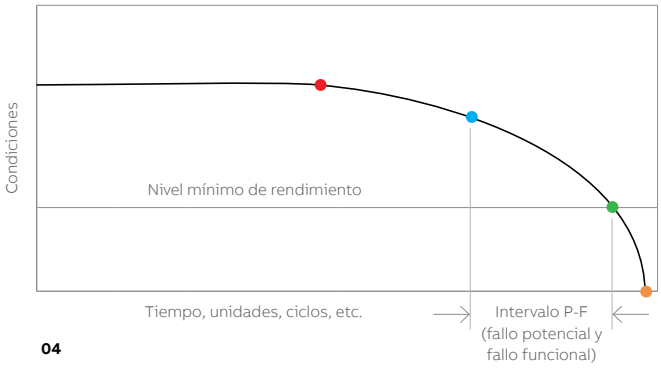
El peso total del tren es de solo unos 6 kg. El descarrilamiento se evita con protecciones mecánicas que garantizan un funcionamiento seguro y prácticamente eliminan cualquier riesgo de lesiones al personal. El diseño del vehículo incluye una carcasa de goma y un techo inclinado para evitar daños por caída de piedras o escombros.

05a

05b




05c




— Punto en el que comienza a producirse el fallo
— Punto en el que el usuario puede averiguar que el rodillo está fallando: fallo potencial
— Punto en el que ha fallado: fallo funcional
— Punto en el que ha fallado totalmente

04

06a

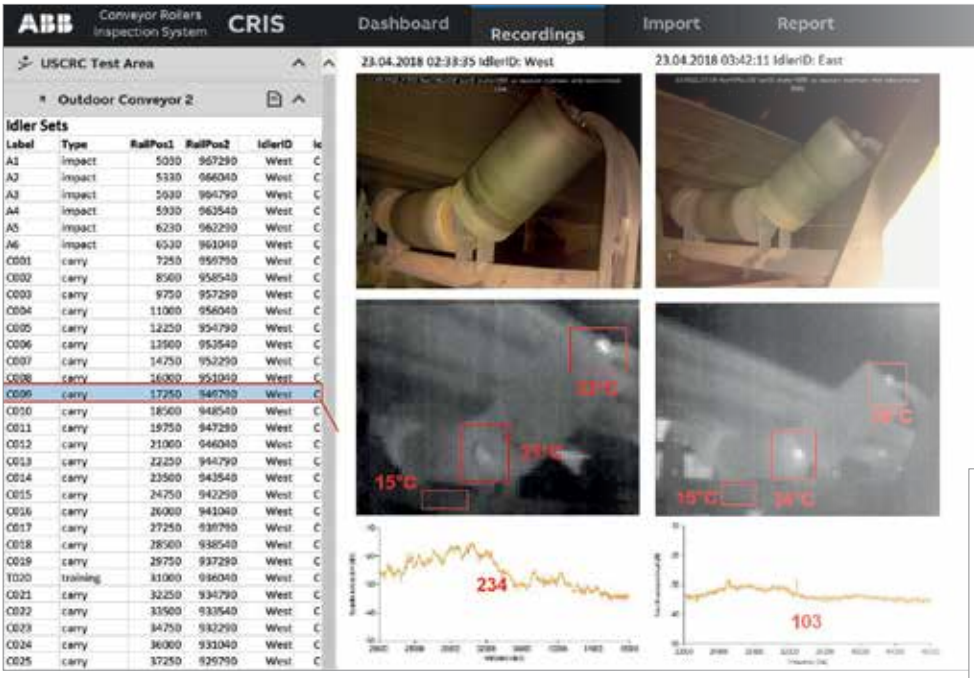
06b

**Flexibilidad de instalación**

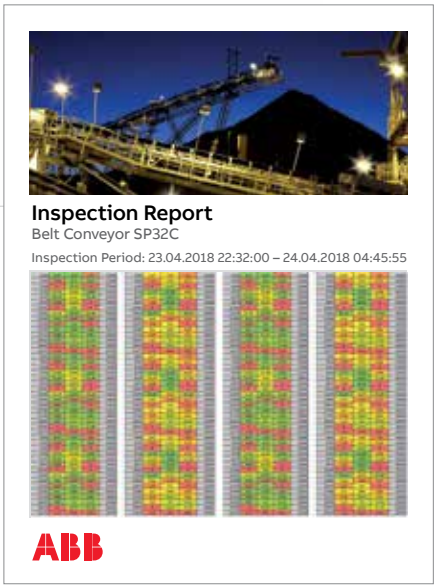
Hay variantes de diseño adaptadas a estructuras de cinta y entornos diversos →6:

- El raíl se puede montar en cualquiera de los lados de la cinta transportadora o en ambos. La instalación en ambos lados mejora los resultados de la detección, ya que se toman muestras de los mismos rodillos desde diferentes puntos de vista.
- Las secciones curvas de los raíles permiten el paso de obstáculos o la transición entre las ubicaciones A, B y C en →5c. El radio mínimo es actualmente de 1 m. Pueden trazarse curvas horizontales y verticales. Las curvas se prefabrican con una máquina curvadora y se envían al emplazamiento.
- Se permiten pendientes de hasta 30° en modo de fricción. Se puede añadir un mecanismo de rueda dentada para secciones más pronunciadas.
- Dependiendo de los puntos de montaje del raíl, hay diferentes variantes de diseño para los soportes de montaje. La soldadura es preferible para la instalación y la unión de segmentos de raíles, pero también se pueden usar tornillos, por ejemplo, para cintas de carbón y subterráneas.
- Para mayor protección del raíl y el vehículo, el raíl puede estar cubierto.
- Se puede añadir una locomotora para cintas largas o inclinadas que requieren más potencia de tracción o capacidad de batería. Se puede añadir un vagón sensor para acelerar la inspección o mejorar los resultados de la detección.
- El cabezal sensor tiene una cámara térmica, una cámara visual con una luz LED y un micrófono ultrasónico. Se admiten otras combinaciones para ciertos entornos o tipos de cinta transportadora: por ejemplo, más micrófonos o una combinación de tipos de micrófono para mejorar el mapeado sónico, u omisión de las cámaras en entornos muy sucios.

07




08




—
06 Opciones de instalación del raíl.

06a El diseño del soporte de montaje del raíl puede ajustarse al diseño de la cinta.

06b Se admiten curvas horizontales y verticales y pendientes.

—
07 Captura de pantalla de la estación de control y análisis de datos de CRIS, con la lista completa de rodillos (izquierda), su ubicación en la imagen del satélite (centro) y los resultados del análisis de datos de inspecciones anteriores (derecha).

—
08 Captura de pantalla de la estación de control y análisis de datos CRIS, que ofrece resultados del análisis y acceso a los datos de inspección en bruto. Periódicamente se emite un informe de inspección que se utiliza para planificar el mantenimiento de los rodillos.

Después de cada recorrido de inspección, el vehículo se acopla al puerto de carga de baterías de una estación base y carga todos los datos de inspección para su análisis.

La estación de análisis y control CRIS es la interfaz gráfica para que el experto de servicio programe de forma remota los recorridos de inspección y muestre y analice los datos en bruto →7,8.

## Analizando el historial de datos de los rodillos se genera un mapa detallado del estado de toda la cinta.

Cada recorrido de inspección proporciona una instantánea detallada del estado actual de cada rodillo. Analizando los datos históricos de los rodillos se crea un mapa detallado del estado de toda la cinta transportadora. Además, el análisis de tendencias puede indicar una probabilidad de fallo inminente y permite la planificación de sustituciones.

CRIS dota a los clientes del sector minero de una herramienta de inspección flexible totalmente autónoma, de instalación sencilla y fácil funcionamiento y mantenimiento. CRIS se desplaza junto con la cinta transportadora y utiliza sensores adaptados a una variedad de parámetros físicos diferentes para identificar los fallos inminentes de los rodillos. Los datos recopilados permiten al cliente reducir el tiempo de inactividad no planificado, los gastos de mantenimiento, las pérdidas de producción y la exposición del personal al riesgo. ●

**Agradecimientos**
Los autores desean manifestar su gratitud por la dedicación, el trabajo entregado y las valiosas aportaciones hechas al proyecto CRIS por los principales miembros del equipo: Otavio Rocha y Tiago Prata, ABB Process Industries, Sao Paulo, Brasil; Harshang Shah, Daniel Lasko y William Eakins, ABB Corporate Research, Bloomfield, CT, Estados Unidos; y Maria Rozou, ABB Process Industries, Baden-Dättwil, Suiza.

INSPECCIÓN Y MEDICIÓN

# Medición de flujo multifásico basada en la nube

Los campos petrolíferos producen flujos que son mezclas de petróleo, agua y gas. La medición de estos componentes ha sido durante mucho tiempo una actividad cara y delicada. Ahora, ABB ha colaborado con Arundo Analytics para crear un caudalímetro multifásico virtual basado en la nube que obtiene mediciones de los datos y los dispositivos existentes.

**Espen Storkaas**
ABB Offshore Oil & Gas, Digital ABB
Oslo, Noruega

espen.storkaas@no.abb.com

**Mogens Mathiesen**
Arundo Analytics
Oslo, Noruega

La popular imagen de un pozo de petróleo con un chorro que sube hasta el cielo es anticuada y engañosa. Los yacimientos petrolíferos productivos y fácilmente accesibles llevan mucho tiempo descubiertos y explotados. La producción moderna de petróleo y gas es más discreta, y suele efectuarse en lugares remotos o subacuáticos. El chorro de petróleo puro que sale disparado de la torre de perforación en las películas antiguas es ahora infrecuente. En realidad, los flujos de un yacimiento petrolífero contienen una mezcla siempre cambiante de petróleo, gas, agua y arena →1.

Aunque los caudalímetros multifásicos son más pequeños y económicos que los separadores, su adquisición, instalación y funcionamiento siguen siendo caros.

A medida que un pozo de petróleo envejece, la proporción de agua producida aumenta; algunos pozos funcionan con proporciones de agua producida superiores al 95 %.

Aunque las cribas de arena cercanas a la zona de producción atrapan gran parte de la arena, parte permanece en el flujo y causa un efecto erosivo muy fuerte en las tuberías, las válvulas, etc. Si el gas está presente en pequeñas cantidades no comerciales se quema; pero si el contenido de gas es mayor, pasa al flujo de producción.

**Medición de flujo multifásico tradicional**

La medición de los distintos componentes de este flujo multifásico es claramente de interés para los operadores de yacimientos petrolíferos. Esta medición tiene una larga historia y se han probado muchos enfoques diferentes a lo largo del tiempo, cada uno con sus ventajas e inconvenientes.

Uno de ellos son los separadores de gravedad, que separan los distintos componentes en capas individuales y los canalizan. Pero los separadores tienen problemas de latencia y han de ser muy voluminosos y pesados si hay grandes flujos, una situación no muy recomendable, teniendo en cuenta que en una plataforma off-shore el espacio es caro y difícil de conseguir.

01

—
01 La tecnología digital permite que operadores de todos los tamaños se beneficien de la medición multifásica de bajo coste y escalable, y que no requiere hardware de campo adicional.

Los separadores parciales son menos costosos y más pequeños y fáciles de transportar, pero proporcionan solo una instantánea del flujo multifásico.

—

La tecnología digital permite que operadores de todos los tamaños se beneficien de la medición multifásica de bajo coste y escalable, y que no requiere hardware de campo adicional.

Los caudalímetros multifásicos también se han popularizado en las últimas décadas →2. Estos medidores se sirven de diversos principios y parámetros físicos (como temperatura, presión, densidad, ultrasonidos, electromagnética) para calcular cada componente del flujo. Tal riqueza de principios de detección, junto con el hardware y el software asociados, tienen un coste: la producción y la calibración de los medidores es compleja, y muchos técnicos con experiencia en la medición multifásica están alcanzando la edad de jubilación. Aunque los caudalímetros multifásicos son más pequeños y económicos que los separadores, su adquisición, instalación y funcionamiento siguen siendo caros. Además, como no hay dos aplicaciones de petróleo y gas iguales, los caudalímetros comerciales no son una opción viable y los medidores deben fabricarse a medida. Los operadores de yacimientos petrolíferos, por lo tanto, son muy exigentes en cuanto a los medidores. Pero ahora la tecnología digital está cambiando el panorama, ya que permite que operadores de todos los tamaños se beneficien de la medición multifásica de bajo coste, escalable y sin hardware de campo adicional.

**De la medición multifásica física a la virtual**

Arundo Analytics y ABB han colaborado para crear los primeros caudalímetros multifásicos virtuales basados en la nube para la industria off-shore de petróleo y gas. La nueva solución formará parte de la cartera totalmente integrada de ABB Ability™.

02

La experiencia de Arundo Analytics complementa la de ABB: Arundo Analytics ofrece software basado en la nube y con tecnología de vanguardia para la implantación y la gestión de soluciones de ciencia de los datos industriales a escala empresarial. Su software se sirve del aprendizaje automático y otros métodos analíticos para conectar datos industriales con modelos avanzados para mejorar

Los análisis del caudalímetro virtual dotan a los operadores de datos en tiempo real sobre las propiedades de cualquier flujo de fluidos.

el proceso de toma de decisiones. Por otra parte, ABB cuenta con más de 50 años de experiencia en modelado y simulación, incluido el modelado de fases individuales y fluidos mixtos en flujos multifásicos, que proporcionan perspectivas analíticas para la industria del petróleo y el gas.

El nuevo caudalímetro multifásico virtual ABB Ability basado en la nube conecta ABB Ability y el software Composer and Fabric de Arundo y hace que la medición multifásica sea mucho más asequible para los operadores de petróleo y gas. Los análisis del caudalímetro virtual ofrecen a los operadores datos en tiempo real sobre las propiedades de cualquier flujo de fluidos →3.

**No se necesita nada más**

Una característica importante del nuevo producto es que utiliza la información existente sobre el yacimiento, así como datos de la instrumentación estándar ya instalada en el sistema de pozos y tuberías. A partir de estas fuentes de datos se calculan en tiempo real los caudales individuales de petróleo, gas y agua. El caudalímetro multifásico virtual no necesita medidores físicos

Un aspecto importante del nuevo producto es que utiliza la información existente del yacimiento y los datos de la instrumentación estándar.

multifásicos ni ningún hardware especial, sino que simplemente utiliza los dispositivos que ya existen, como los sensores de presión, temperatura y flujo. Se puede usar cualquier dispositivo homologado de cualquier fabricante. Las repercusiones económicas son obvias: utilizando lo que ya existe, los usuarios pueden ahorrar cientos de miles de dólares que de otro modo se gastarían en la compra, instalación y mantenimiento de equipos de medición multifásica, como separadores o caudalímetros. Además, se elimina la necesidad de encontrar especialistas cualificados en la instalación, puesta en marcha y calibración de los separadores o los caudalímetros.

Se obtienen más ahorros evitando el cierre del pozo. El caudalímetro multifásico virtual ABB es completamente no intervencionista, por lo que no es necesario interrumpir la producción para medir el flujo físico; se evita así la posible pérdida de ingresos de miles de barriles de petróleo no producido.

—
02 Un caudalímetro multifásico de ABB.

—
03 La herramienta ayuda a maximizar la utilidad de los datos recopilados presentándolos de forma clara y sencilla, para que los operadores identifiquen fácilmente áreas de mejora en la explotación del pozo.

**De nube a nube**

La herramienta utiliza un modelo de flujo trifásico basado en datos específicos del pozo que incluye:

- Información sobre la geometría y el perfil del pozo: longitud, inclinación, diámetro, etc.
- Datos de presión, volumen y temperatura.
- Características del regulador de la boca del pozo.
- Composiciones de fluidos de análisis de laboratorio.
- Un mínimo de tres meses de datos operativos.

Los datos en tiempo real recogidos de los instrumentos de campo se utilizan para actualizar el modelo y mejorar continuamente su poder de interpretación.

—

Tanto ABB Ability como el software de Arundo Analytics se basan en la nube, lo que facilita el intercambio de datos.

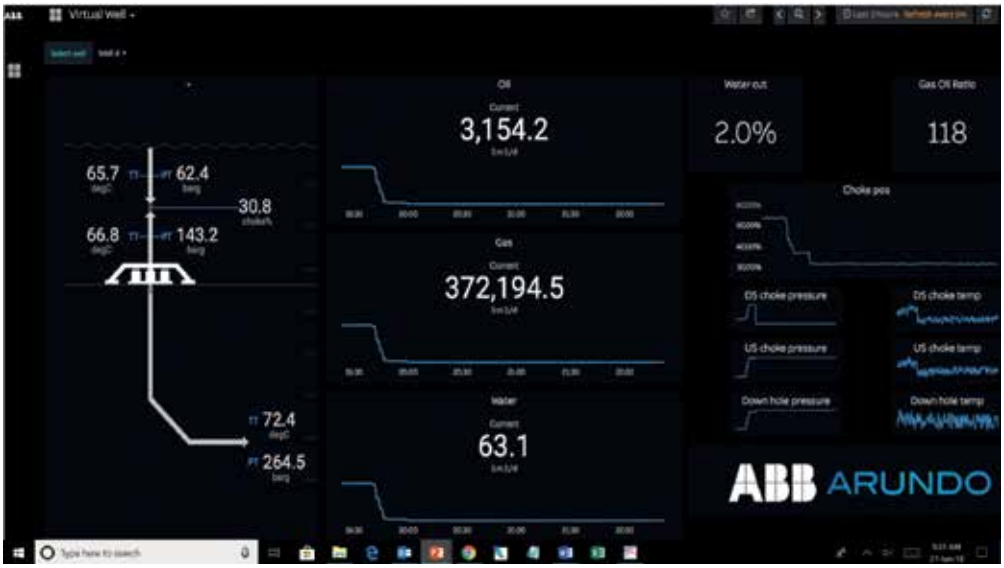
Tanto ABB Ability como el software Arundo Analytics se basan en la nube, lo que facilita la puesta en común de los datos entre ambas plataformas y con cualquier parte relevante y autorizada de la organización cliente. Incorpora un panel de control con acceso a los datos del caudalímetro multifásico virtual almacenados en el depósito de datos de un cliente.

El carácter ampliable de la herramienta significa que las organizaciones que hasta ahora no habían podido medir continuamente sus flujos multifásicos ahora pueden hacerlo por un coste muy inferior al de la instalación de la infraestructura antes necesaria. Si las operaciones se amplían o se necesita una supervisión más amplia, el modelo escalable de pago en función del crecimiento hace que sea fácil añadir capacidad. Y una vez que una organización se ha suscrito a la herramienta, esta está disponible de manera universal, por lo que puede ser utilizada en todo el mundo para supervisar y comparar el rendimiento de varios pozos.

**Multifásico y más**

Cada vez es más difícil encontrar reservas viables y accesibles de petróleo y gas, por lo que es fundamental optimizar la eficiencia y la productividad de los activos existentes. Con sus servicios de análisis, el caudalímetro multifásico virtual ofrece a las empresas datos en tiempo real sobre las propiedades de cualquier flujo de fluidos producidos y, por tanto, más transparencia en sus operaciones para que puedan encontrar soluciones rentables y fiables y minimizar los costes de explotación. Operadores de todos los tamaños pueden beneficiarse de esta solución económica y escalable.

Con el software de Arundo para combinar modelos físicos con lo último en TI y aprendizaje automático, ABB puede aprovechar la experiencia adquirida con el desarrollo del caudalímetro multifásico virtual para ofrecer a la industria del petróleo y el gas otras aplicaciones innovadoras basadas en la nube y en los datos. ●




03

INSPECCIÓN Y MEDICIÓN

# Oportunidades para los sensores eléctricos

La demanda de sensores para medir la intensidad, la tensión y la potencia a todos los niveles de tensión va en aumento. Los retos técnicos y de rendimiento que afrontan estos sensores pueden abordarse combinando nuevos materiales y tecnologías, métodos de simulación mejorados y enfoques de diseño innovadores.

**Adrian Hozoi**
ABB Corporate Research
Ladenburg, Alemania

adrian.hozoi@de.abb.com

**Rolf Disselnkötter**
Antiguo empleado de ABB

El transporte, la distribución y el control de la electricidad han exigido siempre la medición de la intensidad, la tensión, la potencia y la energía [1] →1. Estas mediciones cobran importancia con la creciente integración de fuentes de energía renovables distribuidas, la necesidad de más convertidores de potencia y de una gestión flexible de la carga, el aumento de la movilidad electrónica →2, las ampliaciones de las redes existentes y las cambiantes estructuras de las redes inteligentes que necesitan controlar y optimizar el flujo de energía manteniendo la calidad necesaria. Además de lo anterior, es urgente sustituir la vieja infraestructura: el reacondicionamiento suele ir acompañado del deseo de actualizar la funcionalidad y la fiabilidad o de realizar la integración digital de los equipos.

Para algunos requisitos técnicos y de costes no hay soluciones comerciales.

—
01 Importantes cambios en la naturaleza del transporte, la distribución y el control de la electricidad requieren cambios significativos de medición de la intensidad, la tensión, la potencia y la energía, que vendrán de la mano de nuevas tecnologías y técnicas (Foto: Anthony Byatt).

**01**

Todos estos factores requieren la medición y el control precisos de los parámetros eléctricos en muchos puntos de la red para aplicaciones de protección, medición, supervisión y control. Aparte de la mera necesidad de aumentar el número de sensores eléctricos, también existen, en muchos casos, requisitos técnicos y de costes específicos para los que no hay soluciones comerciales.
Los nuevos diseños y soluciones electrónicas ofrecerán nuevos grados de libertad y facilitarán la integración digital en los sistemas de protección y control. Las nuevas normas (IEC 61869, IEC 61850, IEC 62052, IEC 62053, etc.) se adaptan a estos desarrollos.

—

## Suele ser difícil diseñar sensores más precisos que los transformadores de medida.

Los campos de aplicación de ABB para los sensores eléctricos abarcan todos los niveles de tensión: desde aplicaciones de baja tensión (BT) para la automatización de edificios o la distribución de energía en la industria →3 y para el control de convertidores y accionamientos, pasando por la protección y la supervisión de aparamenta de media tensión (MT) →4 o grandes máquinas de MT [2], hasta aparamenta de alta tensión (AT) aislada con gas (GIS) o con aire (AIS). En MT y AT también se requiere detección en los equipos secundarios, por ejemplo, a la entrada de los relés →5, que están en el nivel de BT pero que implican requisitos específicos adicionales.

La justificación del empleo de sensores no sólo se ve reforzada por las ventajas mencionadas, sino también porque la potencia auxiliar para la electrónica está disponible en cada vez más lugares, lo que hace que el suministro desde el transformador de medida resulte superfluo. Además, el mercado tiene un número creciente de aplicaciones de CC que no pueden cubrirse con transformadores de medida pasivos.

Los sensores eléctricos deben cubrir una amplia gama dinámica para reducir el número de versiones de capacidad necesarias para una aplicación determinada.

Mientras que los sensores ópticos de intensidad o tensión se utilizan, hasta la fecha, con amplitudes de intensidad o tensión muy altas [3], las aplicaciones típicas de MT y BT están casi exclusivamente cubiertas por soluciones no ópticas, como divisores de tensión, derivadores, sensores de corriente inductiva y sensores basados en elementos de detección de campos magnéticos. Esta restricción se debe a que los presupuestos de BT y MT son sustancialmente inferiores. Aunque muchos de estos productos ya están presentes en el mercado, cuando se pretende realizar mejoras importantes para una aplicación específica, casi siempre es necesario desarrollar una solución de sensores personalizada.

**Problemas**

Dado que están intrínsecamente autocompensados, los transformadores pasivos bien diseñados funcionarán de manera muy lineal y con una desviación de fase baja. Les afectan poco los campos externos, la temperatura y el envejecimiento dentro de su

02

—
02 Estación de carga rápida de VE Terra 53 de ABB.

—
03 Familias de interruptores de BT Emax 2.

margen de funcionamiento normal. Además, se autoabastecen y no están sujetos a desviación de CC. Los sensores activos son diferentes: necesitan una fuente de alimentación adicional y, dependiendo de su principio de funcionamiento, disposiciones especiales para lograr una precisión suficientemente elevada.

Además, los sensores eléctricos deberían cubrir una amplia gama dinámica para reducir el número de versiones necesarias para una aplicación determinada. Asimismo, hay aplicaciones que necesitan un ancho de banda grande, como el control de convertidores, o un consumo muy bajo, como los dispositivos autónomos. Otros retos pueden ser lograr una alta fiabilidad de la electrónica o una baja diafonía a altas densidades de integración en sistemas multifásicos.
Para aplicaciones de CC es indispensable una desviación baja.

03

Cumplir estos objetivos puede ser muy difícil y a menudo requerirá nuevos enfoques de diseño. Pero el desarrollo de estos nuevos enfoques es un precio que vale la pena pagar para aprovechar las ventajas de los sensores: tamaño y coste pequeños, mayor funcionalidad e integración mecánica y eléctrica sencilla. Dado que los requisitos de aplicación son muy diferentes, las soluciones de sensores optimizadas deben ser específicas. Lamentablemente, no existe un enfoque único.

—

Podría lograrse una reducción del volumen y el peso del 35 % y de costes del 25 % para el transformador de medida.

**Detalles que marcan la diferencia**
Ya se han hecho avances positivos en el ámbito de los sensores eléctricos, como, por ejemplo, en un proyecto de mejora y reducción de costes de los sensores de intensidad y tensión basados en bobinas Rogowski y divisores de tensión resistivos. Estos sensores se implementan en diferentes productos de MT, como combisensores de bloque, bornas y aisladores de soporte →6.

04

En estos proyectos se hizo hincapié en la necesidad de mayor precisión de la amplitud y la fase en amplias gamas dinámicas y de la reducción de la diafonía magnética y eléctrica, teniendo en cuenta tanto el envejecimiento como la deriva de temperatura. Los diseños, la selección de materiales y los procesos de fabricación se optimizaron en estrecha colaboración con los proveedores de componentes para mejorar la homogeneidad del bobinado, la estabilidad de la temperatura y el envejecimiento, y la resistencia a la tensión de los sensores.

—

Para el desarrollo satisfactorio, es esencial la cooperación estrecha entre investigadores, proveedores y el mundo académico.

El cumplimiento de los estrictos requisitos se verificó en pruebas exhaustivas. Estas se basaron tanto en la salida analógica de los elementos sensores independientes como en los sensores conectados a una unidad de fusión digital con procesamiento de señales, autocalibración y una interfaz IEC 81850-9-2LE con sincronización temporal.

Gracias al diseño innovador del divisor de tensión →6, protegido por varias patentes de ABB, el tamaño y el coste del dispositivo podrían reducirse aproximadamente a la mitad, mientras que la precisión y la resistencia a la tensión mejoran de manera notable. Mientras tanto, ABB ha introducido nuevas tecnologías en una amplia gama de sensores de MT y colabora a largo plazo con nuevos proveedores.

—
04 Aparamenta UniGear ZS1 MV.

—
05 Relé de protección REC 650 de la gama de productos Relion.

En un proyecto de desarrollo tecnológico más reciente, el objetivo era mejorar el diseño de los transformadores emparejados de los relés de protección del transporte de electricidad →5 que forman la interfaz entre la electrónica de los relés y los transformadores de medida principales de AT, con una salida nominal de 1 A o 5 A.

—

La presión de los costes y los requisitos técnicos específicos exigen soluciones personalizadas y conceptos de detección innovadores.

De nuevo, la atención se centró en la reducción del tamaño y el coste, mientras que el rango dinámico y la tolerancia a los impulsos de CC superpuestos debían mejorarse significativamente para hacer frente a las condiciones de cortocircuito y sobreintensidades de hasta 100 veces la intensidad nominal.

En este caso se optó por una solución de transformador de medida de baja potencia (LPCT) →7. Dado que el relé tiene su propia fuente de alimentación, no es necesario un suministro del CT que pueda, por tanto, combinarse con una carga muy baja. Este enfoque, junto con un nuevo diseño y una selección optimizada del material para el núcleo magnético, ha hecho posible cumplir los requisitos y mejorar de forma notable la precisión. Al mismo tiempo, podría lograrse una reducción del volumen y el peso del 35 % y una reducción de costes del 25 % para el CT en comparación con la solución implantada en los productos actuales. Gracias a estas importantes ventajas, es probable que la nueva solución no solo se utilice en la aplicación de AT original, sino también en los sistemas de distribución de MT.

Paralelamente al proyecto de transformadores emparejados se desarrolló una solución alternativa de gama alta. El enfoque se basa en un transformador de medida activo con una respuesta de baja frecuencia aún mejor, una gama dinámica más alta y un peso aún menor (reducción del 27 % con respecto a solución actual). No obstante, debido a la necesidad de electrónica adicional, el coste es casi el mismo que el de la solución existente. Este principio se está desarrollando actualmente para aplicaciones específicas de BT, en las que el coste podría ser menor.

05

Además de las aplicaciones de CA comentadas, ABB también está desarrollando sensores de CC. Un ejemplo es la versión CC del interruptor de BT de ABB Emax 2 →3, cuyo objetivo es sustituir las resistencias en shunt por grupos de detectores de campos magnéticos. Así se eliminaría tanto el alto coste como las pérdidas asociados inevitablemente a los shunts de intensidad elevada. Este proyecto se centra en la precisión, la estabilidad y la reducción de la diafonía, aspecto muy importante en una aplicación multifásica. Otra actividad es la medición de la CC en estaciones de carga rápida para vehículos eléctricos →2.

Otra actividad es la medición de la CC en estaciones de carga rápida para vehículos eléctricos.

Midiendo la potencia eléctrica en la salida (CC) del convertidor con un medidor de carril DIN preciso es posible determinar la energía total transferida a la batería con mucha más precisión que en la entrada del convertidor, donde las pérdidas de éste y del cable pueden afectar al resultado. Aún no se comercializan medidores adecuados para esta aplicación.

**Cooperación**

Para el desarrollo satisfactorio de una tecnología destinada a implantarse en un producto, es esencial la cooperación estrecha entre investigadores, proveedores y el mundo académico. Por ejemplo, una nueva idea de diseño puede afectar a los procesos de producción de los proveedores (como los fabricantes de resistores de bobina o de película gruesa), lo que obliga a colaborar con ellos.

Las universidades pueden ser socios importantes a la hora de evaluar y desarrollar nuevas tecnologías. En el área de la detección eléctrica, ABB ha establecido una fructífera cooperación estratégica con la Universidad Politécnica de Milán, POLIMI. Las actividades de la POLIMI se han centrado en la evaluación de diseños especiales de shunt, en matrices de sensores magnéticos para la detección de corriente y en el análisis de transformadores y componentes inductivos para detección y otras aplicaciones.

Las características magnéticas de los materiales magnéticos blandos desempeñan un papel importante para este último fin, ya que repercutirán en el margen dinámico, la precisión de amplitud y fase, la desviación y el ancho de banda de los sensores. Los parámetros geométricos también pueden afectar a estos aspectos e influir en propiedades como la diafonía y la tolerancia

06a

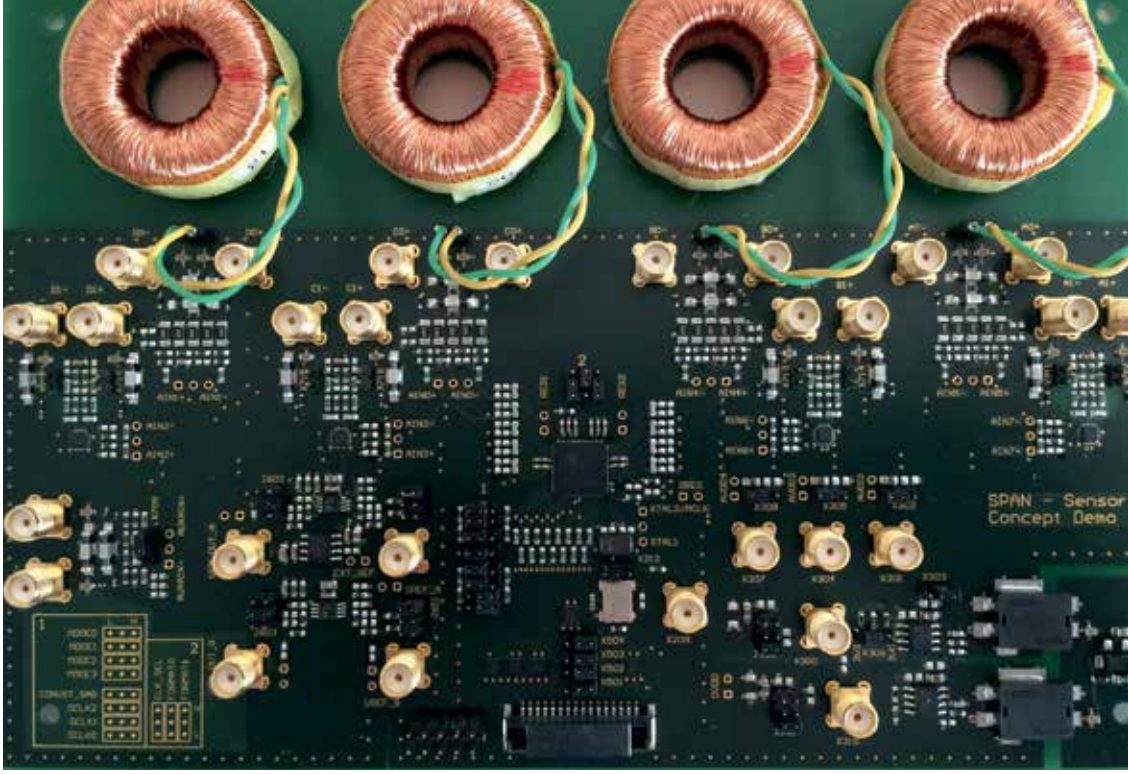
06b

—
06 Sensor de tensión del divisor resistivo.

06a Sensor de tensión del divisor resistivo integrado en un aislador de soporte de MT.

06b Comparación entre la nueva tecnología de divisor (izquierda) y la antigua.

—
07 Placa de circuito impreso (unidad de demostración) con cuatro transformadores emparejados nuevos.




07

—
**Referencias**
[1] R. Disselnkötter, A. Hozoi, «Current Sensors for Industry and Power Distribution», ABB Research Center Alemania, Informe anual 2008.

[2] S. Wildermuth et al., «Condition monitoring of synchronous engine based on measurement of circulating stator currents», actas del Congreso sobre tecnologías emergentes y automatización de fábricas del IEEE de 2014, Barcelona, España, 2014.

[3] K. Bohnert et al., «Luz para medir la intensidad», ABB Review 1/2014, pp. 13-17.

[4] T. Bödrich et al., «Transient Finite Element Analysis of a SPICE-coupled Transformer with COMSOL Multiphysics», Congreso COMSOL, París, 2010.

de CC. En algunas aplicaciones, el rendimiento transitorio de un componente magnético también puede ser relevante, en especial cuando está integrado en un circuito eléctrico.

—
Uno de los objetivos era modelar con precisión el comportamiento transitorio de los componentes magnéticos en los circuitos eléctricos.

Uno de los objetivos era, por tanto, modelar con precisión el comportamiento transitorio de los componentes magnéticos en los circuitos eléctricos. Para geometrías más complejas, el modelado suele basarse en métodos de elementos finitos (EF) [4]. Pero las simulaciones de transitorios en EF requieren mucho tiempo, y para la aplicación en herramientas de diseño, los tiempos de simulación deben ser cortos. Por tanto, ABB limitó el nuevo enfoque a dispositivos con baja complejidad geométrica, que pueden describirse con modelos analíticos parametrizados. Estos representan propiedades de materiales magnéticos como la anisotropía y la histéresis estática y dinámica, así como los principales elementos geométricos, como ramas de hierro, entrehierros, bobinas y trayectorias de flujo desviado. Los modelos se basan en elementos básicos que describen diferentes tipos de componentes magnéticos. ABB tiene previsto implantar bibliotecas de modelos de componentes y materiales magnéticos calibrados, de las que se pueden extraer piezas para modelar, analizar y optimizar el diseño de dispositivos magnéticos en diversos proyectos de desarrollo. Esta labor está en curso.

**Un amplio abanico de intereses**
Un reciente estudio interno de ABB ha confirmado la fuerte demanda de sensores eléctricos en muchas aplicaciones. Aunque ya hay numerosos productos diferentes en el mercado, la presión de los costes y los requisitos técnicos específicos exigen soluciones personalizadas y conceptos de detección innovadores. Se observa una demanda de avances en todos los niveles de tensión y en aplicaciones como la protección contra sobreintensidades o la detección de arcos, la medición, el control y la supervisión de estados y cargas. El crecimiento también está impulsado por la integración de las energías renovables, el control ampliado de la red, la automatización de edificios y la digitalización. Se impulsará el desarrollo y diseño de nuevos sensores mejorando los métodos de simulación y la disponibilidad de nuevos materiales, tecnologías y productos. ●

# Potencia

**ABB lideró gran parte de la revolución eléctrica que impulsó el siglo XX, y está profundamente comprometida con la innovación en el ámbito de la transformación de la producción y la distribución de energía para satisfacer la demanda e incrementar el uso de las renovables en el siglo XXI.**

64 Conversión de CA en HVDC para mejorar el transporte de electricidad
70 Definición de valores de cortocircuito para interruptores

POTENCIA

# Conversión de CA a HVDC para mejorar el transporte de electricidad

La creciente demanda de electricidad y la integración de las renovables están congestionando las líneas de transporte de CA. La ampliación física de la capacidad de CA no es ni sencilla ni barata. Pero convirtiendo las líneas de CA existentes a líneas de CC, puede incrementarse mucho la sin añadir nuevas líneas.

**Peter Lundberg**
**Bjorn Jacobson**
ABB Power Grids, Grid Integration
Ludvika, Suecia

peter.lundberg@se.abb.com
bjorn.jacobson@se.abb.com

**Vinothkumar K**
**Gaurav-Kumar Kasal**
ABB GISPL
Chenai, India

vinothkumar.k@in.abb.com
gaurav-kumar.kasal@in.abb.com

**Shanthakumar MS**
ABB India Ltd.
Gurgaon, India

shanthakumar.MS@in.abb.com

**Abhay Kumar**
ABB AB
Ludvika, Suecia

abhay.kumar@se.abb.com

La demanda de electricidad aumenta en todo el mundo, en especial en los países en desarrollo. Junto con las preocupaciones por el cambio climático, esta demanda creciente está impulsando una rápida expansión de la generación de fuentes renovables. De hecho, las energías eólica y solar son las fuentes de energía eléctrica que más crecen en el mundo actual. Pero la energía eléctrica adicional asociada a estas tendencias debe transportarse hasta el consumidor, y a las redes de transporte de CA existentes les cuesta hacer frente a unos niveles de transferencia de potencia superiores a aquellos para las que fueron concebidas. Para complicar aún más las cosas, las fuentes de energía renovables son intermitentes, lo que dificulta la planificación económica de la capacidad de transporte.

A las redes de transporte de CA les cuesta hacer frente a unos niveles de potencia superiores a aquellos para las que fueron concebidas.

—
01 Ampliar la capacidad de una línea de transporte no es trivial. Pero la conversión de líneas de CA en líneas de CC permite añadir capacidad sin añadir infraestructuras grandes y costosas ni enredarse con las complejidades de adquirir nuevos derechos de paso (Foto: Anthony Byatt).

Una solución obvia para la congestión del transporte es construir más líneas de CA. Pero, al margen de los costes de capital, las nuevas servidumbres de paso pueden exigir evaluaciones de impacto ambiental y de ingeniería y numerosas licencias, acuerdos, autorizaciones y compras obligatorias de terrenos. Por consiguiente, los gestores de redes de transporte (GRT) buscan tecnologías alternativas capaces de mejorar el transporte de electricidad e integrar las renovables, al tiempo que maximizan el uso de los derechos de paso existentes.

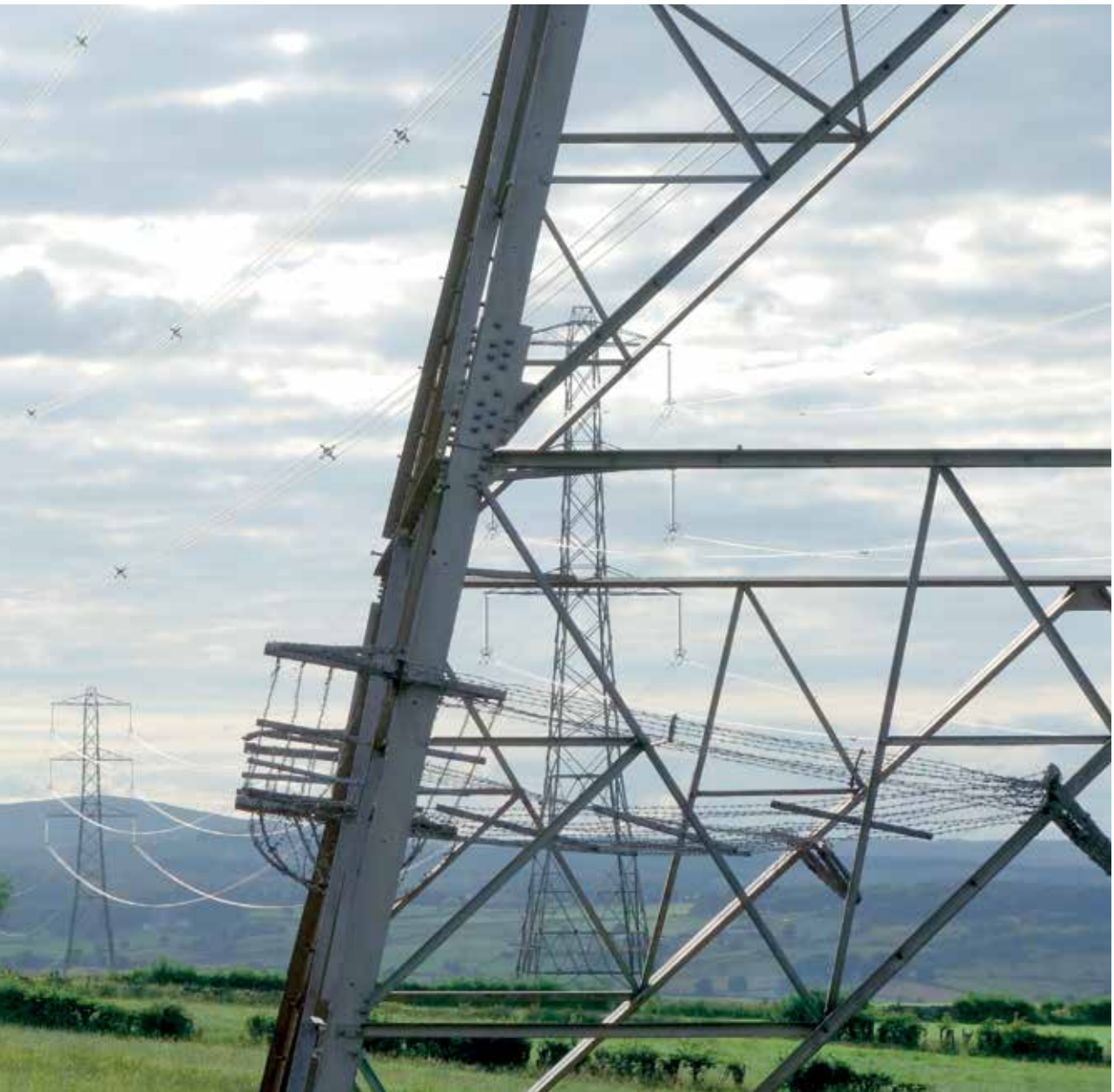
—

Una alternativa al transporte en CA es la HVDC, que tiene muchas ventajas.

**Una alternativa a la CA**

Una alternativa a la CA es el transporte de corriente continua de alta tensión (HVDC). La HVDC tiene muchas ventajas en comparación con la CA, como una mayor capacidad de transporte hasta el límite térmico [1], pérdidas bajas, flexibilidad y controlabilidad (ambas contribuyen a contrarrestar las perturbaciones derivadas de la conexión de energías renovables), requisitos menos exigentes en relación con los derechos de paso, etc. En particular, la tecnología HVDC basada en convertidores de tensión (VSC) controla de manera independiente la potencia real y reactiva, apoya la tensión en el sistema de CC conectado y permite reanudar el servicio desde parado. Para comprender los retos y las oportunidades de la conversión de una infraestructura de transporte de CA existente en HVDC, se examinarán algunos casos y se debatirán sus principales aspectos técnicos.

01



| Aspectos ambientales | Aspectos de ingeniería | Aspectos económicos |
|---|---|---|
| La zona de contaminación en la que se encuentra el sistema de CA que se va a convertir es la que decide los requisitos de la distancia de fuga de los aisladores de CC. | La conversión puede adoptar una configuración monopolar, bipolar o híbrida de HVDC. | A pesar de las pérdidas en la estación de conversión, los gastos de explotación suelen ser menores para la CC que para la CA, debido a las escasas pérdidas en la línea y a la mayor capacidad de transporte. |
| Las condiciones meteorológicas determinan el ruido audible y el nivel de radiointerferencias generado por la línea convertida. | La selección de la tensión de CC se basa en las separaciones de las torres de la línea de transporte de electricidad. La corriente, basada en el límite térmico del conductor, decide la capacidad máxima de transporte de electricidad en la conversión. | El gasto de capital depende principalmente del tipo de torre de transporte de CA, de la estación de conversión de HVDC y de la configuración prevista, junto con la distancia de transporte. |
| El efecto corona y el efecto de campo dependen de la tensión y de los niveles de corriente, así como de la configuración y posición de los conductores. | Para conseguir la tensión y la corriente CC deseadas tal vez sea necesario efectuar modificaciones en el aislador y, posiblemente, en la torre o el conductor. | El tiempo que exige la conversión es menor que el tiempo necesario para obtener permisos y construir una nueva línea, aunque haya que modificar las torres o sustituir conductores o aisladores. |

02

**Factores que dominan la conversión de CA a HVDC**

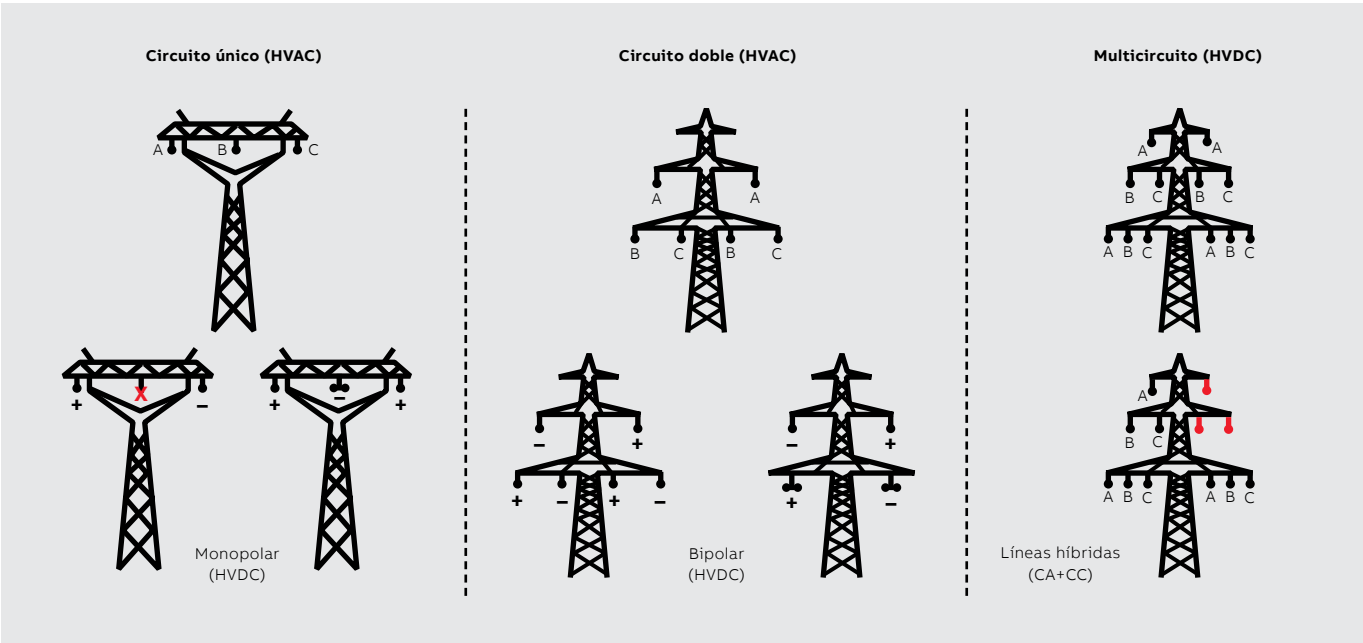
Antes de convertir una línea de CA a HVDC debe prestarse especial atención a una serie de factores medioambientales, de ingeniería y económicos →2.

Es posible que haya que modificar la estructura de la torre, los aisladores y los conductores.

Cuando se ha tomado la decisión de efectuar la conversión, debe decidirse la configuración de HVDC: monopolar simétrica/asimétrica o bipolar o un híbrido que se adapte a la configuración de la torre y a las separaciones disponibles →3. Por ejemplo, una línea de transporte horizontal de CA de circuito único puede sustituirse por una o dos líneas de HVDC monopolares simétricas. También es posible una configuración bipolar. En el caso de un circuito doble o multicircuito, uno o varios sistemas de CA pueden convertirse en HVDC, como se muestra en →3. Pero la sustitución no es sencilla y habrá que introducir modificaciones en la estructura de la torre, los aisladores y los conductores [1]. Los aisladores cerámicos de CA suelen sustituirse por vidrio templado de alta resistividad o por aisladores compuestos para cumplir los requisitos de separación [2].

**Conversiones existentes**

Se están llevando a cabo conversiones de CA a HVDC para mejorar la capacidad de transporte de electricidad de los derechos de paso existentes. El primer ejemplo conocido es el proyecto UltraNet (Alemania), donde se convertirá una línea de CA de 400 kV. También se han estudiado otras líneas con vistas a la conversión.



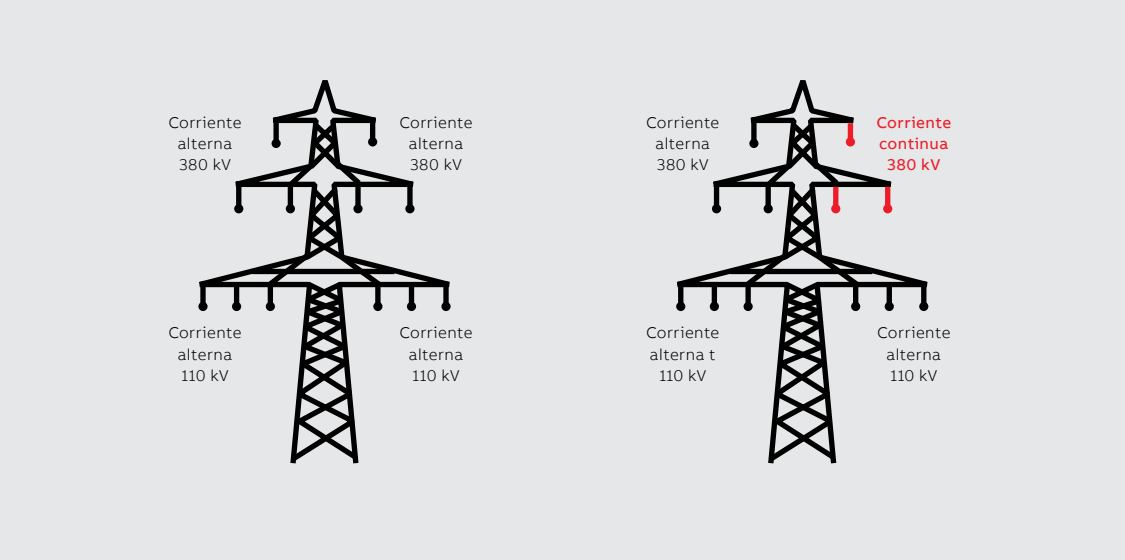

03

—
02 Consideraciones en la conversión de CA a CC.

—
03 Algunas posibles configuraciones de conversión de CA a CC.

—
04 Conversión de CA a CC en el proyecto UltraNet (Alemania) [3]. © Amprion TransnetBW.

—
05 Capacidad de transporte del derecho de paso existente basada en la selección de la tensión de CC y la temperatura ambiente [2].



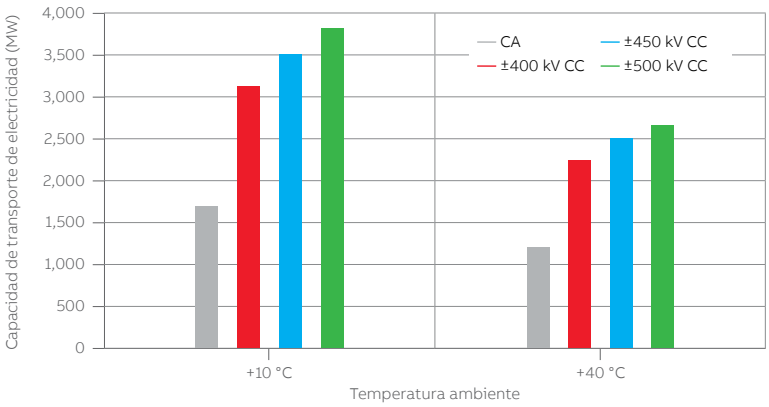

04

En el proyecto UltraNet, dos sistemas de CA de 380 kV y dos de 110 kV discurren durante 340 km entre Renania del Norte-Westfalia y Baden-Württemberg [3].

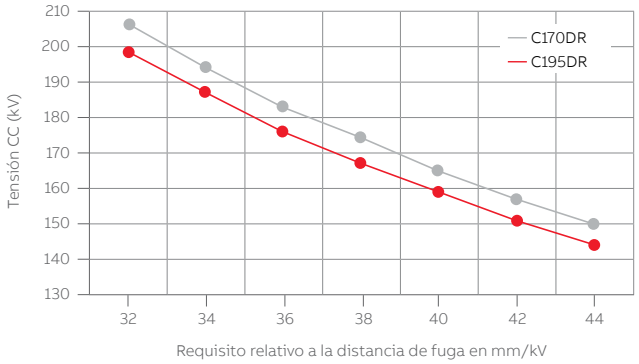
—

Una línea de CA se ha convertido a 380 kVa CC, lo que casi se duplica la capacidad de transporte.

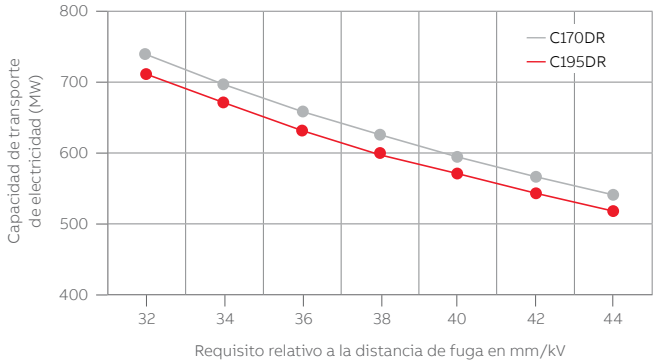
Uno de los sistemas de CA de 380 kV se ha convertido en un sistema de CC de 380 kV, con una capacidad de transporte de unos 2000 MW desde los parques eólicos del Mar del Norte hasta las poblaciones industriales del sur de Alemania →4. La conversión ha aumentado sustancialmente la capacidad de potencia. El aumento de la tensión de CC puede incrementar la capacidad, pero es necesario tener cuidado, ya que la temperatura ambiente hace que los conductores sujetos se comben, poniendo en peligro las separaciones; por ejemplo, en un conductor a 40 °C se producirá un pandeo adicional de alrededor de 1,3 m en comparación con su catenaria a 0 °C [4] →5.




05




06




07

El proyecto Angle-DC [5] es otro ejemplo de conversión. En este caso, una conexión de CA de 33 kV entre el Norte de Gales y Anglesey (Reino Unido) se ha convertido en una línea HVDC monopolar simétrica de 27 kV para aumentar un 23 % la capacidad de transporte a una temperatura de funcionamiento de 50 °C. Dejando que el cable trabaje a 65 °C se puede lograr un aumento del 35 %.

**Selección de tensión CC**

La longitud de la cadena determina la separación disponible, que rige la tensión máxima de CC que se puede transportar. La clasificación térmica del conductor determina la capacidad de transporte de intensidad del sistema. La tensión de CC elegida y la clasificación térmica del conductor determinan conjuntamente la capacidad máxima de transporte de electricidad de la línea después de la conversión.

—

Con una temperatura de trabajo del cable de 65 °C se logra una mejora del 35 %.

La longitud de la cadena del aislador depende del requisito de la distancia de fuga. Las distancias de fuga dependen de las condiciones locales, como el depósito de sales marinas o la contaminación industrial atmosférica. El requisito de distancia de fuga para HVDC es mayor que para CA.

Para la conversión de un típico sistema de transporte de 220 kV CA –suponiendo que la longitud de la cadena de 2030 mm se conserve para mantener el pandeo permitido durante el funcionamiento— la tensión de CC se situará en

—

El uso de aisladores de composite puede mejorar la capacidad de transporte, ya que les afecta menos la contaminación y admiten una tensión de CC más alta.

el intervalo de 146 a 206 kV para una configuración de HVDC monopolar simétrica. El valor concreto dependerá del requisito de fuga de CC para la zona de contaminación en la que se encuentre la línea. Esto se representa en →6 para dos aisladores de vidrio templado de alta resistividad de Sediver: C170DR y C195DR. En consecuencia, la capacidad de transporte oscila entre 520 MW y 740 MW cuando se supone que la clasificación térmica del conductor es de 1800 A con una configuración de HVDC monopolar simétrica →7.

—
06 Rango de tensión de CC para diferentes requisitos de distancia de fuga.

—
07 Capacidad de transporte en función del requisito de distancia de fuga.

—
08 Conversión a tensión CC más alta modificando la estructura de la torre [6].

El uso de aisladores composite puede mejorar la capacidad de transporte, ya que les afecta menos la contaminación y admiten una tensión de CC más alta. La modificación adecuada de la disposición de las crucetas también puede

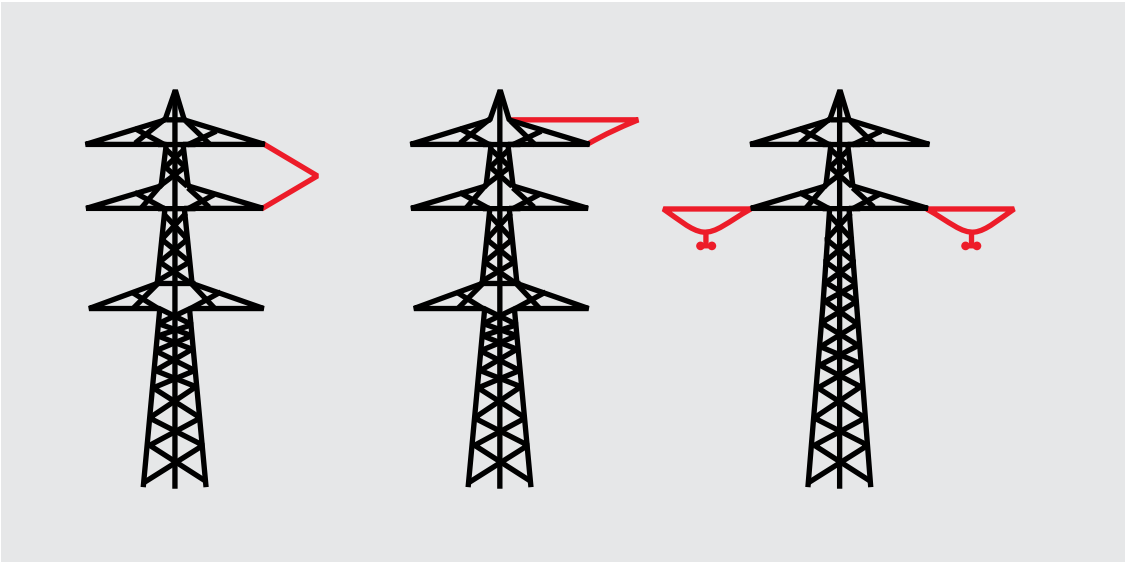
—

Se prevé la conversión de más líneas de CA a HVDC, pues aumentan la capacidad de transporte sin necesidad de construir líneas nuevas.

mejorar la separación y permitir tensiones de CC más altas →8. La clasificación térmica y, por tanto, la capacidad de transporte de electricidad del conductor pueden aumentarse añadiendo más subconductores o sustituyéndolo por uno nuevo.

**Conversión de CA en CC en el futuro**
De cumplirse determinadas condiciones económicas, técnicas y ambientales básicas, la conversión de una línea de transporte de CA a HVDC puede incrementar notablemente la capacidad de potencia de un derecho de paso existente. Unas tensiones de CC más altas proporcionan mayores capacidades, pero debe tenerse en cuenta el pandeo de los conductores y el efecto de los niveles de contaminación en la línea de fuga, que es uno de los principales factores determinantes de la tensión máxima de CC permitida. La modificación de la torre o el uso de aisladores de composite permiten elegir una tensión de CC aún mayor. Se pueden aumentar las clasificaciones térmicas del conductor añadiendo más subconductores o sustituyendo el conductor, con el consiguiente aumento de la capacidad de transporte.

Dado que la demanda de capacidad de las líneas de transporte sigue aumentando, se prevé la conversión de más líneas de CA en HVDC para transportar más electricidad sin construir líneas nuevas. ●



08

—
**Referencias**
[1] M. Hausler et al., «Mayor capacidad de transporte de las líneas aéreas por transformación de corriente trifásica en continua» ABB Review, 3/1997, pp. 4-11.

[2] J. Lundkvist et al., «Feasibility study for converting 380 kV AC lines to hybrid AC/DC lines», EPRI High-Voltage Direct Current & Flexible AC Transmission Systems Conference, Westminster, Estados Unidos, noviembre de 2009, pp. 1-25.

[3] “Project description: Ultranet». Disponible en: https://www.amprion.net/Grid-expansion/Our-Projects/Ultranet/

[4] J. Lundkvist et al., «Feasibility study for converting 380 kV AC lines to hybrid AC/DC lines». Disponible en: https://library.e.abb.com/public/72440057976 5e22cc1257720004100e5/Convertion%20of%20AC% 20lines%20to%20hy brid%20AC_ DC%20lines_09MP0519.pdf

[5] «Angle-DC: 2015 Electric Network Innovation Competition». Disponible en: https://www.ofgem.gov.uk/sites/default/files/docs/angle_submission.pdf

[6] M.I.Khan, R.C.Agrawal, «Conversion of AC line into HVDC», IEEE PES Conference and Exposition, Durban, Sudáfrica, julio de 2005.

POTENCIA

# Definición de valores de cortocircuito para los interruptores

Los interruptores protegen los equipos eléctricos de las corrientes de cortocircuito. Pero la «corriente de cortocircuito» varía según la aplicación. ¿Cómo ayudan las normas IEC y EN a los diseñadores a especificar correctamente la protección contra las sobreintensidades en los equipos eléctricos?

**Joachim Becker**
ABB Stotz-Kontakt GmbH
Heidelberg, Alemania

joachim.becker@de.abb.com

La disponibilidad continua de energía eléctrica es vital para cualquier sociedad moderna. Sin electricidad, la mayoría de las viviendas, empresas y plantas industriales se paralizarían. Esta alimentación debe suministrarse al usuario final de forma segura y fiable, y aquí es donde la aparamenta de distribución desempeña un

Los equipos de distribución deben proteger la instalación de fallos desconectando el circuito defectuoso y manteniendo en funcionamiento los circuitos no afectados.

papel importante. Debido a los riesgos en juego, dicha aparamenta o el cuadro de distribución local deben diseñarse para proteger la instalación de fallos apagando el circuito defectuoso y manteniendo el funcionamiento continuado de los circuitos no afectados.

—
01 Para proteger equipos eléctricos cuando se dan condiciones de cortocircuito se utilizan diversos interruptores. La amplia gama de ABB cubre prácticamente todos los valores de tensión corriente intensidad. La imagen ilustra un interruptor principal S753DR-E63 de ABB.

01

**Tipos de interruptores**
Un cortocircuito somete el equipo a una gran tensión. Por tanto, al diseñar la aparamenta o el cuadro de distribución deben tenerse en cuenta los esfuerzos térmicos y dinámicos causados por la intensidad máxima de cortocircuito en el punto de conexión. Para evitar daños a la instalación (o al personal) se utilizan dispositivos de protección contra cortocircuitos que desactivan la corriente de cortocircuito en el punto de conexión →1.

—

Al diseñar la aparamenta o el cuadro de distribución debe considerarse el esfuerzo térmico y dinámico causado por la intensidad máxima de cortocircuito en el punto de conexión.

Los más utilizados para esta tarea son los interruptores en caja moldeada (MCCB) →2, los interruptores en miniatura (MCB), los interruptores accionados por corriente residual (RCCB) y los interruptores accionados por corriente residual con protección contra sobreintensidades (RCBO). Estos dispositivos están marcados con su capacidad máxima de cortocircuito para ayudar al fabricante del cuadro a elegir el producto correcto para la aplicación. Son interruptores adecuados para el aislamiento, pero también suelen instalarse interruptores-seccionadores para desenergizar por completo el equipo para labores de servicio o mantenimiento.

**Corriente de cortocircuito ininterrumpida**
Las instalaciones de baja tensión suelen recibir el suministro de un transformador. En una red de baja tensión, la corriente de cortocircuito ininterrumpida ($I_k$) se calcula a partir de la tensión nominal y la resistencia (impedancia) de CA del cortocircuito. También se superpone un componente DC disminuye lentamente hasta cero →3. El valor máximo de Ik es importante para las definiciones de cortocircuito en las normas.

**Normas sobre interruptores**
En función de la aplicación, un diseñador que especifica interruptores o equipos asociados para la protección de redes eléctricas puede tomar como referencia distintas normas:

- La norma IEC/EN 60898-1 se aplica a los interruptores de protección contra sobreintensidades en hogares e instalaciones similares, como tiendas, oficinas, centros educativos y pequeños edificios comerciales. Estos interruptores están diseñados para su uso por personas sin conocimientos técnicos y no necesitan mantenimiento.
- La norma IEC/EN 60947-2 se aplica a los interruptores utilizados principalmente en aplicaciones industriales donde solo las personas capacitadas tienen acceso.
- Los interruptores-seccionadores se evalúan con arreglo a la norma IEC/EN 60947-3.
- La aparamenta y los cuadros de distribución se evalúan con arreglo a la norma IEC/EN 61439.

Debido al diferente alcance de las normas, en algunos casos se utilizan definiciones diferentes para el mismo proceso eléctrico. Por tanto, el ingeniero debe asegurarse de que entiende qué definición concreta, por ejemplo, de capacidad de cortocircuito, se aplica al diseño en el que está trabajando.

**Los interruptores y la norma IEC/EN60898-1**
La norma IEC/EN 60898-1 define la capacidad nominal de cortocircuito ($I_{cn}$) como la capacidad de corte de acuerdo con una secuencia de prueba específica. Esta secuencia de prueba no incluye la capacidad del interruptor para transportar el 85 % de su intensidad convencional sin disparo. La capacidad de corte de servicio en cortocircuito ($I_{cs}$) es el poder de corte de acuerdo con una secuencia de prueba específica que incluye la capacidad del interruptor para transportar el 85 % de su intensidad sin disparo durante un tiempo específico.

02

La norma IEC/EN 60898-1 define valores fijos de la razón $I_{cs}$ a $I_{cn}$. Los valores $I_{cs}$ e $I_{cn}$ se expresan como valores cuadráticos medios de las intensidades de cortocircuito prospectivas.

Para cumplir los requisitos de la norma en relación con estas dos capacidades de cortocircuito, se deben probar las operaciones de apertura/cierre de cada uno de los tres interruptores. Para la operación de apertura, la corriente de cortocircuito se inicia en un desfase especificado con respecto a la forma de la onda de tensión. Los tres interruptores se prueban en diferentes ángulos. La secuencia de prueba para $I_{cn}$ es «O - t - CO» donde «O» es una operación de apertura y «CO» es una operación de cierre, lo que significa que el interruptor sometido a prueba está encendido y experimenta la corriente de cortocircuito durante un tiempo determinado. El tiempo «t» entre las operaciones es de 3 minutos. Para Ics, la secuencia de prueba es «O - t - O - t - CO» para interruptores monopolares y bipolares, y «O - t - CO - t - CO» para interruptores tripolares y tetrapolares. La forma en que se especifica el inicio de la corriente de cortocircuito en la norma significa que al menos un interruptor sometido a prueba debe desconectarse en el desfase de tensión más acusado.

**Los interruptores y la norma IEC/EN 6094 7-3**
La norma IEC/EN 60947-2 define la máxima capacidad de corte en cortocircuito ($I_{cu}$), también poder de corte, de acuerdo con una secuencia de prueba específica. Esta secuencia de prueba incluye la verificación del relé de sobrecarga del interruptor. En la norma IEC/EN 60947-2, $I_{cs}$ la capacidad de corte de acuerdo con una secuencia de prueba específica que incluye la verificación de la capacidad operativa del interruptor a la intensidad nominal, una prueba de aumento de temperatura y verificación del relé de sobrecarga. En la norma IEC/EN 60947-2 se definen valores de entre 25 % y el 100 % para la relación $I_{cs}$ - $I_{cn}$. De nuevo, los valores $I_{cs}$ e $I_{cn}$ se expresan como valores cuadráticos medios de las intensidades de cortocircuito prospectivas. Para cumplir los requisitos de la norma, en ambas capacidades de cortocircuito hay que probar cada uno de los dos interruptores. Como en la norma IEC/EN 60898-1, la corriente de cortocircuito se inicia en un desfase especificado con respecto a la forma de la onda de tensión para la apertura, pero aquí los dos interruptores se prueban al mismo ángulo. La secuencia de prueba para Icu es «O - t - CO» y «O - t - CO - t - CO» para $I_{cs}$. El tiempo “t” entre las operaciones es de 3 minutos y, para la apertura, la corriente de cortocircuito se inicia en un desfase de tensión específico, definido como el ángulo en el que se alcanza la intensidad máxima. Esta intensidad máxima es simultáneamente la capacidad nominal de cortocircuito ($I_{cm}$) y se expresa como la capacidad de corte final en cortocircuito multiplicado por un factor definido por la norma IEC 60947-2.

Al menos un interruptor en prueba debe desconectarse en el desfase de tensión más acusado.

—
02 Interruptor de caja moldeada de baja tensión A1 de ABB (cumple la norma IEC/EN60947-2).

—
03 Características de la intensidad de cortocircuito.

**Los interruptores-seccionadores y la norma IEC/EN 60947-3**

Cuando se incluyen en un diseño interruptores, seccionadores, interruptores-seccionadores o combinados fusibles, se utiliza la norma IEC/EN 60947-3. Un interruptor-seccionador es capaz de abrir y cerrar una corriente en condiciones especificadas. En la posición de apertura, el interruptor-seccionador actúa como aislador. Como no está equipado con un relé de sobrecarga, debe protegerse con un MCB, un MCCB o un fusible. La capacidad de cortocircuito de la combinación de interruptor y conmutador se define como la corriente de cortocircuito condicional nominal. Se expresa como el valor de la corriente de cortocircuito prospectiva que puede soportar el interruptor-seccionador protegido por un dispositivo de protección contra cortocircuitos (SCPD). Es importante tener en cuenta que el interruptor-seccionador debe soportar la corriente limitada por el SCPD.

—

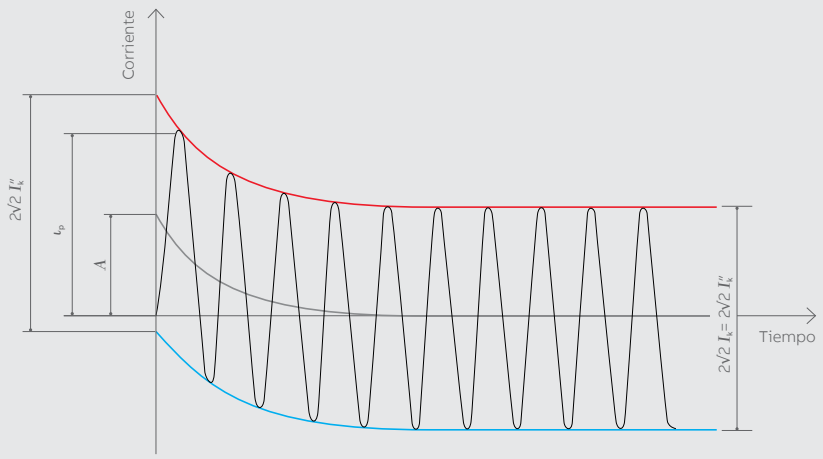
El interruptor-seccionador debe soportar la corriente limitada por el SCPD.

Este enfoque también es válido para los RCCB: la corriente de cortocircuito indicada en el dispositivo es la corriente de cortocircuito condicional nominal de la combinación del RCCB con un SCPD.

Otro valor de cortocircuito definido tanto en la norma IEC/EN 60947-3 como en la IEC/EN60947-2 es la intensidad breve admisible ($I_{cw}$). Este valor se aplica a interruptores (por ejemplo, un interruptor-seccionador), interruptores de tipo MCCB o interruptores aislados en aire (ACB) y barras colectoras. $I_{cw}$ es el valor de la intensidad que soporta el equipo durante un tiempo dado sin que se produzcan daños. La norma IEC/EN 60947-2 define valores preferentes de este tiempo de 0,05, 0,1, 0,25, 0,5 y 1 s; la norma IEC/EN 6094 7-3 define 1 s. Para CA, $I_{cw}$ es el valor cuadrático medio de la intensidad.

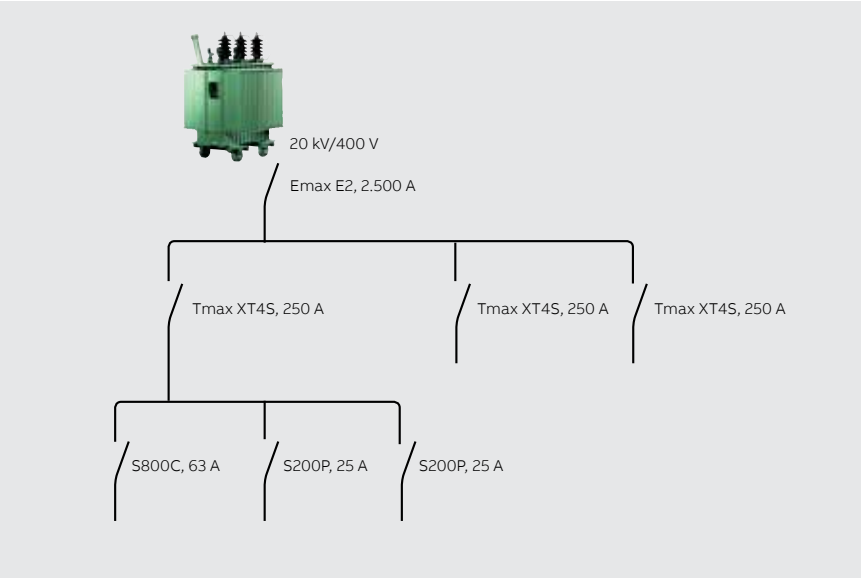
El valor $I_{cw}$ es importante para la aparamenta con equipos conectados en serie en los que la selectividad entre los dispositivos de protección se realiza con retardo. Por ejemplo, si un alimentador está equipado con un ACB y los circuitos de bifurcación siguientes están protegidos por MCCB, para conseguir la selectividad se establece un retardo para la liberación del ACB. La instalación entre el ACB y el MCCB debe soportar la intensidad de cortocircuito especificada durante el tiempo de retardo del ACB.

03




$I''_k$ Corriente inicial de cortocircuito simétrica
$i_p$ Sobrecorriente de cortocircuito
$I_k$ Corriente de cortocircuito ininterrumpida
$i_{DC}$ Corriente de cortocircuito en descenso en el componente de CC
$A$ Valor inicial del componente de CC

— Parte superior de envolvente
— Componente de CC en descenso
— Parte inferior de la envolvente




04

**La aparamenta de baja tensión y la norma IEC/EN 61439-1**
La norma IEC/EN 61439-1 se aplica a grupos de aparamenta de baja tensión. Para los grupos con un SCPD en la unidad de entrada, el fabricante deberá indicar la corriente de cortocircuito máxima prospectiva en el terminal de entrada. Para proteger el conjunto, el valor $I_{cu}$ o $I_{cn}$ del SCPD debe ser igual o superior a la corriente de cortocircuito prospectiva. Si se utiliza un interruptor con retardo como SCPD o si el grupo no incorpora SCPD, debe indicarse el valor $I_{cw}$ con el retardo máximo.

—

IEC/EN61439-1 se aplica a grupos de aparamenta de baja tensión.

**Ejemplo de aplicación: fábrica de cobre y aleación de cobre**
Supongamos que una fábrica de cobre recibe de la red media tensión a 20 kV con un transformador intermedio de 20 kV/400 V. La potencia nominal del transformador, $S_r$, es de 1.600 kVA y la tensión de impedancia nominal, $u_{kr}$, es del 6 %. Para transformadores de distribución con potencias de hasta 3150 kVA, la impedancia de la red normalmente puede desestimarse. La impedancia de cortocircuito del transformador limita la corriente de cortocircuito, que se expresa como:

$$I_k = \frac{S_r}{\sqrt{3} \times U_n \times u_{kr}} = \frac{1.600\ kVA}{\sqrt{3} \times 400\ V \times 0.06} = 38.5\ kA$$

→4 muestra el diagrama del circuito de la fuente de alimentación.

Para la alimentación de entrada se utiliza un interruptor ABB Emax E2 con una intensidad nominal de 2500 A. El nivel de distribución está protegido por un interruptor ABB 250 A Tmax XT4S. Los circuitos finales están equipados con MCB ABB S800C y S200P.

Para determinar la disposición en cascada correcta se realiza el siguiente cálculo: el valor $I_{cw}$ del Emax E2 (versión B) es 42 kA. El retardo se fija en 0,1 s. Por consiguiente, el Emax soporta la corriente de cortocircuito. En el nivel de distribución, el valor Icu del Tmax XT4S es de 50 kA. El cable entre el Tmax y la barra colectora para el nivel de subdistribución tiene una sección transversal de 95 mm2 y una longitud de 15 m. La resistencia del cable figura en los manuales técnicos, y es de 0,246 ohm/km.

La resistencia del transformador es de 0,00597 ohm. La corriente de cortocircuito en el nivel de subdistribución es, por tanto:

$$I_k = \frac{U_n}{\sqrt{3} \times (Z_r + Z_l)} = \frac{400\ V}{\sqrt{3} \times (0.00597 + 0.00369) ohm} = 23.9\ kA$$

Con los MCB S800C y S200P no hace falta protección de reserva, ya que la capacidad de cortocircuito final de estos dispositivos es de 25 kA. Se proporciona selectividad total entre Tmax XT4S y S800C, S200P.

—
04 Ejemplo de configuración de dispositivos de protección para una aplicación como una fábrica de cobre.

—
05 Ejemplo de esquema de protección para un edificio de oficinas de gran tamaño.

**Ejemplo de aplicación: distribución de potencia en un edificio de oficinas de gran tamaño**

Si un edificio de oficinas recibe suministro de la red de media tensión de 20 kV mediante un transformador de 20 kV/400 V con una $S_r$ de 630 kVA y una $u_{kr}$ del 4 %, la impedancia de cortocircuito del transformador limita de nuevo la corriente de cortocircuito, que es:

$$I_k = \frac{S_r}{\sqrt{3} \times U_n \times u_{kr}} = \frac{630\ kVA}{\sqrt{3} \times 400\ V \times 0.04} = 22.7\ kA$$

→5 muestra el diagrama del circuito de la fuente de alimentación.

El valor $I_{cu}$ del interruptor Tmax XT4 (versión N) es de 36 kA. El valor $I_{cu}$ del interruptor principal selectivo ABB S750DR es de 25 kA. Por consiguiente, el Tmax y el S750DR pueden interrumpir la corriente de cortocircuito. El cable entre el S750DR y la red de subdistribución tiene una sección transversal de 16 mm2 y una longitud de 10 m. La resistencia del cable que figura en los manuales técnicos es de 1,32 ohm/km. La resistencia del transformador es de 0,01012 ohm.

La corriente de cortocircuito en el nivel de subdistribución puede calcularse como:

$$I_k = \frac{U_n}{\sqrt{3} \times (Z_r + Z_l)} = \frac{400\ V}{\sqrt{3} \times (0.01012 + 0.0132) ohm} = 9.9\ kA$$

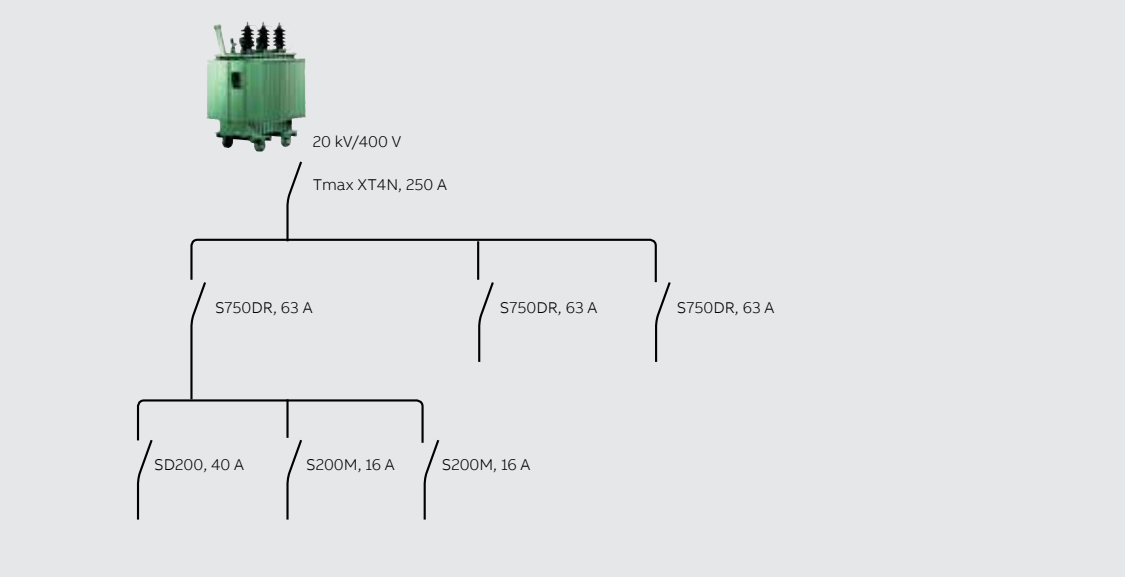
Al utilizar un MCB S200M, no se requiere protección de reserva, ya que la capacidad de cortocircuito final es de 15 kA. Se proporciona selectividad total entre S750DR y S200M.

Para el MCB SD200 ilustrado en →5 es importante la corriente condicional de cortocircuito. El valor para la combinación SD200/S750DR es de 10 kA. En consecuencia, el SD200 está protegido por el S750DR, ya que la corriente máxima de cortocircuito en este punto es de 9,9 kA.

—

La configuración correcta de los dispositivos de protección permite que la aparamenta de distribución funcione de forma segura y fiable en condiciones de cortocircuito.

En los ejemplos anteriores se observa que la configuración correcta de los dispositivos de protección permite que la aparamenta de distribución funcione de forma segura y fiable en condiciones de cortocircuito. Las diversas normas IEC/EN mencionadas ayudan a los diseñadores a elegir las clasificaciones correctas para los productos que emplean y así garantizar que la energía eléctrica sigue fluyendo a la aplicación independientemente de las condiciones de fallo eléctrico. ●




05

DESMITIFICACIÓN DE TÉRMINOS TÉCNICOS

# Minería de textos

La información suele encontrarse en formatos de documento dispares desestructurados e inaccesibles. La minería de datos puede desenterrar este tesoro para ofrecer información comercial muy valiosa.

01

**Raoul Jetley**
ABB Corporate Research
Bangalore, India

raoul.jetley@in.abb.com

Se estima que hasta el 80 % de toda la información de las organizaciones se almacena en un formato de texto no estructurado. Esta información incluye requisitos del cliente, expedientes de ventas, especificaciones técnicas, informes de mantenimiento y comentarios de las partes interesadas. Es difícil extraer conocimiento empresarial de datos tan dispares por métodos tradicionales de análisis de datos, por lo que, en su lugar, se utiliza la minería de datos basada en textos, también llamada “minería de textos” →1.

En pocas palabras, la minería de textos es el conjunto de procesos necesarios para transformar documentos o recursos de texto desestructurados en información significativa y estructurada. La información estructurada puede utilizarse para descubrir automáticamente patrones ocultos y predecir resultados futuros utilizando una combinación de técnicas estadísticas, lingüísticas y de reconocimiento de patrones.

La minería de textos es un campo interdisciplinar que utiliza la recuperación de información, la minería de datos, el aprendizaje automático, la estadística y la lingüística computacional para descubrir y presentar conocimientos (hechos, reglas comerciales y relaciones) que, de otro modo, estarían bloqueados en forma textual, impenetrables al procesamiento automatizado.

Un proceso típico de minería de textos consta de los siguientes pasos:

- Identificar el texto y someterlo a pretratamiento: limpieza del texto para eliminar información

—
01 La documentación de la empresa esconde grandes cantidades de datos valiosos. La minería de datos puede sacarlos a la luz.

—
02 La minería de datos proporciona información importante, hasta ahora inaccesible, ideas sobre ventas y marketing, toma de decisiones comerciales, decisiones de inversión o compra, relaciones con los clientes, etc.

02

innecesaria, división en “tokens” individuales (componentes más pequeños) e identificación de las categorías gramaticales según la gramática del idioma utilizado.
- Extraer información pertinente y transformarla en datos estructurados. La información se recupera buscando en todo el texto convertido en tokens y almacenando los resultados de una manera más estructurada y organizada que permita el análisis.
- Seleccionar características importantes para crear modelos y categorías conceptuales. El número de conceptos presentes en los datos desestructurados suele ser muy grande. La clave es identificar las características más relevantes y utilizarlas para construir modelos significativos basados en categorías y relaciones de datos.
- Analizar los datos estructurados para descubrir relaciones entre los conceptos. Aquí la minería de textos se fusiona con la minería de datos. Las técnicas clásicas de minería de datos, como agrupación, predicción y clasificación, se aplican a los datos estructurados resultantes de los pasos anteriores.

La minería de textos es el conjunto de procesos que transforman documentos o recursos de texto desestructurados en información significativa y estructurada.

Las aplicaciones comunes resultantes de estos análisis incluyen el reconocimiento de las entidades nombradas, el resumen automático, la categorización por características relevantes y la extracción de puntos de vista y opiniones de los clientes expresados en el texto →2. ●

**Consejo editorial**

**Consejo de redacción**

**Bazmi Husain**
Director de Tecnología I+D y tecnología del Grupo

**Adrienne Williams**
Asesor Jefe de Sostenibilidad

**Christoph Sieder**
Responsable de comunicaciones corporativas

**Reiner Schoenrock**
Comunicaciones de Tecnología e Innovación

**Roland Weiss**
Director de Estrategia de I+D I+D y tecnología del Grupo

**Andreas Moglestue**
Jefe de redacción de ABB Review
andreas.moglestue@ch.abb.com

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

ABB Switzerland Ltd.
ABB Review
Segelhofstrasse 1K
CH-5405 Baden-Daettwil
Suiza
abb.review@ch.abb.com

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

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

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
©2018
ABB Switzerland Ltd.
Baden, Suiza

**Impresor**
Vorarlberger Verlagsanstalt GmbH
6850 Dornbirn/Austria

**Diseño**
DAVILLA AG
Zúrich, Suiza

**Ilustraciones**
Konica Minolta Marketing Services
WC1V 7PB Londres
Reino Unido

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

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

ISSN: 1013-3119

abb.com/abbreview

**Versión para tablet**
La versión para tablet de ABB Review (para iOS y Android) dejará de publicarse al final de 2018. Se recomienda a los lectores de esta versión que consulten las versiones en PDF y web.

abb.com/abbreview

**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.

## 01|2018
## Innovación

## 02|2018
## La excelencia en el diseño

### Technology Ventures

08 Innovación y colaboración estratégicas
13 Entrevista con ABB Technology Ventures
18 Asociación con Soft Robotics

### Lo más destacado en innovación

24 Noticias breves sobre innovación

### Software y virtualización

36 Análisis de la calidad del software
40 Códigos QR dinámicos y servicio
46 Elementos de blockchain

### Transición de la energía

54 Gran transformador eólico
60 Evolución de HVDC Light®

### Diagnósticos y datos

70 Datos del turbocompresor
72 Corrientes y vibraciones

80 Resultados de la encuesta 2017

### Desmitificación de términos técnicos

82 Factory 2.0

### La excelencia en el diseño

08 Entender lo complejo
16 Simulación de bornas de alta tensión
22 Análisis vibroacústicos de transformadores

### Sistemas digitales y análisis

30 Cambio de cultura del servicio de aguas
38 Aprovechamiento del control avanzado de procesos
46 ORKAN prueba máquinas movidas por ABB Ability™
52 Análisis rápidos y de alta resolución de bobinados
58 Gemelo digital del caudalímetro electromagnético

### Movimiento

68 Transporte inteligente de productos en la línea
74 Personalización en masa flexible
76 Accionamientos sin engranajes para cintas transportadoras

### Energía

84 Interruptor de generador mejorado
90 Interruptor automático de transferencia TruONE™

### Desmitificación de términos técnicos

94 Gemelo digital

## 03|2018
## Encuentro entre algoritmos y materiales

### Encuentro entre algoritmos y materiales

08 Fistemas FACTS: estabilidad energética para la minería
14 Aislamiento termoplástico
21 Automatización de la distribución de la electricidad

### Tendencias de transformación

28 El robot TXplore inspecciona los transformadores
36 HVDC para el sector eólico marino

### Análisis digital

46 Estabilidad energética para los fabricantes
52 Modelización de los inversores solares de ABB
58 La ciberseguridad en el punto de mira

### Desmitificación de términos técnicos

62 Cifrado cuántico

## 04|2018
## Colaboración autónoma

### Colaboración autónoma

08 Sistemas autónomos
12 Individualización de la producción
20 Soluciones integradas para edificios
27 El gemelo digital en Industria 4.0

### Alianzas

36 Colaboración con la universidad

### Inspección y medición

44 Servicios de inspección de cintas transportadoras
50 Caudalímetro multifásico basado en la nube
54 Oportunidades para los sensores eléctricos

### Potencia

64 Conversión de líneas de transporte de CA a HVDC
70 Valores de cortocircuito para interruptores

### Desmitificación de términos técnicos

76 Minería de textos

Colocar aquí la etiqueta con la dirección

Próximo número 01/2019

**Innovación**

**Para atender los desafíos más apremiantes del mundo se requiere innovación en el modo y el momento de hacer las cosas, en las formas de capacitar a las personas y de permitir a los procesos hacer más, así como en la generación y el transporte sostenibles de la energía necesaria. El próximo número de ABB Review recoge las más recientes ideas y herramientas creadas para ello.**