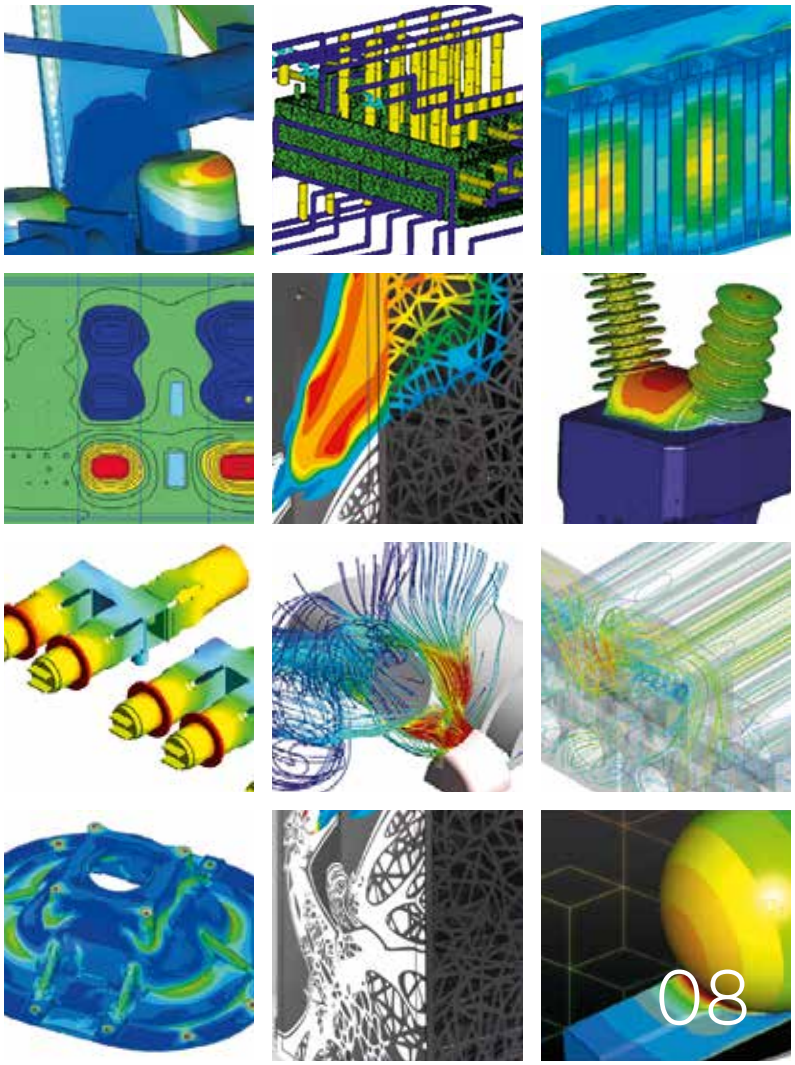
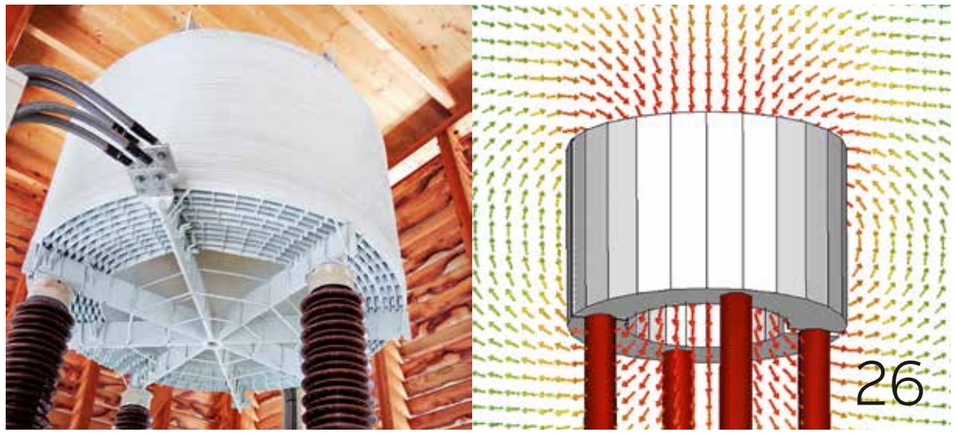
review

02|2019 es

Gemelos digitales y simulaciones



06 – 69 **Gemelos digitales y simulaciones**
70 – 77 **Productividad**



Gemelos digitales HVDC Light®

Ingeniería de módulos de proceso

Análisis conectados

Mitigar el impacto de arcos internos

05 Editorial

Gemelos digitales y simulaciones

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

Productividad

72 Ingeniería de módulos de proceso

Desmitificación de términos técnicos

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

79 Consejo editorial

Imagine que tiene un gemelo digital que vive en un mundo virtual donde usted puede probar cada decisión, anticipar cualquier sorpresa y construir así su vida de la mejor forma y con el máximo nivel de éxito. ABB utiliza este tipo de modelización para diseñar, operar y mantener equipos críticos y servicios de soporte. Este número de ABB Review explora cómo estas simulaciones en mundos alternativos tienen resultados reales.

EDITORIAL

Innovación

Estimado/a lector/a:

Los debates sobre la digitalización suelen centrarse en las ventajas que ofrece mientras el sistema está en funcionamiento. Pero la digitalización y la inteligencia artificial pueden aplicarse mucho antes de que el equipo entre en funcionamiento: en las fases de especificación, diseño, fabricación y configuración.

La simulación acorta los ciclos de análisis y diseño y garantiza mejores resultados optimizados al permitir investigar un mayor número de variantes. La inteligencia artificial promueve la creación de modelos de simulación y la identificación de tendencias. Los resultados de las simulaciones ya no están aislados en entornos cerrados, sino que pueden compartirse fácilmente para otros usos a lo largo del ciclo de vida del dispositivo. Un gemelo digital facilita esta tarea reflejando digitalmente datos y comportamientos vitales. Al hacerlo, simplifica actividades que van desde la configuración hasta la supervisión del estado y la predicción. Si se desea, se puede acceder a estos datos incluso en dispositivos de mano, por ejemplo, con ayuda de la realidad aumentada, para respaldar decisiones en la propia planta.

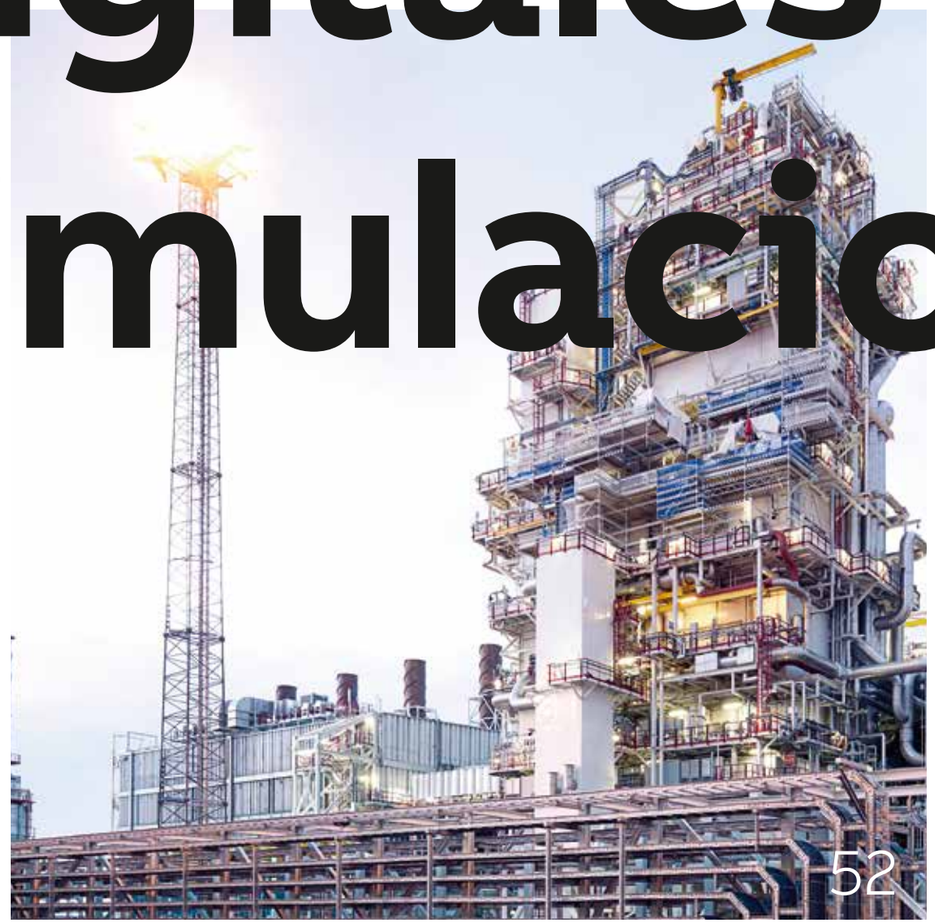
Confío en que este número de Abb Review ofrezca una visión renovada del frenético mundo de las simulaciones.

¡Buena lectura!

Bazmi Husain
Director de Tecnología

Gemelos digitales y simulaciones

34



52

64

¿Qué se puede lograr en un entorno de pruebas virtual casi infinitamente variable? Un diseño avanzado de productos, mejoras iterativas basadas en el uso, gestión del rendimiento y simulaciones de eventos atípicos, por mencionar solo algunos resultados. La IA puede utilizar algoritmos de simulación y aprovechar la potencia del gemelo digital: en el borde, en tiempo real, para aprender más rápido y mejor y, en consecuencia, encontrar más y mejores soluciones.

08 El mundo de la simulación
14 IA en tiempo real alimentada por gemelos digitales desplegados en el borde
20 Las simulaciones electrotérmicas mejoran el diseño térmico de los equipos
26 El gemelo digital HVDC Light® facilita el diseño EMC
34 Gestionar el rendimiento de los activos solares mediante análisis conectados
42 Simulaciones más sencillas para los ingenieros
47 Avances en el diseño y la fabricación de productos gracias a la impresión 3D
52 Los avatares digitales para trenes de potencia amplían el concepto de gemelo digital
58 Transformación de la supervisión del estado de las máquinas rotativas
64 Mitigar el impacto de arcos internos

GEMELOS DIGITALES Y SIMULACIONES

El mundo de la simulación

Las simulaciones y los gemelos digitales están revolucionando la forma en la que nos planteamos el desarrollo y el despliegue de productos.

—
Marek Florkowski
Daniel Szary
ABB Corporate Research
Cracovia, Polonia

marek.florkowski@pl.abb.com
daniel.szary@pl.abb.com

Andreas Moglestue
ABB Review
Baden-Daettwil, Suiza

andreas.moglestue@ch.abb.com

La frase «todo son números», atribuida a Pitágoras, es ahora más pertinente que nunca. Los números nos permiten captar y procesar magnitudes físicas, ya sean posiciones, temperaturas, caudales, intensidades de campo y muchas otras cantidades. Existe un amplio inventario de métodos ingeniosos para medir, o en otras palabras, describir el mundo físico a través de números. La era de la computación ha aportado una nueva herramienta extremadamente versátil: la simulación.

La simulación permite inferir datos que no están directamente disponibles para su medición. Permite, por ejemplo, calibrar la temperatura en lo más profundo de un objeto midiendo la temperatura de la superficie y combinando estas mediciones con el conocimiento de lo que sucede físicamente dentro del objeto. La inaccesibilidad de un punto de medición no tiene por qué ser estrictamente espacial. Los datos de interés también pueden estar en el futuro, o incluso en un sistema que no se haya construido físicamente.

—
Los desarrolladores de productos disponen de un mayor alcance para ser innovadores, pueden probar un número mucho mayor y muchas más combinaciones de variantes y pueden experimentar siguiendo enfoques poco ortodoxos.

En comparación con las pruebas físicas, la simulación puede generar enormes ahorros en términos de tiempo y coste, además de evitar la aparición de residuos y situaciones potencialmente peligrosas. Las pruebas físicas de laboratorio incurren en una latencia de tiempo considerable debido a la necesidad de preparar y construir muestras y configuraciones de pruebas, las limitaciones impuestas por la capabilidad y la capacidad del laboratorio, sin olvidar la falta de flexibilidad en caso de que los desarrolladores requieran una última segunda modificación. En un proceso de diseño que requiera varias iteraciones de diseño, habida cuenta de que en cada iteración hay que esperar a los resultados de la prueba anterior, esta penalización de tiempo puede ser inmensa.

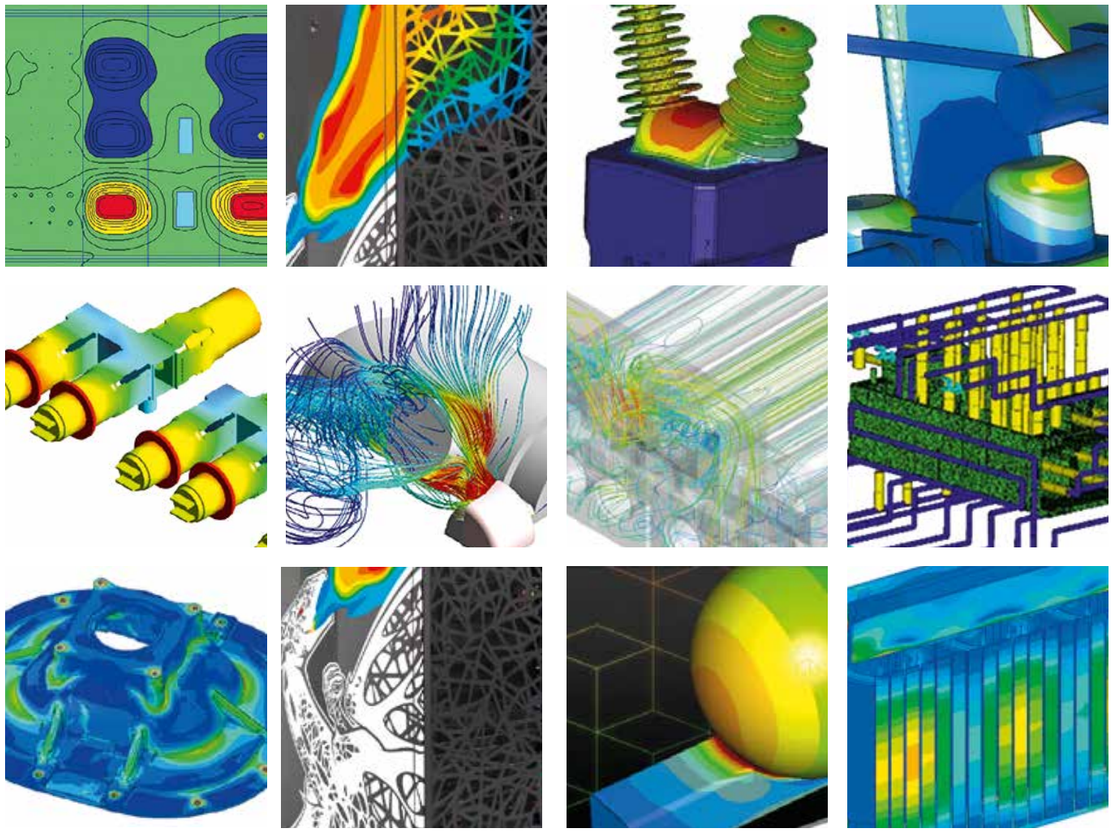
Además de los beneficios en términos de tiempo y coste, las simulaciones también permiten estudiar un rango mucho más amplio de variantes. Los desarrolladores de productos disponen de un mayor alcance para ser innovadores, pueden probar un número mucho mayor y muchas más combinaciones de variantes y pueden experimentar siguiendo enfoques poco ortodoxos. El resultado es una solución más optimizada.

En algunos casos, la simulación es la única forma viable de verificar un diseño porque las pruebas físicas no son viables desde un punto de vista realista, por ejemplo, las pruebas sísmicas a gran escala.

Actualmente, pueden simularse casi todos los aspectos del ciclo de vida de un producto: fabricación, pruebas virtuales, transporte, funcionamiento habitual, envejecimiento, duras condiciones ambientales, situaciones extremas (terremotos, arcos, rayos, sobrecargas, etc.).

Simulaciones en ABB
ABB hace un uso extensivo de la simulación en el desarrollo de productos. Las simulaciones cubren una amplia gama de campos, incluidos el electromagnetismo, la termodinámica, la mecánica, la dinámica de fluidos y la ciencia de materiales. Con cada vez más frecuencia, las simulaciones también combinan varios de estos dominios y captan no solo la suma de estos efectos, sino también el acoplamiento y las interacciones entre ellos en las denominadas simulaciones multifísicas.

En 2013, ABB Review dedicó un número a simulaciones →1. Si echamos un vistazo a esa publicación hoy, nos daremos cuenta de cómo se ha avanzado en este campo desde entonces. Las capacidades que entonces se consideraban deseables y futuristas, hoy ya son componentes probados y demostrados



de la Simulation Toolbox. Este número de ABB Review actualiza esta imagen y mira hacia los desarrollos futuros.

Avance en las simulaciones
Los principales impulsores de la capacidad de las simulaciones han sido no solo el aumento de la capacidad y velocidad de computación, sino también su asequibilidad y su facilidad de uso. Lo que hace 25 o 30 años hubiera sido un inmenso trabajo de procesamiento, ahora puede hacerse fácilmente en menos de media hora (más la preparación del modelo). Además de disponer de más velocidad en general, las simulaciones de hoy en día también pueden tener en cuenta un mayor número de variables, lo que aumenta su precisión general.

Además de los aspectos de hardware y coste, se han producido cambios importantes en las funciones de los ingenieros de simulación. En los inicios, los ingenieros experimentados normalmente dedicaban mucho tiempo a crear modelos y configurar simulaciones. Tal ha sido el progreso no solo del conocimiento y la alfabetización informática, sino también de las

—
Los principales impulsores de la capacidad de las simulaciones han sido no solo el aumento de la capacidad y velocidad de computación, sino también su asequibilidad y su facilidad de uso.

mejoras en la automatización y en las propias herramientas, que a día de hoy muchas de estas tareas pueden ser fácilmente realizadas por personal junior o estudiantes. Lejos de suponer una menor cualificación, este cambio significa que los expertos en simulaciones pueden concentrarse en interpretar los resultados, y en orientar y asesorar sobre las decisiones de diseño →2.

Año tras año, las simulaciones son cada vez más fáciles de utilizar. Esta «democratización» está permitiendo la adopción de la simulación en cada vez más áreas.

Feedback desde el mundo físico
La simulación más sofisticada no tiene ningún valor si los resultados no reflejan adecuadamente lo que sucede en el mundo físico. La confianza en las simulaciones mejora comparando los resultados de la simulación con las pruebas físicas y la experiencia de campo. La característica de un buen método de simulación es que los resultados tengan efectivamente una buena correspondencia con los de pruebas de laboratorio →3.

La característica de un buen método de simulación es que los resultados tengan efectivamente una buena correspondencia con los de pruebas de laboratorio.

Simulaciones multifísicas
Una simulación debe reflejar digitalmente los fenómenos que suceden dentro de un objeto o sistema físico. Como en el mundo real, múltiples efectos físicos actúan sobre un objeto simultáneamente. Por ejemplo, si observamos una instalación estrictamente desde el punto de vista eléctrico, es relativamente sencillo determinar una sección óptima del cable. Pero si tenemos en cuenta otros fenómenos, como los efectos térmicos o las vibraciones mecánicas, este óptimo podría tener que reconsiderarse. Por tanto, las simulaciones deben reflejar los efectos en diferentes dominios físicos (eléctrico, mecánico, térmico).

A menudo, es necesario tener en cuenta la interdependencia de estos efectos. Por ejemplo, la simulación de un arco requiere simular la dinámica del plasma, así como de su comportamiento electromagnético y generación de calor y enfriamiento. Todos estos fenómenos están vinculados entre sí dado que, por ejemplo, la conductividad local del plasma influye en el calor generado, y la temperatura retroalimenta la conductividad. El calor también afecta al movimiento espacial y a la redistribución del plasma, que a su vez afecta a cambios en la conductividad local, y así sucesivamente. Así, la cadena de influencia está muy interconectada y los respectivos cálculos de los dominios individuales deben ejecutarse simultáneamente e intercambiar información.

Antes de disponer de simulaciones, este tipo de decisiones de diseño a menudo se basaban en la experiencia, respaldada por la observación. Las simulaciones permiten una comprensión mucho más detallada de lo que ocurre dentro de un fenómeno, como un arco, de lo que antes era posible.

—
01 ABB Review 3/2013, dedicado a las simulaciones, fue un número emblemático que generó muchos comentarios positivos.

—
02 La interpretación de los resultados constituye una parte importante de la simulación.

—
Nota al pie
1) Véase también «Gemelo digital, ¿prácticamente idéntico?» de ABB Review 2/2018, páginas 94-95.

Gemelos digitales
Una simulación requiere datos básicos sobre un dispositivo o sistema. Al hacer varias simulaciones en un mismo producto, puede ganarse eficiencia computacional compartiendo los datos entre simulaciones en lugar de generar manualmente entradas totalmente incompatibles y separadas en cada caso. Estos datos también pueden utilizarse para muchos otros fines en las distintas fases del ciclo de vida del producto, como integración del sistema, diagnóstico, predicción y servicios avanzados. Se crea una imagen virtual del dispositivo o sistema físico que simplifica la accesibilidad de los datos y la verificación de las propiedades. Esta colección estructurada de datos y algoritmos conforma el gemelo digital del dispositivo.[1]

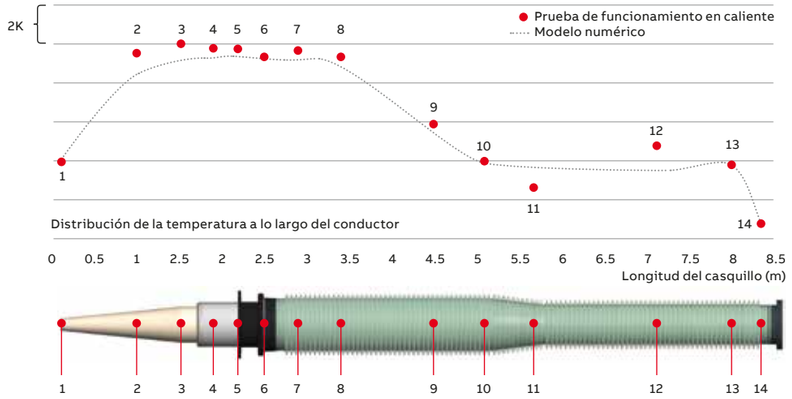
Las simulaciones permiten una comprensión mucho más detallada de lo que ocurre dentro de un fenómeno, como un arco, de lo que antes era posible.

Un gemelo digital puede proporcionar un repositorio unificado de todos los datos relevantes asociados a un dispositivo. Esto puede abarcar desde documentación e información CAD hasta historiales de vida y servicio, horas de funcionamiento y una gran cantidad de información adicional pertinente. También puede incorporar algoritmos de simulación que pueden, por ejemplo, avisar a un operador o configurador del sistema de si una operación planificada sobrecargará un dispositivo o lo llevará más allá de los límites

01

02

Photo fig 02: gollbo, istockphoto.com



03

especificados. Permitir, por ejemplo, que una temperatura se eleve por encima de un valor crítico puede acortar el intervalo de servicio o la vida útil del dispositivo, pero un operador o jefe de planta informado puede optar por hacerlo a pesar de todo por motivos operativos. Estos datos pueden facilitarse mediante una consulta con un solo clic. La usabilidad de este tipo de herramientas puede mejorarse con la realidad aumentada (un técnico observa los objetos a través de la cámara de su teléfono móvil y en las imágenes aparece automáticamente información interactiva superpuesta o en comentarios).

Además de estar disponible en estaciones de trabajo y dispositivos de mano, este tipo de herramientas de consulta pueden incorporarse directamente a la próxima generación de interfaces de sistemas de control con el fin de estar siempre disponibles sin necesidad de ninguna transferencia manual de datos.

Además de dispositivos individuales, los procesos y sistemas más grandes (como, por ejemplo, un grupo de máquinas colaborativas en una fábrica) también pueden tener gemelos digitales que incluyan los gemelos digitales individuales de los componentes y datos sobre su configuración e interacción. Los gemelos digitales también pueden captar las interfaces entre dispositivos y, así, apoyar la configuración, las pruebas y la resolución de problemas del sistema.

Herramientas y métodos de simulación
En sus simulaciones, ABB utiliza una combinación de herramientas comerciales, de código abierto y de desarrollo propio. La elección depende del problema concreto, y parte de la habilidad de simulación reside en saber cómo seleccionar la mejor herramienta.

El modelo de simulación se prepara a partir de la información del diseño (como datos CAD). Se tienen en cuenta factores como las condiciones de contorno, las cargas, etc.

Un gemelo digital puede proporcionar un repositorio unificado de todos los datos relevantes asociados a un dispositivo.

El proceso de preparación de estos datos ya está respaldado por cierto grado de automatización. El hecho de que estas herramientas sean cada vez más fáciles de usar ha llevado a una «democratización» de la simulación.

La capacidad de computación necesaria dependerá del tipo de simulación. Por ejemplo, para el análisis electrotérmico de una aparamenta completa de media tensión (aproximadamente 50 millones de células en una malla de volumen finito) podría ser necesario un ordenador de alto rendimiento →4 (la simulación se refería a ejecuciones de 24 horas en 160 núcleos). En el caso de modelos más sencillos o aplicaciones diferentes, basta con un buen ordenador portátil. Por ejemplo, las emisiones del campo eléctrico en torno a una central eléctrica (90 m x 150 m) con un tamaño de malla en las áreas de mayor interés de unos 2 cm se calcularon en dos horas con un portátil. Para los cálculos de red, una única ejecución puede tardar solo unos segundos y arrojar un resultado de una calidad razonable.

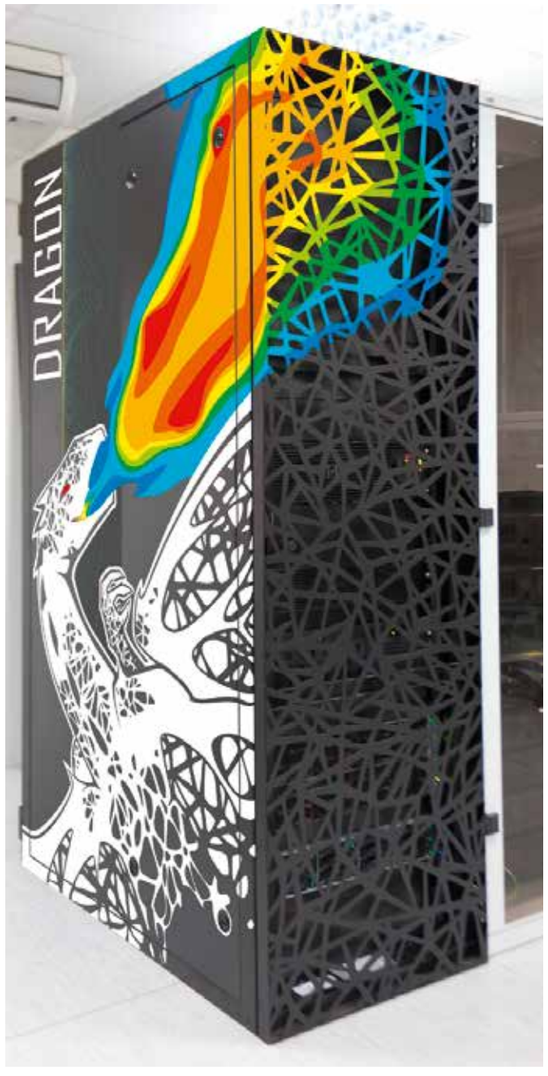
La inteligencia artificial (IA) juega un papel cada vez más importante en las simulaciones, por ejemplo, en la creación de modelos y en el reconocimiento y la interpretación de fenómenos. Una fortaleza

— 03 Comparación de temperaturas simuladas y medidas en el conductor.

— 04 Se necesitan computadoras de alto rendimiento para realizar simulaciones con un procesador.

importante de la IA es la optimización de la correlación de datos. La IA puede, por ejemplo, reconocer qué parámetros tienen el mayor efecto en la optimización y sugerir variantes de diseño que se acerquen a un óptimo de diseño.

Simulaciones e impresión 3D/4D
Las simulaciones descritas hasta ahora suelen realizarse mucho antes o independientemente del proceso de fabricación o aplicación, y por tanto no se consideran operaciones en tiempo real. Un ejemplo en el que las simulaciones pueden tener que ejecutarse en tiempo real es la impresión



04

La simulación es mucho más que sustituir las pruebas de laboratorio o acelerar la fase de desarrollo de los productos.

3D y 4D (un objeto 4D es un objeto 3D que incorpora más funcionalidades). Se puede utilizar una simulación que se ejecute a la vez que una impresión para corregir parámetros durante la impresión. Por ejemplo, pueden compensarse los gradientes temporales de temperatura provocados por el proceso de impresión.

En busca del óptimo
La simulación es mucho más que sustituir las pruebas de laboratorio o acelerar la fase de desarrollo de los productos. Dado que es mucho más fácil ejecutar una simulación que configurar una prueba, se puede ejecutar un número mucho mayor de simulaciones y, por lo tanto, explorar un rango de variantes más amplio, incluyendo ideas listas para usar e ideas del tipo «¿y si?». Al no limitar artificialmente a los usuarios de simulaciones a una solución dada desde el principio, la simulación está abriendo nuevas vías, no solo para el diseño de productos sino también para los procesos de fabricación, decisiones de negocio, pruebas y verificación, además de servicio. El personal puede jugar con diferentes geometrías e ideas y ajustar los parámetros en múltiples iteraciones. La simulación elimina barreras a favor de la creatividad.

Este número de ABB Review presenta ejemplos de simulación seleccionados de todo el Grupo ABB. •

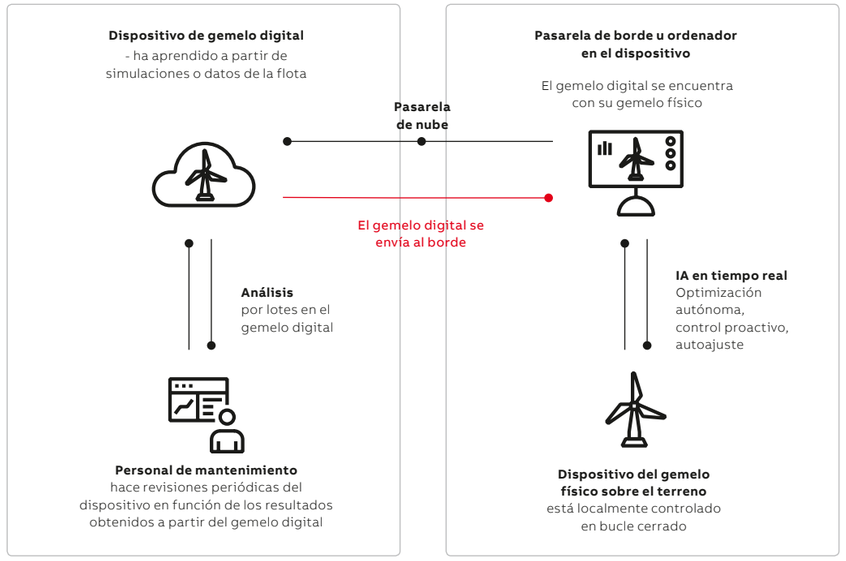
GEMELOS DIGITALES Y SIMULACIONES

IA en tiempo real alimentada por gemelos digitales desplegados en el borde

Los gemelos digitales basados en la nube ofrecen importantes ventajas. Sin embargo, instalar en el borde un gemelo digital entrenado en la nube abre las puertas a nuevas oportunidades para los sistemas autónomos, tales como novedosas aplicaciones de inteligencia artificial (IA) en tiempo real basadas en el autoaprendizaje.

—
Foto: Un gemelo digital desplegado en el borde puede evolucionar continuamente a través del autoaprendizaje al tiempo que garantiza que su homólogo en la nube se mantiene sincronizado y actualizado. El hecho de desplazar el gemelo digital al borde ofrece una serie completamente nueva de ventajas y oportunidades para la industria y las compañías eléctricas. Aquí se muestra una planta de energía eléctrica limpia, solo uno de los entornos que pueden beneficiarse de esta tecnología.

—
01 El gemelo digital se desplaza al borde para encontrarse con su gemelo físico. El gemelo digital se ejecuta y evoluciona en la pasarela de borde o en el dispositivo mediante enfoques de autoaprendizaje.



01

Mithun P. Acharya
ABB Corporate Research Raleigh, NC, Estados Unidos

mithun.acharya@us.abb.com

Mirrasoul J. Mousavi
Antiguo empleado de ABB

Un gemelo digital es una representación digital de un activo físico (gemelo físico) que puede utilizarse para distintos fines, tales como simular el comportamiento de dicho activo físico. Por ejemplo, un modelo de rendimiento de un inversor solar es un gemelo digital que caracteriza el rendimiento del inversor.

—

Desplazar el gemelo digital al borde permitirá novedosas aplicaciones de IA en tiempo real.

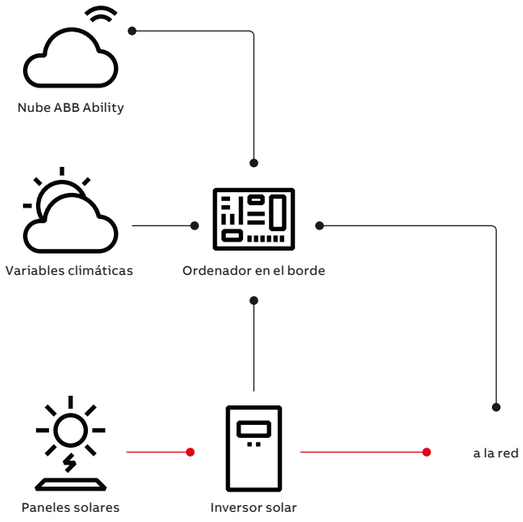
En función de cada caso práctico específico, puede haber más de un gemelo digital para un mismo activo, proceso o sistema. Esta componibilidad de los gemelos digitales/físicos ofrece una gran flexibilidad a la hora de definir, desarrollar, componer y aprovechar los gemelos para aplicaciones de IoT (Internet de las cosas) en tiempo real, tales como la computación en el borde y los análisis. Aquí, el término «borde» se refiere al software o hardware instalado en las instalaciones del cliente, tales como pasarelas de borde, historiales y dispositivos y controladores de la planta.

Gemelo digital desplegado en el borde
El gemelo digital normalmente reside, y se mantiene, en la nube y se alimenta de datos procedentes de simulaciones o dispositivos de campo. Los gemelos digitales se utilizan para analizar las operaciones pasadas y actuales y hacer predicciones aprovechando los enfoques de aprendizaje automático para supervisar el estado, detectar anomalías y prever fallos. Un ejemplo de aplicación de un gemelo digital es el mantenimiento (predictivo) del activo físico al que representa.

¿Qué nuevas aplicaciones podrían surgir si permitimos que el gemelo digital entrenado en la nube se desplace hasta el borde y se encuentre con su gemelo físico?

Si bien en el pasado los dispositivos en el borde se utilizaban principalmente para la adquisición de datos y cálculos básicos, la computación en el borde ofrece cálculos avanzados y análisis basados en la nube que permiten una toma de decisiones en el borde más rápida y localizada →1. El hecho de desplazar el gemelo digital hasta el borde permitirá aplicaciones novedosas de IA en tiempo real gracias a lo siguiente:

- Menor latencia de los análisis. En algunos casos, las latencias de ida y vuelta a la nube no son aceptables. Si el gemelo digital se ejecuta en el borde, podrán conseguirse aplicaciones con una latencia inferior a un segundo -así, se podrán invocar funciones de protección del dispositivo, incluido el apagado, de manera instantánea cuando el análisis del gemelo digital detecte o prevea un peligro.



02

- Integración en bucle cerrado de los análisis y control local. Los análisis generados por el gemelo digital pueden guiar el control local y viceversa. Esto se traduce en aplicaciones de control proactivas que dan lugar a un funcionamiento autónomo.

Por ejemplo, podría mitigarse una anomalía crítica prevista sin necesidad de intervención humana.

- Evolución más rápida del gemelo digital. Aplicando enfoques tales como el aprendizaje automático en línea a datos en streaming y el aprendizaje por refuerzo en tiempo real, el gemelo digital puede aprender y evolucionar continuamente. Esto se traduce en un funcionamiento optimizado del sistema y en dispositivos autoajustables. Así, por ejemplo, al aprender y desarrollar su gemelo digital en el borde, un dispositivo de energía conectado a la red podrá inferir parámetros operativos o de control óptimos para maximizar su rendimiento sin afectar a la estabilidad de la red.

Ejecutar el gemelo digital en el borde en lugar de en la nube también tiene ventajas comerciales:

- Menor coste de alojamiento en la nube. Enviar todos los datos a la nube para su almacenamiento y posterior análisis puede resultar caro.
- El procesamiento previo de los datos reduce el volumen de datos que se transmite a la nube.
- No es necesario enviar datos confidenciales a la nube.
- Mayor resiliencia. Pueden realizarse análisis incluso con el gemelo digital desconectado.

Tres casos prácticos ilustran las posibilidades que ofrecen los gemelos digitales desplegados en el borde.

Seguimiento del rendimiento solar en tiempo real en una red resiliente

Los inversores solares inteligentes pueden prestar servicios auxiliares a la red, incluyendo la regulación de la tensión y la frecuencia, la corrección del factor de potencia y el control de la potencia reactiva. Estas capacidades avanzadas pueden ayudar a suavizar las fluctuaciones de oferta y demanda derivadas de las renovables intermitentes y las cargas elásticas. Para poner en práctica las capacidades de los inversores inteligentes en una planta de energía solar, la potencia de salida de la planta debe reducirse (en torno a un 10 %) para dejar margen para estos tipos de regulación bajo demanda.

La clave para mantener el intervalo de regulación y el rendimiento de la reducción deseados es estimar la potencia pico disponible (APP). Este dato tiene que estimarse y comunicarse en cada ciclo de actualización de control (normalmente en 4 s). El algoritmo de cálculo de la APP tiene en cuenta la irradiación solar, las características de intensidad y tensión del módulo fotovoltaico (PV), las temperaturas del panel, las eficiencias del inversor y otras variables. La precisión de la estimación de la APP es crucial para la precisión de la regulación de la planta fotovoltaica, especialmente en el caso de la regulación al alza.

Para modelizar la APP, en la nube se crean modelos de aprendizaje automático y basados en física, empleando los datos históricos de toda la flota de inversores. A partir de estos modelos se puede obtener un gemelo digital que se transferirá a los inversores solares de ABB para ejecutar análisis en el borde, a demanda y en tiempo real, en sinergia con la nube.

Para demostrar cómo puede utilizarse el gemelo digital desplegado en el borde en los datos en streaming del inversor para estimar el rendimiento del inversor en tiempo real, se diseñó un prototipo de prueba de concepto en un entorno Python. Este prototipo utilizó datos de campo de una planta solar y un dispositivo de computación en el borde similar a una Raspberry Pi →2.

Ejecutar el gemelo digital en el borde en lugar de en la nube también tiene ventajas comerciales.

El objeto fue un inversor monofásico de 2,5 kW instalado en una propiedad escolar de Estados Unidos. Un programa de streaming ejecuta las tramas de datos en el estimador y muestra un gráfico de los resultados de salida en un visualizador.

02 Computación en el borde (edge computing) para modelizar y controlar el rendimiento de los inversores solares.

03 Regulación de la salida del inversor en modo de servicio de red. El valor de reserva negativo en torno a t=96 es un artefacto de recogida de datos.

→3 muestra un ejemplo hipotético de la instalación del inversor para servicios de red. En este caso, la salida del inversor se regula constantemente un 10 % por debajo de la APP para dejar margen para la regulación al alza. La potencia prevista para un momento dado se trata como la APP para ese momento. Esta estimación es el valor de referencia para el siguiente intervalo de control o envío. Conforme la entrada solar cambia, también cambia la APP para mantener un margen saludable para el control del inversor local.

Seguridad física del transformador en tiempo real

En este caso práctico, la seguridad física de un gran transformador de potencia se replica en la nube y se explota en el borde para supervisar la seguridad física del transformador en tiempo real. La mejora de la seguridad física de las subestaciones y los transformadores trata una vulnerabilidad crítica que puede afectar a la fiabilidad de la red. ABB ha desarrollado un enfoque por capas para abordar la resiliencia de los transformadores, que incluye la detección y evaluación de los impactos en tiempo real.

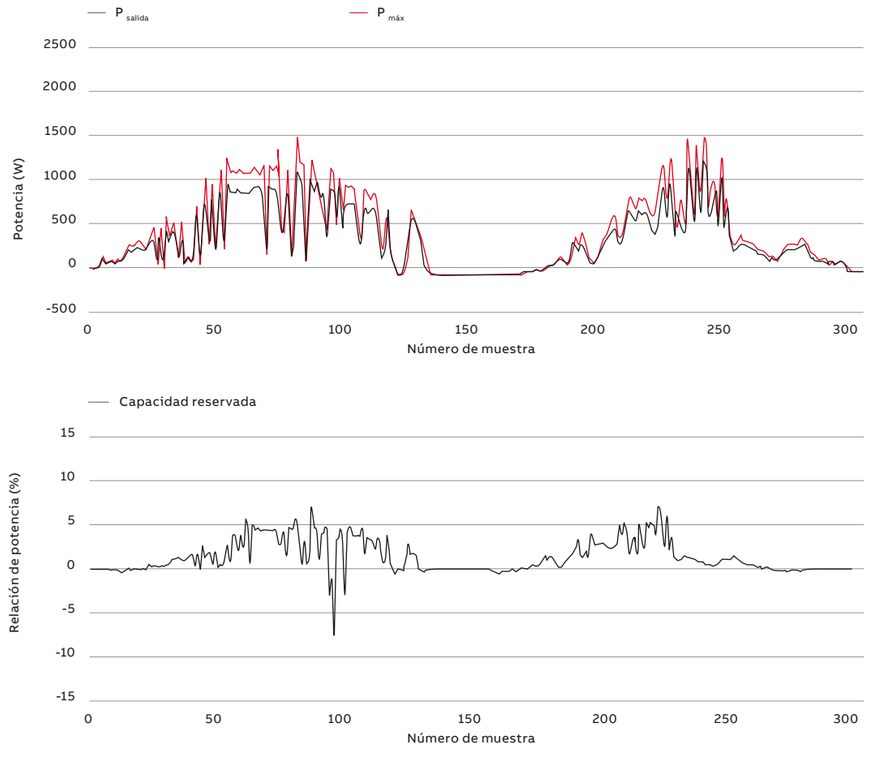
Mediante experimentos controlados y utilizando tres sensores de vibración y un sensor acústico en el transformador, primero se diseñaron modelos de aprendizaje automático que se entrenaron en la nube para clasificar como benigno o catastrófico un impacto físico en un transformador.

La información obtenida con este experimento puede ayudar a la toma de decisiones sobre la «bondad del ajuste», cruzando el rendimiento analítico con los requisitos de la aplicación.

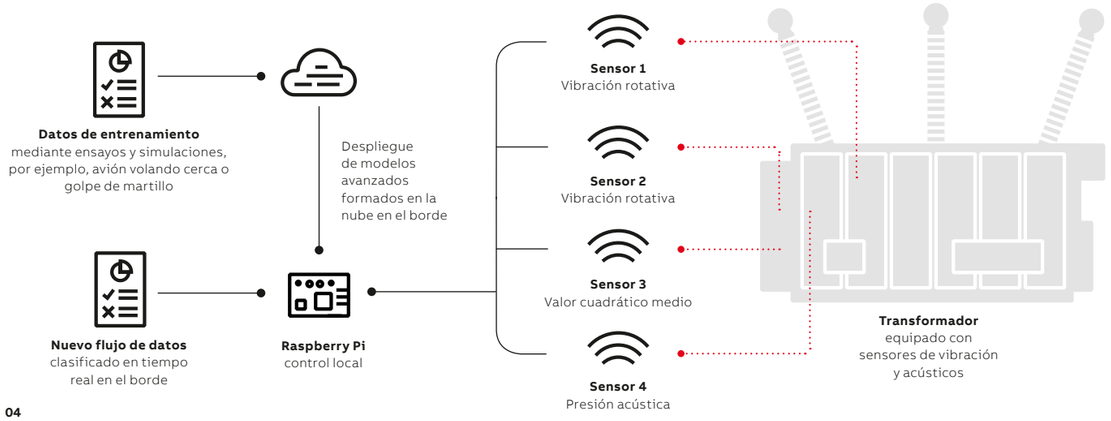
Los modelos entrenados, que conforman el gemelo digital de la seguridad física del transformador, se despliegan en el borde para informar y actuar en tiempo real en caso de que los sensores del transformador registren un impacto físico.

El análisis en streaming se refiere a aplicar técnicas de aprendizaje automático y otras técnicas de tratamiento de datos a los datos en movimiento. Esto contrasta con las prácticas convencionales de análisis de datos en las que primero se almacenan los datos y después se analizan. El análisis en streaming permite una reacción instantánea a los estímulos y reduce los volúmenes de datos.

Una consideración clave a tener en cuenta en el análisis en streaming es la velocidad a la que el procesador ingiere los datos en streaming y aplica un modelo de aprendizaje automático para



03



04

obtener el resultado deseado (etiqueta de clase o regresión). En nuestro caso, cuantificamos esta importante característica de rendimiento mediante los datos del sensor (a 52 000 muestras por segundo). La retransmisión de datos a esta velocidad a un motor en la nube es difícil y, por lo tanto, plantea un buen caso práctico para comprender qué velocidad es una velocidad suficiente y dónde pueden darse cuellos de botella que dificulten el rendimiento en tiempo real →4. La información obtenida de este experimento puede ayudar a la toma de decisiones sobre la «bondad del ajuste», cruzando el rendimiento analítico con los requisitos de la aplicación.

El desarrollo de los modelos (agrupamiento K-medias y clasificadores de árbol de decisión) se realizó en un entorno Python. El despliegue del modelo se logró utilizando una Raspberry Pi como proxy para un dispositivo informático monoplaca en el borde.

El objetivo era puntuar el modelo de aprendizaje automático contra el flujo de datos entrante. La salida del modelo era la clase de impacto: benigno (por ejemplo, avión volando cerca) o maligno (por ejemplo, golpe de martillo).

En los experimentos realizados sobre este caso práctico, el rendimiento varió significativamente entre una máquina virtual Linux con ocho núcleos (2,1 GHz) que era proxy de una pasarela de borde de última generación y una Raspberry Pi 3 Modelo B de núcleo cuádruple (1,2 GHz). El rendimiento también cambió significativamente al pasar de la ingestión pura de datos a la puntuación del modelo. Es probable que el rendimiento pueda mejorar con la optimización del código. Sin embargo, la diferencia de orden de magnitud entre los modos de supervisión y puntuación sería significativa en aplicaciones sensibles al tiempo.

Evaluación semiautónoma del sistema eléctrico de la planta

En este caso práctico, la seguridad de una planta de productos alimentarios (F&B) se replicó en la nube utilizando el reconocimiento de imágenes. Tomando como base imágenes (escenarios peligrosos y no peligrosos) de la planta procedentes de evaluaciones de seguridad anteriores, se crearon en la nube redes neuronales convolucionales profundas para detectar automáticamente peligros eléctricos. Estas redes neuronales pueden instalarse a continuación en los smartphones de los operarios de la planta o en las cámaras de vídeo de la planta para detectar en tiempo real los peligros existentes →5.

El aprendizaje profundo o deep learning es la última incorporación al conjunto de herramientas de inteligencia artificial (IA). Se empezó a hablar del aprendizaje profundo por primera vez en 2017, tras un avance en los algoritmos de entrenamiento y las tasas de error. El aprendizaje profundo puede aplicarse a un gemelo digital en el borde para

—

Se podría desplegar en el borde de manera rentable un modelo entrenado -otro ejemplo del uso sinérgico de las tecnologías de borde y de nube para el análisis y el aprendizaje automático.

—

04 Análisis en streaming de los datos de sensores vibroacústicos para la seguridad física de los transformadores de potencia.

—

05 Marco de aprendizaje profundo para el reconocimiento de peligros para la seguridad.

reconocer los riesgos eléctricos y de seguridad alimentaria de las instalaciones alimentarias.

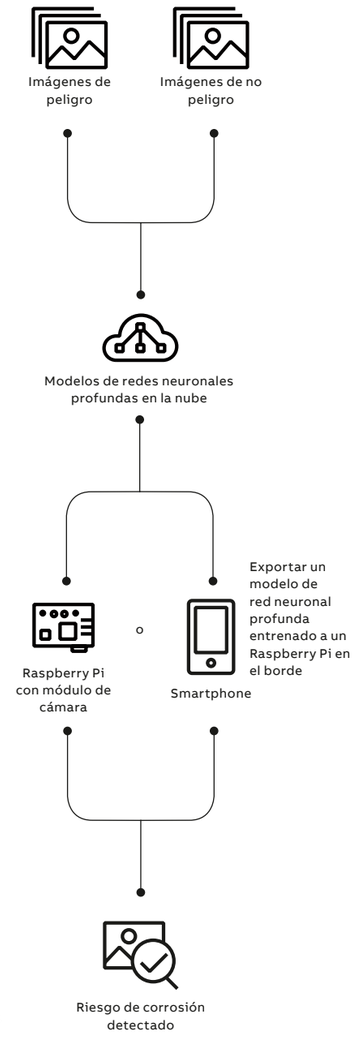
Si bien el aprendizaje profundo se conoce desde hace mucho tiempo y se aplica extensamente en aplicaciones a nivel de la nube como el procesamiento de imágenes, el procesamiento del lenguaje natural y el reconocimiento del habla, su aplicación en el borde es bastante novedosa, especialmente a la vista de sus requisitos computacionales.

Se eligió la corrosión como categoría de peligro por ser el principal problema de las instalaciones de la industria alimentaria para el que ABB dispone un conjunto de datos de entrenamiento razonable (con cientos de miles de variables de entrenamiento). Se utilizaron las bibliotecas Google TensorFlow y Keras para entrenar diversas redes de aprendizaje profundo. Como es habitual en los proyectos de análisis, la cantidad y la calidad de los datos de entrenamiento asumieron un papel importante en la precisión de los resultados de clasificación. Se logró una precisión del 90 %, en el supuesto más favorable, lo que demuestra el potencial de utilizar la inteligencia artificial. A modo de referencia, la tasa de referencia de reconocimiento humano de imágenes es del 95 %.

Se construyó un prototipo de hardware con un ordenador monoplaca de 35 dólares (Raspberry Pi Modelo B). Se desarrollaron los modelos de aprendizaje profundo en un clúster de GPU (unidad de procesamiento gráfico) y se desplegaron en la Pi para obtener una puntuación en tiempo real. En este ejercicio se utilizaron mucho las bibliotecas Python. Este experimento demostró que el aprendizaje profundo no es necesariamente una técnica cara y exclusiva para las aplicaciones de computación en la nube. Su aplicación en el borde es bastante factible y puede dar lugar a muchos casos prácticos basados en imágenes y otros datos dimensionales. El objetivo último era demostrar que un modelo entrenado podía desplegarse de manera rentable en el borde. Este logro es un ejemplo más del uso sinérgico de las tecnologías en el borde y en la nube para el análisis y el aprendizaje automático.

—

A medida que avanzan las tecnologías de computación en el borde, cabe esperar que la ejecución de gemelos digitales en el borde reporte beneficios en muchos casos prácticos.



05

En el borde de la vanguardia

Aunque este artículo se centra en la ejecución de los gemelos digitales en el borde, la moraleja debe ser la «sinergia entre el borde y la nube» en lugar de «el borde contra la nube». A medida que avanzan las tecnologías de computación, cabe esperar que la ejecución de gemelos digitales reporte beneficios en muchos casos prácticos, entre otros, redes inteligentes, ciudades inteligentes, plantas inteligentes, robótica, el IoT y transporte inteligente. •

GEMELOS DIGITALES Y SIMULACIONES

Las simulaciones electro-térmicas mejoran el diseño térmico de los equipos

Los equipos de la red eléctrica deben ser compactos y eficientes, pero también deben soportar esfuerzos térmicos extremos. Los métodos de diseño digital son indispensables para lograr este objetivo. Los recientes avances en simulación electrotérmica han convertido la técnica en una valiosa herramienta para el diseñador de equipos eléctricos.

—
Jörg Ostrowski
Andreas Blaszczyk
ABB Corporate Research
Baden-Dättwill, Suiza

joerg.ostrowski@ch.abb.com
andreas.blaszczyk@ch.abb.com

Boguslaw Samul
Remigiusz Nowak
ABB Corporate Research
Cracovia, Polonia

boguslaw.samul@pl.abb.com
remigiusz.nowak@pl.abb.com

Michael Gatzsche
High Voltage Products
Zúrich, Suiza

michael.gatzsche@ch.abb.com

Valeri L. Oganezov
ABB Electrification Products,
Saint-Laurent,
Quebec, Canadá

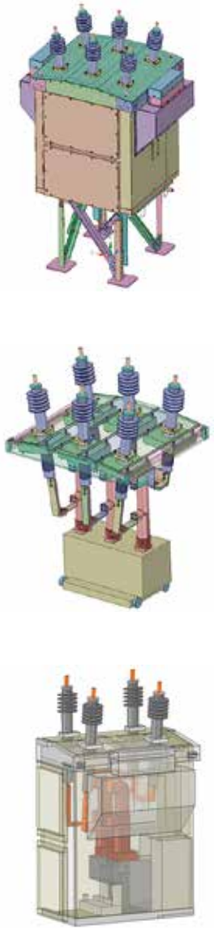
valeri.l.oganezov@ca.abb.com

La presión por ser compactos y eficientes, y el exigente y variado panorama eléctrico en el que operan, convierten el esfuerzo térmico en una consideración crítica para el diseño de los equipos de red modernos. Para predecir el esfuerzo térmico en un dispositivo o sistema de potencia, podría parecer suficiente calcular el comportamiento electromagnético y las transferencias de calor.

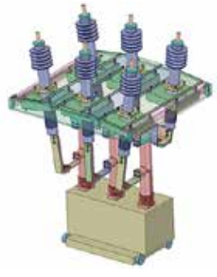
Con las nuevas herramientas hoy en día se puede predecir el esfuerzo térmico en los dispositivos de potencia con una alta precisión y un esfuerzo comparativamente bajo.

Sin embargo, para lograr un cálculo completo y satisfactorio, deben considerarse y simularse muchos efectos físicos: una tarea que va más allá de los tradicionales enfoques heurísticos de diseño. Debe adoptarse un enfoque de diseño digital.

Nuevas herramientas para simulación y cosimulación
Si bien las pérdidas resistivas e inductivas, y la conducción térmica, llevan años siendo computables, solo desde hace poco pueden predecirse con exactitud las importantes pérdidas en los contactos eléctricos o los mecanismos mixtos de transferencia de calor convectivo-turbulento-radiativo en las superficies de dispositivos reales gracias a la cosimulación Maxwell-CFD (dinámica de fluidos computacional). Sofisticados algoritmos de mapeo, el refinamiento automático de la malla y el control de error constituyen importantes compañeros numéricos de estas simulaciones. Estas nuevas herramientas permiten predecir el esfuerzo térmico en los dispositivos eléctricos con una gran precisión y un esfuerzo comparativamente bajo.



01a



01b

01c

—
01 Disyuntor de MT resistente al arco para exterior.

01a Vista exterior.

01b Componentes interiores.

01c Modelo simplificado para el subanálisis térmico.

—
02 Las demandas a las que están sujetos los equipos de la red eléctrica, como el transformador de potencia de ABB que se muestra aquí, no tienen precedentes, lo que convierte el esfuerzo térmico en una importante consideración de diseño. Las simulaciones electrotérmicas constituyen una valiosa herramienta para cualquier diseñador de dispositivos de la red eléctrica.

02

La integración de grandes partes de estas simulaciones en un sistema CAD, como se consiguió con la Simulation Toolbox de ABB en los últimos años, permite ahora la ejecución relativamente sencilla de simulaciones complejas. Los modelos de simulación parametrizados integrados en CAD permiten el análisis rápido y preciso de una gran variedad de posibles variantes de producto con diferentes cargas. ABB ha sido pionera en estos gemelos de simulación basados en CAD, que se utilizarán en la ingeniería de la fábrica digital del futuro [1].

ABB ha sido pionera en métodos avanzados e integrales para cálculos electrotérmicos que son críticos para el correcto diseño de los equipos eléctricos modernos.

En particular, ABB ha sido pionera en métodos avanzados e integrales para cálculos electrotérmicos que son críticos para el correcto diseño de los equipos eléctricos modernos. Los diseñadores de producto de ABB ya utilizan algunos métodos de este tipo. La elección del método depende de la tarea de simulación, los tres ejemplos a continuación muestran la potencia y flexibilidad del enfoque.

Cosimulación Maxwell-CFD de un disyuntor de media tensión para exterior
Uno de los métodos más precisos y detallados para la computación de los procesos electrotérmicos se basa en la cosimulación Maxwell-CFD de acoplamiento de 2 vías. Aquí, las pérdidas de energía electromagnética se calculan mediante un solucionador numérico de elementos finitos de ecuaciones de Maxwell y la transferencia de calor se calcula mediante un solucionador numérico CFD. Los dos solucionadores numéricos intercambian información durante el cálculo para poder tener en cuenta todos los efectos electrotérmicos relevantes.

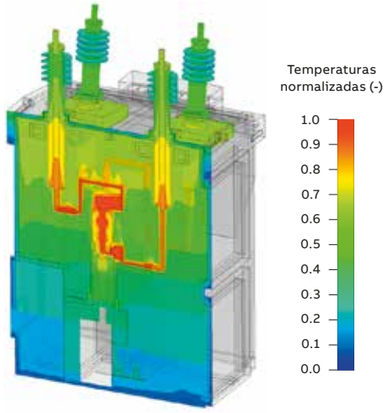
El uso de dos mallas diferentes para los dos dominios físicos distintos permite una resolución de fenómenos locales que de otro modo sería imposible. En el caso de la refrigeración convectiva, algunos ejemplos de estos fenómenos son los efectos peliculares que concentran las pérdidas de potencia cerca de la superficie de los conductores y las finas capas de contorno turbulentas en la superficie exterior de los sólidos que son decisivas para la transferencia de calor al medio ambiente.

Los investigadores de ABB han desarrollado herramientas computacionales eficaces para llevar a cabo este tipo de simulación tan compleja. A modo de ejemplo, puede utilizarse un análisis electrotérmico en 3D de un disyuntor de media tensión (MT) resistente al arco para exterior →1.

Los disyuntores son uno de los componentes más importantes de las redes de distribución de potencia de MT, ya que garantizan una correcta conmutación de carga y protegen las cargas aguas abajo y las redes aguas arriba, incluidos elementos importantes como los transformadores de potencia.

El comportamiento térmico del disyuntor constituye un factor vital de su funcionamiento. El sobrecalentamiento durante el funcionamiento normal puede acortar su vida útil y dañar componentes principales. Las sobretemperaturas provocadas por las sobrecargas pueden dañar el aislamiento del disyuntor y provocar averías eléctricas.

Un desafío fue que durante la sobrecarga del disyuntor no se permite la refrigeración forzada, pero, no obstante, la unidad debe funcionar de forma fiable entre los -50 y +40 °C (de hecho, la unidad está diseñada para una sobrecarga de hasta el 60 % a temperaturas extremadamente bajas). La carcasa aislada térmicamente –diseñada conforme a IP43– cuenta con rejillas de ventilación



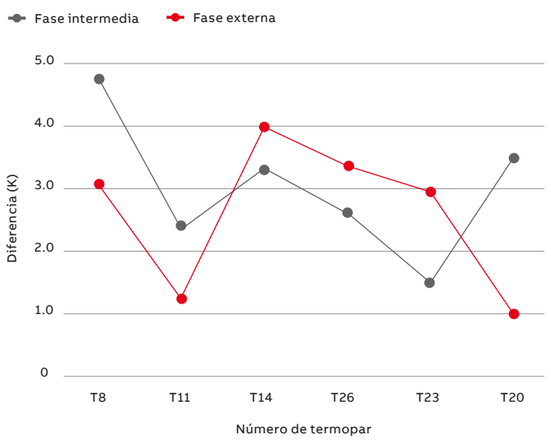
03

bien protegidas que limitan la circulación del aire y reducen así la eficacia de la refrigeración por convección. Este aspecto complica aún más el proceso de diseño y puede dar lugar a múltiples iteraciones y nuevas pruebas de diseño.

—

El proceso de simulación completo incluyó todos los efectos físicos que se producen durante el ensayo térmico estandarizado.

En dispositivos como los disyuntores automáticos se comprueba el comportamiento térmico mediante pruebas de aumento de la temperatura que requieren condiciones ambientales controladas, un modelo físico del dispositivo, una fuente de alimentación adecuada y una infraestructura de prueba (termopares, etc.).



04

Una prueba puede tardar muchas horas en alcanzar una temperatura estable. Por supuesto, este tipo de procedimiento de prueba es indispensable para la prueba tipo final de un dispositivo, pero es una forma cara de probar las primeras variantes de diseño, algunas de las cuales podrán descartarse en cualquier caso.

Por el contrario, las pruebas virtuales computarizadas de aumento de la temperatura permiten una validación muy rápida y relativamente barata de diferentes diseños de disyuntores con distintas cargas y condiciones ambientales.

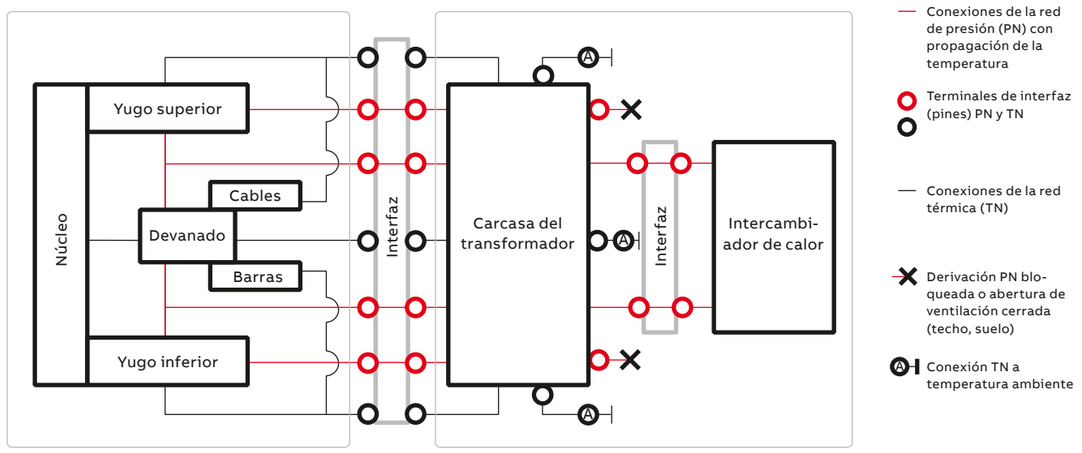
El modelo de simulación del disyuntor de media tensión en →2 incluye submodelos electromagnéticos y térmicos (CFD) que intercambian datos. En el modelo electromagnético, incluso si el dispositivo tiene una simetría geométrica, se tienen en cuenta las vías de corriente de las tres fases, habida cuenta de las cargas asimétricas de corriente y los efectos de proximidad. Se realizó una simulación de flujo térmico solo para la mitad del dispositivo, gracias a su simetría geométrica planar.

El proceso de simulación completo incluyó todos los efectos físicos que se producen durante el ensayo térmico estandarizado. En el caso de pérdidas eléctricas y efectos peliculares y de proximidad, se tuvieron en cuenta tanto la influencia de la temperatura en la resistividad de los materiales como las resistencias de contacto eléctrico. Para los cálculos térmicos, se tuvieron en cuenta los efectos de turbulencia en el fluido impulsado por flotabilidad y la radiación térmica. También se incluyeron otros detalles, como la influencia de las rejillas de ventilación en el intercambio de aire entre el interior del disyuntor y el medio ambiente.

La simulación acoplada es un proceso iterativo y se intercambiaron datos entre los dos solucionadores numéricos hasta alcanzar una temperatura estable (±5 %), lo que tardó cuatro iteraciones. Con una desviación máxima de 5K, los resultados de la simulación coincidieron casi a la perfección con los resultados de la prueba real de aumento de temperatura →3,4. Este ejemplo ilustra cómo la simulación puede ofrecer resultados fiables y reducir el número de iteraciones de prueba reales.

Modelo de red de un transformador seco

No siempre se puede utilizar la cosimulación Maxwell-CFD, computacionalmente costosa, sobre todo en los grandes dispositivos complejos o si se busca la optimización automatizada del diseño. En estos casos, se utilizan descripciones analíticas simplificadas, por ejemplo, equivalentes térmicos a circuitos eléctricos: las redes térmicas. Estas redes no son necesariamente precisas, pero son computacionalmente mucho más eficientes.



05

—
03 Distribución final de la temperatura dentro de un disyuntor de MT para exterior.

—
04 Precisión de la simulación: comparación con mediciones físicas.

—
05 Concepto de red modular, conexión de las piezas activas con los componentes del sistema de refrigeración.

—
06 Gráfico de velocidad en una carcasa de transformador seco con grandes flujos de aire indicados con flechas blancas. Esta simulación de fluidos CFD axisimétrica en 2D se realizó mediante un ventilador interno y rejillas de ventilación en paredes y techo.

Tradicionalmente, el enfoque de red térmica se ha utilizado para evaluar el aumento de la temperatura en los devanados de los transformadores [1]. Recientemente, los desarrolladores de la herramienta de diseño de transformadores de ABB han ampliado el

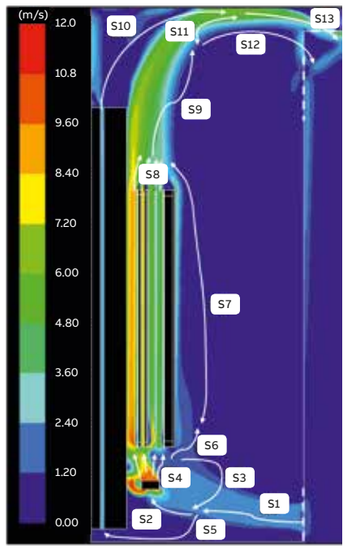
—

Con una desviación máxima de 5 K, los resultados de la simulación coincidieron casi a la perfección con los resultados de la prueba real de aumento de temperatura.

modelo de red y han permitido computaciones de todo el sistema de refrigeración [3] →5. Las piezas activas que generan calor se conectan con el sistema de refrigeración a través de una interfaz predefinida que permite la transferencia de fluido y calor entre los componentes. El sistema de refrigeración incluye una carcasa así como un intercambiador de calor externo con otra interfaz entre ellos. Las interfaces permiten combinar todos los componentes de red implementados y definir una configuración arbitraria de acuerdo con las especificaciones del diseñador. El funcionamiento autónomo del transformador (sin carcasa) y la ventilación abierta (en lugar del intercambiador de calor) se incluyen como opciones disponibles.

Como ejemplo de implementación de los componentes, en →6,7 se muestra un modelo de red de presión de una carcasa de transformador seco. Para crear la topología de la red se han utilizado los flujos de aire identificados en una computación CFD. El resultado CFD se ha utilizado para validar la precisión del modelo de red dentro del rango de parámetros requerido. Los parámetros típicos son: dimensiones de la carcasa, datos del ventilador interno y resistencia al flujo de las rejillas de ventilación. El modelo de red puede reproducir los flujos circulares dentro de la carcasa.

El modelo completo puede calcular en cuestión de segundos el aumento de la temperatura en el devanado, teniendo en cuenta todos los detalles del bobinado, el núcleo y el sistema de refrigeración. Este enfoque permite a los diseñadores mantenerse dentro de los límites de temperatura requeridos y minimizar los costes de material.



06

El modelo completo puede calcular en cuestión de segundos el aumento de la temperatura en el devanado, teniendo en cuenta todos los detalles del bobinado, el núcleo y el sistema de refrigeración.

Simulación de prueba de la corriente de corta duración de un seccionador de puesta a tierra

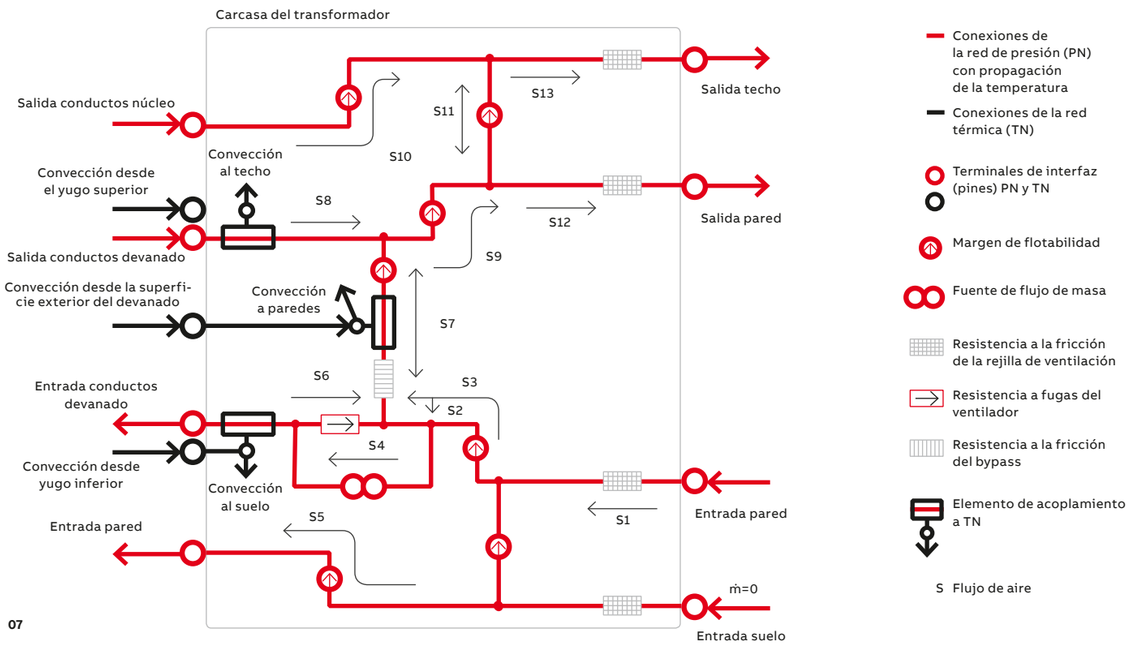
Las pruebas obligatorias de corriente de corta duración (STC) conducen una alta corriente de corta duración (algunos segundos) a través de un dispositivo para emular un cortocircuito y probar así la resistencia del dispositivo. Dado que las pruebas de STC son complejas y costosas, se valoran las simulaciones STC que predicen de forma fiable el aumento de la temperatura en el dispositivo.

En este caso, un método de cosimulación Maxwell-CFD sería exagerado, ya que el flujo de calor procedente del dispositivo a su entorno es bajo. De hecho, toda la parte CFD puede representarse como una mera conducción transitoria de calor en las partes sólidas del dispositivo. La modelización electromagnética adquiere una relevancia mucho mayor para las pruebas STC. Los principales efectos a tener en cuenta son:

- Pérdidas óhmicas en el volumen del dispositivo.
- Dependencia de la temperatura de la resistividad eléctrica.
- Pérdidas óhmicas debidas a resistencias de contacto eléctrico (ECR) en las interfaces del conductor.

Este último efecto es el más complicado y no se puede despreciar, ya que estas pérdidas pueden llegar a representar hasta el 50 % de las pérdidas totales. Además, en los seccionadores, las pérdidas se producen localmente en las superficies de los contactos eléctricos y no se distribuyen por todo el volumen (como es el caso de las pérdidas óhmicas dentro del material). En consecuencia, las áreas más calientes y vulnerables se encuentran en las proximidades de los contactos eléctricos. La modelización de las ECR es un tema multifísico ampliamente estudiado en todo el mundo.

En la simulación de un seccionador de puesta a tierra de una subestación aisladas por gas (GIS), se asumió una resistencia de contacto constante, es decir, independiente de la temperatura [4]. Esta es la representación más sencilla de un contacto para el que la creciente resistividad eléctrica (material) durante el calentamiento se compensa con una disminución de la resistencia de contacto debido a una mayor área de contacto causada por el ablandamiento del material.



07

—

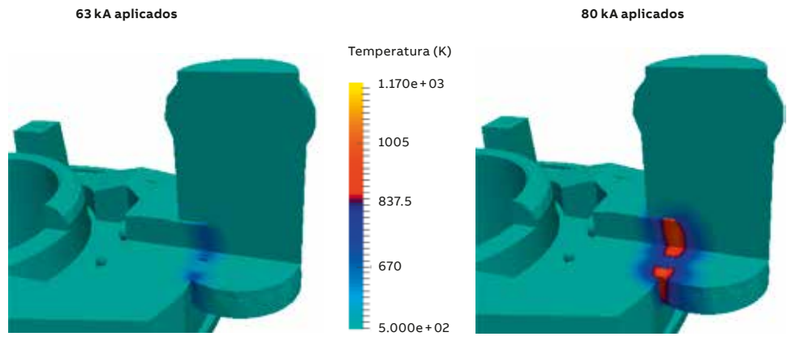
07 Red de presión con ramales de flujo de aire (flechas negras) correspondientes a los resultados CFD desde →6. No se muestran los cables de propagación de la temperatura ni la red térmica (solo el acoplamiento PN/TN) [3].

—

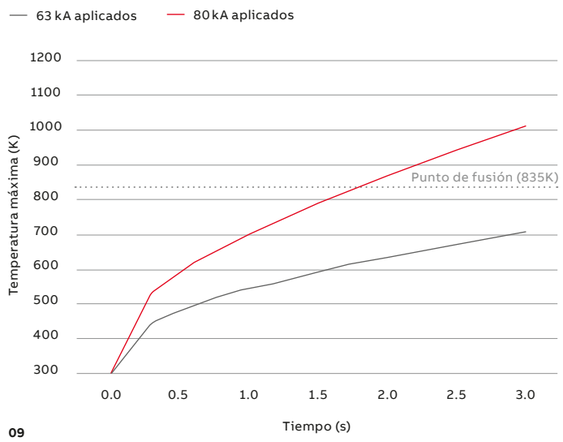
08 Una sección a través de la parte más caliente tras 3 s. Todo lo que aparece en verde o azul está por debajo del punto de fusión (835 K, negro); todo lo que aparece en rojo o amarillo está por encima del punto de fusión.

—

09 Temperatura máxima detectada durante las dos pruebas STC simuladas. Con una corriente de prueba de 63 kA, no se supera el punto de fusión (835K); a 80 kA se supera después de 1,8 s.



08



09

—

Referencias

[1] A. Blaszczyk et al., “Simulation Toolbox – Dielectric and thermal design of power devices,” ABB Review 3/2013, pp. 16-21.

[2] R. Nowak et al., “A 3D electro-thermal simulation of the outdoor medium voltage circuit breaker,” IEEE Transactions on Power Delivery (in review process).

[3] A. Cremasco et al., “Network modelling on dry-type transformer cooling systems,” COMPEL – The international journal for computation and mathematics in electrical and electronic engineering, Vol. 37, Issue 3, 2018.

[4] J. Ostrowski et al., “Simulation of short time current tests of industrial devices.” Accepted by SCEE 2018, Springer Series “Mathematics in Industry.”

El prototipo real superó la prueba de 63 kA pero falló después de aproximadamente 2 s en la prueba de 80 kA, reflejando fielmente los resultados de la simulación.

Se simularon y se realizaron en el laboratorio dos pruebas STC (en las que se condujeron corrientes RMS de 63 kA y 80 kA, respectivamente, por el seccionador de puesta a tierra durante 3 s) →8,9.

El prototipo real superó la prueba de 63 kA pero falló después de aproximadamente 2 s en la prueba de 80 kA, reflejando fielmente los resultados de la simulación. Se desarrolló un nuevo diseño de 80 kA.

Modelizando el futuro

A medida que las herramientas de simulación electrotérmica mejoren aún más y la cosimulación sea más fácil y potente, se podrán conseguir mejores resoluciones de modelos y los modelos reproducirán la experiencia real de los dispositivos de forma aún más parecida. Los equipos eléctricos están atravesando un período de grandes cambios debido a tendencias como la digitalización, la generación distribuida, la transferencia interregional de energía y los efectos de renovables altamente variables. Las herramientas de simulación y cosimulación en desarrollo que sean más potentes y más sofisticadas resultarán muy útiles. •

GEMELOS DIGITALES Y SIMULACIONES

El gemelo digital HVDC Light® facilita el diseño EMC

Los modelos validados de simulación de ABB reproducen con precisión subestaciones HVDC Light completas y su cableado asociado. Las investigaciones de EMC pueden realizarse de forma fiable durante las fases de diseño, puesta en servicio y operación, aumentando el tiempo de actividad y reduciendo costes.

—
Didier Cottet
Bernhard Wunsch
ABB Corporate Research
Baden-Dättwil, Suiza

didier.cottet@ch.abb.com
bernhard.wunsch@ch.abb.com

Göran Eriksson
ABB Corporate Research
Västerå, Suecia

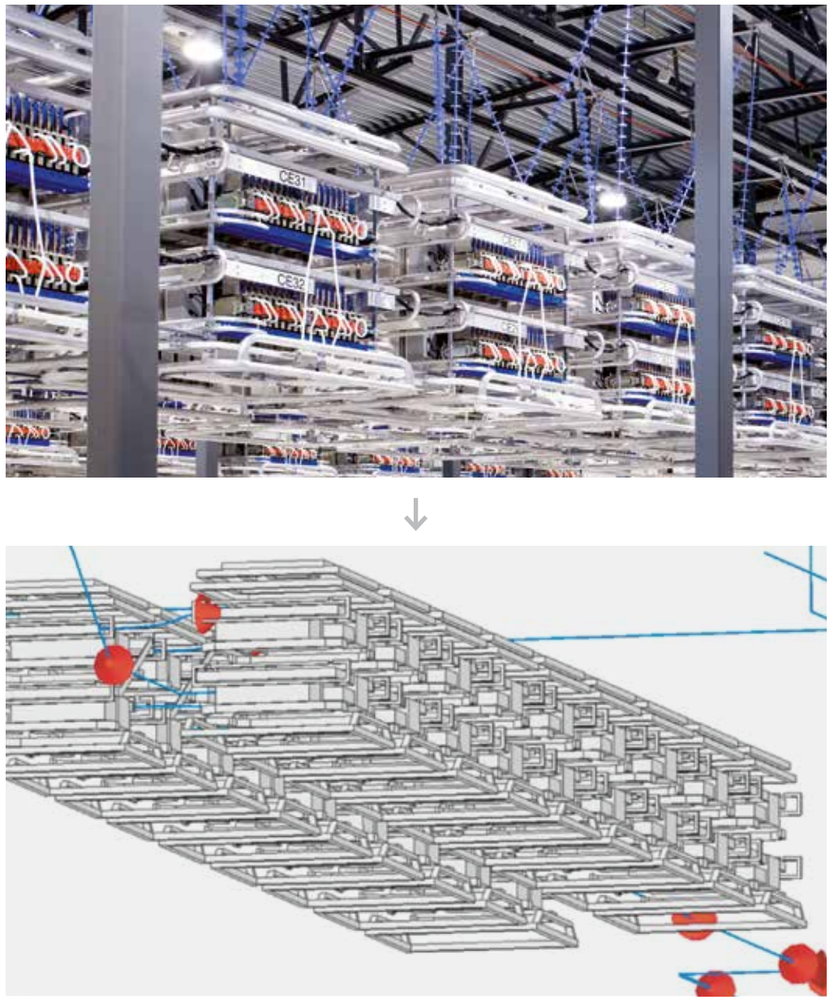
goran.z.eriksson@se.abb.com

Wojciech Piasecki
ABB Corporate Research
Cracovia, Polonia

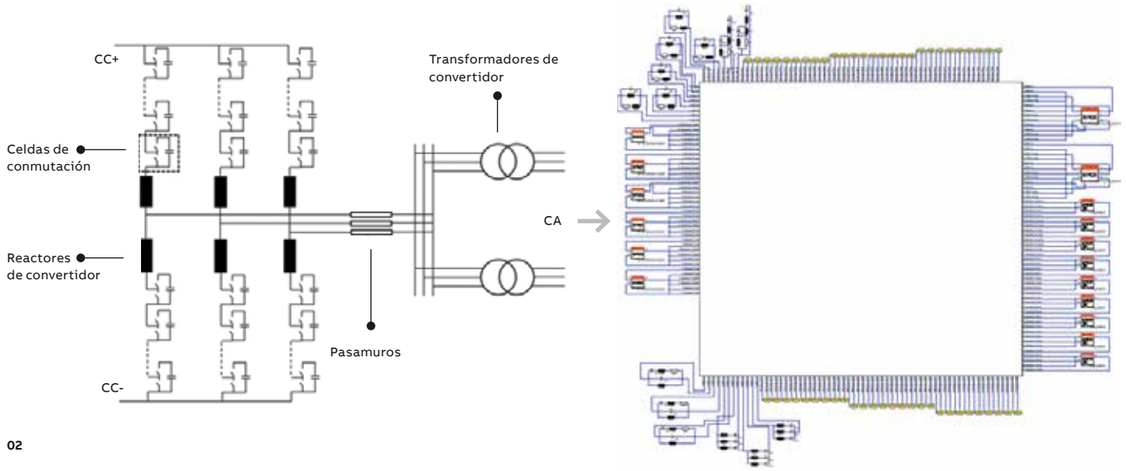
wojciech.piasecki@pl.abb.com

Gustaf Sandberg
Jenny Skansens
ABB Grid Systems, HVDC
Ludvika, Suecia

gustaf.sandberg@se.abb.com
jenny.skansens@se.abb.com



01



02

—
01 Sala de válvulas HVDC Light y un pantallazo de su gemelo digital 3D en CST.

—
02 Topología de un convertidor HVDC Light con el circuito de su gemelo digital en CST.

La compatibilidad electromagnética (EMC) de los productos nuevos se determina para garantizar que los equipos, normalmente de electrónica sensible, funcionan según lo previsto en el entorno electromagnético en el que se encuentren. En paralelo, los dispositivos que conducen corriente no deberán emitir niveles inaceptables de energía electromagnética ni provocar interferencias a otros equipos o dispositivos electrónicos situados cerca o a una distancia específica.

—

ABB aplicó los avances en la metodología numérica para abordar el diseño EMC en la fase más temprana posible del desarrollo del proyecto de una estación convertidora HVDC Light.

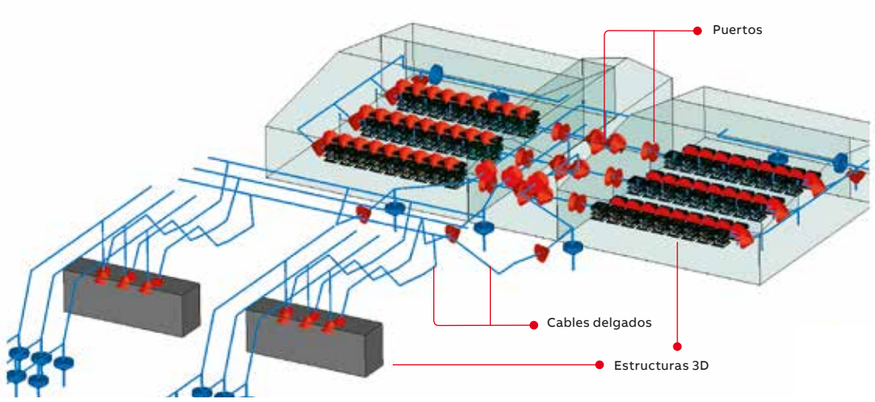
En un flujo de trabajo típico, los expertos construyen prototipos de productos y miden la radiación electromagnética en cámaras anecoicas o reverberantes específicas. En la actualidad existen grandes instalaciones de pruebas de EMC que permiten alojar aeronaves enteras. Estas posibilidades no existen para las subestaciones HVDC Light® ni las instalaciones de media y alta tensión. En su lugar, tras la puesta en servicio, se realizan laboriosas y costosas mediciones de EMC. La realización de mediciones en esta etapa tardía limita drásticamente las opciones para implementar cambios en el diseño en caso de que surjan problemas de EMC durante el cumplimiento de los requisitos. Además, en los emplazamientos suele haber perturbaciones electromagnéticas procedentes de otras fuentes, lo que puede dar lugar a resultados muy distorsionados y poco fiables.

ABB, pionera en HVDC Classic® durante más de 60 años, presentó la tecnología HVDC Light en 1997. Actualmente, HVDC Light desempeña un papel importante en las renovables, proporcionando una capacidad de transmisión de hasta 3000 MW. Siempre mirando al futuro, ABB aplicó los avances en la metodología numérica para abordar el diseño EMC en la fase más temprana posible del desarrollo del proyecto de una estación convertidora HVDC Light. Los modelos inteligentes de simulación de ABB, o gemelos digitales, reproducen las estaciones convertidoras completas, incluidas válvulas, sala de válvulas, reactores del convertidor, pasamuros, transformadores del convertidor, filtros de alta frecuencia (HF) y todo el cableado de los parques de CA y CC. Los gemelos digitales electromagnéticos permiten realizar de forma fiable una amplia gama de investigaciones relacionadas con EMC durante las fases de diseño, puesta en servicio y operación:

- Impacto de la conmutación de semiconductores en las características de perturbación HF
- Algoritmos de control y dimensionado del sistema (es decir, valores nominales de intensidad y tensión de la célula)
- Optimización y posicionamiento del filtro HF
- Variantes de diseño para componentes, colocación de los componentes, barra y disposición de los cables
- Eficacia del apantallamiento de la construcción del edificio.

Modelo de subestación: el gemelo digital

En 2014, ABB puso en marcha un proyecto para modelizar una estación convertidora HVDC y sus componentes mediante CST Microwave Studio® (MWS), una herramienta comercial numérica electromagnética (EM) de onda completa. Especialmente útil para el análisis rápido y preciso de



03

los componentes de alta frecuencia, la CST MWS permite modelizar en 3D los sistemas, subsistemas y componentes, incluidos los edificios y buses HV →1. Los componentes de la estación, tales como los transformadores de instrumentos, las funcionalidades de disyuntor y conversión de potencia, la topología del convertidor y los conmutadores, están conectados con el modelo 3D en una vista esquemática específica. Esta función permite una visualización rápida y precisa de los modelos complejos →2.

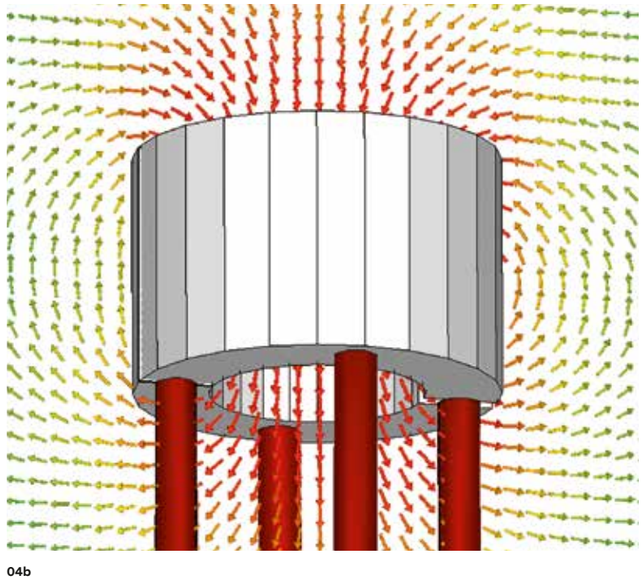
Metodología de modelización

El entorno de simulación CST, que está integrado en un flujo de trabajo sistemático específico, consta de procedimientos y herramientas para crear modelos de componentes para la fase de preprocesamiento y para analizar el resultado de la simulación durante la fase de postprocesamiento. Todos los modelos y submodelos pueden crearse en una fase temprana del diseño, normalmente significativamente antes de que los componentes físicos estén realmente disponibles, una ventaja crucial.

En 2014, ABB puso en marcha un proyecto para modelizar una estación convertidora HVDC y sus componentes mediante CST Microwave Studio®.

El modelo a nivel de sistema de toda la estación se excita →3 en las distintas ubicaciones físicas en las que se genera la perturbación HF real. Se inyecta una función de impulso de tensión que provoca

04a



04b

05a

05b

05c

—
03 Un modelo CST de 3D de una estación HVDC Light completa.

—
04 Las impedancias de alta frecuencia de un reactor con núcleo de aire se reproducen perfectamente.

04a Un reactor con núcleo de aire.

04b Se muestra el patrón resultante del campo magnético simulado de un reactor de fase similar.

—
05 El modelo de ABB está validado mediante mediciones de alta frecuencia en equipos y componentes.

05a Validación de un transformador HVDC.

05b Las mediciones de la radiación EM se realizan en campo cercano dentro de un parque CA.

05c También se realizan mediciones de radiación EM en campo lejano, a 200 m de la estación convertidora.

la propagación de las corrientes HF dentro de la estación. La respuesta al impulso que resulta de esta simulación del dominio temporal puede transferirse al dominio de la frecuencia, consiguiendo así un espectro de respuesta del sistema de banda ancha, que puede obtenerse para distintos puntos de observación, tales como, sondas de campo H y sondas de corriente. A continuación, las respuestas al impulso pueden convolucionarse con las formas de onda de conmutación reales del convertidor y procesarse con un modelo detector del receptor de interferencias electromagnéticas. Los resultados son directamente comparables con los valores obtenidos mediante mediciones de la radiación electromagnética en una instalación de convertidor real.

ABB realizó muchas mediciones de alta frecuencia a nivel de componente y sistema que permitieron validar los resultados de la simulación.

ABB empleó un solucionador numérico de matriz de líneas de transmisión con características específicas especialmente adecuadas para este tipo de simulación. Los modelos 3D soportan una combinación de estructuras 3D y los denominados cables delgados con secciones transversales mucho más pequeñas que el tamaño del elemento de malla utilizado habitualmente →3. Además, se pueden definir límites de componentes para aberturas, ranuras, etc. con vistas a simular eficazmente las propiedades de apantallamiento de las carcasas y los tipos de pared de las salas de válvulas que normalmente instalan las compañías eléctricas. Por último, el modelo 3D puede incorporar circuitos concentrados, a los que pueden conectarse submodelos de circuitos de componentes más complejos a través de puertos definidos por el usuario. Aquí pueden conectarse elementos de circuito concentrados y netlists complejas. Al combinar distintos tipos de representación de elementos concretos del sistema, se reduce la complejidad y las simulaciones son más eficientes en términos de tiempo.

No obstante, para ser una herramienta potente, las simulaciones deben reproducir con precisión las impedancias de alta frecuencia de los componentes en los parques CA y CC de las estaciones, por ejemplo, reactores del convertidor →4, transformadores del convertidor, pasamuros y transformadores de instrumentos. La información detallada sobre la modelización de sistemas y componentes justifica su uso en la modelización de estaciones convertidoras [1,2].

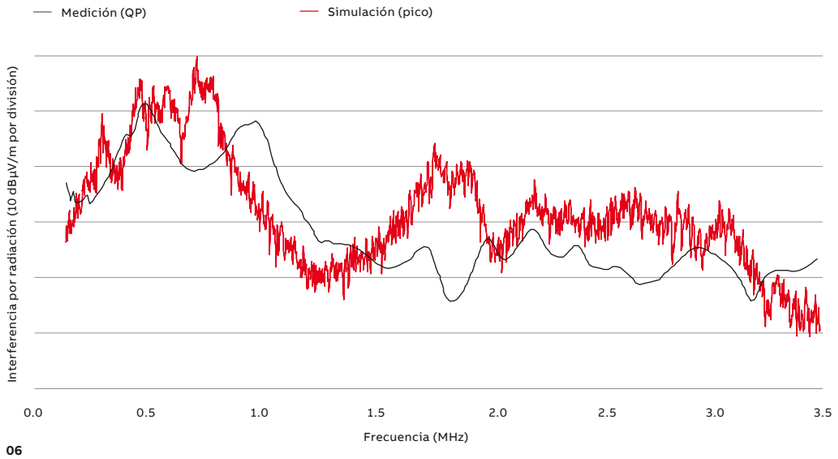
Validación

Para influir en la realización del producto, la modelización inteligente se basa en mediciones físicas. ABB realizó muchas mediciones de alta frecuencia a nivel de componente y sistema que permitieron validar los resultados de la simulación y confirmaron la idoneidad del gemelo →5. La perturbación HF medida y simulada en campo cercano (dentro del parque de CA cerca del convertidor HVDC) →5b y en campo lejano (a 200 m del parque de CA) →5c concuerdan perfectamente en cuanto a la predictibilidad de los picos críticos →6.

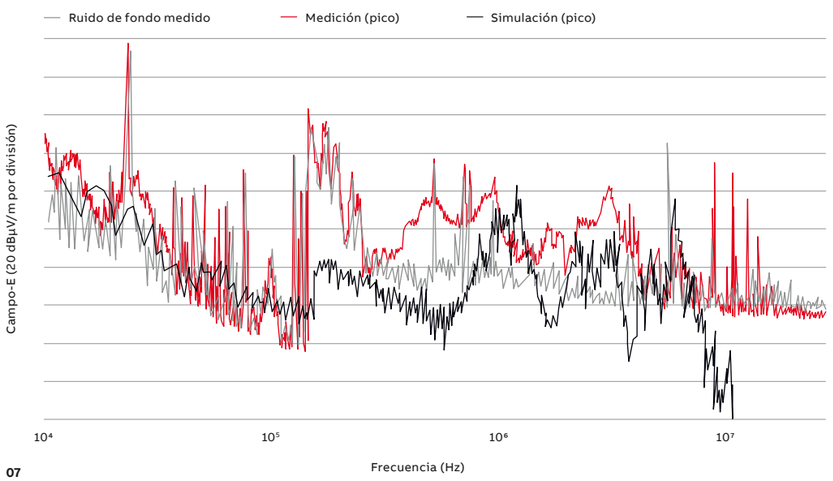
Ventajas de diseño
El diseño y el rendimiento de la compatibilidad electromagnética se ven afectados por muchos parámetros a nivel de sistema. ABB no solo da respuesta a todos los retos de EMC, sino que mejora la EMC. Un modelo de simulación permite a las compañías eléctricas tomar decisiones de diseño EMC en la etapa más temprana posible. La capacidad de optimizar resultados tempranos en lugar de tardíos se traduce en importantes reducciones de costes y menores tiempos de inactividad. Esto contrasta con la tarea altamente problemática de implementar cambios una vez realizadas las mediciones críticas en el emplazamiento. Estos cambios, de poder hacerse, conllevan importantes costes y requieren la parada de las operaciones para llevar a cabo la reconstrucción necesaria.

—
Los modelos que se aproximen mucho a su producto físico o planta gemela mejorarán la capacidad de tomar decisiones clave rápidamente y aportarán valor a una empresa.

Aplicaciones adicionales
Dado que entre los aspectos del diseño EMC se encuentran la disposición en la estación de los filtros, el apantallamiento y los conmutadores, el diseño de aparatos y el sistema de puesta a tierra, etc., ABB ha aplicado modelos de simulación EMC a estos productos, procesos y sistemas con el fin de mejorar su disponibilidad y fiabilidad →7.



06



07

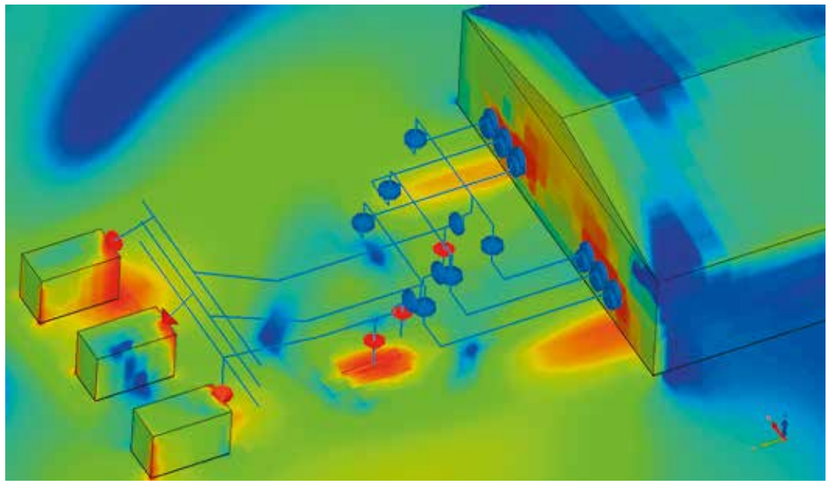
—
06 Se muestra una comparación entre mediciones en campo cercano y la simulación.

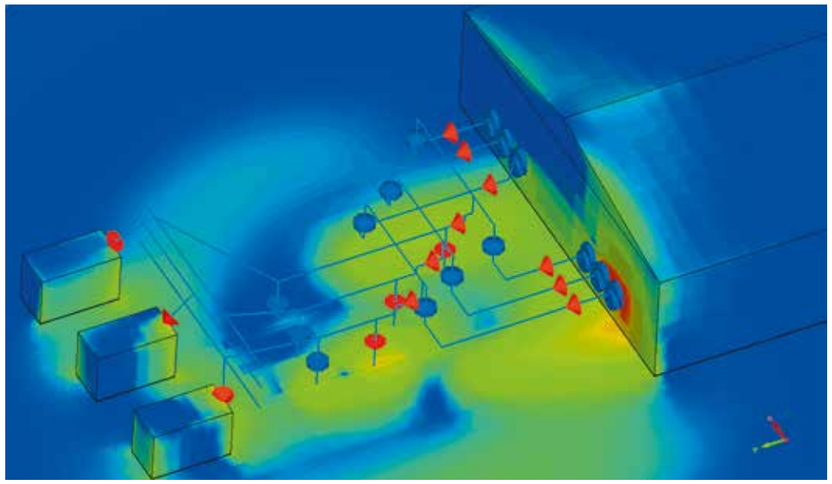
—
07 Comparación entre mediciones en campo lejano y simulaciones que tienen en cuenta el ruido de fondo.

—
08 Se sometieron a prueba las distribuciones de los campos magnéticos en una estación convertidora HVDC.

08a Distribuciones de los campos magnéticos antes de optimizar el diseño del filtro HF.

08b Distribuciones de los campos magnéticos después de optimizar el diseño del filtro HF.


08a


08b

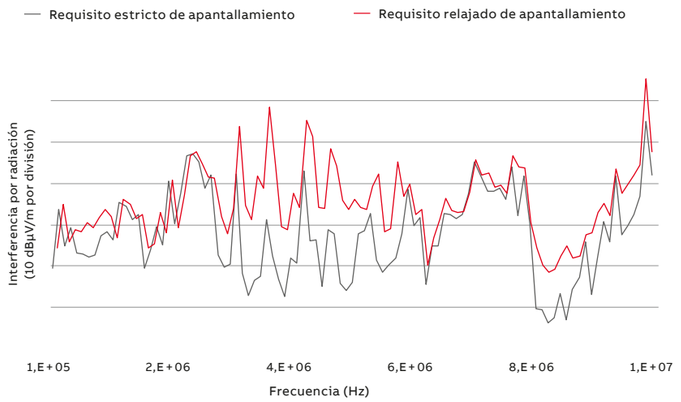
Diseño del filtro EMC
El éxito de un producto a menudo depende de la rapidez con la que llega al mercado. Los filtros EMC son cruciales en este proceso: disponer de un filtro con el mejor diseño posible puede ahorrar tiempo durante la certificación y reducir los costes de producción. ABB investigó la optimización del diseño del filtros EMC en relación con los equipos de filtrado y la colocación de filtros en una estación convertidora HVDC. El campo magnético simulado a 5 MHz para la solución de filtrado inicial se diseñó sin la ayuda de simulaciones 3D →8a y se comparó con el de un diseño asistido por un modelo 3D. No es de extrañar que el filtro optimizado con el modelo 3D mostrara una reducción significativa en cuanto a amplitud del campo →8b. Además, se observaron reducciones similares a nivel de campo en todo el rango de frecuencias analizado. Y lo que es más importante, en un caso el uso del modelo de simulación 3D se tradujo en menores costes y una mejora significativa del rendimiento.

El diseño de filtro mejorado con el modelo 3D inteligente de ABB ofrece un mejor rendimiento a un coste potencialmente menor. Y lo que es más importante,

—
ABB investigó la optimización del diseño del filtro EMC porque la optimización del filtro es crucial para el éxito del producto.

el nivel de detalle disponible en la simulación 3D permite detectar posibles problemas de EMC en el futuro: se puede prever el rendimiento.

En el vertiginoso entorno actual de concursos y proyectos, a menudo hay que tomar decisiones sobre soluciones nuevas sobre la marcha. Los modelos que se aproximen mucho a su producto



09

físico o planta gemela mejorarán en mucho la capacidad de tomar decisiones clave rápidamente y aportarán valor a una empresa.

El diseño del edificio y la instalación in situ realizados de forma correcta y eficiente, desde el principio, aportan un gran valor. El apantallamiento, en particular, es de vital importancia para el valor comercial. Los edificios tienen la función de evitar que las emisiones directas fuertes, que emanan de la estructura de las válvulas, lleguen al exterior. Para que el edificio de una convertidora HVDC funcione se requieren pasamuros, puertas, conductos de ventilación, etc., pero estos reducirán la eficiencia de apantallamiento del edificio al crear aberturas en el apantallamiento EMC o en la jaula de Faraday. Además, los revestimientos metálicos de las paredes, tales como paneles sándwich superpuestos con tratamientos superficiales estéticos y prácticos, no suelen tener contacto eléctrico. Incluir una ventana aparentemente pequeña puede reducir la eficacia del apantallamiento en órdenes de magnitud en un edificio por lo demás perfectamente diseñado. En la actualidad, los modelos de simulación 3D ofrecen la mejor oportunidad para optimizar los requisitos de apantallamiento en una fase temprana y traducir los requisitos a detalles prácticos, reduciendo así el riesgo de costosos y laboriosos trabajos de modificación en el emplazamiento en una fase posterior. Los requisitos de apantallamiento también pueden tener un importante efecto en la interferencia por radiación →9.

En consecuencia, ABB presentó dos modelos de simulación para el apantallamiento de la sala de válvulas: uno con requisitos estrictos y otro con requisitos relajados →9. La distancia entre los tornillos proporciona la conexión eléctrica entre los paneles de pared →10. En el caso de los requisitos estrictos de apantallamiento, esta distancia es un orden de magnitud menor que en los requisitos relajados. Las mayores diferencias se encuentran por encima de una frecuencia umbral de aproximadamente 2-3 MHz →9.

Los modelos de simulación 3D ofrecen la mejor oportunidad para optimizar los requisitos de apantallamiento en una fase temprana, reduciendo así el riesgo de costosos y laboriosos trabajos en el emplazamiento en una fase posterior.

Estos resultados, junto con los requisitos EMC y el profundo conocimiento de la susceptibilidad de los equipos a las perturbaciones electromagnéticas en ubicaciones próximas a la central, pueden permitir que las compañías eléctricas tomen mejores decisiones sobre los requisitos de apantallamiento. Si bien se han tomado ejemplos de modelización de aplicaciones HVDC, se puede aplicar la misma

09 ABB sometió a prueba el impacto de las interferencias por radiación en una sala de válvulas. Esta figura muestra una comparación de las interferencias por radiación con requisitos estrictos y relajados para el apantallamiento de la sala de válvulas.

10 La distancia entre tornillos proporciona la conectividad eléctrica en un panel de pared y varía en función de la severidad de la regulación. Una pared de la sala de válvulas; se indica la distancia entre tornillos.

metodología de simulación EMC a otras aplicaciones de media y alta tensión introducidas por ABB, como FACTS, SVC Light® y Rail SFC Light®. ABB, en línea con su compromiso a largo plazo con la innovación en el sector eléctrico, seguirá introduciendo innovaciones como la tecnología HVDC Light de gemelos digitales para cambiar la forma en la que los productos se crean, se realizan y evolucionan. La capacidad de ABB para perfeccionar la EMC demuestra su compromiso con los clientes. Mejorar el tiempo de actividad de las centrales eléctricas aumentando la disponibilidad y fiabilidad de los componentes y sistemas críticos que pueden afectar al rendimiento electromagnético es solo una de las formas en las que ABB lo consigue en la actualidad. •

La tecnología de gemelos digitales HVDC Light de ABB cambiará en la que los productos se crean, se realizan y evolucionan en el futuro.

Agradecimientos
Este artículo no habría sido posible sin las ideas, el esfuerzo y la dedicación del equipo de proyecto al completo y las partes interesadas. Los autores desean expresar su especial agradecimiento a: Filip Grecki, Arne Schroder, Pawel Kryczynski, Szymon Piela, Magdalena Ostrogorska, Celine Tigga y Olof Andersson.

10

Referencias

[1] D. Cottet, G. Eriksson, M. Ostrogorska, J. Skansens, M. Wunsch, F. Grecki, W. Piasecki and O. Andersson, “Electromagnetic modeling of high voltage multi-level converter substations,” in Proc. of the Asia-Pacific Intl. Electromagnetic Compatibility (APEMC) Symposium, Singapore, 14-17 May, 2018.

[2] B. Wunsch, D. Cottet, G. Eriksson, “Broadband models of high voltage power transformers and their use in EMC system simulations of high voltage substations,” in Proc. of the Asia-Pacific Intl. Electromagnetic Compatibility (APEMC) Symposium, Singapore, 14-17 May, 2018.

GEMELOS DIGITALES Y SIMULACIONES

Gestionar el rendimiento de los activos solares mediante análisis conectados

ABB ha puesto en marcha recientemente varias iniciativas de investigación para aprovechar los gemelos digitales para gestionar el rendimiento de los activos. Se han desarrollado enfoques para activos con historiales cortos y largos. Estos análisis y herramientas ya se están fabricando e instalando para gestionar la salud y el rendimiento de los activos.

—
Karen Smiley
Xiao Qu
Travis Galoppo
K. Eric Harper
Alok Kucheria
Mithun P. Acharya
Frank Tarzanin
ABB Corporate Research
Raleigh, NC,
Estados Unidos

karen.smiley@
us.abb.com
xiao.qu@us.abb.com
travis.galoppo@
us.abb.com
eric.e.harper@
us.abb.com
alok.kucheria@
us.abb.com
mithun.acharya@
us.abb.com
frank.tarzanin@
us.abb.com

Este artículo destaca algunos elementos del trabajo que ABB ha realizado recientemente en varias iniciativas de investigación relacionadas que aprovechan los gemelos digitales para gestionar el rendimiento de los activos. En primer lugar se analiza un enfoque de «análisis ágil» que pone en marcha la creación de análisis útiles sobre la salud y el rendimiento de nuevos dispositivos o materiales que aún no disponen de largos historiales de datos de seguimiento, operativos o ambientales.

—
Los avatares o gemelos ofrecen valor en varios escenarios, incluyendo planificación, despliegue, operación y mantenimiento.

A continuación se aborda una iniciativa continua para sacar partido de un largo historial de recogida de datos intranube sobre inversores y plantas solares con vistas a crear nuevos análisis para la correlación de eventos y clima, así como para benchmarking, proyecciones e inteligencia de negocio (BI) de autoservicio. Estos análisis y herramientas ya se están fabricando e instalando para uso interno y del cliente para gestionar la salud y el rendimiento de los activos.

Gestión del rendimiento de los activos industriales (APM)
Mantener eficazmente la salud y el rendimiento de los activos críticos de larga duración es fundamental para el éxito. Los análisis juegan un papel cada vez más importante a la hora de conocer y optimizar el estado y el rendimiento de los activos. Una APM activa permite a los clientes aumentar la conciencia operativa sobre la salud y el rendimiento de los activos de la empresa. Una mayor conciencia de la salud permite a los clientes pasar del costoso mantenimiento reactivo a técnicas de gestión basadas en el riesgo que optimizan el rendimiento y maximizan el retorno sobre los activos netos (RONA). Aunque existen muchas formas de cuantificar la salud de un activo, la mayoría de los algoritmos reflejan su riesgo de fallo (RoF) y su vida útil restante (RUL). Sin embargo, por lo general, estos indicadores clave de rendimiento (KPI) de la salud no reflejan por sí solos la degradación del rendimiento, que puede afectar a la producción y al RONA mucho antes que el fallo real o el final de la vida útil. En consecuencia, la gestión integral del rendimiento de los activos también requiere análisis que cuantifiquen la productividad y la degradación.

Gemelos digitales para la APM
Los activos conectados respaldan un enfoque coordinado que combina la tecnología operativa (TO) y la tecnología de la información (TI). Los avatares digitales o los gemelos digitales que combinan datos de TO y TI pueden considerarse como reflejos de objetos reales para combinar modelos de dispositivos. Esto no significa que tengan que ser clones exactos; solo tienen que reflejar los principales comportamientos de los activos a explorar. Estos avatares o gemelos digitales pueden acelerar la creación de modelos analíticos que integran metadatos de activos y datos operativos (como telemetría y eventos) con datos sobre el entorno del activo (como el clima, irradiancia, iluminación, condiciones operativas), para caracterizar y gestionar el rendimiento de los activos a nivel de dispositivo y de planta. Los avatares o gemelos ofrecen valor en varios escenarios, incluyendo planificación, despliegue, operación y mantenimiento. Una ventaja importante es la exploración segura y no intrusiva de escenarios del tipo «¿y si?», tales como simular cómo ciertas acciones para ajustar la salud o la producción afectarían a los dispositivos y al sistema.

01

—
01 Los análisis basados en gemelos pueden detectar la degradación gradual o relacionada con tormentas de las plantas solares y prevenir la perdida de producción de energía mucho antes de lo que se hubiera podido detectar y abordar de otro modo. Estas herramientas y análisis de gestión del rendimiento y la salud de los activos aprovechan al máximo la disponibilidad de grandes cantidades de datos.

Análisis del rendimiento de los activos solares
La penetración de la energía renovable está aumentando en todo el mundo, a medida que es necesaria para un suministro de energía fiable y sostenible. ABB lleva más de 13 años diseñando y fabricando una amplia gama de inversores solares fotovoltaicos (PV) para cubrir las necesidades de las aplicaciones residenciales, comerciales, de

—
Una ventaja importante es la exploración segura y no intrusiva de escenarios del tipo «¿y si?», tales como simular cómo ciertas acciones para ajustar la salud o la producción afectarían a los dispositivos y al sistema.

servicios públicos y de microrredes [1]. En 2017, la base instalada de inversores solares de ABB en todo el mundo superaba los 26 GW. Para respaldar los análisis de activos solares conectados, estos inversores son cada vez más inteligentes y se integran con mayor facilidad en entornos complejos e inteligentes →1.

02

La plataforma de gestión de la planta Aurora Vision de ABB Ability™ [2] complementa la cartera de inversores de ABB con una solución basada en la nube para la gestión de próxima generación de plantas fotovoltaicas solares →2. Aurora Vision recopila automáticamente los datos de monitorización de los inversores solares y otros dispositivos, y proporciona un acceso en tiempo real y altamente interactivo a parámetros clave del rendimiento y operaciones con vistas a optimizar el rendimiento del inversor e informar decisiones empresariales. Los datos de monitorización recopilados en los últimos 13 años abarcan más de 250 000 dispositivos de plantas solares en todo el mundo →4.

En el caso de la energía solar, tanto los paneles fotovoltaicos como los inversores, los contadores, las unidades medioambientales, el almacenamiento de energía, la planta y la red eléctrica pueden modelizarse con gemelos digitales. Estos patrones fachada proporcionan acceso a mediciones, estimaciones y resultados analíticos basados en la experiencia operativa y en el conocimiento de la física y la ingeniería de los sistemas subyacentes.

Conocer el estado y el rendimiento de los activos
Predecir el comportamiento, la producción, los eventos, el RoF, el RUL, etc. de los activos es cada vez más importante para comprender el verdadero estado de un activo y la mejor manera de maximizar su valor. Los tres conceptos clave interrelacionados son la degradación, el RoF y el RUL →3. La degradación del estado físico o lógico de un activo reduce el RUL y aumenta el RoF, pero puede mitigarse mediante acciones de mantenimiento para mejorar la producción y el rendimiento antes de que se produzca un fallo o finalice la vida útil.

Mediante un gemelo digital se pueden analizar los datos de activos para caracterizar la producción, el estado y la degradación de los activos; estimar el RUL; cuantificar el RoF; y evaluar el impacto potencial de las acciones de mantenimiento. Los análisis pueden aplicarse de forma predictiva para tomar decisiones proactivas de mantenimiento preventivo o para comprender mejor los fallos que ya se han producido.

Clasificación de los algoritmos analíticos
Para ayudar a seleccionar los enfoques de análisis en función de los datos disponibles, se han clasificado algoritmos relevantes para cada concepto. Por ejemplo, los algoritmos de RUL se agruparon bajo los epígrafes de procesos observados directamente, observados indirectamente y procesos de estado y de aprendizaje automático, mientras que los algoritmos de RoF se agruparon como seguimiento de fallos, monitorización de síntomas y notificación de errores detectados. También pueden ser útiles muchos otros tipos de algoritmos analíticos: así, la detección de anomalías es un aspecto clave para mejorar los modelos de predicción de fallos y la proyección y puede ser muy valiosa para una gestión proactiva de la carga de activos. Estos tipos de algoritmos también se han clasificado. Algunas de las clasificaciones se muestran en detalle en →5,6.

Clasificación y mapeado de los datos disponibles
Los tipos, volúmenes y variedades de datos son fundamentales para aplicar estos algoritmos de manera efectiva. De hecho, si no se dispone de datos de telemetría o de eventos con suficiente tiempo de resolución, ciertos algoritmos de RoF basados en la detección temprana de anomalías no serán aplicables. Evaluar el «alistamiento de los datos» de una aplicación de análisis puede proporcionar una información valiosa a la hora de elegir qué algoritmos aplicar. En →6,7 se muestra un ejemplo de una herramienta desarrollada por ABB para caracterizar la disponibilidad de datos en relación con los requisitos de datos para una clase de algoritmos analíticos. Conocer estas relaciones puede guiar el desarrollo eficiente de los análisis de activos nuevos de una manera ágil e iterativa que maximice la ventaja de los datos disponibles.

—
Los análisis pueden aplicarse de forma predictiva para tomar decisiones proactivas de mantenimiento preventivo o para comprender mejor los fallos que ya se han producido.

La colaboración analítica también catalogó varias estrategias de imputación de datos para manejar valores que faltan y se basó en la experiencia previa de proyección mediante redes neuronales. Estos métodos ayudan a contrarrestar algunas

—
02 Visor para móviles de planta Aurora Vision de ABB Ability .

—
03 Relaciones entre degradación, RoF, RUL y mantenimiento.

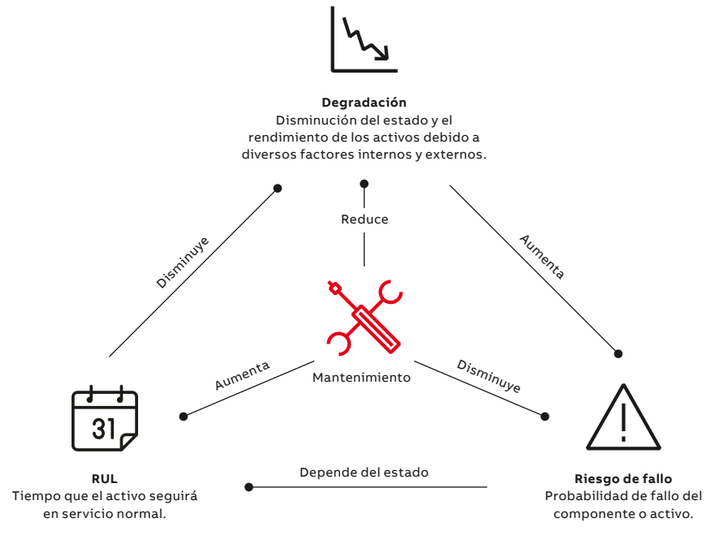
inquietudes relacionadas con la exhaustividad o calidad limitadas de los datos a la hora de desarrollar nuevos algoritmos para analizar y gestionar la salud y el rendimiento de los activos.

Arquitectura analítica intranube
La identificación y la combinación de muchos tipos de datos adicionales resultó ser muy beneficiosa para crear gemelos digitales útiles para los inversores y las plantas solares. La plataforma de monitorización solar Aurora Vision ya ofrecía un amplio conjunto de metadatos sobre las plantas solares y los equipos utilizados en ellas, así como telemetría en streaming y datos de eventos enviados a la nube [3]. Algunas plantas también incluyen estaciones medioambientales in situ que registran el clima y la irradiancia solar →4. Estos datos se complementaron con mediciones meteorológicas, de rayos e irradiancia recogidas por fuentes externas [4-6]. El uso de estas fuentes externas a la planta amplió la cobertura de datos meteorológicos de la planta: Una fuente meteorológica externa proporcionó datos útiles para el 50 % de las plantas cuando no había estaciones meteorológicas in situ.

También se obtuvieron datos complementarios textuales, numéricos y complejos a partir de otros sistemas disponibles dentro y fuera de ABB [7]. La inclusión de texto de formato libre permitió el uso de técnicas de procesamiento del lenguaje natural (NLP) para comprender mejor las secuencias de eventos, independientemente de que dichos eventos hubieran sido comunicados por el cliente o hubieran sido registrados automáticamente por el sistema Aurora Vision.

La combinación de estos datos con datos de telemetría y eventos permitió que los nuevos análisis compararan y predijeran el rendimiento del inversor, y dio lugar a un mayor conocimiento del impacto de las condiciones medioambientales en la fiabilidad, disponibilidad y rendimiento del inversor solar. De manera similar, el gemelo digital aumentado para la planta solar ayudó a impulsar nuevos análisis que ofrecen información actualizada sobre el rendimiento de la planta. Por ejemplo, combinar los modos de fallo de los informes de ingeniería de campo con datos de telemetría, como alarmas de dispositivos, temperaturas y condiciones ambientales, permite a ABB correlacionar los fallos de los componentes categorizados con las señales observadas sobre el terreno antes de que los dispositivos fallen. Esta información ofrece alertas tempranas o predice cuándo puede superarse el umbral de la tasa de fallos.

—
La identificación y la combinación de muchos tipos de datos adicionales resultó ser muy beneficiosa para crear gemelos digitales útiles para los inversores y las plantas solares.



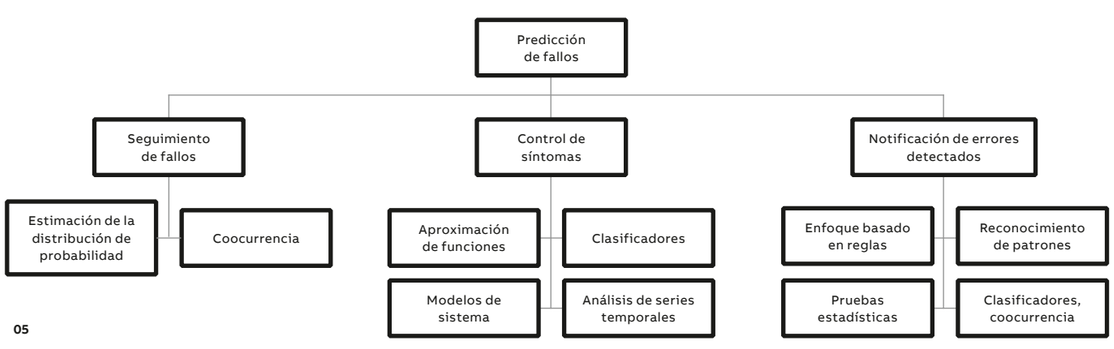
03

04

—
04 Algunas plantas solares incluyen estaciones medioambientales in situ que registran el clima y la irradiancia solar.

—
05 Clasificación de algoritmos RUL.

—
06 Clasificación de algoritmos RoF.



05

06

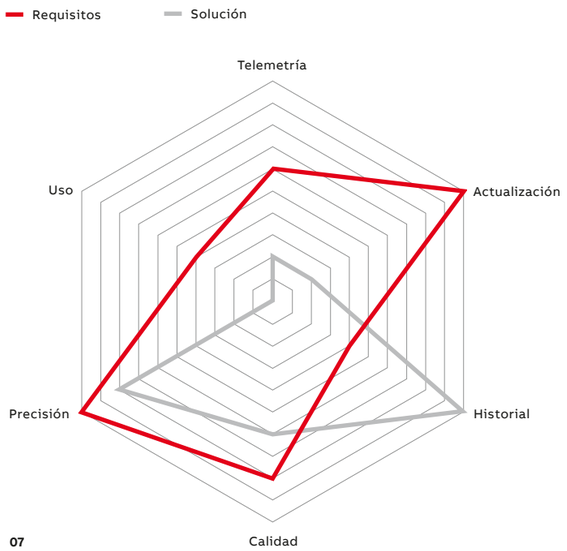
El gemelo digital aumentado para la planta solar ayudó a impulsar nuevos análisis que ofrecen información actualizada sobre el rendimiento de la planta.

Análisis meteorológicos
La combinación de esta diversidad de datos amplió la variedad y la potencia de los análisis de rendimiento. Por ejemplo, los datos meteorológicos procedentes de fuentes externas a la planta mejoraron la detección de lecturas anómalas procedente de estaciones medioambientales internas de la planta. En →8 se muestra una comparación de la irradiación diaria total en 2016 entre dos fuentes de datos, una unidad medioambiental interna de la planta y un sensor externo. Este análisis de detección de anomalías mejoró la precisión de los análisis en la nube, en el borde o híbridos que usaban las lecturas meteorológicas como entradas, tales como la estimación o predicción de la generación de energía de los inversores. A su vez, esto mejoró la capacidad de detectar la degradación gradual o repentina del rendimiento del panel o inversor que podría afectar a la producción de la planta solar.

Esta información puede ser muy útil para orientar a los operadores de plantas solares o al personal de servicio a la hora de evaluar el RoF y el RUL y tomar las medidas oportunas. Entre las medidas a corto plazo podría estar prepararse para los impactos de tormentas. A largo plazo, esta información podría justificar medidas preventivas como la instalación de más protección contra rayos en la planta o la elaboración de planes de capital y mantenimiento más precisos.

Análisis visuales de autoservicio
El análisis visual utiliza herramientas de BI de autoservicio para ilustrar varios datos -incluidos metadatos, datos de telemetría y datos de eventos- mediante figuras, mapas y otros gráficos. Las herramientas de BI permiten fusionar automáticamente múltiples fuentes y tipos de datos a través de campos comunes. La información se adapta fácilmente a los distintos requisitos e intereses del usuario mediante selecciones y filtros interactivos, aplicándose todas las selecciones que se hagan en un gráfico automáticamente a otros artefactos, en tiempo real. Estas características ayudan a los propietarios y operadores de plantas solares a identificar visualmente las anomalías y obtener otras perspectivas de manera eficiente y eficaz.

Beneficios concretos de la gestión del rendimiento de activos solares
Entre los logros de la colaboración solar encontramos nuevos algoritmos para benchmarking y proyección del rendimiento y fiabilidad de inversores solares; prototipos para aplicaciones visuales de BI de autoservicio; algoritmos en el borde para



07

estimaciones en tiempo real de la potencia CA de salida y la potencia CC de entrada; herramientas de diagnóstico automatizadas para ingenieros de mantenimiento para analizar eventos, telemetría y correspondencia de texto libre de clientes; y nuevos KPI que pueden ayudar a los clientes de ABB a conocer mejor (y obtener más valor de) sus plantas solares. El proyecto también puso de manifiesto el valor sinérgico de una arquitectura analítica intranube alineada con ABB Ability que aprovecha fuentes de datos internas y externas complementarias. También se demostró que los datos medioambientales aumentan el valor comercial de los análisis.

—

La predicción temprana de los fallos mediante análisis ofrece un valioso margen de tiempo para realizar tareas de mantenimiento o adquirir e instalar repuestos.

La cartera de soluciones de monitorización y rendimiento de activos solares de ABB ya incorpora estas capacidades. Como ejemplo del potencial valor comercial de estos análisis, tomemos una planta solar industrial con 10 inversores solares TRIO de 60 kW. Los análisis basados en gemelos digitales permiten detectar la distinta degradación gradual o relacionada con tormentas en toda la planta (que puede solucionare mediante una simple limpieza), evitando la pérdida de producción de energía durante los muchos días o semanas previos al momento en que se hubiera podido detectar y tratar de otro modo. El fallo inesperado de un inversor en una planta con 10 inversores supone perder cerca del 10 % de la producción de energía solar de la planta, lo que podría someter al operador a sanciones legales por no cumplir los compromisos de producción de energía renovable. La predicción temprana de los fallos mediante análisis ofrece un valioso margen de tiempo para realizar tareas de mantenimiento y, si procede, adquirir e instalar un dispositivo de repuesto o las piezas adecuadas. Los beneficios económicos efectivos son circunstanciales y pueden calcularse sobre la base de los días de margen de tiempo, si hay repuestos en caliente disponibles en la planta, el ahorro de varios viajes de servicio al traer los componentes que tienen mayor probabilidad de fallo, y factores como las sanciones legales y el valor de la electricidad en la región.

—
07 Ejemplo de diagrama de araña que ilustra el alistamiento de los datos.

—
08 Comparación de las mediciones de irradiación diaria total entre las estaciones meteorológicas internas y externas de la planta para detectar anomalías.

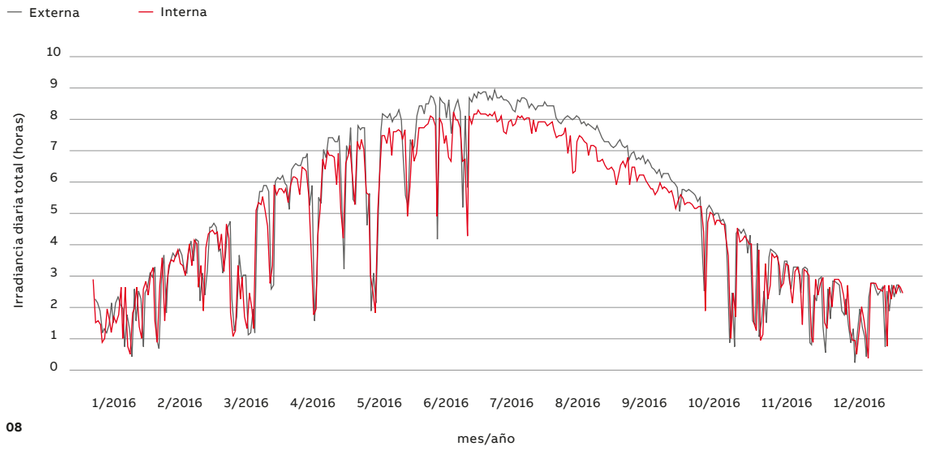
Cuando hay muchos menos datos históricos disponibles, la creación de gemelos digitales puede acelerarse aprovechando el algoritmo y las categorías de datos y las herramientas de análisis ágiles asociadas.

Cuando hay grandes cantidades de datos distintos disponibles, es mucho lo que se puede conseguir. Sin embargo, los datos no son gratuitos: incorporar instrumentación y recoger, almacenar y transmitir datos conlleva costes operativos y de capital. Cuando hay muchos menos datos históricos disponibles, la creación de gemelos digitales para nuevos tipos de activos industriales en un sistema de APM puede acelerarse aprovechando el algoritmo y las categorías de datos y las herramientas de análisis ágiles asociadas.

Estas herramientas también promueven la evaluación coste/beneficio de las estrategias analíticas propuestas para los tipos de activos más nuevos.

En general, el uso de avatares digitales o gemelos digitales para la gestión del rendimiento de los activos solares aporta muchísimas herramientas y análisis que ofrecen múltiples beneficios a los operadores de plantas fotovoltaicas solares. •

Agradecimientos
Los autores agradecen las valiosas contribuciones de los miembros del equipo de investigación James Ottewill, Marcin Firla, David Cox, Karl Severin, Imtiaz Ahmed, Hang Xu, Melwin Jose y Rohini Kapoor. También queremos agradecer el firme apoyo manifestado por Filippo Vernia, Emanuele Figliolia, Antonio Rossi, Ronnie Pettersson, Siri Varadan, CJ Parisi y muchos otros. Además, los autores agradecen sinceramente al equipo de ABB Ability Velocity Suite, Earth Networks y The Weather Company por compartir generosamente datos meteorológicos complementarios que se han utilizado en esta investigación.



08

Referencias

[1] ABB solar inverters. Available: http://new.abb.com/power-converters-inverters/solar

[2] ABB Ability™ Aurora Vision Plant Management Platform. Available: http://new.abb.com/power-converters-inverters/solar/monitoring-and-communication/aurora-vision-plant-management-platform

[3] M. P. Acharya et al., “Real-time AI powered by edge-deployed digital twins”, pp 14-19.

[4] Earth Networks. Available: https://www.earthnetworks.com

[5] The Weather Company. Available: https://www.ibm.com/weather

[6] ABB Ability™ Velocity Suite. Available: http://new.abb.com/enterprise-software/energy-portfolio-management/market-intelligence-services/velocity-suite

[7] Salesforce. Available: https://www.salesforce.com

GEMELOS DIGITALES Y SIMULACIONES

Simulaciones más sencillas para los ingenieros

Herramientas potentes, como la ingeniería asistida por ordenador (CAE) y la dinámica de fluidos computacional (CFD), permiten realizar rápidamente prototipos virtuales. Sin embargo, la complejidad de estas herramientas limita su uso a usuarios cualificados. Un impulsor clave de la innovación es democratizar la tecnología; teniendo esto en cuenta, ABB ha introducido tres plataformas semiautomatizadas diseñadas para que la modelización numérica sea rápida, fácil y fiable. Las nuevas herramientas reducen los costes de prototipo y permiten docenas de pruebas de variación del diseño en un plazo razonable.

01

Photo fig 01: gorodenkoff, istockphoto.com

Boguslaw Samul
Andrzej Kobierski
Janusz Duc
ABB Corporate Research
Cracovia, Polonia

boguslaw.samul@pl.abb.com
andrzej.kobierski@pl.abb.com
janusz.duc@pl.abb.com

Jaydeep Deshpande
ABB Power Grids, Dry Transformers
Raleigh, NC,
Estados Unidos

jaydeep.deshpande@us.abb.com

Jan Westerlund
ABB Motors and Generators Technology
Helsinki, Finlandia

jan.westerlund@fi.abb.com

Dietrich Bonmann
ABB Power Grids, Power Transformers
Bad Honnef, Alemania

dietrich.bonmann@de.abb.com

—
01 El último software de simulación de ABB utiliza la dinámica de fluidos computacional para captar los efectos de la turbulencia, radiación y flotabilidad, así como los efectos de los detalles geométricos.

—
02 El concepto de interfaz de StudyTrafo consiste en generar modelos de simulación basados en los datos de entrada de las dimensiones mecánicas de los componentes del transformador: núcleo y fijaciones de yugo, bobinados, depósito y apantallamiento.

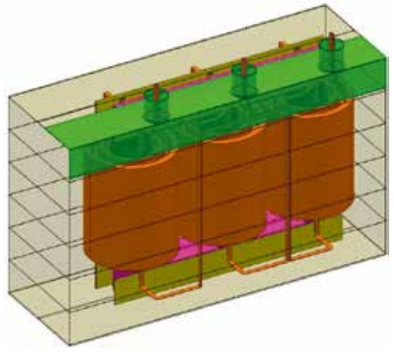
Una de las cuestiones clave de los dispositivos eléctricos que están en fase de desarrollo es en qué medida reducirán los costes tanto en términos de producción como de funcionamiento. Por un lado, es importante reducir el peso, el tamaño y la complejidad de los dispositivos; y por otro, los dispositivos deben ser robustos, asequibles y eficientes. ¿Cómo pueden los ingenieros de diseño alcanzar el mejor equilibrio posible de factores en una aplicación dada en el menor tiempo de desarrollo posible?

La respuesta a esta pregunta es compleja porque, por ejemplo, la reducción del tamaño de un dispositivo eléctrico está limitada por factores como las distancias eléctricas (propiedades de aislamiento) y su gestión térmica. Pero los dispositivos de prueba para determinar sus propiedades eléctricas y térmicas suelen requerir mucho dinero y tiempo.

Sin embargo, existen herramientas potentes que pueden ayudar a los diseñadores de dispositivos a visualizar, cuantificar y predecir con precisión cada vez más características de un dispositivo durante su fase de desarrollo. Por ejemplo, las herramientas de ingeniería asistida por ordenador (CAE), como el método de elementos finitos (FEM) y la dinámica de fluidos computacional (CFD), pueden reducir significativamente los costes y los tiempos de prueba, ya que permiten la creación de un prototipo virtual de un dispositivo y el análisis de docenas de sus disposiciones en un tiempo relativamente corto. El software de simulación de última generación, sumado a las crecientes capacidades computacionales de los ordenadores de alto rendimiento (HPC), permite hacer pruebas virtuales en dispositivos completos con un nivel de precisión que se encuentra a escasos puntos porcentuales del de pruebas reales.

Tres obstáculos

Sin embargo, esto no quiere decir que estemos en la era de las pruebas virtuales de producto infalibles. De hecho, los ingenieros de diseño siguen enfrentándose a tres obstáculos importantes: el coste del software, el coste de los ordenadores de alto rendimiento y el conocimiento a menudo insuficiente para elaborar correctamente el modelo de simulación y las configuraciones del solucionador numérico. Pero de nuevo, hay soluciones a nuestro alcance: a veces un software comercial caro puede sustituirse por código abierto, los HPC locales pueden sustituirse por soluciones en la nube, y en algunos casos la preparación de modelos y las configuraciones de los solucionadores numéricos pueden realizarse con software específico mediante plantillas y configuraciones incorporadas



02

que no requieren cambios por parte del usuario. En este panorama cambiante, los ingenieros ya pueden obtener una interfaz amigable con un conjunto claro de opciones y recibir resultados en forma de informes. Este enfoque, que a veces se denomina «democratización de la simulación», permite que prácticamente cualquier ingeniero pueda utilizar dicha interfaz, en lugar de solo un puñado de especialistas en cálculo numérico.

Las herramientas de ingeniería asistida por ordenador (CAE), como el método de elementos finitos (FEM) y la dinámica de fluidos computacional (CFD), reducen los costes y los tiempos de prueba.

¿Cómo está impulsando ABB la tendencia hacia herramientas de simulación asequibles que aporten cada vez más valor a sus clientes? A continuación se presentan tres herramientas semiautomatizadas desarrolladas en ABB para su uso en el desarrollo de productos.

StudyTrafo

La verificación del diseño y la optimización del apantallamiento magnético son aspectos muy importantes de la producción de transformadores debido a la necesidad de reducir las pérdidas por dispersión que se generan en piezas metálicas expuestas a campos magnéticos. La preparación de los modelos numéricos asociados requiere un profundo conocimiento del software de simulación, habilidades de modelización en 3D y experiencia en la evaluación de los resultados: habilidades que generalmente son relevantes solo para los que usan a diario paquetes de simulación, pero no siempre

para los diseñadores eléctricos. A la vista de esto, ABB ha desarrollado StudyTrafo, una herramienta semiautomatizada dedicada a la predicción de puntos calientes tanto para expertos en simulación como para usuarios ocasionales. La interfaz de StudyTrafo hace que la generación de modelos de simulación sea fácil de seguir y muy rápida.

El concepto de la interfaz consiste en generar modelos de simulación basados en los datos de entrada de las dimensiones mecánicas de los componentes del transformador, en otras palabras núcleo y fijaciones de yugo, bobinados, depósito y apantallamiento →2. Los modelos de simulación se generan mediante software comercial dedicado a cálculos electromagnéticos y térmicos utilizando primitivas 3D incorporadas como bloques, cilindros, etc. y operaciones geométricas.

Además, las condiciones de contorno y los ajustes de simulación se asignan automáticamente a los modelos generados. Todos los parámetros se determinan estadísticamente basándose en docenas de unidades probadas y transformadores de pequeña, mediana y gran de potencia producidos por ABB en todo el mundo. Los científicos de ABB han desarrollado una biblioteca de materiales dedicada a dichos cálculos aplicando medidas de laboratorio.

—

StudyTrafo permite a los ingenieros conseguir una optimización completa del diseño de un transformador en un solo día.

StudyTrafo está escrito en C# y los datos de entrada pueden ser introducidos manualmente por los usuarios o importados directamente desde un sistema de diseño →4. Esta última opción permite la creación instantánea de modelos de simulación. En consecuencia, el tiempo de simulación es relativamente corto, lo que permite a los ingenieros conseguir una optimización completa del diseño de un transformador en un solo día. Los resultados finales se presentan en forma de tabla que muestra la distribución de las pérdidas y los valores máximos de temperatura.

La metodología es práctica y económica. En comparación con otras herramientas y métodos analíticos disponibles para los cálculos de las pérdidas por dispersión, la desviación estándar entre las pérdidas estructurales medidas y las calculadas se ha reducido en un factor de dos. Además, la ventaja de la simulación por ordenador no se limita al ahorro de costes y tiempo por unidad de transformador, sino que también contribuye a mejorar el conocimiento de los fenómenos físicos durante el funcionamiento. Este enfoque ofrece múltiples ventajas en términos de la oportunidad de ejecutar pruebas de simulación de diferentes soluciones. Esto se traduce en mejores diseños con menores pérdidas por dispersión y mayor eficiencia.

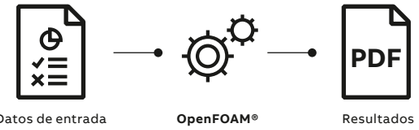
CFD para MCCU

MCCU-CFD es una herramienta semiautomatizada dedicada a las simulaciones experimentales de CFD (dinámica de fluidos computacional) de motores eléctricos →5. Se desarrolló como parte de la MCCU (Unidad de Control en Cascada Multifísica). La idea principal detrás de este software es controlar y automatizar varios fenómenos físicos diferentes que suelen utilizar los ingenieros de I+D para estudiar el funcionamiento de los motores. Esta solución permite a los ingenieros de diseño de I+D estudiar cómo la alteración de las dimensiones o de los parámetros operativos dados de un motor influye en el rendimiento aproximado del motor.

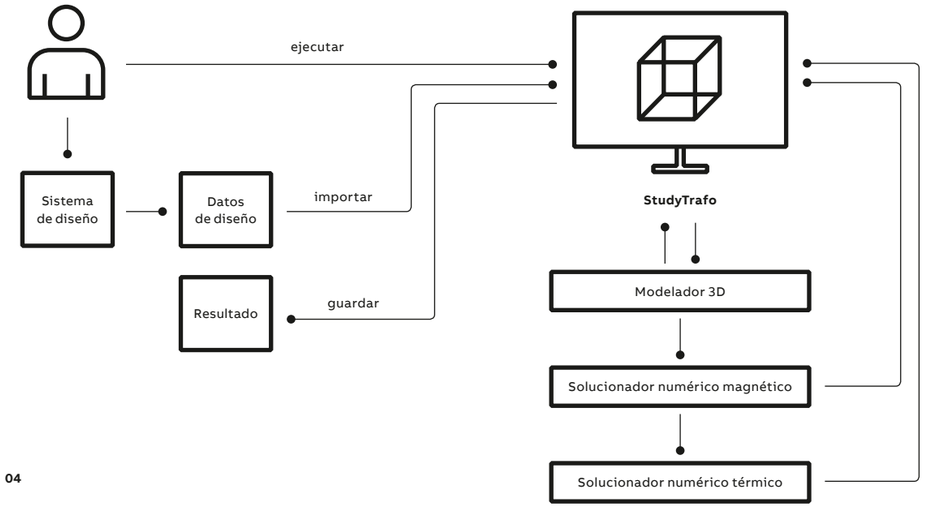
La MCCU reúne varias herramientas en una única interfaz, accesible y usable desde una página web. La idea detrás de la herramienta es permitir que los ingenieros de I+D puedan automatizar el proceso de preparación de simulaciones CFD completas en base a un conjunto predefinido de parámetros.

La herramienta MCCU-CFD permite a los usuarios realizar una simulación CFD de un motor con un solo clic. La entrada para la simulación la proporciona el software ADEPT, un entorno de diseño integral para motores eléctricos, e incluye dimensiones generales y parámetros operativos del motor.

La herramienta genera un modelo 3D representativo de un motor apto para ejecutar una solución de flujo de aire o de flujo térmico y de aire acoplados mediante herramientas de código abierto como OpenFOAM →3. Una vez terminados los scripts con la generación de la malla de volumen finito de las partes activas y el dominio de aire, garantizan la asignación de las adecuadas propiedades de material, fuente de calor y condiciones límite para todos los componentes del motor. Una vez completado el modelo, la simulación se calcula en un servidor



03 Datos de entrada **OpenFOAM®** Resultados



04

—

03 MCCU-CFD recoge los resultados de la simulación en forma de imágenes, gráficos y tablas, y elabora un informe para el usuario.

—

04 La interfaz de StudyTrafo hace que la generación de modelos de simulación sea fácil de seguir y muy rápida.

—

05 MCCU permite que los ingenieros de I+D puedan automatizar el proceso de preparación de simulaciones CFD completas en base a un conjunto predefinido de parámetros.

hasta que alcanza un estado estable. Al final del proceso de simulación, se lleva a cabo un postprocesamiento automatizado utilizando software como ParaView. MCCU-CFD recoge los resultados de la simulación en forma de imágenes, gráficos y tablas, y elabora un informe que luego envía al usuario.

DryFOAM

Los diseños de transformadores secos son muy sensibles a los cambios de temperatura. Su rendimiento térmico es típicamente peor que el de los transformadores llenos de líquido debido a su medio de refrigeración (aire) y al hecho de que utilizan convección natural para la transferencia de calor. Para conseguir un diseño optimizado de los transformadores de tipo seco, por lo tanto es imprescindible poner a disposición del diseñador herramientas de cálculo térmico fiables.

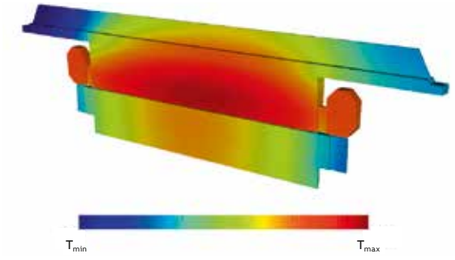
—

La idea detrás de la herramienta MCCU-CFD es permitir que los ingenieros de I+D puedan automatizar el proceso de preparación de simulaciones CFD completas en base a un conjunto predefinido de parámetros.

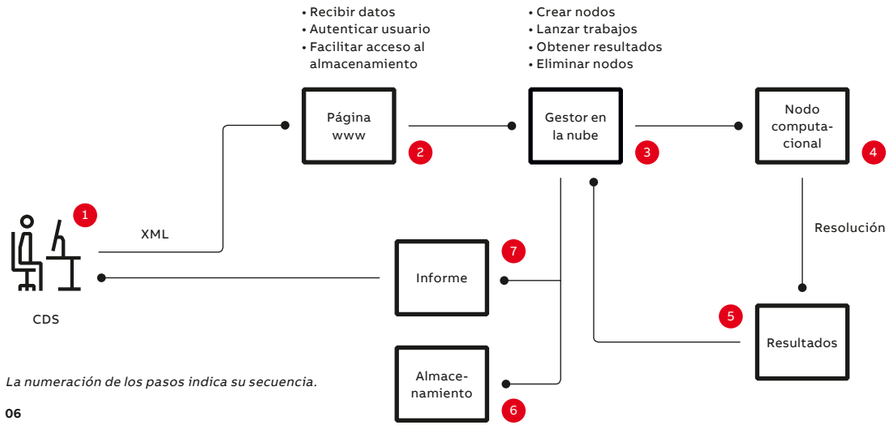
Estas herramientas pueden ir desde sistemas simplificados de masa concentrados a modelos de red muy complejos. Más allá de las limitaciones de los modelos de parámetros promediados, la dinámica computacional de fluidos permite a los usuarios capturar los efectos de la turbulencia, la radiación y la flotabilidad, así como los efectos de las características geométricas en los transformadores secos.

Con la llegada de la computación en la nube, el coste de la computación es ahora más bajo que nunca. Por lo tanto, para un sistema de análisis numérico como CFD, el coste de computación ha dejado de suponer un obstáculo. Históricamente, el coste de las licencias comerciales ha sido un factor prohibitivo en términos de adopción generalizada de las plataformas disponibles. En este nuevo panorama, Open FOAM rivaliza con las suits de software comerciales como una alternativa a la suite de software de código abierto. El uso de OpenFOAM permite escalar simulaciones ampliamente en los núcleos computacionales y aprovechar realmente la computación de alto rendimiento a un coste ultrabajo →6. En el caso de una tarea repetible como es el diseño de un transformador, una plataforma automatizada basada en OpenFOAM proporciona una buena solución para obtener un cálculo térmico preciso.

DryFOAM (Dry de transformador seco y FOAM de OpenFOAM) se remonta a un taller de 2016 titulado «Problemas térmicos en máquinas eléctricas». Las experiencias intercambiadas entonces en las



05



La numeración de los pasos indica su secuencia.

06

—
06 OpenFOAM permite escalar simulaciones en los núcleos computacionales y aprovechar la computación de alto rendimiento a un coste ultrabajo.

áreas de computación de código abierto, gestión térmica, desarrollo de software de simulación y nuevos métodos de computación en la nube dieron lugar a un proyecto de TI en 2017. La idea general del proyecto era:

a) orcionar una herramienta sencilla y fiable para las simulaciones de flujo de fluidos-térmicas de transformadores secos,
b) uutilizar tecnologías de código abierto para reducir al mínimo los gastos operativos;
c) utilizar la computación en la nube (Microsoft Azure) para reducir los gastos generales de computación y
d) hacer que sea suficientemente fácil de utilizar para todos los ingenieros de las fábricas de transformadores secos, independientemente de su formación teórica en ingeniería térmica y de fluidos.

DryFOAM comienza con un único archivo de entrada de diseño, que también utiliza universalmente el Common Design System (CDS) de ABB para el diseño de transformadores. Este extrae automáticamente parámetros geométricos, como las dimensiones del bobinado, el núcleo y la carcasa, las cargas (pérdidas) y las condiciones de contorno (temperatura ambiente). A continuación, los scripts Octave (otro sistema de código abierto, similar al software comercial Matlab) se encargan de construir un modelo representativo axisimétrico en 2D de un transformador que incluye núcleo, bobinados, conductos de refrigeración, carcasa, aberturas de ventilación y dominio de aire alrededor del dispositivo. Las mallas de volumen finito se generan según las necesidades del método CFD, asegurando la calidad de los elementos y los detalles de la capa límite para resolver el flujo próximo a la pared a efectos de convección natural y forzada. Por último, el flujo de trabajo de DryFOAM asigna las fuentes de calor, las propiedades de materiales, las condiciones de contorno y los ajustes del solucionador numérico. Cuando el modelo está listo, DryFOAM empieza a calcular y genera un informe cuando el solucionador numérico alcanza una solución estable. Una de las características clave de DryFOAM es la generación automatizada de informes. Esto facilita la comunicación de los resultados en el formato más legible para los diseñadores. La complejidad de la simulación se abstrae durante el proceso y los diseñadores tienen acceso a información clave sobre el rendimiento térmico del conjunto núcleo-devanado. Los diseñadores no solo conocen las temperaturas medias del bobinado, sino también las temperaturas y los lugares calientes. A continuación, se puede descargar o guardar un informe en el sistema.

Desde el punto de vista de su instalación, DryFOAM se encuentra íntegramente en contenedor. Por lo tanto, puede utilizarse en un portátil, en una estación de trabajo o en la nube. Las soluciones en la nube parecen especialmente prometedoras ya que una interfaz de usuario en la nube DryFOAM predefinida garantiza la seguridad de los datos y facilita y agiliza la entrada y carga de archivos, así como la descarga de informes y la presentación en línea/en directo de los parámetros de estabilidad de la solución frente a los de la iteración. En su etapa actual, el software DryFOAM permite cálculos 2D de dos tipos de construcción, pero se prevén cálculos 3D más detallados que soporten otros tipos de transformadores como Resibloc y transformadores de tracción. Y lo que es más importante, el esqueleto de la herramienta puede adaptarse fácilmente a la simulación de otros productos de ABB. •

—

Una de las características clave de DryFOAM es la generación automatizada de informes. Esto facilita la comunicación de los resultados en el formato más legible para los diseñadores.

GEMELOS DIGITALES Y SIMULACIONES

Avances en el diseño y la fabricación de productos gracias a la impresión 3D

ABB aplicó los avances en software numérico a la tecnología de fabricación aditiva para crear soluciones potentes para el proceso de impresión 3D que optimizan y mejoran el diseño de componentes esenciales, a la vez que reducen los costes generales.

—
01 El uso de robots industriales de pintura ligeros de alto rendimiento puede dar lugar a menores costes de explotación. El colector de pintura ligero situado en la punta del brazo del robot es fundamental.

01

—
Lukasz Matysiak
Tomasz Nowak
Robert Sekula
Dariusz Bednarowski
ABB Corporate Research
Cracovia, Polonia

lukasz.matysiak@pl.abb.com
tomasz.nowak@pl.abb.com
robert.sekula@pl.abb.com
dariusz.bednarowski@pl.abb.com

Frederic Tholence
Erik X. Johansson
ABB Corporate Research
Västerås, Suecia

frederic.tholence@se.abb.com
erik.x.johansson@se.abb.com

Peter Schuster
ABB Technology Center
Uster, Suiza

peter.schuster@ch.abb.com

En la última década se ha avanzado mucho en la tecnología de fabricación aditiva (AM) o impresión 3D: la fabricación de piezas por adición de material en un proceso de capa por capa [1]. Algunos procesos de AM fabrican piezas metálicas o poliméricas; utilizan diferentes combinaciones de formas de materiales ya existentes, ofrecen distintos materiales y emplean distintas fuentes de calor. La familia de procesos de extrusión de materiales (Modelado por Deposición Fundida o Fabricación de Filamentos Fundidos) es un ejemplo importante. Tomando como base la forma original del filamento, los objetos se construyen mediante la deposición selectiva de un polímero termoplástico

fundido. Esto contrasta con los procesos basados en polvo (que utilizan polvo metálico o polimérico) en los que el polvo se extiende por la base del aparato antes de ser escaneado o se aplica directamente en la región afectada por el calor.

Gracias a estos avances, la AM proporciona a los fabricantes libertad de diseño y capacidad para construir (en impresión 3D) un conjunto compuesto de múltiples piezas integradas.

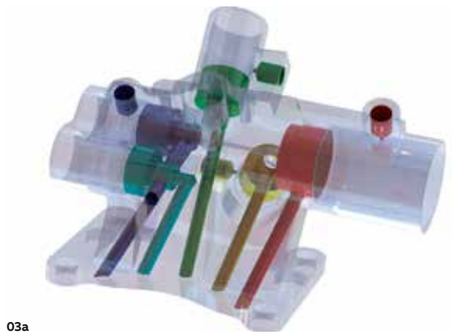
—

ABB evaluó las simulaciones y herramientas de ingeniería para establecer supuestos específicos en los que las aplicaciones AM ofrecen valor a los clientes, más allá de la libertad de diseño.

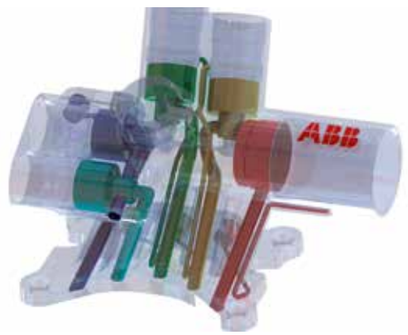
No obstante, los procesos intrínsecamente complejos plantean obstáculos que pueden impedir una aplicación más amplia de la AM. Por ejemplo, la geometría del producto y las estructuras de los materiales, que se definen durante el proceso de AM, plantean limitaciones complejas. Por otra parte, el propio proceso puede afectar al material depositado durante esta técnica de fabricación, según la cual una sola capa se «funde» sobre una capa anterior. Los efectos combinados de la rápida solidificación, el enfriamiento direccional y las transformaciones de fase inducidas por los ciclos térmicos repetidos pueden afectar negativamente a las microestructuras del material depositado. Además, es posible que las piezas fabricadas no cumplan los requisitos mecánicos debido a niveles de porosidad inaceptables. La naturaleza termomecánica del proceso puede dar lugar a imprecisiones dimensionales graves: el resultado de distorsiones y tensiones residuales inducidas térmicamente [2].

No es sorprendente que las herramientas de ingeniería numérica, por ejemplo, los paquetes de software de análisis de elementos finitos, revelen fenómenos físicos que son críticos. De este modo, los ingenieros pueden conocer el vínculo entre el diseño del producto, la configuración del proceso, la microestructura del material y las propiedades físicas de los productos impresos en 3D. Las herramientas numéricas también son muy eficaces en los métodos de optimización paramétrica y de topología, donde se trata de reducir el peso del componente y optimizar el tiempo de impresión.

02



03a



03b

—

02 Se muestra la evolución de las fases de diseño de un colector de pintura ligero. Todas las entradas del piloto de aire están situadas en el mismo lado (izquierdo).

—

03 Comparación de los canales interiores

03a Diseño original

03b Diseño de los componentes de montaje.

—

04 Se propusieron varios conceptos de diseño mediante algoritmos de optimización.

04a Se muestran los resultados de varios conceptos de diseño.

04b Simulación del proceso de llenado del molde.

04c El demostrador resultante del brazo inferior de un robot industrial.

Casos prácticos de ABB

ABB evaluó las simulaciones numéricas y herramientas de ingeniería en tres casos prácticos para establecer supuestos específicos en los que las aplicaciones AM ofrecen valor a los clientes, más allá de la ventaja de la libertad de diseño. Para ello, se abordaron los inconvenientes percibidos de la AM: largos tiempos de impresión y alto coste.

- Impresión 3D metálica de un conjunto colector de pintura.
- Optimización de la topología y la denominada fabricación híbrida de un demostrador de brazo robot.
- Herramientas basadas en AM para el moldeo por inyección.

Caso práctico del colector de pintura - impresión 3D metálica

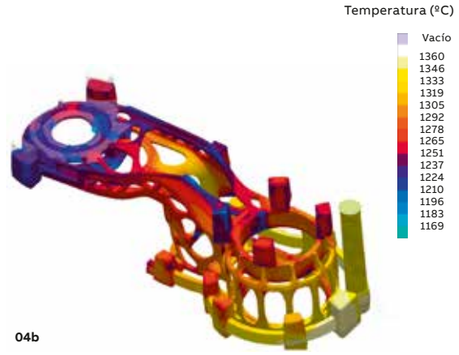
En la robótica industrial, por ejemplo, en los robots de pintura →1, las estructuras ligeras ahorrarían tiempo y coste y contribuirán a mejorar el tiempo de ciclo, la precisión, la carga útil y el consumo energético del robot. En particular, el módulo pulverizador de pintura situado en el extremo de un brazo robot de pintura se beneficiaría de una reducción de peso →1. Además, las técnicas de AM pueden ofrecer ventajas adicionales: facilidad de montaje, limpieza más fácil y mayor solidez de los componentes.

La función del colector de pintura es mezclar dos componentes de una pintura (resina y catalizador) justo antes de la pulverización →1. Tradicionalmente, el colector se fabrica a partir de un bloque de acero inoxidable mediante un mecanizado convencional CNC. Puesto que la parte interior del colector consta de una compleja red de tuberías, la producción del colector es costosa, requiere un largo plazo de tiempo y supone un importante nivel de materiales de desecho. En consecuencia, aproximadamente el 88 % del bloque de acero inoxidable inicial se descarta.

Cualquier adición de material innecesaria en un componente AM aumentará el peso e incrementará el coste de la pieza final, por lo que es crucial imprimir estructuras ligeras. La optimización del peso suele conseguirse mediante la optimización de la topología (TO). Inicialmente, se aplican cargas de servicio al componente. El motor de optimización obtiene la densidad de cada elemento que es necesaria para mantener la rigidez estructural del componente. El mapa de densidades resultante del componente puede utilizarse a continuación para fabricar una estructura biónica típica o una estructura reticular ligera.

ABB demostró con éxito que la AM es especialmente adecuada para fabricar este tipo de formas complejas. La versión más ligera del colector presenta características tanto biónicas

04a



04b

04c

—

Cualquier adición de material innecesaria en un componente AM aumentará el peso e incrementará el coste de la pieza final, por lo que es crucial imprimir estructuras ligeras.

como Honeycomb →2. El peso total se redujo en un espectacular 43 %, al tiempo que se conservaron la funcionalidad y la rigidez estructural.

A continuación, se rediseñó el colector para mejorar el proceso de impresión y facilitar el paso posterior de mecanizado CNC. Se utilizó un software informático específico para optimizar la orientación del componente durante el proceso de impresión. Con el fin de mejorar la calidad y el coste de las piezas se evaluaron: el volumen de soporte (por ejemplo, material residual), el tiempo de impresión, la deformación, la cantidad y la facilidad de postprocesamiento y el número de piezas que encajan en una placa de construcción.

05

El tiempo de impresión se redujo un 10 %, mientras que el volumen de soporte requerido se redujo en un extraordinario factor de seis.

A continuación, se modificó el diseño del colector para facilitar el montaje →2. A diferencia de las técnicas de fabricación tradicionales, que pueden limitar la forma de los canales internos a orificios rectos, la AM ofrece la posibilidad de fabricar canales curvos que se extienden libremente dentro de la estructura. El recorrido de los canales de aire podría entonces volver a trazarse libremente dentro del colector de manera que todas las válvulas del piloto de aire pudieran colocarse en el mismo lado del componente →3. El resultado es facilidad de montaje y un posterior mecanizado CNC más racional.

ABB empleó la técnica SLM para fabricar prototipos de esta nueva generación de colectores, lo que supuso una importante reducción del peso, mayor facilidad de montaje y una menor cantidad de materiales de desecho. El plazo de entrega de los componentes se redujo de tres meses a solo tres semanas.

En general, este colector mejorado proporciona a los clientes de ABB un mejor diseño y pone a su disposición un rendimiento mejorado de sus robots.

Optimización de la topología de un brazo robot

Las principales ventajas de la tecnología AM (libertad de diseño, fácil fabricación de piezas complejas, impresión bajo demanda) se ven deterioradas durante la impresión 3D de los componentes de robots (por ejemplo, brazos de aluminio en los que hay un número limitado de materiales disponibles, pequeñas dimensiones de los componentes, alto coste de producción y largo tiempo de impresión). Por el contrario, los métodos clásicos, como la fundición, son muy eficientes y aplicables a una gama de componentes de dimensiones prácticamente ilimitadas. Por este motivo, ABB estudió una estrategia de fabricación híbrida. En primer lugar, el brazo inferior de un robot industrial se optimizó a nivel topológico [3,4], con el fin de discernir varias alternativas de diseño →4a,4b.

A partir de entonces, se fabricó el molde de arena mediante impresión 3D y a continuación se utilizó como herramienta en el posterior proceso de fabricación: fundición clásica. ABB desarrolló un concepto completamente nuevo del brazo robot inferior que supera las limitaciones anteriores de la tecnología AM.

El demostrador →4c fue el resultado de una combinación única de tres tecnologías diferentes: el diseño generativo, que ayuda a los ingenieros a proponer conceptos de formas libres; la fabricación aditiva, que fabrica el patrón (la herramienta) en lugar de la propia pieza; y la fundición de metal, que materializa la idea del diseñador utilizando un molde impreso en 3D y una aleación metálica fuerte pero ligera.

De este modo, ABB demostró que puede ser más rentable fabricar una herramienta con tecnología AM y luego utilizar esta herramienta como ventaja durante los procesos de fabricación estándar.

Herramientas basadas en AM para el moldeo por inyección

La tecnología AM ha dado lugar a impresoras 3D de mayor resolución más rápidas y precisas que nunca, y al desarrollo de nuevos materiales para su uso en los procesos de inyección. En consecuencia, varios proveedores de AM propusieron la impresión directa en 3D de cavidades de moldeo por inyección [5,6], sin necesidad de un posterior mecanizado de las cavidades, es decir, listas para su adopción en un marco de molde metálico →5.

—

ABB demostró que puede ser más rentable fabricar una herramienta con tecnología AM y luego utilizar esta herramienta durante los procesos de fabricación estándar.

Las cavidades poliméricas de inyección impresas en 3D cuestan menos que las herramientas metálicas (generalmente un 50-70 % menos) y requieren una latencia mucho más corta (días). Lamentablemente, los moldes poliméricos impresos en 3D son más adecuados para trabajos de hasta 100 disparos (dependiendo del tipo de material y de la complejidad del molde) debido a las limitaciones tecnológicas actuales. Otras limitaciones incluyen: la gama de termoplásticos que pueden procesarse, el alto coste de la materia prima para la impresión 3D y el mayor tiempo de ciclo del moldeo por inyección (15 a 20 veces más que para las cavidades metálicas) gracias a la baja conductividad térmica de los polímeros utilizados para la impresión 3D. ABB propuso un enfoque completamente nuevo para superar estas limitaciones. La impresión en 3D se utiliza únicamente para fabricar una estructura de carcasa, que luego se llena con un material de mayor conductividad térmica. El espesor de la estructura de carcasa impresa en 3D es la consideración fundamental durante la fase de diseño cuando deben tenerse en cuenta las contradicciones de los requisitos: un espesor pequeño se asocia a un tiempo de ciclo corto mientras que un espesor grande asegura una buena estabilidad mecánica. Se evaluó el impacto del espesor de la carcasa en el tiempo de ciclo (eficiencia de enfriamiento) en la geometría mediante Ansys/Fluent →6. Se estudió el espesor tanto de la pared de la carcasa (de 1 a 5 mm) como de la estructura sólida (polímero y acero). Los resultados computacionales seleccionados de las temperaturas superficiales de las cavidades en los escenarios analizados durante el primer ciclo y los ciclos estables →7, muestran el extremo impacto que tiene el espesor de la carcasa en la eficiencia del enfriamiento, incluso durante el primer ciclo. El tiempo de ciclo después de alcanzar condiciones de procesamiento estables es aproximadamente 15 veces mayor para las cavidades de polímero sólido que para las cavidades de acero. Esta consideración final esencial y el diseño optimizado permiten reducir el tiempo de enfriamiento en un factor de cuatro a siete; esto se traduce en un tiempo de ciclo que es solo de dos a tres veces más largo que en el caso de los moldes de acero: un resultado excelente.

Perspectivas

La AM y todos sus beneficios tecnológicos están cambiando el modo de diseñar y fabricar los productos. La AM ya es lo suficientemente madura como para competir con los procesos tradicionales de fabricación sustractiva o tecnologías de producción como el moldeo por inyección en términos de propiedades de materiales, dimensiones de geometrías, materiales y costes de procesos. Se espera que las empresas que desarrollan software de simulación, las máquinas AM y los proveedores de materiales sigan esforzándose para ofrecer a los clientes soluciones automatizadas que sean cada vez más fáciles de usar. Los clientes tendrán mayor libertad y flexibilidad en términos de geometría, lo que se traduce en estructuras ligeras y un excelente rendimiento mecánico en la integración funcional y en la consolidación de las piezas.

—

La AM y todos sus beneficios tecnológicos están cambiando el modo de diseñar y fabricar los productos y están compitiendo con los procesos de fabricación sustractiva tradicionales.

Actualmente, ABB está investigando otra tendencia, a saber, las simulaciones numéricas multifísicas del propio proceso de impresión; esto incluye interacciones termomecánicas entre las distintas partículas y capas del objeto impreso (de polvos metálicos y poliméricos). ABB presentará estos resultados de simulación cuando finalice las pruebas y los procedimientos intensivos de verificación. •

—

05 Se muestra un molde polimérico impreso en 3D, que está listo para el proceso de moldeo por inyección.

—

06 Geometría 2D simplificada que se analiza durante las simulaciones térmicas. El modelo computacional utiliza simetría.

—

07 Comparación de los tiempos de ciclo obtenidos para diferentes conceptos de diseño de moldes.

—

Referencias

[1] Wohlers Report 2016, “3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry”, Wohlers Associates Inc. USA, 2016.

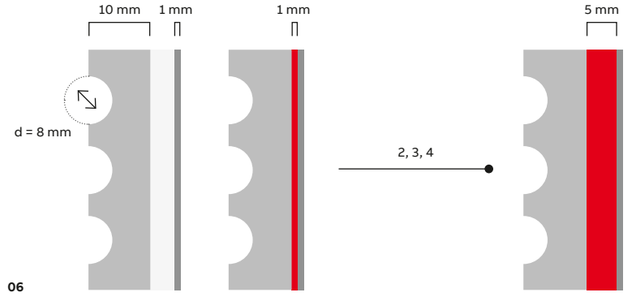
[2] B. Stucker, “Physics-Based Simulation: Accelerating Innovation in Additive Manufacturing”. 12th Intl. Conf. Additive Manufacturing and 3D Printing, Nottingham, UK, 2017.

[3] Y. Saadlaoui, J. Milan, J. Rossi, P. Chabrand, “Topology optimization and additive manufacturing: Comparison of conception methods using industrial codes”. J. Manufacturing Syst, vol. 43, Part 1, April 2017, pp. 178-186.

[4] M.K. Thompson, G. Moroni et.al., “Design for Additive Manufacturing: Trends, opportunities, considerations, and constraints”. Manufacturing Tech., vol. 65, Issue 2, 2016, pp. 737-760.

[5] R.A. Harris, H.A. Newlyn and P.M. Dickens, “Selection of mould design variables in direct stereolithography injection mould tooling”. Proc. Instit. Mech. Eng., Part B, J. Eng. Manufacture, vol 216 No. B4, 2002, pp. 499-505.

[6] G.V. Salmoria, F.V. Lafratta, M.M. Biava and P.Z. Ferreira, “Rapid manufacturing and rapid tooling of polymer miniaturized parts using Stereolithography”. J. Brazilian Soc. Mech. Sci. and Eng., vol. 30, No. 1, 2008, pp. 7-10.



06

Caso práctico	1er ciclo (s)	Ciclo estable (s)
Molde de acero	10	11.5
Modelo totalmente impreso en 3D y carcasa de 5 mm	44	171
Carcasa de polímero de 2 mm llena de material con mayor conductividad térmica	33	40

07

GEMELOS DIGITALES Y SIMULACIONES

Los avatares digitales para trenes de potencia amplían el concepto de gemelo digital

Un gemelo digital es una copia casi idéntica de un dispositivo físico. Sin embargo, para beneficiarse realmente de las oportunidades digitales, es deseable que la representación digital tenga más capacidades que el objeto físico. Este «avatar digital» interactúa con el mundo digital en formas que su homólogo físico no puede.

—
Piotr Lipnicki
Daniel Lewandowski
ABB Corporate Research
Cracovia, Polonia

piotr.lipnicki@pl.abb.com
daniel.lewandowski@pl.abb.com

Diego Pareschi
ABB BV
Róterdam, Países Bajos

diego.pareschi@nl.abb.com

Enrico Ragaini
Gabriele Perrone
ABB S.p.A.
Bérgamo, Italia

enrico.ragaini@it.abb.com
gabriele.perrone@it.abb.com

La industria moderna lucha por superar muchos desafíos, tales como la excelencia operativa, una mayor eficiencia y una mayor rentabilidad. En resumen, lo que se pide es producir más con menos, con mayores beneficios y de una manera respetuosa con el medio ambiente.

Una forma de alcanzar estos objetivos es aprovechar la potencia de la digitalización. Desde un punto de vista práctico, esto podría significar crear los «gemelos digitales» adecuados. Un gemelo digital puede caracterizarse como la mezcla de datos e inteligencia que representa la disposición, el contexto y la naturaleza de un sistema físico de cualquier tipo, incluida una interfaz que ofrezca conocimiento sobre el funcionamiento pasado y presente, y permita predicciones. Sin embargo, el concepto de gemelo digital es limitado. El reto radica en representar la versión física de una entidad en el mundo digital de una forma mucho más auténtica. Hay mucha más información disponible que solo la relacionada directamente con el dispositivo, sistema, planta o modelo. Por ejemplo, la interacción con el usuario produce y utiliza muchos tipos de información digital: mediciones en tiempo real, modelos, gráficos 3D, manuales de usuario, notas del operario e instrucciones de servicio constituyen aspectos del objeto que también pueden ser importantes. Para beneficiarse plenamente de las oportunidades digitales, se requiere una representación digital que tenga más capacidades que el objeto físico: esto es el avatar digital. El avatar digital es un objeto digital, nativo del mundo digital, que representa al objeto físico pero que puede interactuar en el mundo digital en formas en las que su homólogo físico no puede →1.

—
Para beneficiarse plenamente de las oportunidades digitales, se requiere una representación digital que tenga más capacidades que el objeto físico: esto es el avatar digital.

Los datos que componen un avatar digital pueden agruparse y clasificarse como un sistema específico, por ejemplo, un tren de potencia digital.

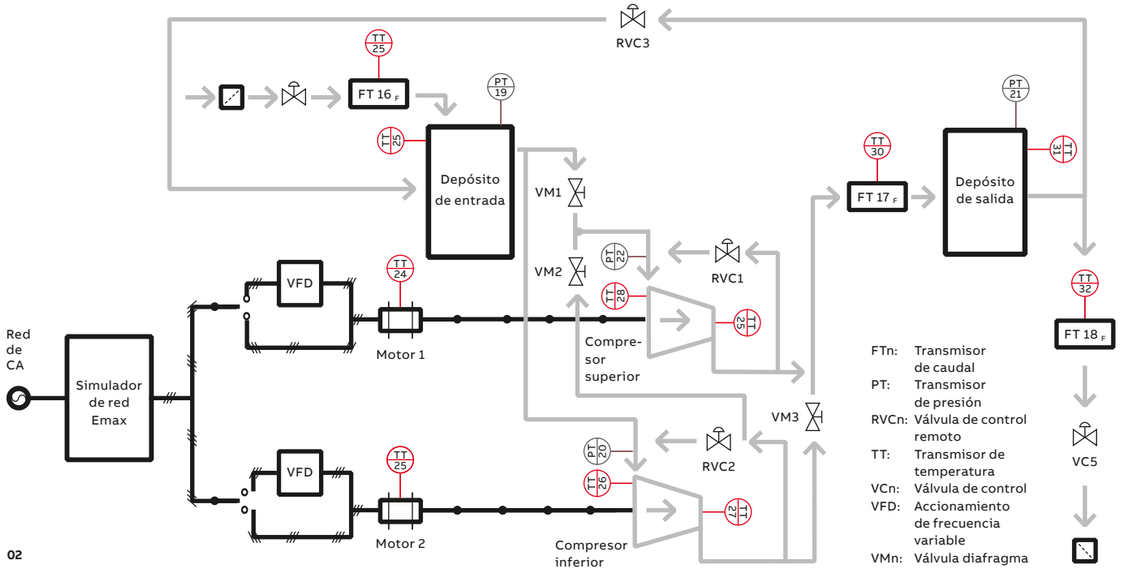
Tren de potencia digital
Un tren de potencia digital es un conjunto de soluciones para la digitalización de, por ejemplo, los compresores que son especialmente críticos en las industrias del petróleo, el gas y la química. El concepto de tren de potencia digital abarca dispositivos, software y servicios. Las soluciones de trenes de potencia digitales aprovechan las ventajas de la conectividad y el análisis de datos en combinación con la especialización en el dominio. Cada tren de potencia físico, incluidos todos sus componentes, como accionamientos, motores, cojinetes y aplicaciones de destino, como bombas y compresores, puede enviar datos a la nube que el operario puede ver en un sencillo panel. En una etapa posterior, se pueden utilizar servicios de supervisión del estado y mantenimiento predictivo para realizar recomendaciones de soporte o reparación basadas en los niveles reales y continuos de esfuerzo y desgaste.

01

—
01 Los compresores son elementos críticos de los procesos químicos, de petróleo y gas. Desarrollando el concepto de gemelo digital para crear un «avatar digital» del tren de potencia del compresor, se puede crear un homólogo digital completo que refleje mejor las experiencias de los compresores en el mundo real.

ORKAN
Para mantenerse a la vanguardia de la innovación digital y tecnológica, ABB desarrolla conceptos inteligentes que se verifican mediante revisiones de diseño, simulaciones avanzadas de modelos y experimentos rigurosos realizados en condiciones estrictamente controladas, especialmente en configuraciones a escala relativamente pequeña. El banco de pruebas de diagnóstico y control de compresores ORKAN es una de estas configuraciones →2.

—
El concepto de tren de potencia digital abarca dispositivos, software y servicios.



02

El banco de pruebas de compresores ORKAN permite evaluar todos los tipos de conceptos relacionados con los trenes de potencia digitales →3.

ORKAN se utiliza, por ejemplo, para evaluar la influencia de fallos eléctricos en la estabilidad del lado del proceso y desarrollar soluciones para la protección frente a estas perturbaciones. En los últimos años, el banco de pruebas se ha empleado con éxito para desarrollar y probar soluciones que lidian con perturbaciones de la red y problemas eléctricos y mecánicos. El banco de pruebas también permite explorar modos de control del proceso (tales como el control básico del proceso, el control de la presión de aspiración, el control de la presión de descarga y el control antibombeo o anti-surge) y desarrollar soluciones robustas para eventualidades operativas.

El banco de pruebas está equipado con dispositivos de ABB como accionamientos de baja tensión ACS880 y ACS850, dos motores de inducción, un controlador AC800 PEC, AC500 High Performance y los PLC (autómatas programables) AC500 CMS (sistema de supervisión del estado), un interruptor Sace Emax (con registrador adicionar Raspberry Pi), y diversos sensores de flujo, presión y temperatura. La aplicación ABB Service Port permite a todos los usuarios ver, explorar y seguir todos los indicadores clave de rendimiento (KPI) para obtener el máximo rendimiento de los compresores y de los procesos afectados →4.

Caso práctico

El banco de pruebas ORKAN cuenta con los elementos básicos del gemelo digital, además de otros aspectos que comprenden el avatar digital: gestión documental, modelización, simulación, representación en 3D, modelo de datos, visualización, sincronización de modelos y análisis.

—

ORKAN se utiliza, por ejemplo, para evaluar la influencia de fallos eléctricos en la estabilidad en el lado del proceso y desarrollar soluciones para la protección frente a estas perturbaciones.

Gestión documental
El software es rastreado por Git (un sistema de control de versiones de código abierto). Se mantiene un conjunto completo de instrucciones de funcionamiento estándar y hay disponibles registros de servicios en forma de historiales de datos, historiales de eventos e informes.

Modelización
La modelización se basa en modelos de procesos analíticos y modelos dinámicos eléctricos y mecánicos del sistema de compresión. Para verificar la precisión de la modelización, se utilizaron campañas de

—
02 Esquema de instrumentación de tramo de conducciones de ORKAN.

—
03 Banco ORKAN.

simulaciones y mediciones. La optimización se centra en el control de procesos y utiliza el control antibombeo MPC (control predictivo basado en modelo) para los sistemas de compresión, incluida la funcionalidad T2S (tiempo hasta el bombeo). La parte de diagnóstico se basa en algoritmos y análisis que manejan tanto la maquinaria rotativa como el proceso. Los diagnósticos se implementan a distintos niveles (desde el sensor y el dispositivo de supervisión hasta la pasarela y la nube). La modelización se centra tanto en la supervisión del estado como en la gestión energética y de procesos.

—

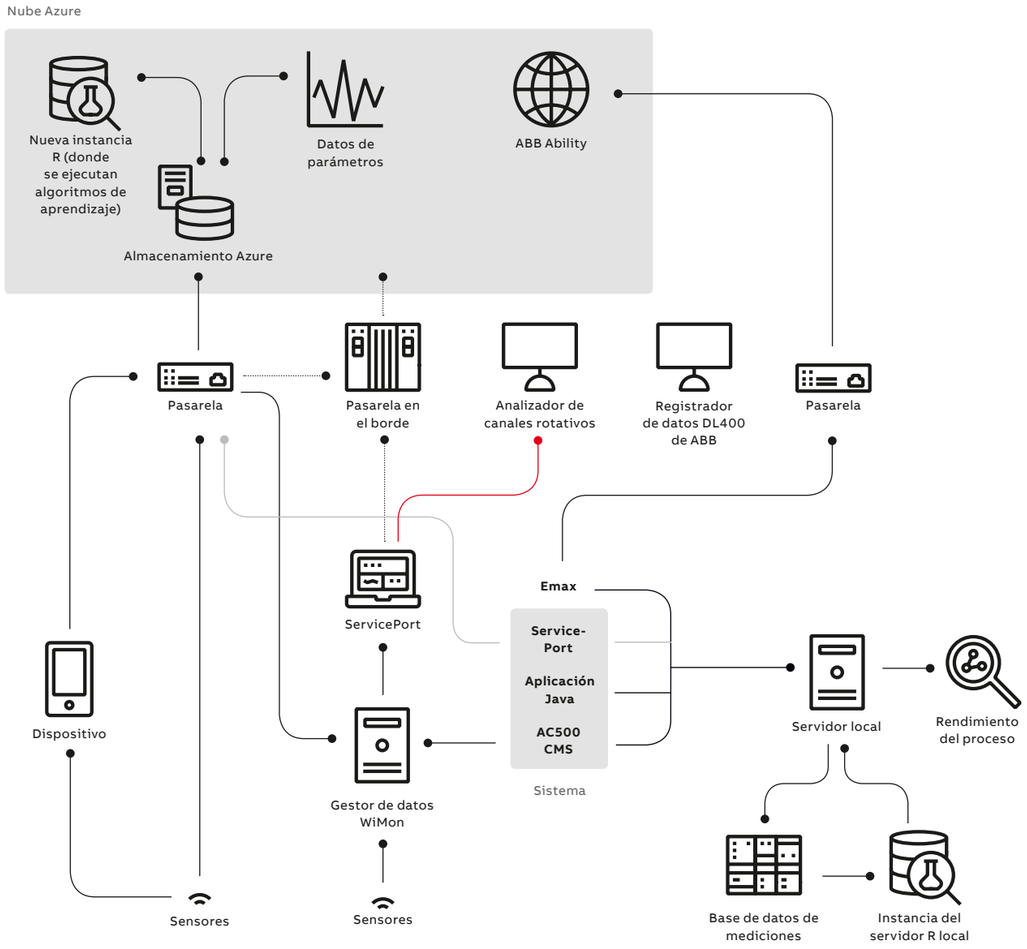
La modelización se centra tanto en la supervisión del estado como en la gestión energética y de procesos.

Simulaciones
La parte de simulaciones consta de dos elementos principales: simulación del diseño y simulación del rendimiento del sistema del compresor. La primera utiliza modelos de simulación detallados que admiten cambios de punto de consigna, perturbaciones, modos de fallo y ruido. Esto último permite simular y evaluar la optimización del rendimiento de los sistemas de compresión (reparto de carga, funcionamiento en serie, funcionamiento antibombeo, etc.) durante el funcionamiento normal o durante distintos fallos. A continuación, las simulaciones se verifican mediante un experimento.

Representación en 3D
La representación en 3D se basa en planos de diseño de ABB y componentes de terceros.

Modelo de datos
El modelo de datos utiliza datos de ingeniería sobre sensores, equipos de medición y control y otros dispositivos hasta llegar a la pasarela y la nube. El modelo de datos está diseñado para cumplir diferentes tareas: control, procesamiento, diagnóstico y supervisión del estado y análisis. Los datos de producción utilizados son detalles sobre las características del gas producido (flujo, presión, etc.). La entrada de datos operativos se refiere a la disponibilidad, el rendimiento, la calidad, la efectividad global de los equipos (OEE), etc. Los datos de servicio utilizados se obtienen de diversas fuentes, tales como: ServicePort, Java Apps, Emax, el AC500 CMS, el distribuidor de baja tensión de ABB, etc. →5,6.

03



04

Visualización
La visualización digital se presenta en forma de gráficos, características y datos de series temporales generados por las simulaciones.

—

Esta arquitectura en la nube ha sido desarrollada en unión con Microsoft para reforzar sus prestaciones y garantizar la mayor fiabilidad y seguridad.

La pantalla de estado del funcionamiento procede del flujo de datos en tiempo real (desde la estación de trabajo) y tiene un formato similar. El estado de la salud se muestra en forma de alarmas y notificaciones (en la aplicación local, pasarela o nube).

Sincronización de modelos
La sincronización de los datos de simulación digital con las mediciones reales está basada en la evaluación en tiempo real en términos de control, proceso, diagnóstico y monitorización.

Análisis
Los análisis se centran en la verificación de algoritmos basada en modelos, simulaciones y mediciones. Los análisis generan un conjunto de KPI: los KPI operativos se basan en los datos de proceso, eléctricos, mecánicos y de control; los KPI de salud de los activos utilizan KPI de servicio/diagnóstico detallados -procesos, eléctricos, mecánicos y de control - implementados en el nuevo canal ServicePort del Analizador de Equipos Rotativos.

Todos los puntos anteriores pueden incluirse en una plataforma en la nube conectada a ORKAN, por ejemplo, el Sistema de Control de la Distribución Eléctrica, que es una plataforma de computación en la nube diseñada para monitorizar, optimizar y controlar

los sistemas eléctricos. Como parte de la oferta ABB Ability™, el Sistema de Control de la Distribución Eléctrica está basado en una arquitectura de vanguardia en la nube para la recogida, el tratamiento y el almacenamiento de los datos.

Esta arquitectura en la nube ha sido desarrollada en unión con Microsoft para reforzar sus prestaciones y garantizar la mayor fiabilidad y seguridad.

El avatar digital abre nuevos campos
Los gemelos digitales están limitados porque son «meramente» la representación digital de un objeto y de su rendimiento en tiempo real. Por el contrario, el avatar digital, según se describe en el ejemplo del banco ORKAN, es un concepto más amplio. Los avatares digitales deberían poder interactuar como hacen los gemelos digitales, pero también de formas mejoradas y con un conjunto mucho más amplio de circunstancias y colaboradores digitales. En principio, la idea es poner a disposición de los algoritmos analíticos del avatar digital la máxima información posible y el máximo número de entidades.

—

El concepto de avatar digital abre muchos campos para obtener más información práctica, realizar análisis y tomar decisiones informadas.

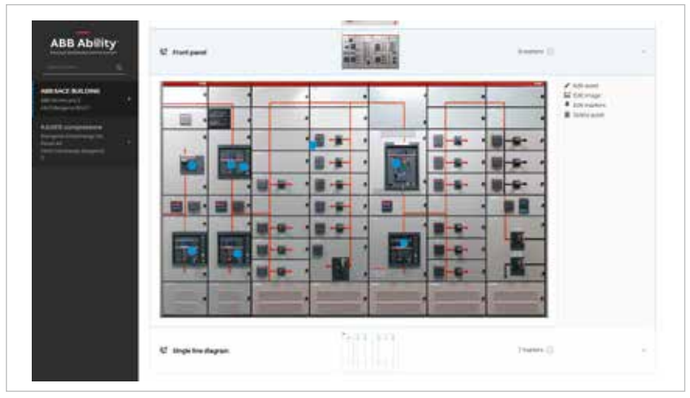
Se ha utilizado el banco ORKAN para ilustrar el tren de potencia digital de un compresor de gas y petróleo. Sin embargo, este entorno de pruebas único utiliza tantos productos y tecnologías de ABB que puede tratarse como una instalación general de pruebas de digitalización de ABB.

El concepto de avatar digital abre muchos campos para obtener más información práctica, análisis y una toma de decisiones informada, y muestra el camino a seguir para que la industria moderna pueda lograr los objetivos cada vez más exigentes que le esperan. •

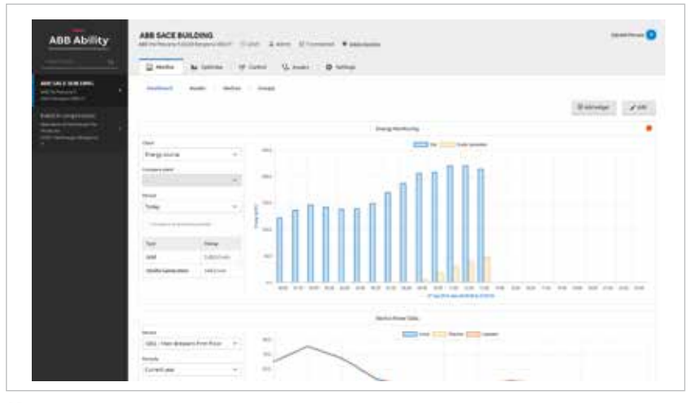
—
04 Control del compresor y banco de pruebas de diagnóstico - ORKAN - visión general funcional.

—
05 Vista 1 de la plataforma del Sistema de Control de la Distribución Eléctrica ABB Ability.

—
06 Vista 2 de la plataforma del Sistema de Control de la Distribución Eléctrica ABB Ability.



05

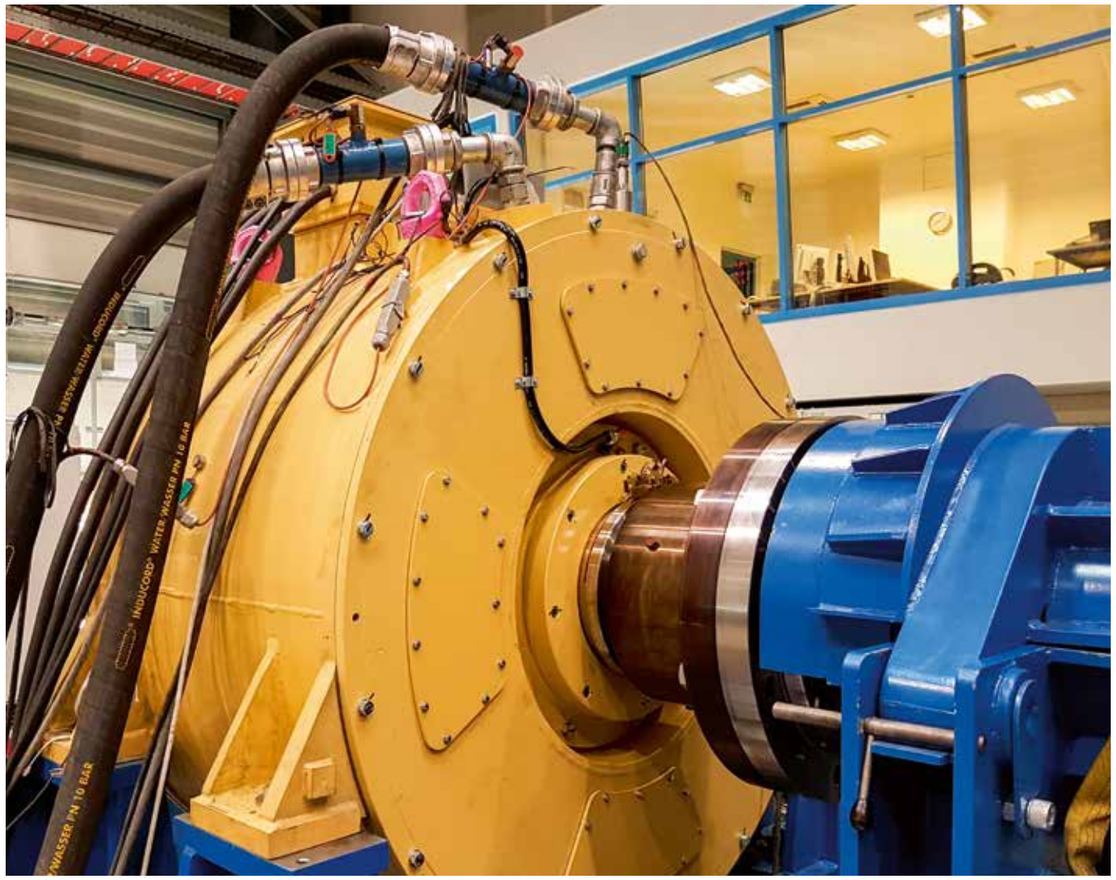


06

GEMELOS DIGITALES Y SIMULACIONES

Transformación de la supervisión del estado de las máquinas rotativas

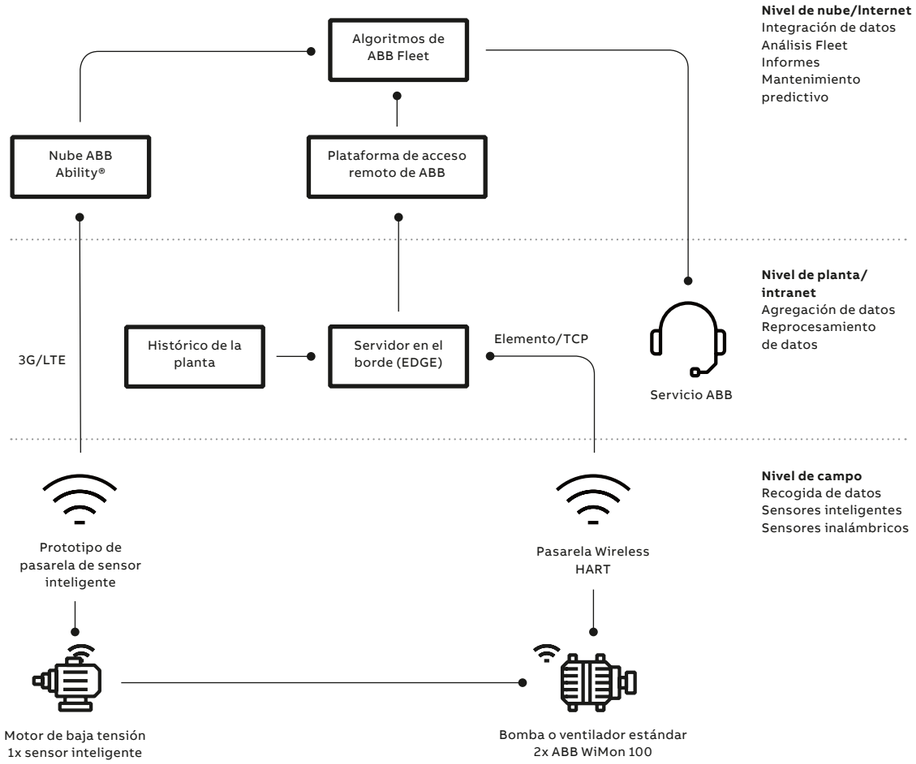
Normalmente, solo las máquinas rotativas más críticas de una planta se supervisan de manera continua con fines de mantenimiento. En una planta piloto, ahora ABB ha equipado a los equipos menos críticos con una solución basada en sensores económicos, aprendizaje automático y software que permite una supervisión rentable pero avanzada.



01

—
01 Dotar de las capacidades de supervisión del estado y mantenimiento predictivo de las máquinas rotativas a los equipos menos críticos de una manera rentable para que los clientes puedan operar sus plantas de una manera más eficiente.

—
02 Arquitectura de supervisión del estado de los equipos rotativos no críticos. Tenga en cuenta que algunos aspectos de esta arquitectura pueden variar en función de la planta (por ejemplo, no todos utilizan conexiones Wireless HART o Bluetooth).



02

Ralf Gitzel
Benedikt Schmidt
Arzam Kotriwala
Ido Amihai
Guruprasad Sosale
ABB Corporate Research
Ladenburg, Alemania

ralf.gitzel@de.abb.com
benedikt.schmidt@de.abb.com
arzam.kotriwala@de.abb.com
ido.amihai@de.abb.com
guruprasad.sosale@de.abb.com

James Ottewill
ABB Corporate Research
Cracovia, Polonia

james.ottewill@pl.abb.com

Marco Heese
ABB Automation GmbH
Mannheim, Germany

marco.heese@de.abb.com

Diego Pareschi
ABB B.V.
Rijswijk, Países Bajos

diego.pareschi@nl.abb.com

Subanatarajan Subbiah
Antiguo empleado de ABB

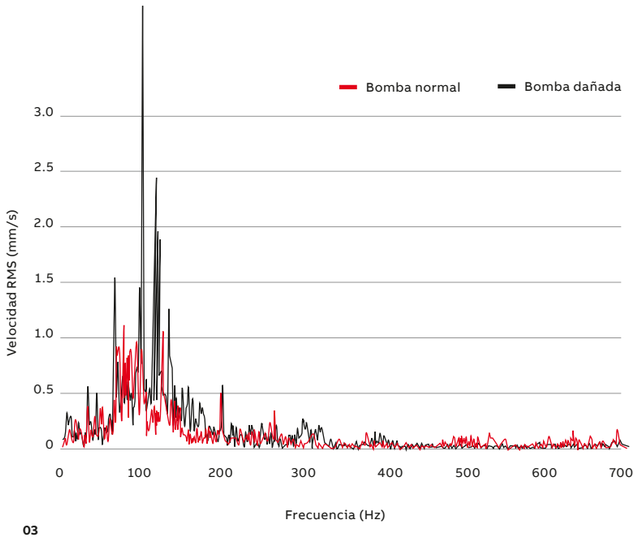
La intervención temprana, que reduce la necesidad de mantenimiento correctivo, es más rentable que simplemente dejar que un componente funcione hasta que falle.

En una planta industrial típica, la supervisión del estado y el mantenimiento predictivo suelen aplicarse únicamente a los equipos rotativos más críticos. Por razones de coste, los puntos menos críticos suelen analizarse exclusivamente dentro de lo posible.

Para investigar cómo supervisar, diagnosticar y predecir fallos en equipos rotativos menos críticos, pero de uso generalizado, como motores o bombas, ABB llevó a cabo un estudio de 30 meses en el que se equipó una instalación piloto en las instalaciones de un cliente con tecnologías rentables de sensores, aprendizaje automático y una solución de software impulsada por indicadores clave de estado (KCI) →1. Se tomaron datos de vibración varias veces al día en 30 bombas. Una red de dispositivos IoT (Internet de las cosas) recogió datos relevantes, a partir de cuyos análisis se extrae la información.

Antecedentes y motivación
La supervisión del estado de activos industriales, como motores o bombas, puede garantizar la detección temprana de problemas críticos, evitando así paradas o daños imprevistos. La intervención temprana, que reduce la necesidad de mantenimiento correctivo, es más rentable que simplemente dejar que un componente funcione hasta que falle. Sin embargo, los elevados costes asociados a los sistemas de supervisión del estado hacen que actualmente solo se instalen principalmente en activos críticos.

Una planta de una industria de procesos (por ejemplo, una fábrica química o farmacéutica) normalmente incluye una gran flota de motores no críticos que accionan bombas. Si bien el coste del fallo en estos casos es considerablemente inferior al fallo de los equipos críticos, estos activos se beneficiarían de un sistema rentable de detección



03

temprana de fallos. La detección temprana de fallos no solo ayudaría a evitar más daños, sino que el diagnóstico previo de los problemas también podría reducir el tiempo necesario para reparar el activo.

Arquitectura de la solución global
La arquitectura de supervisión del estado de los equipos rotativos no críticos en el estudio piloto tiene tres niveles →2:

- Nivel de campo, con sensores conectados a los activos para recoger datos.
- Nivel de planta, que cubre la agregación y el procesamiento previo de los datos de sensores en toda la planta.
- Nivel de plataforma de integración de datos (por ejemplo, nube u otra plataforma), para los análisis de datos de flota, como benchmarking, mantenimiento predictivo) e informes.

Nivel de arquitectura 1: campo
El nivel de campo especifica el proceso de recogida de datos basado en sensores hasta la transmisión de los datos recogidos. Los activos considerados son los componentes estándar de los equipos rotativos de una planta de procesos comerciales, tales como bombas y motores de baja tensión. Cada elemento objeto del estudio estaba equipado con un sistema comercial inalámbrico de supervisión del estado, ABB WiMon 100, que se utilizó para captar datos de vibraciones. El sistema WiMon consta de un sensor de vibración (acelerómetro) para captar las vibraciones y un sensor de temperatura para captar la temperatura superficial del equipo rotativo. Los sistemas WiMon utilizan una tecnología de red en malla que simplifica la transferencia de datos en la planta. Además, los motores de baja tensión estaban equipados con un sensor inteligente ABB Ability™, que convierte los motores tradicionales en dispositivos inteligentes conectados de forma inalámbrica.

El esquema de recogida de datos del sistema WiMon puede configurarse de acuerdo con los requisitos del usuario. Normalmente, cada hora, se almacena un valor agregado del valor cuadrático medio de la velocidad en mm/s y de la temperatura real de la superficie en °C en forma de datos de series temporales. Para realizar un análisis detallado de las vibraciones, cada seis horas se capta la señal en bruto del acelerómetro durante un tiempo de muestra de 700 ms y se computariza una FFT (transformada rápida de Fourier) de la señal en bruto captada. El espectro de frecuencias resultante permite extraer y analizar en profundidad los componentes de la señal de vibración en las frecuencias seleccionadas.

Nivel de arquitectura 2: planta
La red en malla establecida por los sistemas WiMon está conectada a una pasarela Wireless HART. A través de la pasarela, la colección de datos de los sensores se conecta a la red de la planta, poniéndola a disposición para su uso en diferentes análisis a nivel de la planta en general. En la arquitectura realizada, los datos recogidos de señal de los activos se almacenan en el histórico de la planta y se procesan en el servidor en el borde de ABB instalado en la planta.

Nivel de arquitectura 3: plataforma de integración de datos
La plataforma de acceso remoto de ABB permite la transferencia de los datos de señal de los activos a la plataforma de integración de datos. Además de sus notables capacidades de computación, una ventaja importante de esta plataforma es la posibilidad de recoger datos a partir de muchas plantas.

—

Con muchas plantas conectadas, se pueden realizar análisis de datos de flota en la plataforma para comparar y evaluar diferentes ubicaciones y regiones.

Con muchas plantas conectadas, se pueden realizar análisis de datos de flota en la plataforma para comparar y evaluar diferentes ubicaciones y regiones. Se utiliza un algoritmo de supervisión del estado para procesar todos los datos recogidos y permitir el acceso remoto a los resultados analíticos desde diferentes ubicaciones.

Diagnóstico: análisis detrás de indicadores clave de estado
La utilidad de un sistema de supervisión del estado depende de su capacidad para proporcionar información concisa, significativa y práctica a su usuario. Los datos de vibración pueden utilizarse para calcular una serie de métricas que son útiles para que el responsable de mantenimiento identifique las acciones necesarias para evitar un mayor deterioro de los activos. Por ejemplo, un desequilibrio en el equipo rotativo se manifiesta como una mayor vibración en la frecuencia de rotación. En el escenario aquí descrito, los datos del espectro de frecuencias se transfieren a algoritmos patentados desarrollados en ABB para calcular los KCI para los modos de fallo (por ejemplo, fallo de cojinete o cavitación) que podría experimentar la pieza de un equipo →3.

—
03 Ejemplo de espectro de frecuencia de una bomba normal y una bomba dañada.

—
04 Visión general del enfoque de modelización predictiva.

Un KCI es un valor numérico que indica el nivel de severidad del modo de fallo correspondiente observado en el equipo. El siguiente ejemplo de KCI supervisa los problemas que pueden detectarse mediante datos de vibración:

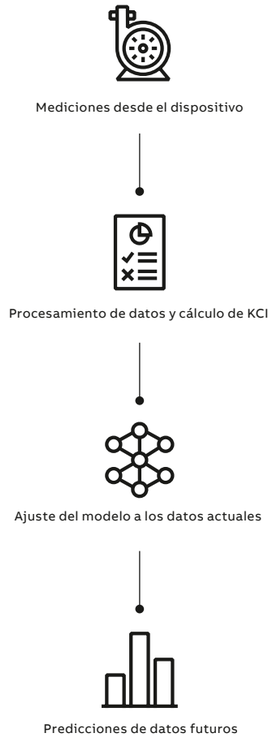
- Problemas en las palas: durante la supervisión de las bombas, ciertos picos en el espectro de frecuencias indican daños en las palas de la bomba. El KCI Problema en las palas refleja cómo de pronunciados son estos picos críticos.
- Turbulencias de flujo: este KCI indica irregularidades en el flujo de líquido que pasa por una bomba. Las turbulencias pueden ser problemas en sí mismas o indicadores de problemas.
- Holgura: el eje central del equipo rotativo suele estar limitado por los cojinetes para que su eje de rotación no fluctúe. Una holgura excesiva, causada normalmente por el desgaste del cojinete, significará que el eje presentará un movimiento vertical y horizontal, que puede dar lugar a mayores daños rápidamente. El KCI Holgura indica si el equipo sufre este problema y en qué medida.
- Desalineación: todos los componentes del equipo rotativo deben estar bien alineados. Sin embargo, los daños durante el transporte o las irregularidades durante el funcionamiento pueden provocar desviaciones de la alineación ideal. Al igual que la holgura, la desalineación puede causar más daños al activo y reducir su rendimiento.
- Desequilibrio: idealmente, los elementos rotativos de un equipo están equilibrados. Esto significa que la masa se distribuye por igual en todas las direcciones. Un ejemplo de desequilibrio sería un trozo de materia adherido a una de las palas de una bomba, que ejercerá una fuerza adicional sobre los cojinetes.
- Cavitación: la cavitación es un conocido problema relacionado con las bombas. Cuando se ejerce fuerza sobre un líquido pueden producirse pequeñas burbujas de baja presión que pueden dar lugar a cambios rápidos de presión. Debido a la presión más alta que las rodea, estas burbujas pueden implosionar y dañar la bomba. El KCI Cavitación detecta la aparición de implosiones relacionadas con la cavitación.

Mantenimiento predictivo: uso del aprendizaje automático para predecir el estado de los activos
Se entrenó un modelo de aprendizaje automático basado en redes neuronales para predecir el estado de salud futuro de los activos. La predicción, o pronóstico, se basa en los KCI y otra información sobre los activos y sus cambios a lo largo del tiempo. Por ejemplo, basándose en valores de KCI pasados Ct-n,..., Ct-1, la red neuronal

—

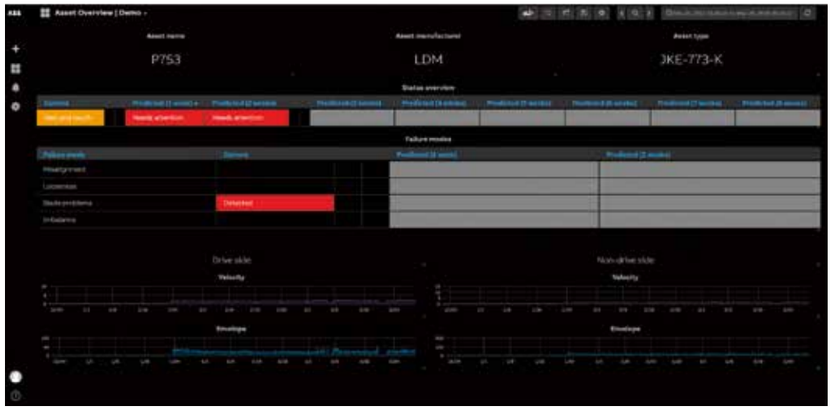
La utilidad de un sistema de supervisión del estado depende de su capacidad para proporcionar información concisa, significativa y práctica a su usuario.

predice los valores futuros Ct+1 y Ct+n, donde n indica la predicción o la ventana «Lookahead». Si el valor pronosticado de un activo supera un umbral, se envía un mensaje al gestor de activos recomendando su inspección →4.



04

05



06

El umbral utilizado para determinar el mal estado de los activos puede establecerse mediante estándares industriales o de forma dirigida por datos, donde se proporcionaría una amplia muestra de valores KCI a un modelo de aprendizaje automático diferente capaz

—

El enfoque de aprendizaje automático de ABB resultó muy eficaz para predecir el deterioro de la salud de los activos, que se detectó aproximadamente en el 90 % de los casos en estos tipos de activos.

de categorizar los datos en distintas clases según estos valores. Independientemente del umbral, el enfoque de aprendizaje automático de ABB resultó muy eficaz a la hora predecir el deterioro de la salud de los activos, que se detectó aproximadamente en el 90 % de los casos en estos tipos de activos (los valores exactos dependieron del KCI utilizado, así como de factores adicionales como el tamaño de la ventana Lookahead).

Escenarios de aplicación

Con la arquitectura descrita más arriba y tomando como base los análisis desarrollados para diagnósticos y pronósticos, se creó un prototipo de solución para los gestores de activos y para el personal responsable del mantenimiento →5,6.

Los resultados del diagnóstico se presentan al usuario final como el estado actual del activo, que puede ser «Mantener en funcionamiento», «Esperar y observar» o «Necesita atención». El estado pronosticado puede ser bien «Mantener en funcionamiento» o «Necesita atención». A continuación, se explican los posibles escenarios que pueden darse y cómo la tecnología desarrollada ayuda al usuario final a aprovecharla →7.

—
05 Panel que muestra la visión general de la flota de activos con el sistema de supervisión del estado.

—
06 Panel con estado del activo seleccionado y visión general del modo de fallo.

—
07 Posibles escenarios, acciones asociadas y beneficios para el cliente.

Escenario 1

Partiendo del escenario trivial en el que el activo funciona normalmente sin que haya ningún daño pronosticado, los estados actual y pronosticado son «Mantener en funcionamiento». No debe realizarse un mantenimiento innecesario basado en el tiempo.

Escenario 2

En este escenario, consideremos que el activo presenta actualmente signos de daños, pero no de un fallo inminente. Así, el campo del estado actual recomienda al usuario que mantenga en funcionamiento el activo y los campos del estado pronosticado para las próximas semanas mostrarían «Necesita atención» y recomendarían una acción. La acción propuesta al usuario es explorar los datos del sensor del activo de forma detallada y adoptar las medidas pertinentes. Los algoritmos de diagnóstico indican cualquier daño -por ejemplo, una desalineación detectada en la vista detallada daría lugar a una recomendación de llevar a cabo un proceso de alineación en lugar de desmontar el activo, lo que centra el esfuerzo exclusivamente en el mantenimiento requerido.

Escenario 3

Aquí consideraremos que el activo presenta actualmente signos de daños significativos, no lo suficientemente graves como para que deba pararse, pero lo suficiente graves como para que su estado se supervise de cerca. Los campos del estado pronosticado para las próximas dos semanas mostrarían «Necesita atención» a modo de recomendación. La acción propuesta al usuario consiste en analizar los datos de los sensores del activo en detalle y adoptar las medidas apropiadas en función de distintos modos de fallo. Los algoritmos de diagnóstico indican cualquier daño ya iniciado. Por ejemplo, la detección de problemas en las palas en la vista detallada daría lugar a una recomendación para realizar un proceso de mantenimiento que podría requerir la desinstalación del activo. Esto ayudaría al gestor de activos a planificar las piezas de repuesto y a coordinar el esfuerzo de mantenimiento para minimizar el tiempo de inactividad.

Escenario 4

Consideremos que el activo presenta actualmente síntomas de un daño considerable que podría alcanzar el nivel de daño significativo en dos semanas o más. Sin embargo, dado que no hay daños devastadores en el estado actual, se aconseja al usuario «Mantener en funcionamiento», pero la predicción basada en datos históricos pasados y actuales sugeriría «Necesita atención» en el campo del estado pronosticado a dos semanas. La acción propuesta consiste en realizar un análisis más detallado de los datos del sensor en forma de informe Fingerprint. Esto ayudaría al gestor de activos a tomar una decisión informada sobre la planificación de cualquier mantenimiento necesario, si procede.

Información y previsión

Del desarrollo del prototipo de esta solución de mantenimiento predictivo surgieron varias ideas importantes:

- La preparación de los datos es un aspecto importante que a menudo se infravalora.
- Cuando se recogen periódicamente nuevos datos en el campo, debe prestarse especial atención a la coherencia de los datos para tener en cuenta casos, por ejemplo, en los que se ha movido o sustituido un sensor.
- Hay retos únicos asociados a la administración y manipulación de datos en tiempo real.

Abordando estos retos, y combinando el conocimiento de dominio con enfoques de aprendizaje automático, ABB pudo ofrecer una solución supervisión del estado fiable y robusta para equipos rotativos no críticos. Los resultados obtenidos al aplicar este enfoque a un caso de cliente real pusieron de manifiesto que podrían predecirse KPI con precisión hasta dos semanas antes. •

Escenario 1

Estado actual	Mantener en funcionamiento
Predicción a 1 semana	Mantener en funcionamiento
Predicción a 2 semanas	Mantener en funcionamiento
Problemas en palas	–
Desalineación	–
Desequilibrio	–

Acción propuesta
No realizar mantenimiento preventivo en el activo indicado

Ventaja
Ahorrar o reducir costes de mantenimiento

Escenario 2

Estado actual	Mantener en funcionamiento
Predicción a 1 semana	Necesita atención
Predicción a 2 semanas	Necesita atención
Problemas en palas	–
Desalineación	Detectado
Desequilibrio	–

Acción propuesta
Consultar los KPI de vista de activos y modo de fallo

Ventaja
Evitar acciones de mantenimiento no deseadas (por ejemplo, retirar la bomba para su reparación, basta con realinear la máquina)

Escenario 3

Estado actual	Esperar y observar
Predicción a 1 semana	Necesita atención
Predicción a 2 semanas	Necesita atención
Problemas en palas	Detectado
Desalineación	–
Desequilibrio	–

Acción propuesta
Consultar los KPI de vista de activos y modo de fallo

Ventaja
Planificar con antelación el mantenimiento relevante y evitar tiempos de inactividad o daños totales

Escenario 4

Estado actual	Mantener en funcionamiento
Predicción a 1 semana	Mantener en funcionamiento
Predicción a 2 semanas	Necesita atención
Problemas en palas	–
Desalineación	–
Desequilibrio	–

Acción propuesta
Solicitar un informe Fingerprint ABB
Informar
Preparar acciones de mantenimiento y personal

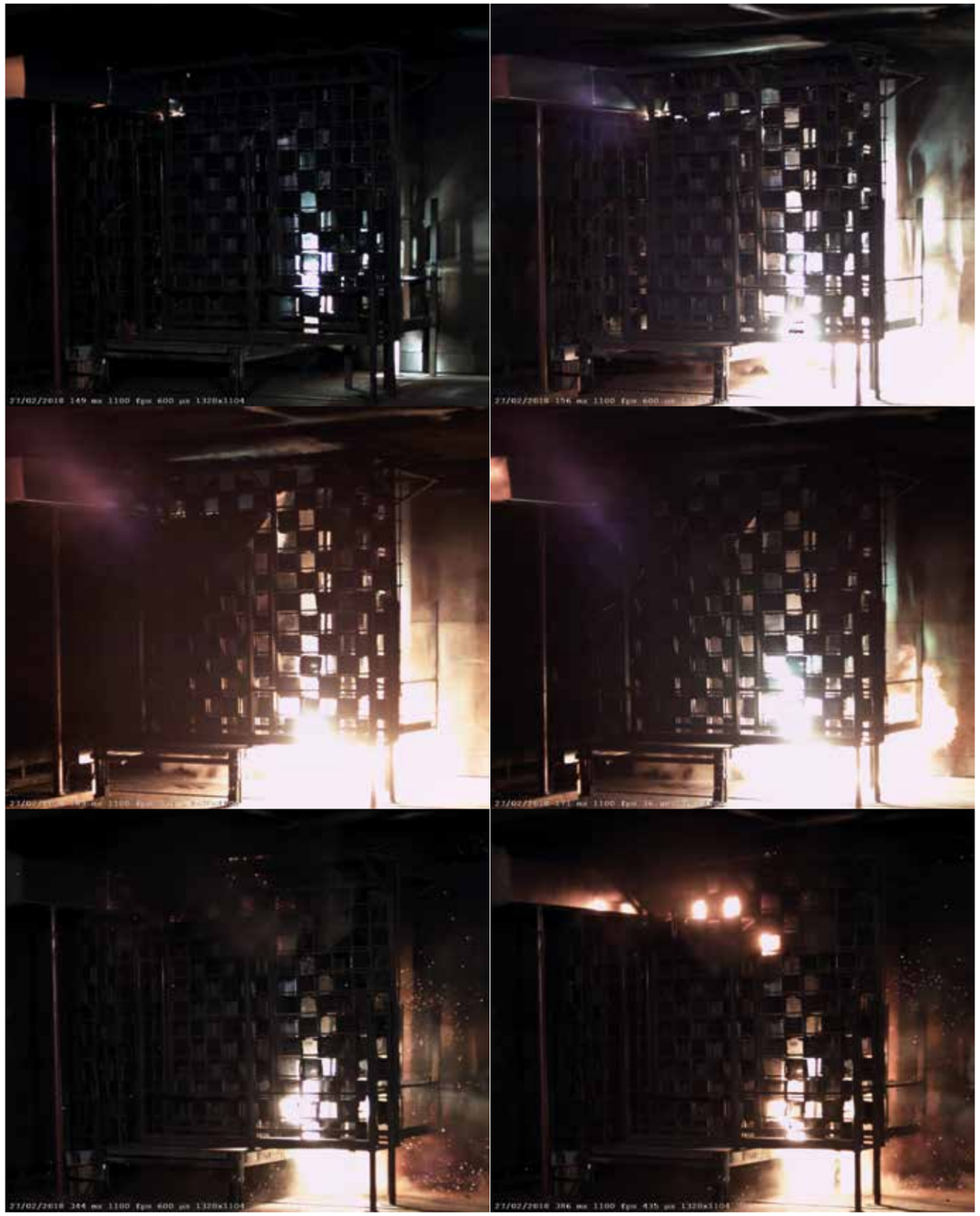
Ventaja
Planificación anticipada del mantenimiento

07

GEMELOS DIGITALES Y SIMULACIONES

Mitigar el impacto de arcos internos

Mitigar el impacto de arcos internos en la aparamenta es un acontecimiento raro pero peligroso. ABB ha lanzado una plataforma de simulación del arco que incorpora tres herramientas de simulación del flujo de gas. Esta plataforma permite evaluar la capacidad de resistencia al arco interno de un producto.



01

— 01 La nueva plataforma de simulación del arco interno de ABB proporciona a los diseñadores las herramientas para minimizar los efectos del arco en la aparamenta.

Los arcos eléctricos involuntarios que se crean entre conductores energizados en los sistemas eléctricos pueden tener mucha energía. Estos arcos pueden crear plasmas con temperaturas muy por encima de los 10 000 °C que impulsan una expansión rápida y violenta del gas, lo que da lugar a una explosión de alta energía →1.

—

Se pueden utilizar simulaciones por ordenador en un prototipo virtual del aumento de la temperatura y la presión para evaluar la capacidad de resistencia al arco interno.

— **Marley Becerra**
Ulf Sand
ABB Corporate Research
Västerås, Suecia

marley.becerra@se.abb.com
ulf.sand@se.abb.com

Jörg Lehmann
ABB Corporate
Baden-Dättwill, Suiza
joerg.lehmann@ch.abb.com

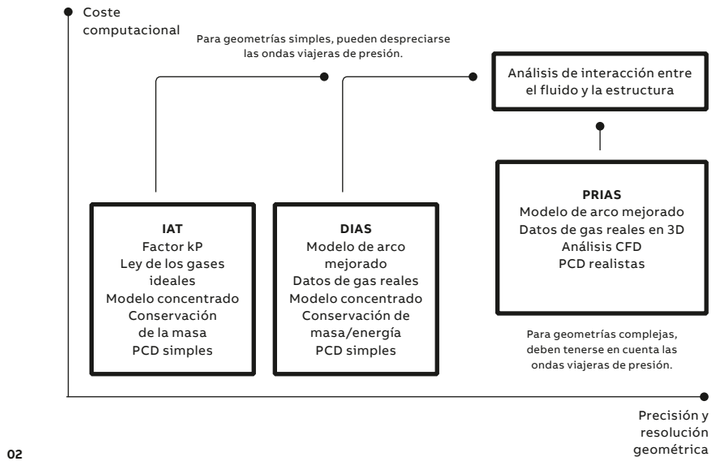
Por ejemplo, un fallo por arco a partir de una corriente de cortocircuito pico de 25 kA que dure un cuarto de segundo libera una energía comparable a la de 2 kg de dinamita [1]. Esta energía explosiva libera esfuerzos (mecánicos y térmicos) que ponen en peligro al personal y dañan gravemente los equipos y las estructuras.

Para mitigar los efectos nocivos de un fallo por arco interno, la onda de presión formada por los gases debe dirigirse a depósitos tampón o al exterior mediante conductos o canales de escape. Además, se utilizan dispositivos de control de presión (PCD) tales como aberturas, mallas metálicas, flaps o discos de ruptura para enfriar el gas, redirigir el flujo y limitar la presión máxima admisible. Los productos diseñados para proteger al personal operativo frente a los fallos por arco interno suelen estar etiquetados como resistentes al arco. Los productos resistentes al arco de ABB se prueban aplicando normas relevantes (como IEC 62271200 e IEEE C37.20.7) para verificar que son capaces de soportar sobrepresiones y liberar gases calientes lejos del personal durante las averías. Sin embargo, las pruebas tipo de estos productos constituyen un esfuerzo muy costoso que lleva mucho tiempo.

Simulación por ordenador de arcos internos

Se pueden utilizar simulaciones por ordenador en un prototipo virtual del aumento de la temperatura y la presión para evaluar la capacidad de resistencia al arco interno de un producto. Una vez validado, este enfoque constituye una herramienta valiosa y rentable para cuando no es viable realizar pruebas, para las primeras etapas de desarrollo del producto o para la validación de cambios en un diseño ya clasificado. Esta simulación también puede utilizarse para identificar regiones de la estructura en las que se producirán presiones por encima de las críticas en caso de arco y para localizar y dimensionar los PCD y los canales/conductos de escape adecuados. Además, estos cálculos pueden proporcionar los datos de entrada (fuerzas) de un análisis mecánico para evaluar posibles daños estructurales por arcos internos y para probar virtualmente un producto.

De acuerdo con CIGRE [1], los procesos físicos de los fallos por arco interno pueden calcularse de distintas formas, utilizando modelos básicos o mejorados o incluso cálculos de dinámica de fluidos computacional (CFD). Todos estos modelos requieren como entrada la corriente y la tensión del fallo por arco, pero difieren en complejidad,



02

potencia predictiva y esfuerzo de simulación. Estas diferencias están relacionadas con las simplificaciones que utilizan en relación con:

- Representación del arco: el fallo por arco interno se representa generalmente como una fuente de calentamiento simple utilizando el factor de ajuste empírico kp. Este factor representa la fracción neta de la energía del arco eléctrico que provoca directamente el aumento de la presión [1]. Alternativamente, el arco puede modelizarse utilizando fuentes de energía y masa que incluyan diferentes procesos físicos (tales como, radiación, vaporización metálica, etc.).
- Propiedades del gas: las propiedades termodinámicas del gas se consideran valores constantes o variables dependientes de la temperatura y la presión utilizando datos reales de gases.
- Geometría: los compartimentos que contienen el gas en el fallo pueden modelizarse como zonas no dimensionales de volumen concentrado o zonas tridimensionales (3D) que corresponden con la geometría real del dispositivo.
- Análisis de flujo: el flujo puede evaluarse mediante la conservación del valor promedio de energía y masa en los volúmenes (despreciando los efectos de las ondas viajeras de presión). También puede resolverse en detalle espacialmente mediante un análisis CFD.
- PCD: los PCD se representan como aberturas simples con un factor de eficiencia de flujo conocido o pueden modelizarse en CFD teniendo en cuenta su resistencia real al flujo (incluyendo también el movimiento de rotación o traslación de los flaps y discos de ruptura).

ABB ha desarrollado tres herramientas con distintos niveles de precisión, resolución geométrica y coste computacional.

Con vistas a satisfacer las necesidades de sus clientes internos y externos, ABB ha desarrollado tres herramientas con distintos niveles de precisión, resolución geométrica y coste computacional. Estas herramientas se conocen como IAT (herramienta de arco interno), DIAS (simulaciones de arco interno basadas en DymoDAT) y PRIAS (aumento de la presión en simulación de arco interno) y sus características generales se muestran en →2. Estas herramientas permiten evaluar el impacto de los fallos por arco interno en un amplio espectro de aplicaciones: desde cálculos rápidos durante licitaciones de aparamentas y subestaciones, pasando por investigaciones de incidentes de arco interno en unidades ya instaladas, hasta el desarrollo de productos.

Herramienta de arco interno IAT

IAT es una herramienta de simulación rápida que utiliza un modelo básico de arco interno con el factor de ajuste empírico kp ya descrito ampliamente en un artículo anterior de ABB Review [2]. IAT se distribuye en forma de fichero ejecutable para su instalación en equipos con Microsoft Windows. Un caso de simulación puede establecerse cumplimentando los cuadros de texto de los datos de entrada de la interfaz gráfica de usuario

02 Descripción general de las herramientas de simulación de arco interno de ABB.

03 Ejemplo de los volúmenes de representación y PCD de conexión en DIAS.

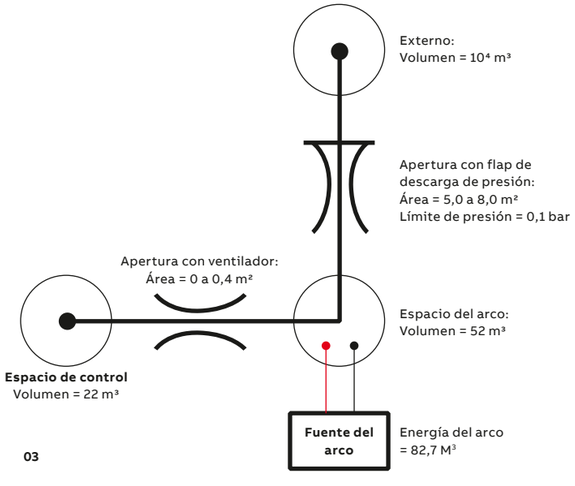
(GUI) de IAT y puede ejecutarse en cualquier ordenador en decenas de segundos. Ha sido validado para fallos por arco interno en aire y en SF_6.

Debido a las simplificaciones utilizadas, existen ciertas limitaciones en cuanto a la precisión y la potencia predictiva de los cálculos de IAT. Pueden producirse algunos problemas de precisión en el caso de temperaturas superiores a 6000 K en aire y a 2000 K en SF_6 [2]. Puesto que los cálculos se basan en volúmenes concentrados, IAT no puede resolver las ondas viajeras de presión en el espacio, por lo que utiliza valores promedios en su lugar. Por lo tanto, tiene limitaciones para evaluar las ondas de presión que viajan por objetos alargados como conductos largos y canales de escape. Tampoco puede resolver el movimiento de los flaps y discos de ruptura.

PRIAS permite la evaluación precisa del flujo, teniendo en cuenta las ondas viajeras de presión.

Simulaciones de arco interno basadas en DIAS DymoDAT

DIAS es una herramienta que proporciona una simulación rápida tomando como base un modelo concentrado mejorado para la conservación de masa y energía. Su núcleo procede de la herramienta interna de ABB DymoDAT para describir la acumulación de presión durante las operaciones del interruptor de alta tensión [3]. El centro de la herramienta es un modelo mejorado de arco desarrollado internamente que incluye modelos físicos de los efectos más importantes, como la erosión en los electrodos. Las reacciones exotérmicas entre el material erosionado en los electrodos y el gas de llenado se tienen en cuenta dentro de un modelo real del gas o plasma [4]. Por consiguiente, no es necesario un factor kp como parámetro de ajuste y se obtiene una descripción válida de las propiedades del gas en una amplia gama de temperaturas y presiones. El flujo de gas entre los distintos compartimentos del dispositivo se aproxima mediante relaciones dinámicas de gas estándar y puede corregirse mediante áreas de flujo reducidas eficazmente. La dinámica de apertura de los flaps y los discos de ruptura se tiene en cuenta estableciendo un tiempo de apertura tras alcanzar una determinada sobrepresión. →3.



03

DIAS requiere la instalación de la plataforma comercial de simulación Dymola, que también proporciona la GUI para introducir los parámetros del modelo y evaluar los resultados. Los tiempos de simulación se sitúan en torno a un segundo usando hardware computacional estándar. Las predicciones de DIAS se han validado para un gran conjunto de fallos por arco interno en SF_6 -y equipos llenos de aire con electrodos de cobre o aluminio.

PRIAS - aumento de la presión en la simulación de arco interno

PRIAS es una herramienta de simulación CFD precisa y compleja destinada a complementar las herramientas IAT y DIAS resolviendo, en tres dimensiones, todos los parámetros de flujo. Permite la evaluación exacta del flujo, teniendo en cuenta las ondas viajeras de presión que no pueden resolverse dentro de una descripción concentrada. ABB ha desarrollado PRIAS como un conjunto de scripts que se ejecutan en el software CFD de terceros ANSYS Fluent en Linux. A diferencia de las demás herramientas, PRIAS requiere una descripción detallada de la geometría analizada y los PCD para generar la malla compatible con CFD que se requiere como entrada. Hasta ahora, las predicciones de PRIAS se han validado para arcos internos solo en aire.

Una simulación con PRIAS debe ejecutarse en un clúster de computadoras de alto rendimiento y suele durar menos de dos días. Sin embargo, el típico flujo de trabajo de la simulación (desde la planificación de una tarea de cálculo hasta su configuración y su ejecución posterior) puede tardar de varios días a varias semanas. Por este motivo, PRIAS se dirige principalmente a simulaciones de última generación en configuraciones complejas en las que los cálculos concentrados no son precisos o suficientes o donde no se conoce previamente

el comportamiento de los PCD. Además, se recomienda PRIAS para simulaciones en estructuras que contienen partes alargadas (como conductos o canales de escape) o estructuras grandes con varios PCD instalados en la periferia, en las que debe tenerse en cuenta el efecto de las ondas viajeras de presión. En estos casos, PRIAS también puede utilizarse para la simulación más complicada de la interacción fluido-estructura necesaria para evaluar los daños mecánicos por arcos internos. En →4 se ilustra un ejemplo de la simulación PRIAS para aparamenta de media tensión aislada en aire, incluidos los discos de ruptura con movimiento dinámico.

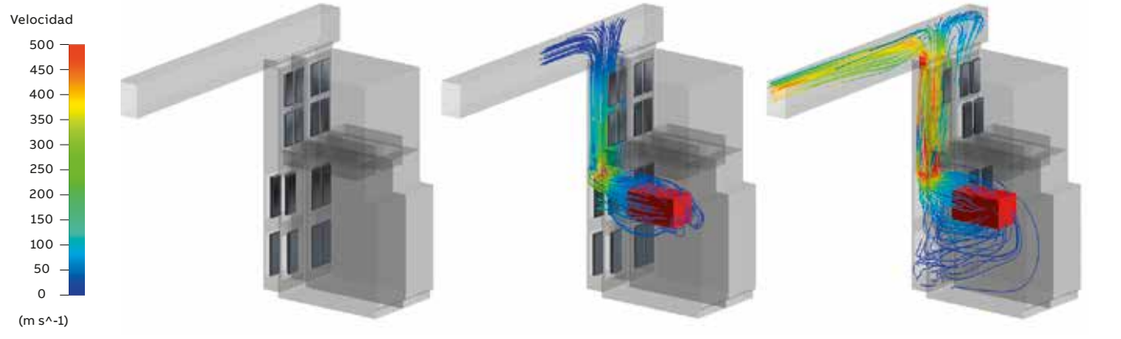
Plataforma de simulación de arco interno de ABB
Para disponer de una plataforma común en todo ABB para el desarrollo, archivo y uso de las herramientas de simulación de arco, se ha creado un sitio interno de SharePoint de ABB. La plataforma también permite la coordinación de actividades de desarrollo entre los proveedores de servicios y los equipos de desarrollo de software. La plataforma del sitio está administrada por especialistas en simulación de arco.

Un ejemplo de aplicación: Alba PL6.
En 2016, se puso en marcha una investigación detallada de la acumulación de presión y del impacto estructural de un fallo por arco en el contenedor de rectificador Alba PL6. La investigación consistió en encontrar un diseño mejorado que incluyera las especificaciones y el posicionamiento de los PCD. El objetivo principal era conseguir un diseño estructural óptimo para un contenedor de rectificador protegido contra arcos que permitiera un alivio efectivo de la presión hacia el exterior.

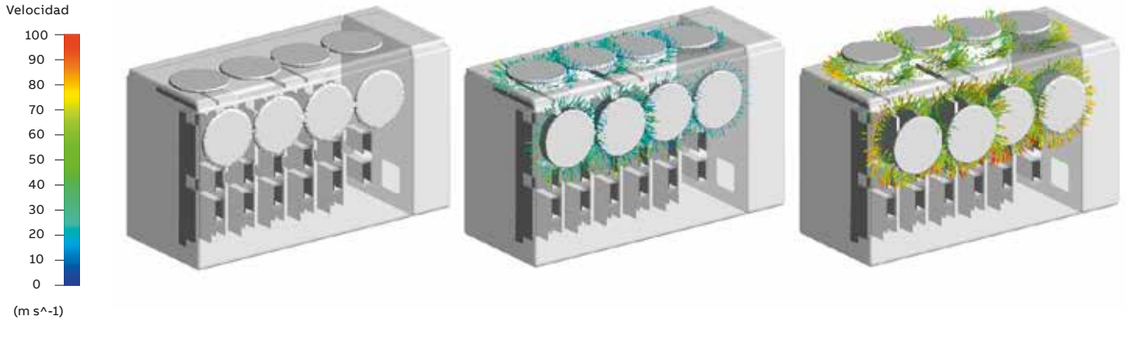
La investigación se llevó a cabo por etapas, utilizando inicialmente DIAS para determinar de forma aproximada las áreas generales de apertura de los flaps de descarga de la presión, sin incluir detalles geométricos ni aspectos del flujo en el contenedor de rectificador.

—

La experiencia de campo ha demostrado que las sobrepresiones calculadas se aproximan mucho a los valores medidos durante una prueba de arco interno en el mismo objeto.



04



05

—
Referencias

[1] CIGRE WG A3.24, "Tools for simulation of the internal arc effects in HV and MV switchgear," Electra, 2015.

[2] E. Dullni et al., "Feeling the pressure: Simulating pressure rise in switchgear installation rooms," ABB Review, 3/2013, pp. 54-59.

[3] J. Lehmann et al., "A Modelica library for High-Voltage AC Circuit-Breaker Modeling," Proceedings of the 7th International Modelica Conference, Como, September 20-22, 2009, pp. 855-860.

[4] C. Doiron and K. Hencken, "Calculation of thermodynamic and transport properties of thermal plasmas based on the Cantera software toolkit," Proceedings of the XXII Europhysics Conference on Atomic and Molecular Physics of Ionized Gases, Greifswald, July 15-19, 2014.

Una vez finalizadas las simulaciones con DIAS, la tarea se centró en hacer cálculos con PRIAS conforme a las condiciones detalladas del flujo y la presión de los espacios de arco y servicio dentro del rectificador.

Utilizando estos cálculos, se estableció el número de flaps de descarga de presión y su ubicación, minimizando las sobrepresiones generadas →5.

En la siguiente etapa, se utilizaron la presión y las fuerzas en las paredes y superficies estimadas por PRIAS para evaluar la integridad estructural del sistema mediante simulaciones 3D por elementos finitos (se utilizó el paquete de software de análisis por elementos finitos ABAQUS). Se investigó la respuesta estructural del fallo por arco en términos de desplazamiento de la pared, deformaciones plásticas, esfuerzos en las soldaduras y fuerza en las juntas →6.

Rentable y rápido
Si bien el arco interno es un acontecimiento raro, sus efectos pueden ser devastadores, incluso fatales. Las herramientas de simulación analizadas aquí ofrecen un medio eficaz para diseñar recintos eléctricos propensos al arco interno de forma que se reducen masivamente los efectos perjudiciales de estos acontecimientos. Las herramientas se han utilizado, entre otras cosas, en un nuevo proceso de diseño eficiente para dimensionar un contenedor de rectificador y un dispositivo de alivio de la presión. Asimismo, la experiencia de campo ha demostrado que las sobrepresiones calculadas se aproximan mucho a los valores medidos durante una prueba de arco interno en el mismo objeto. La plataforma ofrece también un enfoque muy rentable: en uno de los casos, se pudo simular el aumento de la presión dentro de una unidad presurizada en arco interno a un coste veinte veces menor que el de las pruebas físicas.

—

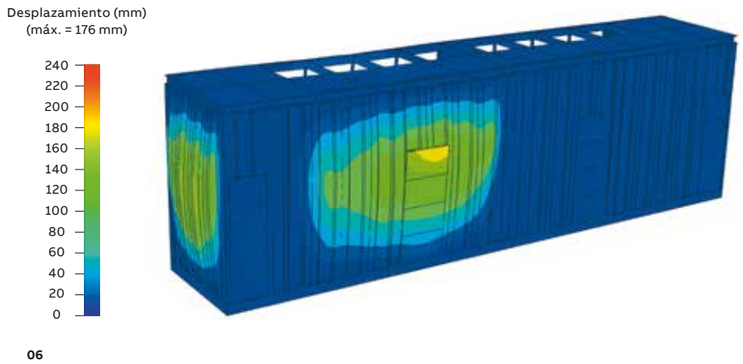
En uno de los casos, se pudo simular el aumento de la presión dentro de una unidad presurizada en arco interno a un coste veinte veces menor que el de las pruebas físicas.

La plataforma puede acortar radicalmente los plazos de desarrollo. En uno de los ejemplos, apoyó la toma de decisión entre un rediseño completo o una mejora del diseño existente, ahorrando así cientos de miles de dólares. Además, la plataforma ofrece una forma de demostrar al cliente la eficacia del diseño específico de un armario, contenedor o sala en muy poco tiempo. •

—
04 Líneas de velocidad simuladas por PRIAS para la aparamenta en tres etapas temporales diferentes.

—
05 Simulación detallada de PRIAS de los flaps de descarga de la presión del rectificador en tres momentos diferentes.

—
06 Desplazamiento estructural simulado a la presión pico inducida por un fallo por arco, tomando como base la distribución de la presión de PRIAS (media de superficie).



06

Productividad

El diseño a medida es el enemigo natural de la eficiencia y la fiabilidad, ya que no hay un historial que permita informar las expectativas futuras. Sin embargo, los procesos modulares pueden hacer las veces de sólidos componentes básicos, ofreciendo a los ingenieros herramientas que reducen drásticamente el tiempo y la variabilidad que conlleva el diseño de procesos, especialmente los aplicables a los sistemas auto-matizados. ABB aboga por este desarrollo.

72 Ingeniería de módulos de proceso

PLANTAS DE PROCESO MODULARES: PARTE 1

Ingeniería de módulos de proceso

ABB forma parte de un consorcio industrial/académico que desarrolla conceptos para automatizar las plantas de proceso modulares. En este artículo se analiza la arquitectura orientada a funciones, a diferencia de la tradicional basada en etiquetas, de las plantas modulares. Describiremos las aplicaciones piloto en un artículo complementario en una ABB Review próxima.

01

—
01 Las plantas de proceso modernas son empresas complejas que requieren nuevos conceptos de ingeniería y funcionamiento. Un enfoque de automatización de procesos que permita la automatización modular supera muchos de los retos de las plantas de procesos.

—
02 Flujo de trabajo de ingeniería de las plantas de proceso modulares [1].

—
03 Arquitectura del sistema de automatización modular de ABB.

—
Katharina Stark
Mario Hoernicke
ABB Corporate Research
Ladenburg, Alemania

katharina.stark@de.abb.com
mario.hoernicke@de.abb.com

Axel Haller
ABB Automation GmbH
Industrial Automation,
Mannheim, Alemania

axel.haller@de.abb.com

Ralf Jeske
ABB Automation GmbH
Industrial Automation
Minden, Alemania

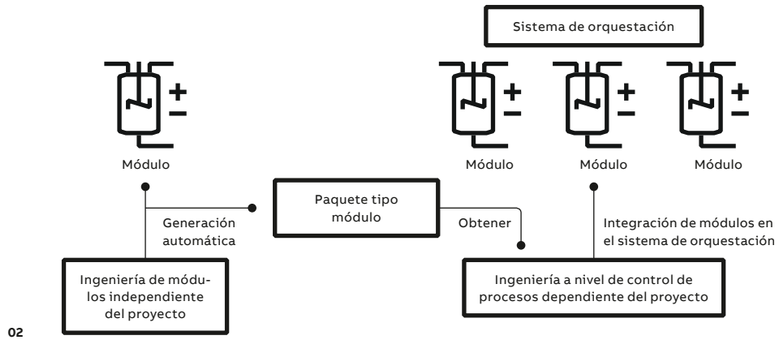
ralf.jeske@de.abb.com

Henry Bloch
Alexander Fay
Universidad Helmut-Schmidt de Hamburgo
Hamburgo, Alemania

Alexander Wittenbrink
Invite GmbH
Leverkusen, Alemania

Torsten Knohl
Bayer AG
Leverkusen, Alemania

Stephan Hensel
Leon Urbas
Anna Menschner
Universidad Técnica de Dresde
Dresde, Alemania



02

Desde 2014, ABB, Bayer, la Universidad Técnica de Dresde, INVITE (asociación público-privada de TU Dortmund y Bayer Technology Services GmbH) y la Universidad Helmut-Schmidt de Hamburgo →5 han trabajado juntos en conceptos para automatizar las plantas de proceso modulares.

A diferencia de las plantas tradicionales, las plantas modulares no se montan utilizando ingeniería basada en etiquetas, sino que siguen un enfoque orientado a funciones, comparable a los conceptos del desarrollo de software orientados a objetos o a servicios →1. Esta nueva arquitectura de sistema de automatización requiere nuevos conceptos de ingeniería y funcionamiento.

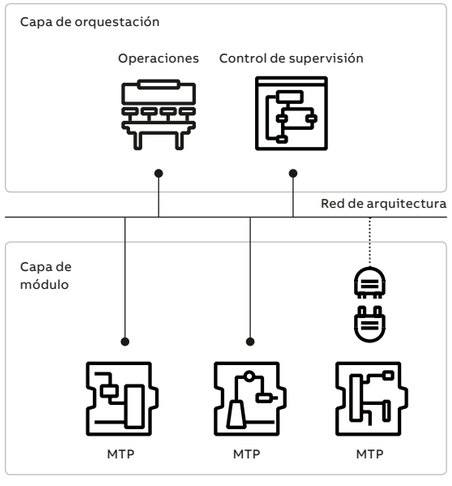
—

La modularización de las plantas de proceso se ve como una forma prometedora de resolver los requisitos futuros.

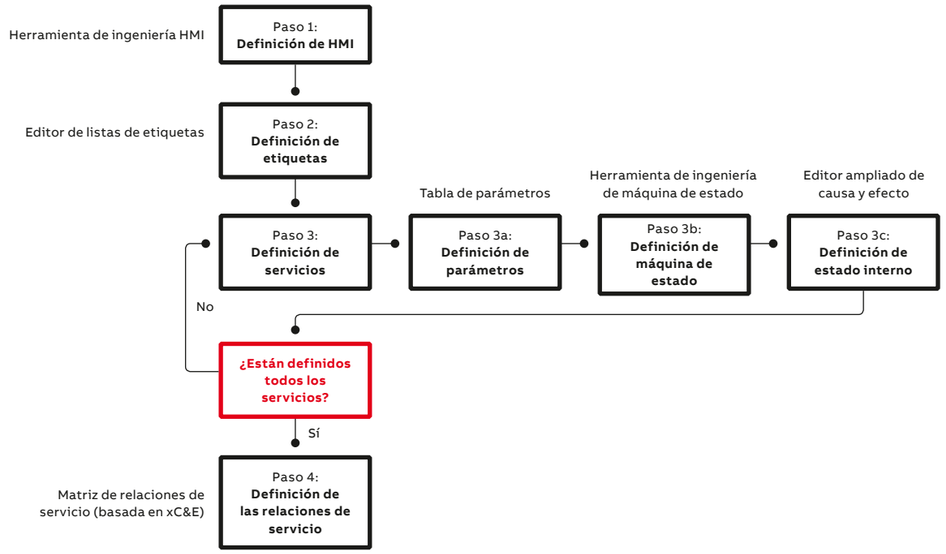
Para ayudar a su suministro, este proyecto se ha centrado en una solución de automatización de procesos que permite la automatización modular. Este artículo describe las plantas de proceso modulares y mostrará los resultados de la investigación realizada en este contexto. Las aplicaciones piloto se describirán en un artículo complementario, que se publicará en una futura edición de la Revista ABB.

Acerca de las plantas de proceso modulares
La modularización de las plantas de proceso se ve como una forma prometedora de resolver los requisitos futuros de las industrias de proceso, como la mejora de la flexibilidad y la interoperabilidad entre los activos de las plantas. Por este motivo, se han creado varios grupos de trabajo dentro de la asociación alemana de usuarios de tecnología de automatización en industrias de procesos (NAMUR) para trabajar conjuntamente con ZVEI (asociación alemana de proveedores de tecnología de automatización) a fin de crear requisitos y conceptos para la automatización de las plantas modulares. El resultado esperado es una definición de una interfaz de módulo de proceso, el denominado paquete de tipo de módulo (MTP), que permita la perfecta integración de los módulos de proceso en un sistema de orquestación [1] →2.

Dentro del MTP se especifican las interfaces de automatización necesarias para la comunicación entre el sistema de automatización de los módulos y el sistema de orquestación subyacente. El MTP sirve para identificar la funcionalidad y las interfaces de comunicación de un sistema de automatización modular y, por lo tanto, es la clave del bajo esfuerzo de ingeniería de automatización que prometen las arquitecturas de las plantas modulares.



03



04

Alcance del proyecto de investigación
Cada socio era responsable de una parte específica del proyecto: las universidades seleccionaron las tecnologías útiles y desarrollaron conceptos; basándose en estos conceptos, ABB desarrolló a continuación el prototipo, integrándolo en el panorama de herramientas de ABB, empleando el sistema de automatización extendida 800xA de ABB y el DCS (sistema de control distribuido) Freelance de ABB En colaboración con INVITE, a continuación se utilizó el prototipo para ejecutar un piloto basado en una planta de Bayer para demostrar que los conceptos generales se ajustan a los requisitos dados.

—

Al controlar los servicios en el orden correcto, los módulos integrados trabajarán juntos y cumplirán los requisitos de la planta específica.

El prototipo dio lugar a un producto que puede utilizarse en un sistema de automatización modular [2]. La base facilitada a los grupos de trabajo de NAMUR, ZVEI y VDI/VDE dio lugar a la especificación de una norma (la 2658 VDI/VDE/ NAMUR «Automation Engineering of Modular Systems in Process Industry») que especifica el MTP.

Capas de automatización modular
Un sistema de automatización modular tiene dos capas: la capa de módulo, que es un pequeño controlador que ejecuta la lógica de un módulo de proceso único, y la capa de orquestación, que integra los módulos de proceso para combinarlos en una planta de proceso. Para cada capa se han elegido diferentes sistemas de automatización. Las capas están conectadas por una red →3.

Una especialidad de las plantas de proceso modulares, en comparación con las plantas convencionales, es que los módulos no están orquestados en base a etiquetas. Cada módulo proporciona un conjunto de funciones de proceso encapsuladas, denominadas servicios, que se pueden orquestar desde un sistema de control de supervisión. Cada servicio describe una función del proceso, como mezclar, templar o calentar. Al controlar los servicios en el orden correcto, los módulos integrados trabajarán juntos y cumplirán los requisitos de la planta específica.

La ingeniería también se hace de manera diferente. En primer lugar, se diseñan los tipos de módulos. Estas descripciones de los tipos de módulos pueden integrarse posteriormente en el sistema de supervisión; pueden crearse instancias. Al reutilizar módulos del mismo tipo, el esfuerzo de ingeniería de la planta puede reducirse de manera espectacular →6.

—
04 Flujo de trabajo de ingeniería propuesto para un módulo.

—
05 La Universidad Helmut Schmidt de Hamburgo, Alemania, es uno de los socios que trabajan con ABB en conceptos de automatización de plantas de procesos modulares. (Foto cortesía de la Universidad Helmut Schmidt).

—
06 Al reutilizar módulos del mismo tipo, el esfuerzo de ingeniería asociado a la automatización de plantas como la aquí mostrada puede reducirse de manera espectacular.

05

06

El MTP facilita la integración de los módulos. Aunque la aplicación piloto solo utiliza componentes de ABB, sería posible integrar módulos de terceros. El sistema cumple íntegramente con VDI/VDE/ NAMUR2658 parte 1-3 [3-5].

La comunicación entre la capa de módulo y la capa de orquestación se realiza mediante OPC UA. Cada módulo cuenta con un servidor OPC UA que expone los servicios y etiquetas del módulo al sistema de control de supervisión.

—

Al reutilizar módulos del mismo tipo, el esfuerzo de ingeniería de la planta puede reducirse de manera espectacular.

El sistema de control de supervisión es un cliente OPC UA que se conecta a los servidores OPC UA de los módulos y los utiliza para comunicar los comandos necesarios al módulo.

En el caso de la capa de módulo, donde normalmente solo hay que controlar unas cuantas E/S, puede recurrirse a un sistema de automatización más pequeño, como, por ejemplo, un controlador Freelance AC700F o la familia B&R X20.

Para la capa de orquestación, se ha elegido el sistema 800xA. En una primera etapa, el sistema 800xA se utiliza para la visualización y el control de supervisión de la planta modular. Cuando la especificación del MTP está más desarrollada, el sistema 800xA permite añadir fácilmente las nuevas prestaciones (como gestión de alarmas y eventos, información y gestión del historial).

Capa de módulo
La capa de módulo representa las funciones que la planta de procesos necesita para cumplir su objetivo. La capa de módulo se monta a partir de los tipos de módulos necesarios, que puede elegir el ingeniero.

En una primera etapa de ingeniería, deben diseñarse los módulos. La ingeniería de los tipos de módulos está basada en la norma [3-6] y es neutral con respecto a proveedores. Posteriormente, una vez concluida la ingeniería, se elige el sistema de automatización necesario.

Ingeniería de los tipos de módulos
La ingeniería de los tipos de módulos ha sido diseñada para adaptarse a los diferentes aspectos descritos en el MTP. En la actualidad, los aspectos que ya están (parcialmente) definidos en la comunidad son:

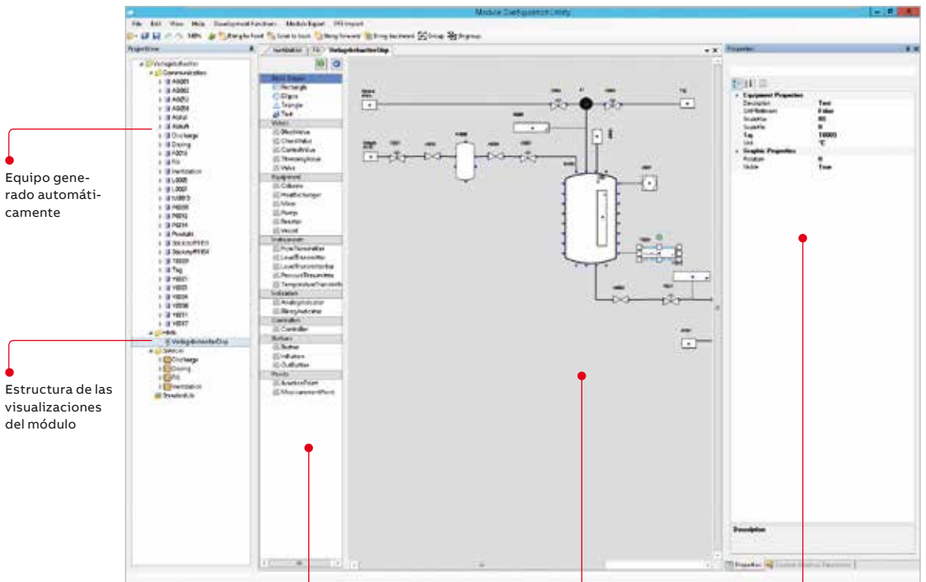
- Definición de la comunicación con un módulo [3]
- Definición de las HMI (interfaces hombre-máquina) de los módulos [4]
- Definición de las etiquetas de los módulos [5]
- Definición de los servicios de los módulos [6]

En el futuro, la norma incluirá otros aspectos, como la gestión de alarmas y la seguridad, que actualmente no están definidos. No obstante, los conceptos generales también deberían ser válidos para esos aspectos.

Para el proceso de ingeniería de los tipos de módulos, se propone un enfoque descendente de cuatro pasos →4. A diferencia de la ingeniería de las plantas convencionales, primero se diseña técnicamente la HMI.

En el futuro, la norma incluirá otros aspectos, como la gestión de alarmas y la seguridad, que actualmente no están definidos.

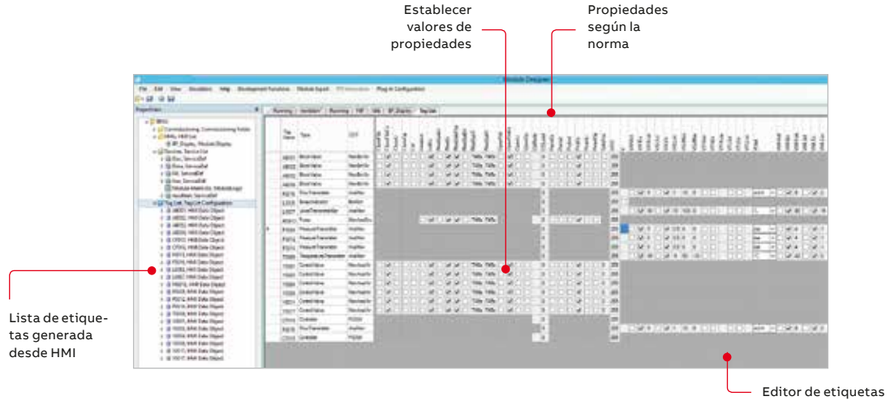
La HMI consta de símbolos y líneas que visualizan el equipo y el flujo de procesos →7. Al definir los símbolos y darles un nombre de etiqueta, se genera automáticamente la lista de etiquetas con el equipo de proceso utilizado. Una vez creada la HMI, la lista de etiquetas contiene todas las etiquetas necesarias y pueden diseñarse los parámetros de la etiqueta →8. Esto se hace dentro de un editor de listas de etiquetas, similar a una lista de etiquetas de una planta convencional.



07

07 Editor de HMI para un módulo.

08 Editor de etiquetas para un módulo.



08

Referencias

[1] Jens Bernshausen et al., "NAMUR Module Type Package – Definition," atp edition, 58 (1-2), pp.72-81, 2016.

[2] ABB launches world's first commercial modular enabled process automation solution." Available: https://new.abb.com/news/detail/5035/abb-launches-worlds-first-commercial-modular-enabled-process-automation-solution

[3] VDI, The Association of German Engineers, "VDI/VDE/NAMUR 2658: Automation Engineering of modular systems in the process industry. Part 1: General concept and interfaces," January 2018.

[4] VDI, The Association of German Engineers, "VDI/VDE/NAMUR 2658 (Draft): Automation Engineering of modular systems in the process industry. Part 2: Modelling of HMIs."

[5] VDI, The Association of German Engineers, "VDI/VDE/NAMUR 2658 (Draft): Automation Engineering of modular systems in the process industry. Part 3: Base library."

[6] VDI, The Association of German Engineers, "VDI/VDE/NAMUR 2658 (Draft): Automation Engineering of modular systems in the process industry. Part 4: Services."

En el tercer paso, se diseñan los servicios del tipo de módulo. Cada servicio se utiliza para cumplir una función de proceso del módulo. Un módulo puede tener uno solo o varios servicios para completar sus pasos del proceso o una parte de un paso del proceso.

Utilizando este método, se genera un software totalmente funcional para el sistema de automatización sin ningún esfuerzo manual.

Tomando como base la información diseñada para un tipo de módulo, la lógica de automatización del sistema objetivo (en este caso, Freelance) y el paquete de tipo de módulo pueden generarse automáticamente con la herramienta.

En el caso de Freelance, se generan varios fragmentos de código que pueden importarse a un proyecto Freelance y descargarse inmediatamente en un controlador.

A partir de la definición del servicio, puede generarse la lógica de automatización de Freelance. Para cada servicio, se fabrica una máquina de estado que implementa los estados definidos en el editor. Para definir la lógica que debe ejecutarse en cada estado, puede utilizarse un editor de causa y efecto ampliado (xC&E) para diseñar el comportamiento del servicio. La lógica de estado se genera automáticamente y puede ejecutarse inmediatamente después de la importación, sin ningún otro esfuerzo manual. Puesto que la HMI del módulo se muestra en la capa de orquestación del proceso (POL), no es necesario generar una HMI para el sistema de automatización de módulos. El sistema de automatización de módulos consiste únicamente en el control de los equipos y servicios.

Utilizando este método, se genera un software totalmente funcional para el sistema de automatización sin ningún esfuerzo manual.

El futuro de la automatización modular
Las técnicas aquí presentadas para automatizar plantas de proceso modulares reducen drásticamente el esfuerzo de ingeniería. El proyecto ha aportado una valiosa información para la normalización de los MTP y los productos de software resultantes del proyecto facilitarán aún más la aplicación de este enfoque en plantas de proceso modulares en secciones más amplias del sector. Las investigaciones futuras explorarán otros aspectos de los sistemas modulares de automatización, tales como la gestión de alarmas, la gestión del historial, el control avanzado de procesos, la comunicación entre módulos, la gestión de cambios y la simulación y pruebas de las plantas modulares. Estos temas conformarán el futuro de la industria de procesos. •

DESMITIFICACIÓN DE TÉRMINOS TÉCNICOS

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

La octava entrega de Desmitificación de términos técnicos de ABB Review aclara conceptos y explica la computación en la nube, en el borde y en la niebla y su relación con ABB Ability™.

Christopher Ganz
Group Technology Management
Zúrich, Suiza

christopher.ganz@ch.abb.com

Hace mucho tiempo, la mayor parte de la computación industrial se realizaba en infraestructuras de computación locales del proceso en cuestión. Esto requería que los dispositivos relevantes, tales como robots, controladores de automatización y sensores, dispusieran de una importante potencia de computación incorporada. Con la llegada de la nube, las capacidades computacionales pudieron ubicarse en centros de datos de alto rendimiento y reducir los requisitos locales. Esta migración también fue impulsada por la mayor movilidad de los dispositivos de computación locales, como smartphones o tablets, y su menor capacidad para almacenar y procesar datos.

> La plataforma digital ABB Ability ofrece la capacidad de implementar complejas ofertas de digitalización en el borde.

Sin embargo, desplazar masivamente datos del front end a la nube y procesarlos no siempre es bueno. Existen, por ejemplo, problemas de latencia: los sensores de proceso a menudo controlan actuadores que tienen que reaccionar rápidamente para mantener el proceso en marcha. Además, es preferible que cualquier cosa que sea necesaria para mantener la seguridad y estabilidad de un proceso se ejecute en sus proximidades. Otro factor es el ancho de banda que ocupan las grandes transferencias de datos.

La privacidad de los datos también puede ser un motivo para dejar los datos donde están.

Estas consideraciones han dado lugar al término «computación en el borde», haciendo referencia al borde de la nube. ¿No es entonces la computación en el borde lo mismo que era la computación antes de que apareciera la nube? La respuesta es «no»: el borde es la computación local en el contexto de un entorno en la nube →1.

ABB Ability
Como elemento central de la estrategia digital de ABB, la plataforma ABB Ability abarca todos los componentes digitales, desde el dispositivo hasta el sistema de automatización, pasando por el software a nivel de planta y empresa, hasta la nube. La plataforma digital ABB Ability proporciona la capacidad de implantar complejas ofertas de digitalización en el borde, utilizando las ofertas de automatización de ABB, y combinarlas con la optimización a nivel de planta. ABB Ability también permite la conectividad de estas ofertas en la nube para permitir una colaboración a gran escala en todo el ecosistema del cliente.

01

— 01 En el Hannover Messe de 2017, B&R (una empresa de ABB) presentó su Orange Box, un dispositivo en el borde. Orange Box permite a los operadores de máquinas recoger y analizar datos de líneas y máquinas previamente aisladas y prepararlos para la fábrica inteligente con un esfuerzo mínimo. El controlador recoge los datos operativos de cualquier máquina a través de sus canales de E/S o de una conexión bus de campo. A partir de estos datos, los denominados mapps generan y muestran calificaciones OEE (eficacia general de los equipos) y otros KPI, y también pueden compartir la información con sistemas de niveles superiores a través de OPC UA.

Ventajas de la nube
A veces, el uso del borde frente a la nube es una decisión de diseño. La escalabilidad es un factor determinante: la nube tiene ventajas en cuanto a infraestructura, instalaciones de plataformas o suministro de software como servicio (SaaS). Los recursos computacionales pueden estar disponibles de forma dinámica, algo ideal cuando las necesidades de computación varían mucho. La colaboración constituye otro factor, por ejemplo, en los casos en los que hay que compartir datos entre organizaciones.

La combinación de la funcionalidad «como servicio» a nivel de la nube con una instalación en el borde in situ puede aportar las ventajas de la nube a la planta. Esto también permite un modelo de negocio «como servicio» basado en la nube para los componentes en el borde. Por ejemplo, los KPI (indicadores clave de rendimiento) de benchmarking pueden calcularse en el borde, realizando el análisis, la comparación y la visualización en la nube. Un cliente proporciona los datos y recibe los resultados del benchmarking como un servicio. El análisis y la optimización pueden seguir un esquema similar.

Computación en la niebla
Algunas tareas pueden realizarse tanto en la nube como en el borde. En estos casos, la portabilidad completa del software entre la nube y el borde es un requisito previo. La funcionalidad del software puede ofrecerse en la nube o in situ. Esta dualidad requiere que la infraestructura in situ sea una nube en el borde, esta disposición a veces recibe el nombre de «computación en la niebla». ¿Todo claro? •

Foto Fig. 01: MediProduction, istockphoto.com; parte inferior página 79: Franck-Noston, istockphoto.com

Consejo editorial

Consejo de redacción

Bazmi Husain
Chief Technology Officer
Group R&D and Technology

Adrienne Williams
Senior Sustainability Advisor

Christoph Sieder
Head of Corporate Communications

Reiner Schoenrock
Technology and Innovation

Roland Weiss
R&D Strategy Manager
Group R&D and Technology

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

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

ABB Switzerland Ltd.
ABB Review
Segelhofstrasse 1K
CH-5405 Baden-Daettwi
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 ©2019 ABB Switzerland Ltd.
Baden, Suiza

Imprenta
Vorarlberger Verlagsanstalt GmbH
685G Dornbirn, Austria

Diseño
Publik. Agentur für Kommunikation GmbH
Ludwigshafen/Alemania

Ilustraciones
Konica Minolta Marketing Services
Londres
Reino Unido

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

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

ISSN: 1013-3119

abb.com/abbreview

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

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.

Colocar aquí la etiqueta con la dirección

Próximo número 03/2019

Sistemas autónomos

A menudo parece como si el futuro llegara primero a la fábrica, pero a trompicones, no como una verdad única y revelada. El IoT, la Industria 4.0, la nube, la producción autónoma, la computación en el borde, el aprendizaje automático y la inteligencia artificial, por su parte, prometen mejoras futuras. El próximo número de ABB Review explorará las oportunidades en tiempo real que integran e implementan estas tecnologías.

Foto: MF3d, istockphoto.com