

ABB

4 | 14  
es

# review



**Subestaciones más inteligentes** 6

Control Volt/var 23

**Microrredes** 54

Almacenamiento de energía 61

La revista técnica  
corporativa

## Energía para la red digital

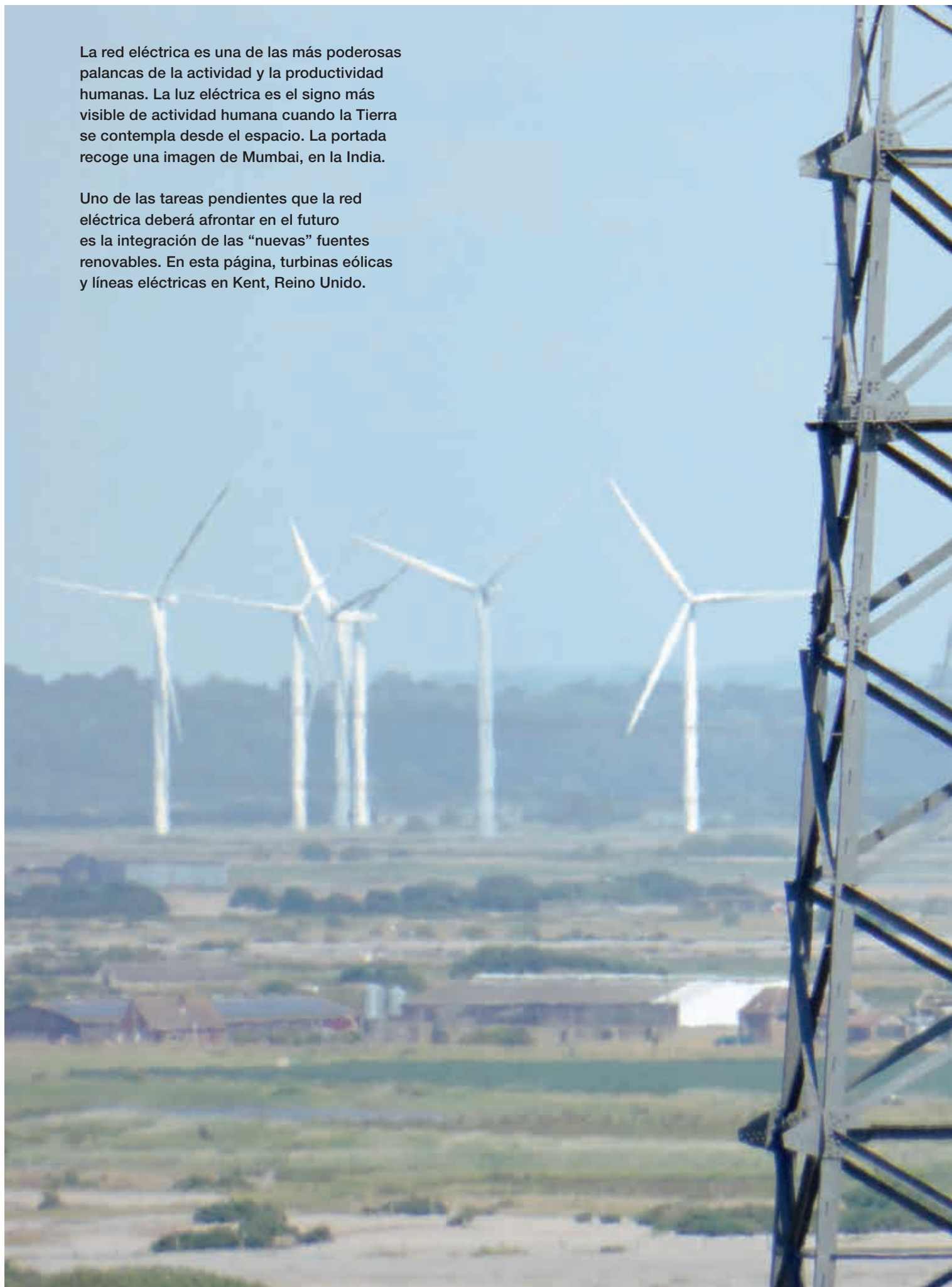


Power and productivity  
for a better world™



La red eléctrica es una de las más poderosas palancas de la actividad y la productividad humanas. La luz eléctrica es el signo más visible de actividad humana cuando la Tierra se contempla desde el espacio. La portada recoge una imagen de Mumbai, en la India.

Uno de las tareas pendientes que la red eléctrica deberá afrontar en el futuro es la integración de las “nuevas” fuentes renovables. En esta página, turbinas eólicas y líneas eléctricas en Kent, Reino Unido.



---

# Transporte

- 6 Actualización de subestaciones digitales**  
Una red más inteligente necesita subestaciones más inteligentes, y han de ser digitales
- 11 Información anticipada**  
Gestión de redes más cerca de sus límites anticipándose a los fallos

---

# Distribución

- 17 Sin cortes**  
Abordar las averías con inteligencia disminuye los cortes de suministro
- 23 Equilibrio de poder**  
El control volt/var mejora la eficiencia de la red
- 29 Distribución más inteligente**  
Cómo aumentar la capacidad de las redes de distribución para incluir una generación distribuida

---

# Consumo y comunicaciones

- 34 Sitio activo**  
Active Site de ABB optimiza la conectividad entre las microrredes y la macrorred
- 40 Ninguna red es una isla**  
Tecnologías de comunicación para redes más inteligentes

---

# Innovación

- 46 El comienzo de una nueva época**  
Historia breve del suministro eléctrico
- 54 Microrredes**  
Integración de microrredes con tecnologías de ABB
- 61 Gestión de recursos**  
Arquitectura punto a punto para el almacenamiento de energía en la red
- 66 Enchufado**  
Análisis de la rentabilidad de la reducción de emisiones con conexión eléctrica de muelle a buque
- 70 Una nueva era**  
ABB está trabajando con destacadas iniciativas del sector para contribuir al comienzo de una nueva revolución industrial
- 76 Mejor sobre ruedas**  
Un robot experto con ruedas ofrece ayuda a distancia

---

# Índice de 2014

- 81 Índice de 2014**  
Resumen del año



# Energía para la red digital



Claes Ryttoft

## Estimado lector:

La electricidad está en todas partes. Tanto en casa como en el trabajo, en las ciudades de actividad más frenética o en los rincones más apartados, la electricidad, directa o indirectamente, nos facilita casi todo lo que hacemos. En muchos aspectos, la electricidad es un medio ideal de transporte y entrega de energía, controlable, seguro, económico, eficiente y casi invisible. El transporte y la distribución de electricidad es uno de los principales pilares de la actividad de ABB desde sus principios, y la empresa siempre ha estado a la vanguardia de las nuevas tecnologías.

Lejos de acercarse a su meta en términos de evolución, todo el sistema eléctrico está experimentando cambios a una escala nunca vista desde su creación. Tradicionalmente, unas pocas centrales eléctricas suministraban electricidad a lugares de consumo próximos. La generación estaba determinada por la demanda, y la electricidad fluía esencialmente en un sentido. Hoy asistimos al rápido crecimiento de las energías renovables, como la eólica y la solar, que, por su propia naturaleza, son fluctuantes en cuanto a la producción. Además, tanto la generación como el almacenamiento están repartidos por miles de puntos, y a menudo integrados en centros de consumo. Por tanto, un sitio determinado puede cambiar arbitrariamente de ser consumidor neto a ser productor neto, y el modelo tradicional de flujo eléctrico unidireccional cede el paso a los flujos multidireccionales. Esto no solo afecta al hardware de la infraestructura de transporte, sino también a la forma de utilizarlo. El equilibrio entre generación y consumo ya no puede basarse solo en un

suministro estrictamente ajustado a la demanda, sino que debe alcanzarse controlando tanto la oferta como la demanda. Esto exige refinados sistemas de vigilancia, comunicación y control que cubran la generación, el transporte, la distribución, el almacenamiento y el consumo.

Este número de *ABB Review* está dedicado a estas novedades y a la forma en que afectan a los distintos niveles y componentes de la red eléctrica, desde el transporte a larga distancia hasta innovaciones locales como las micro-redes, sin olvidar los sistemas de control y comunicación que permitirán la colaboración.

Quisiera aprovechar esta oportunidad para recordarle que, además de la edición impresa, *ABB Review* se presenta también en formato electrónico. Encontrará más información en <http://www.abb.com/abbreview>.

Confío en que este número de *ABB Review* le ayude a conocer mejor la red del futuro y algunos de los interesantes retos y oportunidades que está creando y le muestre la capacidad de ABB para afrontar estos retos y para convertirse en parte integral de su futuro energético.

Que disfrute de la lectura.

Claes Ryttoft  
Director de Tecnología y  
Vicepresidente Senior del Grupo  
Grupo ABB







# Actualización de subestaciones digitales

Una red más inteligente necesita subestaciones más inteligentes, y tiene que ser digital

**STEFAN MEIER** – El concepto de subestación digital ha constituido durante mucho tiempo una cosa poco importante, una visión ideal de subestaciones omniscientes integradas en una red inteligente. Pero el concepto ha pasado ahora a ser mucho más práctico, de forma que se pueden analizar los aspectos concretos de lo que constituye una subestación “digital” y por qué se trata de algo deseable.

La señalización digital ofrece una fiabilidad y una capacidad excelentes, y se utiliza en la infraestructura eléctrica desde hace decenios. Casi todas las redes eléctricas existentes emplean redes digitales de fibra óptica para el transporte fiable y eficiente de datos de funcionamiento y supervisión de los sistemas de automatización de las subestaciones, e incluso las redes eléctricas transportan ahora señales de teleprotección. Pero sólo ahora empiezan a extenderse las ventajas de una mensajería digital normalizada al entorno más profundo de las subestaciones.

## IEC 61850

Sin normas, la adopción de mensajería digital para las comunicaciones dentro de la subestación era incompleta y fragmentaria, con una señalización mutuamente incompatible que creaba una diversidad de mensajes contenida en silos verticales. ABB ha abogado durante mucho

tiempo por que el sector adoptara la IEC 61850, una norma con la que la empresa se ha implicado a fondo desde el principio. “Redes y sistemas de comunicaciones para automatización de compañías eléctricas”, el nombre oficial del documento IEC, es una norma completa dividida en componentes que, por ejemplo, indican la forma en que debe describirse la funcionalidad de los aparatos de las subestaciones: cómo deben comunicarse entre sí, qué deben comunicar y cuál debe ser la velocidad de la comunicación. Todo ello es crítico para aprovechar las ventajas de una subestación realmente digital.

---

### Imagen del título

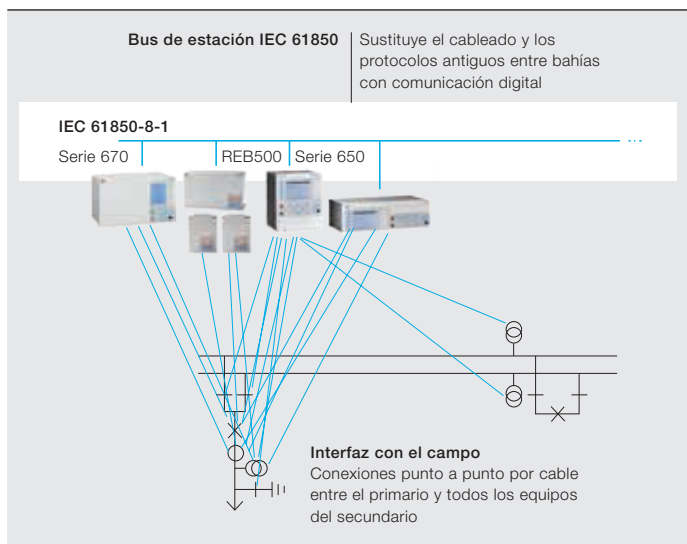
Ya disponemos de la tecnología necesaria para que las subestaciones sean íntegramente digitales, hasta los transformadores de intensidad. Las ventajas de una subestación digital son múltiples.



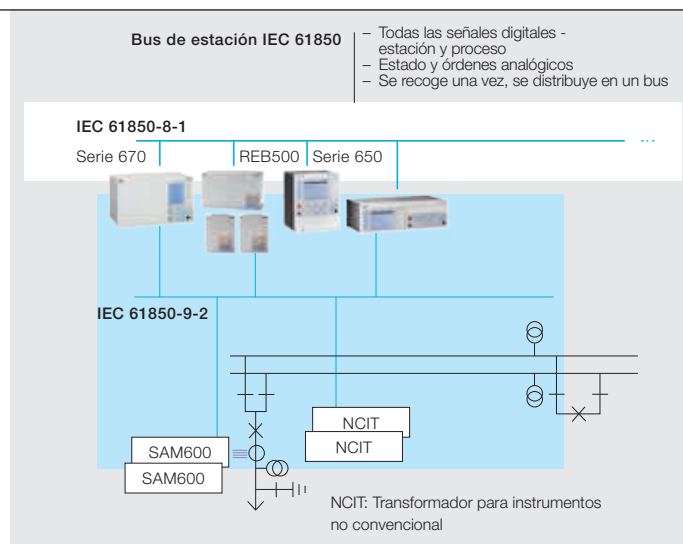








1a Actualmente



1b En el futuro

## La señalización digital ofrece una fiabilidad y una capacidad excelentes, y se utiliza en la infraestructura eléctrica desde hace decenios.

Dentro de la estación, las cosas son generalmente digitales, incluso en instalaciones relativamente antiguas. Los sistemas SCADA (control de supervisión y adquisición de datos) suelen requerir información digital, y ABB vende “columnas vertebrales” de fibra óptica desde hace más de dos decenios.

Entre el nivel de estación y las bahías, las fibras pueden llevar datos digitales conformes con la IEC 61850, pero, para llegar a ser una subestación realmente digital, la norma debe llegar más lejos.

### Profundamente digital

Fuera de las bahías, el mundo sigue siendo principalmente analógico. Los equipos primarios clásicos, como los transformadores de intensidad y de tensión, se conectan a dispositivos electrónicos inteligentes (IED) mediante hilos de cobre paralelos que transportan señales analógicas de tensión → 1a. Los IED que reciben estos datos llevan a cabo análisis de primer nivel y suelen servir de pasarela al mundo digital.

Pero conservar los datos en forma analógica durante mucho tiempo tiene poco interés, y para conseguir de verdad el título de “subestación digital” debe producirse la transición a digital tan pronto como se obtengan los datos → 1b.

Gracias a la supervisión permanente del sistema, los equipos digitales reducen la necesidad de una intervención manual, y la adopción del bus de proceso totalmen-

te digital permite reubicar equipos sensibles en las bahías. Los equipos digitales que se tienen que disponer en el parque deben ser fáciles de colocar, y en todos los aspectos tan sólidos y fiables como el equipo analógico al que sustituyen o con el que se conectan → 2.

### FOCS

Los requisitos de solidez y fiabilidad se aplican también a nuevas tecnologías tales como los sensores de intensidad de fibra óptica (FOCS) de ABB. Un FOCS [1] puede supervisar directamente la intensidad que circula por una línea de alta tensión sin necesidad de recurrir a un transformador de intensidad (CT) para reducir ésta a un valor que se pueda medir. La eliminación del CT elimina también el peligro de circuitos de CT abiertos, en los que se pueden producir tensiones peligrosas, aumentando de esa forma la seguridad.

Un FOCS aprovecha el desplazamiento de fase de la luz polarizada que produce un campo electromagnético (efecto Faraday). El desplazamiento es directamente proporcional a la intensidad que circula por la línea de alta tensión, a cuyo alrededor está arrollada la fibra que conduce la luz. La medición se digitaliza en origen y se transmite como señal digital a través del bus de proceso hasta los IED de protección y control, así como a los contadores de consumo.

Un CT óptico de este tipo ocupa mucho menos espacio que su equivalente analógico. Incluso puede integrarse en un inte-



Un FOCS puede supervisar directamente la intensidad que circula por una línea de alta tensión sin necesidad de un transformador de intensidad para reducir ésta a un valor que se pueda medir.

ruptor automático de desconexión (como hizo ABB en 2013) que combine las funciones de interruptor automático, transformador de corriente y seccionador en un solo aparato, lo que reduce a la mitad el tamaño de una subestación nueva.

El FOCS forma parte de una gama de transformadores de medida no convencionales (NCIT) que pueden hacer que

clásicos, por ejemplo. Pero no hay ningún motivo para llevar a cabo una sustitución total cuando una sola unidad aislada que se integra puede llevar a cabo la transición a lo digital justo junto al transformador de medida existente. La fibra óptica puede sustituir entonces a los cables de cobre que conectan los equipos primarios a los IED de control y protección.

**ABB ha abogado durante mucho tiempo por que el sector adoptara la IEC 61850, una norma con la que la empresa se ha implicado a fondo desde el principio.**

todo sea digital. Los NCIT tienen que ser tan fiables como los equipos a los que sustituyen, y lo son: a lo largo de la pasada década, ABB ha suministrado más de 300 NCIT (sensores combinados de intensidad y tensión en aparatos aislados en gas) para su utilización en Queensland, Australia, y el equipo aún no ha presentado un solo fallo en el sensor primario. El uso generalizado de NCIT hace que una subestación sea más sencilla, más barata, de menor tamaño y más eficiente.

No todo puede ser digital; los datos analógicos seguirán llegando desde transformadores de intensidad y de tensión

clásicos, por ejemplo. Pero no hay ningún motivo para llevar a cabo una sustitución total cuando una sola unidad aislada que se integra puede llevar a cabo la transición a lo digital justo junto al transformador de medida existente. La fibra óptica puede sustituir entonces a los cables de cobre que conectan los equipos primarios a los IED de control y protección.

La subestación digital prescinde del cobre empleando el bus de proceso digital, que puede utilizar fibra óptica o una red inalámbrica, como en la tecnología Tropos de ABB. Sólo la eliminación del cobre puede, en algunas circunstancias, justificar el cambio a digital. Pasar a digital puede reducir la cantidad de cobre de

#### Bus de proceso

Debido a que es conductor, cada trozo de cobre presente en una subestación supone un peligro potencial. Por ejemplo, cuando se desconecta una corriente de forma incorrecta, como con la aper-

tura de un transformador de intensidad secundario, puede producirse un arco ya que se establecen altas tensiones y una línea de cobre puede conducir repentinamente una tensión elevada poniendo en peligro a los trabajadores y los equipos. Cuanto menos cobre, más seguridad.



una subestación en un 80 por ciento, un ahorro importante y, sobre todo, una importante mejora de la seguridad.

El bus de proceso añade también flexibilidad: los aparatos digitales pueden hablar directamente entre ellos → 3. Para eso, la IEC 61850 define el protocolo GOOSE (evento de subestación genérico orientado a objetos) para la transmisión rápida de datos binarios. La parte 9-2 de la norma describe la transmisión de valores muestreados por Ethernet. Estos principios aseguran la entrega a tiempo de datos de alta prioridad por medio de enlaces Ethernet que, de otro modo, serían impredecibles. La gama de interruptores Ethernet ASF de ABB soporta completamente este aspecto crítico de la mensajería de subestaciones.

Un CT óptico ocupa mucho menos espacio que su equivalente digital e incluso puede integrarse en un interruptor automático de desconexión que combine las funciones de interruptor automático, transformador de intensidad y seccionador en un solo aparato, lo que reduce a la mitad el tamaño de una subestación nueva.

### Instalaciones

ABB se ha implicado fuertemente en la IEC 61850 desde su inicio. La norma es esencial para asegurar que las compañías puedan mezclar y combinar equipos de distintos proveedores, pero, gracias a las pruebas de cumplimiento, también proporciona una referencia con la que pueden evaluarse los fabricantes.

ABB hizo en 2011 la primera instalación comercial de IEC 61850-9-2 en la subestación de Loganlea, para Powerlink Queensland. El empleo de unidades de fusión e IED de ABB que satisfacen la IEC 61850-9-2, por no hablar de los NCIT, constituye un hito en la evolución del diseño de subestaciones.

Ese proyecto formaba parte de la puesta al día de una estación ya existente, que de este modo se incorporó a un futuro dominado por IEC 61850 y adoptó normas digitales que la mantendrán en activo en los años venideros. ABB ha creado una solución de readaptación basada en especificaciones de Powerlink que se pueden aplicar a otras cinco subestaciones Powerlink cuando estén listas para esa operación.

Dos de dichas estaciones, Millmerran y Bulli Creek, fueron ya mejoradas en 2013 y 2014, respectivamente. Las subestaciones renovadas disponen de un sistema MicroSCADA Pro SYS600 y una pasarela RTU560 que operan IED de protección y control Relion 670, con protección de barra de bus REB500. Todas ellas se comunican con IEC 61850-9-2 a las unidades de fusión y con IEC 61850 con los aparatos a nivel de estación.

Una subestación completamente digital es de menor tamaño, más fiable, tiene un coste menor durante su vida útil y es más fácil de mantener y prolongar que una analógica. Ofrece más seguridad y es más eficiente que su equivalente analógico.

No es preciso lanzar todas las subestaciones a un mundo completamente digital; la decisión depende del tamaño y el tipo de subestación, y de si se trata de una estación nueva o de una remodelación del sistema secundario. Se necesitan distintos métodos y soluciones. La amplia experiencia de ABB con la IEC 61850 y la cartera de productos NCIT, unidades de fusión, IED de protección y control y de soluciones de automatización de estaciones allana el camino de las compañías hacia el mundo digital. Unas soluciones flexibles permiten que las compañías marquen su propio paso en el camino hacia la subestación digital.

### Stefan Meier

ABB Power Systems  
Baden, Suiza  
stefan.meier@ch.abb.com

### Referencia

- [1] S. Light measures current – A fiber-optic current sensor integrated into a high-voltage circuit breaker. Puede consultarse en: [http://www05.abb.com/global/scot/scot271.nsf/veritydisplay/0d948cedb40451cec1257ca900532dd0/\\$file/12-17%201m411\\_EN\\_72dpi.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot271.nsf/veritydisplay/0d948cedb40451cec1257ca900532dd0/$file/12-17%201m411_EN_72dpi.pdf)





# Información anticipada

Gestión de redes más cerca de sus límites anticipándose a los fallos

TORBEN CEDERBERG, RICK NICHOLSON – Las redes modernas de transporte y distribución de energía eléctrica están experimentando cambios espectaculares. Tienen que hacerse cargo de más recursos energéticos distribuidos y renovables, más datos de equipos y contadores eléctricos inteligentes y soportar más presión para trabajar eficientemente. Todo ello se traduce en más trabajo y tensión para los operadores de redes. Hay ayuda en forma de sistemas de gestión de la energía SCADA, sistemas avanzados de gestión de la distribución, sistemas de gestión de respuesta a la demanda y analítica comercial avanzada. Estos sistemas, cuando se integran y trabajan de forma concertada, permiten que las compañías eléctricas pasen de una explotación reactiva de la red a otra proactiva y más cercana a sus límites. La solución bien consolidada Ventyx, el sistema avanzado de gestión de la distribución Network Manager, junto con el sistema de gestión de respuesta a la demanda de la empresa y la analítica FocalPoint, proporcionan las nuevas aplicaciones de optimización del sistema de distribución que se precisan para controlar las condiciones variables de operación de la red.

La red de distribución típica está cambiando desde un modelo que conecta productores y consumidores en un flujo unidireccional a otro en el que la energía circula en ambos sentidos de forma compleja y dinámica.

### Nuevos problemas en la sala de control

La producción renovable depende del clima y, por tanto, se considera intermitente. La energía que puede producir un generador eólico o un panel solar a lo largo de un periodo largo –un año, por ejemplo– se puede predecir con un alto grado de precisión mediante estudios meteorológicos a largo plazo. Pero la producción diaria y horaria varía mucho, y solo se puede predecir con exactitud con dos o tres horas de anticipación. Esto plantea dos problemas a los operadores de la red: La “fuerza de la red” (potencia disponible) varía a lo largo del día, y los picos y valles pueden causar subidas y caídas de tensión e inestabilidad en la red.

La búsqueda por parte de la sociedad de energías renovables impulsa un nuevo diseño de las redes de transporte y distribución y de la explotación y el rendimiento de los activos con el fin de canalizar tales recursos renovables. Muchos de ellos están distribuidos, por ejemplo, en paneles solares

Hasta ahora, el primer problema se resolvía controlando la “fuerza de la red” mediante la incorporación de reservas giratorias, centrales clásicas e hidroeléctricas que se ponen en línea muy rápidamente aprovechando la inercia de la masa giratoria del generador. El número creciente y disperso de recursos renovables en la red hace menos viable esta solución.

## Una nueva solución denominada optimización de sistemas de distribución presentada por ABB ayudará a prever y anticipar los incidentes que puedan llevar a condiciones de alarma.

Las compañías eléctricas han contrarrestado tradicionalmente el segundo problema, las subidas y bajadas de la energía, regulando la energía reactiva con baterías de reactancias y condensadores. Conectando y desconectando estos dispositivos se mini-

instalados en cubiertas o en generadores eólicos costeros. Los bancos de baterías de almacenamiento, grandes y pequeños, también desempeñan su papel.

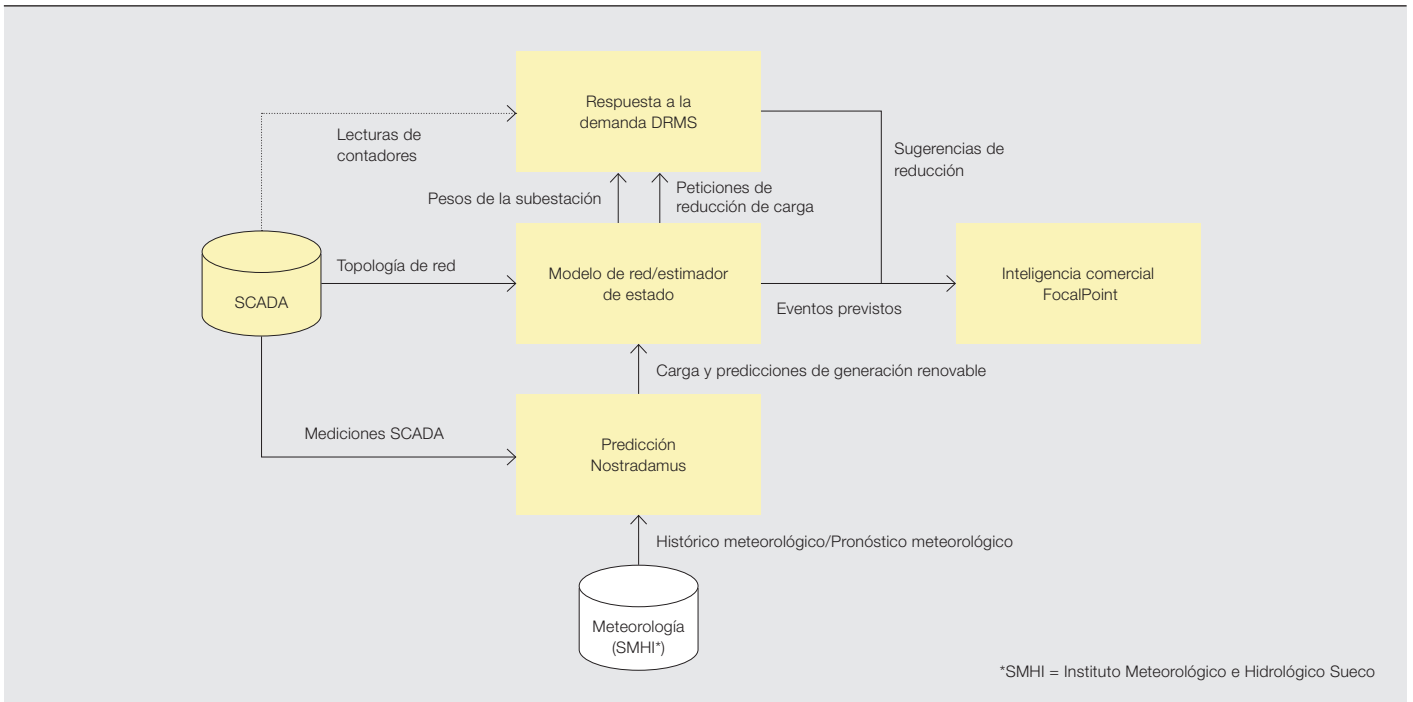
mizan las variaciones de energía y tensión. Los más modernos sistemas de gestión de la energía (EMS) SCADA y de gestión de la distribución avanzados (ADMS) disponen de funciones para controlar estas unidades, pero suelen aplicarse manualmente, lo que convierte a los operadores de las salas de control en responsables de supervisar el sistema SCADA y tomar las medidas adecuadas. Esto valía en las redes clásicas, cuando

El nuevo panorama energético es una mezcla de recursos de red y distribuidos, con una parte cada vez mayor de unidades pequeñas distribuidas que no formaban parte de la ecuación cuando se diseñaron las redes de distribución.

#### Imagen del título

La integración de las fuentes de producción renovables presenta dificultades importantes para las redes eléctricas. Las aplicaciones de optimización de redes de ABB pueden predecir los problemas y ayudar a resolverlos antes de que se produzcan.

## 1 Diagrama de bloques de los componentes de la aplicación DSO.



únicamente se producían cambios (generalmente estacionales) unas pocas veces al año, pero es mucho menos viable ahora que las redes deben reconfigurarse varias veces por día, o incluso por hora.

## La búsqueda por parte de la sociedad de energías sostenibles impulsa un nuevo diseño de las redes de transporte y distribución y de la explotación y el rendimiento de los activos.

### Nuevas soluciones para gestionar las redes

La tarea principal de un EMS SCADA o ADMS es gestionar la red a distancia, recopilando datos de la misma y proporcionando una instantánea en cualquier momento. Esto incluye la vigilancia de valores analógicos tales como tensión, intensidad o potencia activa y reactiva, y además del estado digital de los dispositivos de conmutación. El sistema emite una alarma si detecta un estado no normal o si se superara un límite pre-determinado.

Un EMS SCADA o ADMS clásico necesita nuevas funciones para ser efectivo en la moderna red eléctrica. Aquí, la clave es la integración de los sistemas de tecnología de información (IT) y tecnología de explotación (OT).

ABB está llevando un paso más allá este tipo de integración diseñando y probando funciones integradas durante el desarrollo de los componentes individuales que forman la solución definitiva. Posibilitan esto una serie de herramientas que se pueden combi-

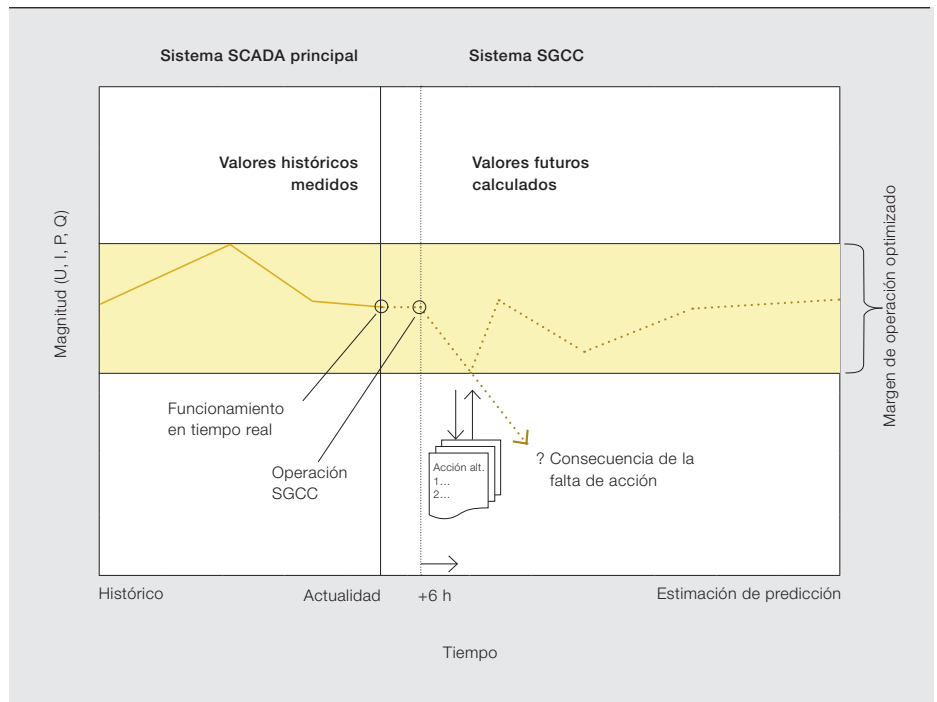
nar de manera que desplieguen toda su funcionalidad desde el principio, con menos trabajo de integración posterior y poco mantenimiento. También es posible empezar únicamente con algunos componentes e integrarlos con sistemas antiguos o de otros proveedores en un planteamiento más convencional.

### Optimización de redes

Tradicionalmente, el modo de funcionamiento en la sala de control se encuentra en uno de dos estados: normal o anormal. Ahora existe un tercer estado –subóptimo– en el que la red no sufre perturbaciones importantes, pero algunos equipos



DSO combina efectivamente de forma inmediata los datos de predicciones disponibles, tales como cargas y datos meteorológicos, y los introduce en una herramienta de software que calcula y construye perfiles de producción y carga para el futuro próximo.



eléctricos podrían funcionar más eficientemente y hay varias alarmas y advertencias. Las alarmas mantienen ocupados a los operadores, y les dejan menos tiempo para conmutar la red a un modo más optimizado y eficiente o para llevar a cabo actividades de mantenimiento programadas. En ciertas salas de control, los operadores están sometidos a tensiones por encima de los niveles admisibles, lo que aumenta la probabilidad de errores. Por lo tanto, las compañías eléctricas deben buscar un mejor apoyo cuando incorporen nuevas soluciones EMS SCADA y DMS.

“Optimización de la red” es la nueva terminología que describe lo que hay que hacer para controlar esta situación. La constante reconfiguración de la red mediante la conexión y desconexión de baterías de condensadores y reactancias es un ejemplo de una forma de controlar los niveles de tensión y mantenerlos dentro de los límites fijados por el regulador. Esto se llama optimización Volt/var (VVO) de las redes de transporte. Carga simétrica de transformadores, líneas sobrecargadas temporalmente y evaluación dinámica de líneas (DLR) son otros ejemplos de técnicas de optimización de red que conducen a un mejor uso de los recursos de las redes.

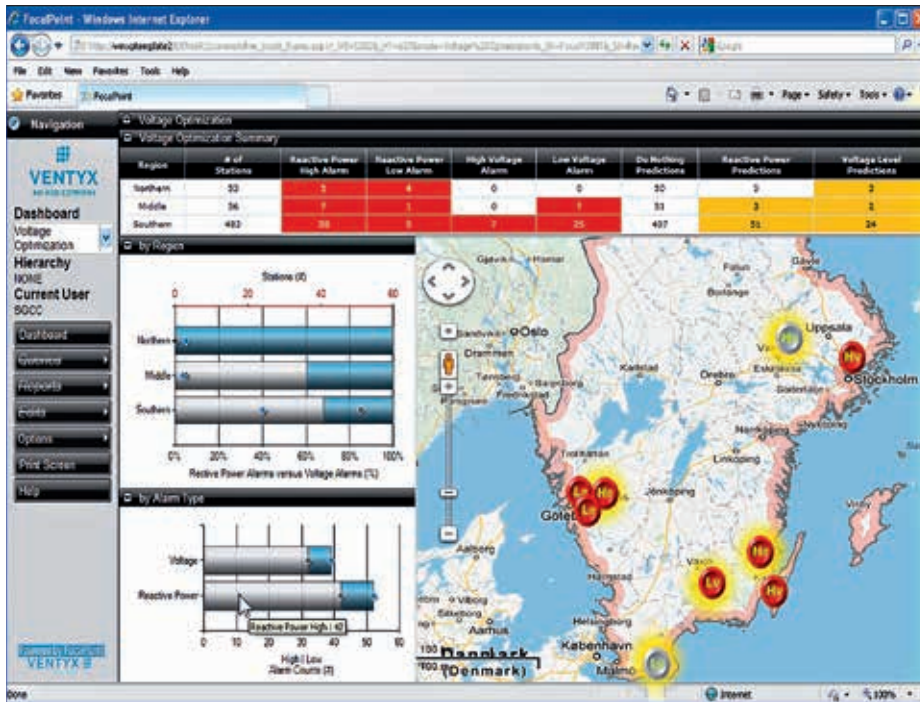
Pero, ¿cómo pueden los operadores identificar el mejor momento para reconfigurar?

Un sistema de gestión de respuesta a la demanda es una nueva herramienta utilizada por las compañías eléctricas para controlar el equilibrio entre la potencia disponible y la necesaria.

#### Control proactivo con datos de predicción

Siempre ha sido difícil calcular el estado óptimo de la red con rapidez suficiente para la conmutación preventiva. La situación ideal sería predecir y anticipar incidentes que conducirían a situaciones de alarma. Si una red puede adaptarse más rápidamente a las condiciones cambiantes producidas por el flujo de energía, puede también gestionarse de forma más eficiente, con más aprovechamiento y pérdidas reducidas. Nuevas aplicaciones, como la optimización del sistema de distribución (DSO), recientemente presentada por ABB, ayudarán a hacerlo → 1.

### 3 Panel de ejemplo de la herramienta de inteligencia comercial DSO



El resultado es una red simulada que replica la red real, pero con valores eléctricos estimados para varias horas después, el mismo marco temporal de las predicciones.

DSO combina efectivamente de forma inmediata los datos disponibles de predicciones, tales como cargas y datos meteorológicos, y los introduce en una herramienta de software que calcula y construye perfiles de producción y carga para el futuro inmediato. Añadiendo esta información a la función de software de red que imita la red, a menudo en un EMS indicado como el estimador de estado (SE), se obtiene una red simulada. Los estados de conmutación de la red se copian del sistema SCADA en tiempo real. El resultado de estos cálculos es una red simulada que replica la red real, pero con valores eléctricos estimados para varias horas después, el mismo marco temporal de las predicciones. Normalmente, este periodo es de seis a 12 horas, un buen compromiso entre una precisión aceptable y el tiempo necesario para reconfigurar la red → 2. También da tiempo para enviar una señal a las unidades que participan en un programa de respuesta a la demanda de los clientes.

Por primera vez, el operador de red puede prever alarmas y avisos que se esperan para un futuro próximo y tomar decisiones proactivas bien informadas. El resultado es una mejor eficiencia de la red, un funcionamiento más estable y menos cortes de suministro.

#### Respuesta a la demanda

Un sistema de gestión de respuesta a la demanda (DRMS) es una herramienta relativamente nueva utilizada por las compañías eléctricas para controlar el equilibrio entre la potencia disponible y la necesaria. La idea básica es modelizar y agregar cargas controlables en una carga virtual que tenga una curva de pico menor. Señalizando esta carga, la compañía puede controlar el perfil de carga y adaptar mejor la producción en cada momento. Es importante observar que, para las cargas internas, esta solución difiere de los antiguos sistemas de gestión de cargas (LMS), que controlaban las cargas sin la participación o el consentimiento de los usuarios finales para cada orden de conmutación que se enviaba. La herramienta DRMS precisa que los clientes se inscriban de forma activa en el programa de respuesta a la demanda (DR).

Normalmente, se envían señales desde un sistema central a participantes seleccionados del programa, que pueden definir perfiles de respuesta que, a la recepción de la señal, ejecutan automáticamente la opción de recorte seleccionada del programa. Las cargas adecuadas para el control incluyen calentadores de agua y aparatos de control de la temperatura, como bombas de calor y acondicionadores de aire, en los que una pequeña variación de la temperatura de la sala no es fácilmente percibida por los clientes.

---

La solución DSO incorpora una herramienta de inteligencia comercial que reúne información del modelo de red y utiliza un gráfico para guiar al operador a las áreas en que se prevén alarmas y avisos en las seis horas siguientes simuladas.

Lámparas, hornos eléctricos, televisiones u ordenadores son, obviamente, cargas menos adecuadas. A cambio de su flexibilidad, los clientes suelen recibir algún tipo de compensación, que varía con la compañía. Estos incentivos se ven como una forma de modificar los hábitos de consumo a largo plazo, lo que muchos expertos consideran que es el cambio de comportamiento más importante.

#### Centrales eléctricas virtuales

Una agregación de recursos de generación distribuida gestionada como las cargas de respuesta a la demanda se conoce como central eléctrica virtual (VPP). La capacidad de una VPP se puede asimilar a la de una central eléctrica renovable a escala de red. En países con gran cantidad de recursos eólicos y solares se están investigando métodos económicos y técnicos para utilizar las unidades VPP como reservas giratorias. El almacenamiento en baterías a gran escala, con su capacidad para suavizar los picos y valles de energía, tiene aquí un puesto preferente. El técnico de sala de control debe tener en cuenta estos cambios al planificar operaciones de red.

#### Cuadro de mando

La aplicación DSO incorpora una plataforma de software de análisis comercial que recoge información de la red simulada y utiliza un gráfico para guiar al operador a las zonas donde hay alarmas y avisos → 3. Durante algún tiempo se han utilizado soluciones de análisis comercial como ayuda en la toma de decisiones, especialmente en cuestiones financieras, pero actualmente están encontrando su espacio en las salas de control para ayudar en la toma de decisiones técnicas. Una función importante de la solución de análisis comercial es la verificación de que la entrada de datos es, a la vez, correcta y completa. Asegurado este aspecto, puede transformar una gran cantidad de datos en información útil.

#### Centro de control de red inteligente E.ON

Se está diseñando una nueva generación de apoyo al sistema para ayudar a las compañías eléctricas a gestionar sus redes, cada vez mayores y más complejas. La DSO hace más fácil que los operadores sigan y prevean las condiciones variables de la red. Permite que los operadores gestionen mejor la cada vez mayor cantidad de datos que están a su

disposición. En una instalación piloto de E.ON en Suecia, esta aplicación se utilizará en paralelo con el sistema SCADA en el centro de operaciones para guiar a los operadores, que controlan una red de distribución que da servicio a más de un millón de clientes. Esta aplicación será la primera de su tipo en la red secundaria de 50 a 130 kV que conecta la red de transporte con la de distribución. El estudio del nuevo sistema se ha denominado centro de control de red inteligente E.ON (SGCC).

La instalación piloto funcionará en su propio entorno con un enlace cerrado al sistema SCADA en tiempo real y únicamente sugerirá medidas que deben aplicarse. Cuando haya más experiencia práctica, se intentará una integración más estrecha que permita llevar a cabo una optimización directamente en el sistema SCADA en tiempo real. Por último, para cerrar el ciclo, se producirá un paso importante hacia la siguiente generación de gestión y optimización de sistemas de distribución avanzados. Esto permitirá que los operadores de las salas de control conserven el control completo y dirijan de forma proactiva sus redes.

#### Torben Cederberg

ABB Power Systems, Network Management  
Västerås, Suecia  
torben.cederberg@ventyx.abb.com

#### Rick Nicholson

ABB Power Systems, Network Management  
Boulder, CO, Estados Unidos  
rick.nicholson@ventyx.abb.com



# Sin cortes

Abordar las averías con inteligencia limita los cortes de suministro

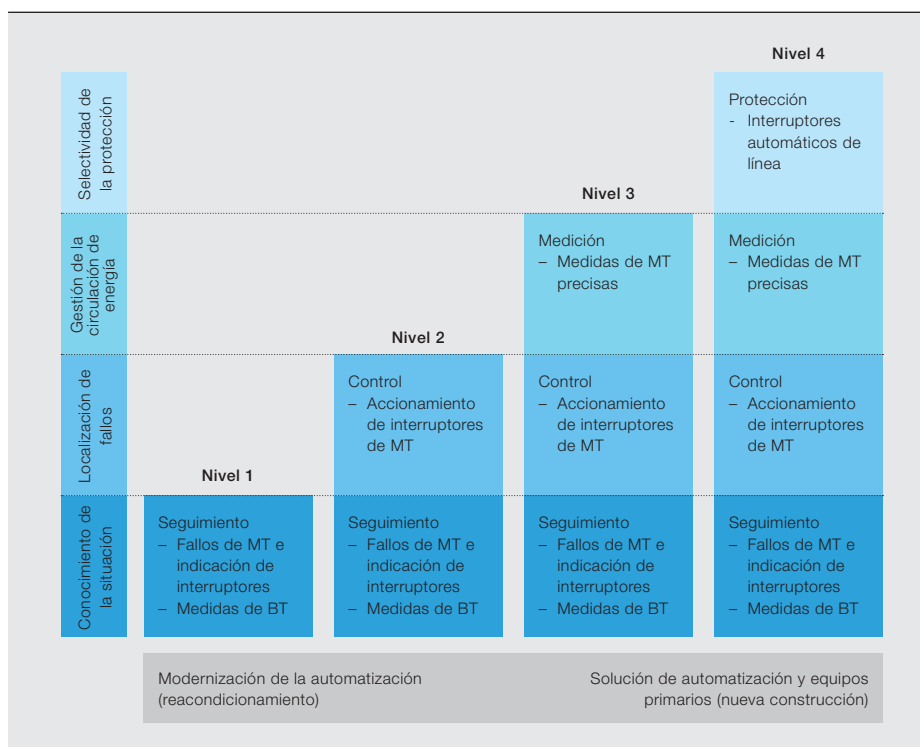
VINCENZO BALZANO – La incorporación de la inteligencia a la red de media tensión continúa y nos acerca más a la red inteligente. Uno de los objetivos de la red inteligente es mejorar la continuidad del servicio reconociendo, localizando y aislando las averías tan pronto como sea posible. Al mismo tiempo, debe minimizarse la cantidad de equipos que se retiran del servicio para mantener al máximo el suministro de energía al cliente. Si bien siempre se han

producido averías y cortes en la red eléctrica, su frecuencia ha aumentado con la multiplicación de las fuentes renovables conectadas. Para aliviar los efectos de averías y cortes, mejorar la continuidad y la calidad del servicio y aumentar la eficiencia energética de las redes al tiempo que se reducen las pérdidas, es necesario que los equipos de supervisión de la red trabajen en tiempo real y con inteligencia.



Si se produce una avería en un punto cualquiera de un circuito de distribución eléctrica, es esencial detectarla, localizarla y aislarla en el menor tiempo posible.

### 1 Los equipos de automatización pueden clasificarse en cuatro niveles lógicos



Si se produce una avería en un punto cualquiera de un circuito de distribución eléctrica, es esencial detectarla, localizarla y aislarla en el menor tiempo posible. Se utilizan interruptores automáticos (CB) para aislar la sección averiada y debe minimizarse su extensión para reducir la perturbación causada a los clientes. Al tiempo, se debe devolver rápidamente el servicio al mayor número posible de clientes redirigiendo la electricidad por áreas no afectadas.

Además de molestias a los clientes, estas averías causan costes importantes y afectan desfavorablemente

a la planificación de recursos, la eficiencia y la rentabilidad de las compañías eléctricas. Además, actualmente las compañías eléctricas están sujetas a una intensa vigilancia por parte de organismos supervisores, como los defensores del pueblo, que tienen el poder de imponer penalizaciones y multas. Por lo tanto, las compañías tienen muchos motivos para evitar los cortes de suministro.

#### Mediciones que importan

El rendimiento de una compañía se mide con varios patrones. Dos patrones de medida primarios son SAIDI (Índice de duración media de interrupciones del sistema) y SAIFI (Índice de frecuencia media de interrupciones del sistema). Los organismos públicos pertinentes utilizan estos elementos de medida como ayuda para tomar determinadas decisiones, como la imposición o no de multas, o la cuantía de las mismas.

Se emplea la selectividad lógica cuando es necesario reducir drásticamente el número de cortes y su duración.

El cálculo de SAIDI y SAIFI es parecido, y ambos patrones de medida se relacionan con los cortes no planificados. Los cortes breves, llamados perturbaciones momentáneas, no afectan a estos índices, pero la duración admisible de la perturbación la fijan organismos locales y puede variar de un sitio a otro.

SAIDI considera la duración de los cortes, es decir, cuánto tiempo se encuentra el cliente sin electricidad. Una vez que el cliente llama a la compañía para informar

#### Imagen del título

Para que la electricidad continúe llegando al mayor número de clientes durante las averías, es preciso minimizar la sección retirada del servicio. ¿De qué productos y estrategias disponemos para lograrlo?



Además de las molestias para el cliente, las averías eléctricas ocasionan un gasto importante y afectan de forma negativa a la planificación de recursos, la eficiencia y la rentabilidad de las compañías.

de un corte de suministro y el corte excede un tiempo máximo establecido, el reloj empieza a contar para este patrón. SAIDI es la duración anual de cortes por cliente.

SAIFI se ocupa de la frecuencia de los cortes no planificados. En este caso, cada nuevo corte que excede de un tiempo fijado influye en este elemento de medida, independientemente del tiempo que el cliente esté sin suministro. SAIFI es el número anual de interrupciones por cliente.

CAIDI (Índice de duración media de interrupciones por cliente) es un índice de fiabilidad que se obtiene dividiendo SAIDI por SAIFI.

Para poner en perspectiva estos patrones de medida: son la base de las decisiones de algunas grandes compañías eléctricas para presupuestar varios millones de dólares al año para multas ocasionadas por el incumplimiento.

Una gestión adecuada de averías y cortes es una forma de mejorar estos índices y disminuir el riesgo de incurrir en grandes multas.

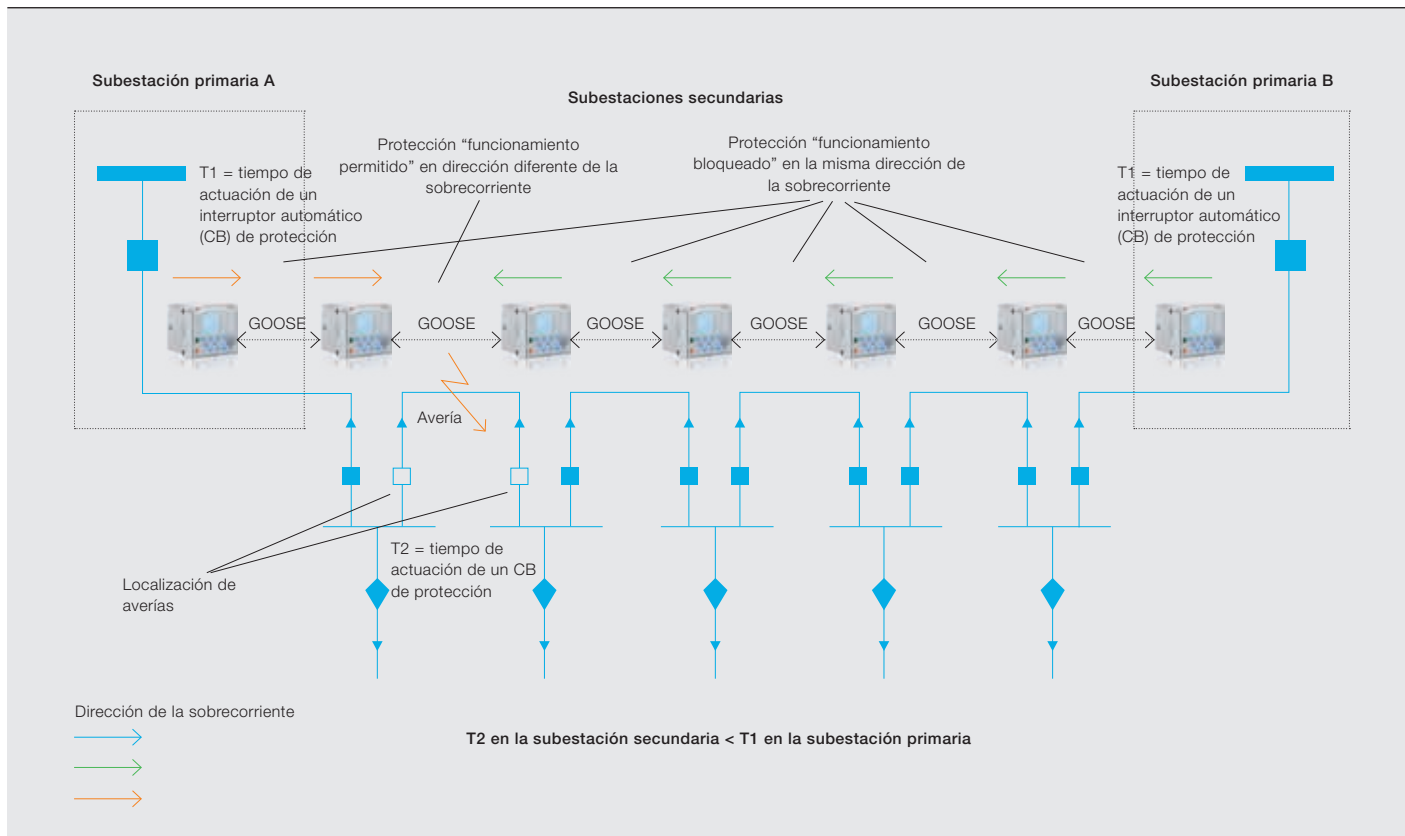
#### FDIR y selectividad lógica

En general, hay dos métodos de abordar las averías y los cortes para mejorar la continuidad del servicio:

- Detección, aislamiento y recuperación de averías (FDIR)
- Selectividad lógica

FDIR permite a las compañías aumentar la fiabilidad de la red, principalmente mediante la disminución de la duración de los cortes de suministro en los clientes afectados por incidentes no planificados. Las ventajas de FDIR incluyen un mejor servicio al cliente y mayores ingresos. FDIR reduce el coste de recuperación y el riesgo de multas y acciones judiciales.

Se emplea la selectividad lógica cuando es necesario reducir drásticamente el número de cortes y su duración. La selectividad lógica permite el aislamiento rápido de averías. El sistema tiene la gran ventaja de aislar la avería sin que los usuarios no afectados directamente perciban los efectos. Puede ser necesaria una inversión en equipos primarios e infraestructura de redes de comunicaciones para incorporar el sistema de selectividad lógica. Por ejemplo, interruptores automáticos y protección de acuerdo con el protocolo IEC 61850 en subestaciones secundarias, o reconectores montados sobre postes, en combinación con una



Patrones de medida como CAIDI son la base de las decisiones de algunas grandes compañías eléctricas para presupuestar varios millones de dólares al año para multas por incumplimiento.

red de comunicaciones de altas características que pueda proporcionar la baja latencia necesaria.

Las estrategias de reparación para FDIR y selectividad lógica pueden producirse en varios niveles:

- Entre pares, donde un grupo de equipos de apartamentada o exterior trabajan al unísono para recuperar el suministro de la mejor forma posible, y en el nivel de subestación, donde se lleva a cabo un control coordinado entre equipos de apartamentada o exterior dentro de una subestación o de subestaciones adyacentes.
- A nivel centralizado, con un control coordinado que se extiende a través de la red de distribución.

Estas estrategias aportan más ventajas, como menores pérdidas de ingresos y mejora de la reputación de la compañía a los ojos de los clientes, accionistas y organismos reguladores.

#### Automatización de las redes

Para supervisar y reparar los cortes en la red, se precisan equipos inteligentes de automatización de la red. ABB dispone de gran variedad de productos inteligentes de automatización de redes, como

UniGear Digital para subestancias primarias; Unidades del anillo principal aisladas en gas SafeRing/SafePlus y apartamentada aislada en aire UniSec para subestancias secundarias; Sectos y reconectores OVR para aparatos de exterior;

Numerosas investigaciones han demostrado que, para los productos de automatización de red, no vale el enfoque de "talla única".

UniPack-G para subestancias compactas; RER/REC 601, 603, 615 y RIO600 para dispositivos electrónicos inteligentes (IED); y armarios inteligentes de baja tensión GAO y GAI para remodelaciones de exterior e interior.

Numerosas investigaciones han demostrado que, para los productos de automatización de red, no vale el enfoque de "talla única", por lo que ABB ha definido cuatro niveles que corresponden a los distintos niveles funcionales de automatización → 1.

## Cuando se produce una avería, únicamente se abren los interruptores de las subestaciones situadas justo antes y después de la avería.

El nivel 1 es la solución básica, que incluye la supervisión de toda la subestación secundaria y la medición de intensidad, tensión y energía en el lado de baja tensión.

El nivel 2 añade al nivel 1 el control de aparatos primarios de media y baja tensión. FDIR se incorpora en este nivel con dispositivos como el controlador inalámbrico REC603 de ABB, un aparato de control y supervisión a distancia de subestaciones secundarias, como las unidades del anillo principal con interruptores-seccionadores en redes de distribución.

El nivel 3 añade al nivel 2 mediciones precisas de intensidad, tensión y energía en el lado de la media tensión: se puede controlar la circulación de energía con la instrumentación y los IED adecuados, importante cuando se conecta generación distribuida a la red de distribución.

El nivel 4 es la solución más completa técnicamente. Aquí el interruptor automático y el relé de protección son esenciales para gestionar la selectividad lógica y aumentar las prestaciones en topologías que van desde una topología radial simple hasta una solución mallada compleja. El nivel 4 añade al nivel 3 funciones de protección que utilizan interruptores en los alimentadores de entrada y/o salida.

Este nivel incorpora productos tales como el REC615 → 2. Con el REC615 se puede reforzar la fiabilidad de la red con funcio-

nes que van desde la protección contra sobrecargas no direccional, básica, hasta la protección ampliada con análisis de calidad de la energía. Esto apoya la protección del tendido aéreo y los alimentadores de cable en redes de neutro aislado, con resistencia a tierra, compensadas y con una puesta a tierra sólida. Además de la funcionalidad de protección esencial, también puede ocuparse de aplicaciones en que se controlen múltiples objetos, basándose en tecnología de sensores o clásica. El REC615 se puede programar libremente con comunicación GOOSE horizontal (sucesos de subestación genéricos orientados al objeto), lo que permite sofisticadas funciones de interbloqueo. También admite protocolos de comunicaciones específicos, como los IEC 60870-5-101 e IEC 60870-5-104.

### Selectividad lógica

En el nivel 4, el método de la selectividad lógica puede reducir el número de cortes de suministro sin aislar a los usuarios que no están directamente afectados por la avería. También se puede aislar con precisión la rama averiada abriendo rápidamente el interruptor o los interruptores automáticos adyacentes y reducir la duración de la avería a cientos de milisegundos, frente a los minutos asociados con el método de FDIR.

Las altas prestaciones de la selectividad lógica requieren comunicaciones de alta velocidad que utilizan normalmente un protocolo basado en la IEC 61850, que admite multidifusión entre pares. Los sucesos genéricos de subestación (GSE) son un modelo de control definido por la IEC 61850 que proporciona una forma rápida y fiable de transferir datos por la red de subestaciones. GSE asegura que se recibe el mismo mensaje de suceso en varios dispositivos. GOOSE es una subdivisión de GSE. Para obtener buenos resultados, debe garantizarse que las comunicaciones entre dos nodos de la red se lleven a cabo en no más de algunas decenas de milisegundos.

De hecho, el algoritmo de selectividad supone normalmente que esta comunicación de alta velocidad se produce entre las subestaciones de la línea de media tensión afectada y los relés de protección correspondientes. Cuando se produce una avería, los relés de protección de la zona afectada se comunican entre sí y sólo entonces las subestaciones situadas

inmediatamente antes y después de la avería reciben la indicación de abrir los interruptores adecuados. El algoritmo de selección debe terminar y eliminar las condiciones de avería dentro de los tiempos de retardo fijados en la subestación primaria, es decir, dentro del tiempo tras el cual se abre el interruptor automático en dicha subestación → 3.

La utilización de interruptores automáticos, basados en la IEC 61850 y la extendida introducción de una red de comunicaciones con baja latencia permite la incorporación de una selectividad lógica masiva en la red de distribución secundaria. Ello se traduce en la detección precoz y la recuperación rápida, que para el cliente significa pocos cortes y de poca duración. Buena noticia para las compañías eléctricas en unos tiempos en que los organismos públicos están aumentando sus controles de SAIDI, SAIFI y otros patrones de medida similares.

Con el aumento de la demanda eléctrica y un número cada vez mayor de fuentes renovables, aumenta la carga sobre la red, por lo que es de suponer que siga aumentando también la vigilancia de los cortes no planificados. Una compañía inteligente potenciará la tecnología para abordar mejor las averías y los cortes y reducir así los gastos de explotación y mejorar la fiabilidad del servicio a fin de estar preparada para el dinamismo que en el futuro alcanzará el sector eléctrico.

**Vincenzo Balzano**

ABB Power Products

Dalmine, Italia

vincenzo.balzano@it.abb.com





# Equilibrio de poder

## El control volt/var mejora la eficiencia de la red

**GARY RACKLIFFE – Los operadores de los sistemas de distribución de energía eléctrica están siempre presionados para aumentar la eficiencia, controlar mejor las tensiones de los alimentadores, reducir las pérdidas en los alimentadores y reducir los picos de demanda. Además, el coste de una capacidad de producción progresiva o de pico, y consideraciones relativas al sitio o al entorno, les ha llevado a encontrar formas más eficaces de cumplir los requisitos de capacidad empleando los equipos existentes. La mejora del control volt/var en los alimentadores de distribución es una oportunidad ideal para resolver todas estas dificultades.**

### Imagen del título

Con un número cada vez mayor de fuentes renovables que se incorporan en línea y con unas cargas de los clientes cada vez más exigentes, las redes eléctricas se fuerzan hasta el límite. El control volt/var avanzado ayuda a las compañías eléctricas a afrontar este desafío.

**E**l control volt/var no es un concepto nuevo para ellas. Desde el desarrollo de los sistemas de distribución se ha dedicado mucho esfuerzo a compensar el impacto de la energía reactiva y la caída de tensión. La gestión efectiva de las tensiones y las pérdidas en los alimentadores de distribución mantiene las tensiones dentro del ancho de banda operativo definido por las normas. Esto significa que los equipos de los clientes trabajarán adecuadamente y que se podrá optimizar el factor de potencia, permitiendo reducir las pérdidas reactivas.

Hay muchos factores que influyen en el control volt/var, como el tipo de carga del consumidor, que puede ser resistiva, como la iluminación clásica, o inductiva, como los motores de la maquinaria, por ejemplo. La integración de recursos energéticos distribuidos, como la energía fotovoltaica (PV) solar, el almacenamiento de energía distribuido, la infraestructura para la carga de vehículos eléctricos y las micro-redes contribuye a la complejidad de las operaciones de las redes de distribución

y el control volt/var en los alimentadores de distribución.

Un control volt/var eficaz tiene también consecuencias en la inversión de capital: la demanda máxima en un sistema suele durar menos de algunos cientos de horas al año. El control activo de la demanda en el sistema de distribución, incluyendo una respuesta controlada a la demanda y la optimización volt/var (VVO), pueden reducir de forma muy eficaz la demanda máxima en la totalidad de la red eléctrica. Recortando los picos se reduce la necesidad de una costosa inversión de capital en producción.

No obstante, la complejidad y la naturaleza dinámica de los alimentadores de dis-

---

**El control activo de la demanda, la respuesta controlada a la demanda y la VVO pueden reducir muy eficazmente los picos de la red.**

tribución hace extremadamente difícilso el control de la tensión y la energía reactiva.



---

La gestión efectiva de las tensiones y las pérdidas en los alimentadores de distribución mantiene las tensiones dentro del ancho de banda operativo definido por las normas.



### Regulación de la tensión

La regulación de la tensión es uno de los componentes más importantes del control volt/var e implica el control de las tensiones en los alimentadores bajo condiciones de carga variables. Los transformadores de subestación equipados con conmutadores de tomas de cargas y reguladores de tensión de línea ayudan a controlar las tensiones de servicio, principalmente en los sistemas radiales de alimentadores de distribución. Las tensiones de alimentadores optimizados mejoran la calidad del suministro eléctrico al impedir condiciones de sobretensión o infratensión y conseguir un perfil de tensiones más plano a lo largo del alimentador.

Generalmente, los sistemas eléctricos requieren la alimentación de energía real (vatios) y energía reactiva (vars). La energía real, o componente activo, la suministra una fuente de generación y entrega la energía activa que realiza un trabajo real para el cliente. La energía reactiva puede suministrarla una fuente de generación o una alimentación de var local, como una batería de condensadores alimentadores o un inversor PV solar controlable. El componente reactivo no lleva a cabo trabajo real, pero ocupa parte del ancho de banda de la entrega de energía. Se diseñan dispositivos para compensar la energía reactiva a fin de reducir este componente improductivo del suministro eléctrico y reducir las pérdidas. Las compañías prefieren abordar localmente el control de var

porque su entrega a través de la red eléctrica se traduce en caídas de tensión añadidas y pérdidas en las líneas. Puesto que la carga en los alimentadores varía, las compañías cumplen los requisitos de var conectando dispositivos locales de compensación de la energía reactiva, como condensadores, conectándolos durante las fases de cargas elevadas en los alimentadores y desconectándolos en las de cargas menores. Las baterías de condensadores se pueden colocar en la subestación o en los alimentadores. Un flujo de var optimizado mejora el factor de potencia y puede traducirse en un importante ahorro de gastos en energía, necesidades de capacidad y utilización de infraestructura.

La integración de la regulación de tensión y el control de var permite la reducción de la tensión de conservación (CVR). Aquí, se reduce la demanda del sistema mediante la reducción controlada de la tensión dentro de los límites aprobados en los puntos de servicio del cliente. La CVR reduce aún más las pérdidas y aminora la energía total consumida, lo que a su vez reduce los requisitos de capacidad de producción y las emisiones. La CVR puede normalmente reducir la demanda entre un 2 y un 4 por ciento, un factor importante para compañías que tienen limitada su capacidad o que se enfrentan a cargas de demanda máxima en sus acuerdos de adquisición de energía eléctrica.





### Ventajas de las comunicaciones de distribución

Los sistemas centralizados de control por radio se introdujeron en los sistemas de las compañías hace unos 30 años y desde entonces han evolucionado a comunicaciones bidireccionales que han permitido sistemas de control volt/var en bucle cerrado. Además, se dispone de sensores más avanzados y controladores aptos para comunicaciones para dispositivos de campo que controlan las tensiones y la circulación de energía reactiva en los alimentadores. Estos sistemas comprueban continuamente las cargas y las ten-

los de distribución empezaron a pasar de la planificación al entorno operativo. La conectividad del sistema, la ubicación de los dispositivos protectores y de conmutación y el conocimiento de la localización de los clientes permitían unos motores de predicción de los cortes de suministro más precisos. El resultado fue unos tiempos menores del corte de suministro al cliente y un aprovechamiento más eficiente de los equipos de trabajo de campo.

Otros factores incluían la reducción de la demanda, el rendimiento energético, la mayor utilización de recursos y un mejor

conocimiento de la distribución en ese momento. Otros factores técnicos del impulso actual incluyen una mejor potencia de cálculo para manejar grandes modelos de distribución e inver-

siones por más compañías en sistemas avanzados de información geográfica (GIS). Estos elementos, junto con la disponibilidad de sensores rentables, dispositivos inteligentes y comunicaciones, y modelos de redes, han llevado al despliegue de sistemas de control volt/var eficaces.

El control volt/var basado en modelo tiene consecuencias importantes para la explotación.

## La CVR reduce aún más las pérdidas y aminora la energía total consumida en la producción, y reduce las emisiones.

siones en los circuitos de los alimentadores y conectan dispositivos compensadores que mejoran su factor de potencia, controlan las tensiones en ellos y reducen la demanda. También admiten CVR automáticos.

### Control volt/var basado en un modelo

En la actualidad, hay varios factores que llevan al empleo de modelos de sistemas de distribución en el entorno operativo. Al principio del decenio de 1990, los mode-

### Soluciones de ABB para el control volt/var

ABB dispone de tres sistemas de control volt/var que se encargan de controlar las

En la VVO, se utiliza el estado del sistema tal como se opera, incluyendo actualizaciones en tiempo real de SCADA y de sistemas de control de cortes de suministro.



tensiones y la circulación de energía reactiva en la red de distribución.

#### Software de control de volt/var (VVMS)

VVMS es un sistema con posibilidad de ampliación para el control en bucle cerrado de tensión y var. Analiza continuamente cargas y tensiones en los circuitos de alimentadores y, cuando sea preciso conecta dispositivos compensadores tales como condensadores, reguladores de tensión de línea y conmutadores de tomas en carga de transformadores. El VVMS puede funcionar como una solución para control volt/var independiente o puede integrarse funcionalmente con los sistemas de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA) o de gestión de la distribución (DMS). VVMS es interoperable con muchos sistemas distintos SCADA, DMS, hardware de control y comunicaciones. Esto aporta a los clientes un breve tiempo de preparación, protección de la inversión de capital y libertad para utilizar el hardware y los productos de comunicaciones más adecuados.

#### Sistema de control volt/var DMS 600 (VVCS)

VVCS proporciona una funcionalidad total de sistema SCADA y una aplicación VVO que emplea la información del sistema de la base de datos de DMS 600 y los valores umbral configurados para determinar la configuración óptima de baterías de condensadores y reguladores de tensión. La aplicación VVCS no precisa un modelo DMS completo, sino que emplea valores medidos comunicados a través de SCADA y puntos de consigna configurados para

determinar la solución óptima. Instala esta solución con control a distancia manual o automático de la batería de condensadores y de las posiciones de tomas de los reguladores de tensión. Asimismo, el VVCS proporciona herramientas para un control total de una topología de red empleando los modelos GIS estándar, y comunica datos de estado en tiempo real, análisis de conectividad y representación de la topología de distribución.

#### La aplicación de red avanzada VVO basada en modelos de Network Manager DMS

En la VVO, se utiliza el estado del sistema tal como se opera, incluyendo actualizaciones en tiempo real de SCADA y de sistemas de control de cortes de suministro. Esto permite a las compañías de distribución mantener el control preciso de la tensión necesario para implantar la CVR sin infringir los límites de tensión del cliente. Los sistemas basados en un modelo pueden tener en cuenta los cambios en la red cuando se producen, incluyendo las transferencias de carga y baterías de condensadores entre alimentadores y las condiciones variables de la carga. Se desarrollan soluciones óptimas que tienen en cuenta la topología del circuito y las distancias de los alimentadores que afectan a la circulación de tensiones y var en todo el alimentador.

Esta aplicación optimiza matemáticamente la configuración de cada aparato empleando un modelo de la red obtenido con GIS. La aplicación utiliza baterías conmutables de condensadores, regula-

dores de tensión de línea y tomas controlables de transformadores como variables del control de optimización.

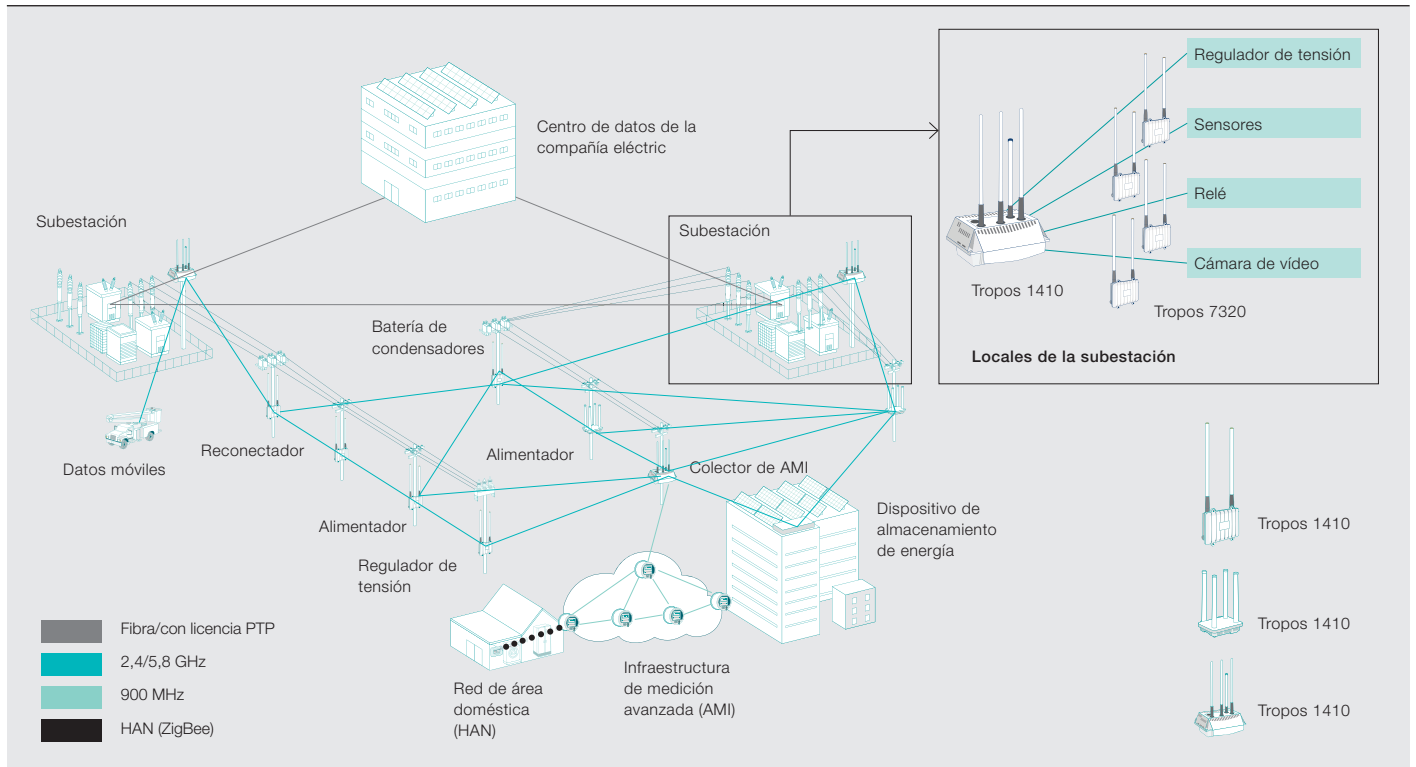
La VVO basada en modelo permitirá asimismo que los operadores de distribución incorporen nuevos elementos complejos, incluyendo más producción renovable localizada en niveles de distribución de tensión, más procesos de gestión de recursos y supervisión del sistema y ampliaciones de la infraestructura de carga de vehículos eléctricos.

#### Hardware e infraestructura de apoyo

ABB suministra una amplia cartera de hardware e infraestructura de apoyo para el control volt/var.

Las baterías de condensadores de ABB proporcionan una forma económica de añadir condensadores a un sistema de alimentadores de distribución para suministrar apoyo de tensión, menos pérdidas del sistema, liberar capacidad del sistema y eliminar penalizaciones por factor de potencia → 1. Las baterías están pre-conectadas y montadas en fábrica, listas para su instalación.

El interruptor de vacío PS es un interruptor de vacío de dieléctrico sólido adecuado para su uso en sistemas de distribución hasta 38 kV sin conexión a tierra (con ella: 66 kV) → 2. El interruptor ha sido específicamente diseñado y probado según la ANSI C37.66 para trabajo pesado en aplicaciones de conmutación de condensadores con las condiciones climáticas más duras.



El CQ900 de ABB, la siguiente generación de controladores de condensadores inteligentes con comunicaciones bidireccionales, está específicamente diseñado para aplicaciones con condensadores y de control avanzado volt/var → 3.

La familia de productos de sensores de tensión e intensidad DistribuSense de ABBTM permite una mayor inteligencia de los alimentadores y toma decisiones oportunas para el control volt/var y las aplicaciones CVR → 4. La última incorporación a la tecnología de sensores de exterior de ABB, el sensor DistribuSense WLS-110, combina la supervisión de tensión WLS-110 con la última tecnología de transformadores de intensidad de núcleo partido de corte de precisión.

**Sistemas de comunicaciones inalámbricos**

Tropos de ABB proporciona una red de IP de banda ancha inalámbrica basada en normas industriales → 5. Incluye routers de red mallada para exterior, interior y móviles. El sistema operativo para red patentado Tropos se ha creado desde cero para cubrir los problemas de despliegue de redes exteriores, críticas para la misión. Dispone de radio direccional para comunicaciones punto a punto y punto a multipunto y un sistema de control y gestión centralizado “carrier class”. Aplicando estos elementos, se utilizan los

sistemas Tropos para construir las redes más fuertes, ampliables, de altas prestaciones y seguras para compañías eléctricas, municipios, minas y clientes industriales.

**Ventajas**

El control volt/var ayuda a las compañías eléctricas a pasar de la operación a ciegas a la gestión de los alimentadores con múltiples medidas y puntos de control, instrumentación completa de los alimentadores y control en bucle cerrado para la optimización automática. La incorporación creciente de fuentes de producción renovable variable, y la también creciente diversidad y variabilidad de las cargas, están creando una buena base para el control volt/var.

Las compañías eléctricas se acercan más que nunca a sus límites, y por eso es tan importante la capacidad de optimizar dentro de los parámetros operativos. Por ejemplo, OG&E, una gran compañía eléctrica americana, va a la vanguardia de la puesta en práctica de VVO basada en modelo para vencer estas dificultades. La VVO permite a OG&E maximizar el rendimiento y la fiabilidad de sus sistemas de distribución al tiempo que reduce considerablemente la demanda de pico, minimiza las pérdidas y reduce los costes generales de funcionamiento.

Si una compañía integrada verticalmente puede también optimizar el factor de potencia, tiene que producir menos energía para satisfacer la demanda. Esto beneficia asimismo al medio ambiente en términos de menor consumo de combustible fósil. Además, un buen control del factor de potencia evita tener que pagar multas por funcionamiento fuera de las especificaciones. Estrategias como CVR pueden reducir los costes todavía más: la demanda general al sistema se reduce en un factor del 0,7 al 1,0 por ciento por cada 1 por ciento de reducción de la tensión. Desde el punto de vista del consumidor, esto reduce la energía que consume. Desde el punto de vista de la compañía eléctrica, esto reduce la cantidad de energía que tiene que producir o adquirir a un productor. Hay un beneficio obvio asociado a unos menores costes de explotación, pero como estas estrategias se pueden aplicar para desviar inversiones a nuevas oportunidades de generación o para afrontar la merma de capacidad a causa de la retirada de recursos de generación antiguos, las ventajas pueden ser enormes.

**Gary Rackliffe**

ABB Power Products  
Raleigh, NC, Estados Unidos  
gary.rackliffe@us.abb.com







# Distribución más inteligente

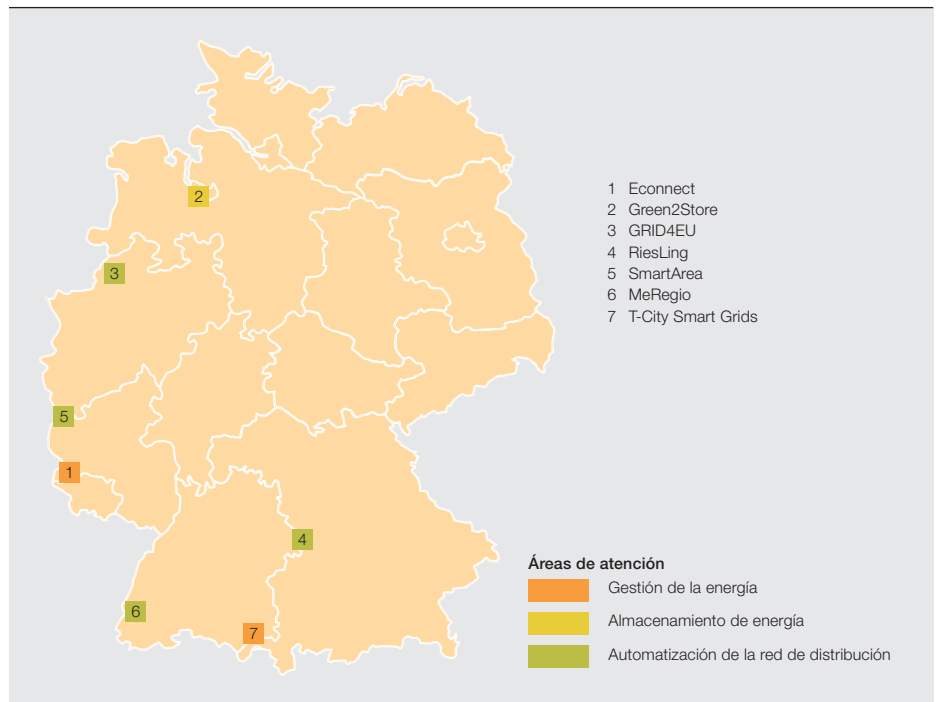
Cómo aumentar la capacidad de las redes de distribución para integrar la generación distribuida

BRITTA BUCHHOLZ, MARTIN MAXIMINI, ADAM SLUPINSKI, LEYLA ASGARIEH – Los sistemas energéticos están experimentando una transformación importante impulsada principalmente por los mayores porcentajes de generación distribuida. Con millones de generadores pequeños y fluctuantes que entregan valores de tensión por debajo de 132 kV, la necesidad de aumentar la capacidad de las redes de distribución para incluir la generación distribuida exige nuevas soluciones. ABB ha desarrollado algunas de ellas en colaboración con operadores de redes e instituciones académicas de Alemania. La primera solución se centra en un método de planificación inteligente que ayuda a los operadores de redes modernizando económicamente las redes de distribución a lo largo del tiempo. El siguiente paso es la automatización de las redes de distribución para subestaciones secundarias inteligentes y la regulación de la tensión de distribución. Y, por último, ABB, empleando software de gestión de recursos, como NEPLAN® Maintenance, ayuda al operador a resolver problemas tecnológicos difíciles mientras se mantienen mínimos los costes.

---

#### Imagen del título

Las centrales solares, eólicas y de biogás producen más energía de la consumida en varias regiones de Alemania. La imagen muestra la ciudad de Freiamt en la Selva Negra. (Fotografía Luca Siermann)



La capacidad de los alimentadores de distribución viene definida por códigos de red nacionales o locales y por las prácticas usuales de los operadores de sistemas de distribución. No obstante, varios factores, tales como calificación térmica, regulación de tensión, niveles de averías, calidad de la energía eléctrica, circulación inversa y funcionamiento en isla, y esquemas de protección limitan la capacidad de inclusión y muchos países han propuesto posibles métodos de superar esta limitación [1]:

- Modificación de la topología de la red, imposición de la red y/o nuevas instalaciones
- Corriente de cortocircuito como servicio auxiliar
- Regulación de la tensión y compensación de la energía reactiva
- Control energético de generadores distribuidos
- Adaptación de los esquemas de protección
- Opciones futuras tales como control, almacenamiento, gestión de carga y elementos activos para área extensa

En Alemania, el sistema eléctrico se ha diseñado con grandes capacidades de reserva, lo que significa que muchas redes pueden admitir una mayor generación. Sin embargo, en la mayoría de las redes un factor de limitación de su capacidad es el nivel de tensión. Además, las

fluctuaciones de la velocidad del viento y de la radiación solar producen cambios rápidos de la tensión. En estas condiciones, es bastante difícil mantener la tensión dentro de ciertos límites definidos y evitar el parpadeo. Para estabilizar la tensión y suministrar energía reactiva de los generadores distribuidos, los operadores

## La gran implantación de la generación distribuida aplica mayor presión para mantener y aumentar la fiabilidad y la disponibilidad.

de redes de Alemania tienen en cuenta sobre todo dos pautas para cumplir su código de red local:

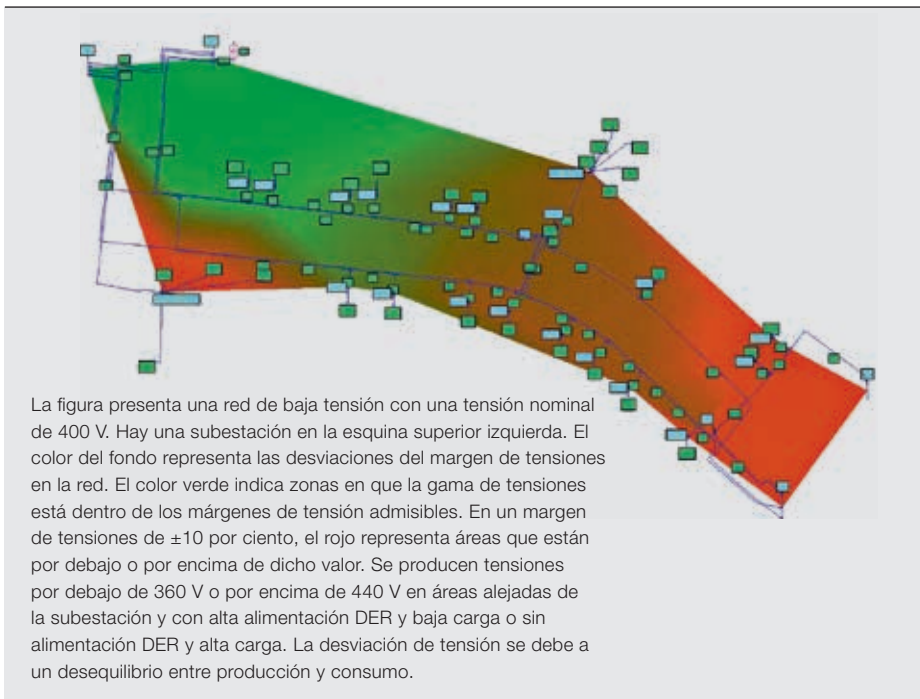
- La directriz técnica de la Asociación Alemana de industrias Energéticas e Hidráulicas (BDEW) relativa a la conexión de centrales a la red de media tensión; la directriz es aplicable a todos los generadores con una capacidad de 100 kW o más [2].
- El cumplimiento de la disposición de conexión a redes de la VDE, VDE-AR-N 4105, es obligatorio para todos los generadores con una capacidad instalada por debajo de 100 kW [3].

La Ley Alemana sobre Energías Renovables de 2012 exige que todos los generadores distribuidos con una capacidad superior a 30 kW participen en la gestión de la introducción de energía renovable del operador del sistema de distribución, que puede reducir la energía activa por control remoto en caso de problemas de

estabilidad de la red. En agosto de 2014 entró en vigor la nueva Ley de Energías Renovables, que refuerza la participación de la generación distribuida en el mercado y fomenta la predicción fiable de la producción [4].

Actualmente, los nuevos códigos de redes europeos preparados por la Red Europea de Operadores de Sistemas de Redes de Transporte de Electricidad (ENTSO-E) están convirtiéndose en una ley europea [5]. En su "Estudio de Servicios Auxiliares 2030" la Agencia Alemana de la Energía, dena, dice que la gran implantación de recursos distribuidos y renovables exige un nuevo método sistémico para el desarrollo del sistema energético completo para todos los niveles de tensión [6].





FIONA es una unidad de supervisión y control a distancia para subestaciones secundarias inteligentes, y proporciona suficiente información sobre el transformador de 20 kV / 0,4 kV con sólo unas pocas mediciones.

Proyectos piloto con operadores de redes e instituciones académicas<sup>1</sup> han pasado a ser soluciones innovadoras de ABB para operar y controlar redes de distribución con altos porcentajes de generación distribuida en Alemania. Algunos de ellos se describen en los apartados siguientes → 1.

### Aumento de la capacidad de red en Renania-Palatinado

En el pasado, era fácil calcular los flujos de carga y los niveles de tensión en un sistema distribuido en que se distribuía la energía desde los niveles de tensión más altos a los más bajos. Actualmente, la red recoge y distribuye la energía al mismo nivel de tensión, efectuando cálculos más complejos. Para determinar si se puede conectar un generador sin violar los límites, las herramientas de software van haciéndose más importantes en todos los niveles de tensión. Se está desarrollando una de dichas herramientas, NEPLAN Maintenance, para que los planificadores puedan reaccionar rápidamente a las solicitudes de los clientes para conectar sus generadores a la red → 2. Esto ayudaría a

aplazar o incluso evitar inversiones para la ampliación de la red aprovechando al máximo la infraestructura existente. No obstante, al alcanzar la infraestructura sus límites, la fiabilidad y la disponibilidad de los recursos se hacen aún más críticas. Además, los reguladores de tiempos están requiriendo gastos de mantenimiento planos a pesar de la ampliación de las redes. Otra herramienta, Asset Health Center de ABB, ayuda a que los operadores de redes comprendan el peligro de avería en cada uno de sus recursos críticos de distribución, eviten averías en ellos y, al mismo tiempo, minimicen sus gastos de mantenimiento.

En 2011, RWE Deutschland AG demostró cómo un regulador de tensión activo, el PCS100 AVR, basado en electrónica de ABB, podía estabilizar los niveles de tensión en la red de 20 kV y en las estaciones de transformadores de 20 kV / 0,4 kV. Desacoplando la fluctuaciones en los niveles de tensión de 110 kV, 20 kV y 0,4 kV, se aumentó considerablemente la capacidad de la red para incluir generación distribuida, lo que a su vez acarrearía reducciones importantes de costes para el operador de la red, principalmente en el nivel de 20 kV. Entre 2010 y 2013, ABB instaló satisfactoriamente un total de 10 PCS100 AVR en las estaciones transformadoras de 20 kV / 0,4 kV [7]. De hecho, el producto base AVR está ahora bien implantado en el mercado y se le

conoce por su gran calidad energética en aplicaciones industriales y comerciales.

Los equipos proyectistas han concluido que los requisitos típicos del operador de sistemas de distribución relativos a la regulación de tensión en las estaciones transformadoras de 110 kV / 20 kV y 20 kV / 0,4 kV son inferiores a los de las aplicaciones industriales y pueden satisfacerse con la solución más económica de un conmutador de tomas en carga. La Sociedad de Ingeniería Energética de la Asociación Alemana de Tecnologías Eléctrica, Electrónica y de la Información e.V. (VDE-ETG) recomienda la regulación de la tensión de distribución como un recurso económicamente inteligente [8].

Basándose en estas conclusiones, ABB ha desarrollado un transformador de distribución controlado por tensión conocido como Smart-R Trafo<sup>2</sup> para cumplir los requisitos de los operadores de sistemas de distribución → 3. Se basa en un conmutador de tomas en carga que cambia la tensión en cinco pasos y proporciona una calidad adecuada de la energía eléctrica para las redes de distribución. Se espera que Smart-R Trafo pase a ser un recurso estándar para los operadores de redes de distribución en Alemania y en otros mercados.

#### Notas a pie de página

- 1 En colaboración con operadores de redes como RWE Deutschland AG, Westnetz, E.ON Mitte, STAWAG, Stadtwerke Duisburg, Netze BW y EnBW ODR, e instituciones académicas como la Universidad Técnica de Dortmund y la Universidad de Stuttgart.
- 2 Presentado en la Feria Industrial de Hannover en abril de 2014.

---

El método de ABB de “planificación inteligente” transforma esencialmente por pasos una red existente de baja tensión en una red inteligente.



#### Supervisión y control en Baviera

La gran implantación de la generación distribuida aplica mayor presión para mantener o incluso aumentar la fiabilidad y la disponibilidad, lo que a su vez influye sobre el tiempo de cortes de corriente. Para optimizar recursos y refuerzos, aún se hace más importante la información sobre la carga medida: en lugar de suponer una carga máxima poco realista, se hacen cálculos basados en una situación de caso más desfavorable. Para abordar estos requisitos e incorporar la regulación de tensión en una oferta de automatización de la distribución, ABB ha desarrollado un nuevo conjunto de soluciones como parte de lo que se conoce como proyecto RiesLing<sup>3</sup> [9].

La primera, FIONA, es una unidad de supervisión y control a distancia para subestaciones secundarias inteligentes, y proporciona suficiente información sobre el transformador de 20 kV / 0,4 kV con sólo unas pocas mediciones → 4. Además de esto está el PCS100 AVR para regulación de tensión de área extensa para mantener la tensión medida en los puntos distribuidos dentro del ancho de banda permitido.

Se desarrollaron nuevas funciones de operaciones predictivas que se introdujeron en el sistema de control de redes para predecir anticipadamente la congestión en el nivel de 20 kV. Estas funciones apor-

tan flexibilidad para cambiar las topologías o permitir a los clientes responder adaptando sus consumos futuros [10].

#### Planificación inteligente en Aquisgrán y Duisburgo

A pesar de que la regulación de la tensión es ampliamente reconocida como una solución económica para modernizar la red, su incorporación a la planificación y operación normal no es tan directa. Para muchos operadores de sistemas de distribución, saber cuándo su red alcanzará sus límites operativos es un problema, porque no conocen el momento, el volumen y el tipo de la demanda que se va a hacer a sus redes. Tras la promulgación de la Ley de Energías Renovables en Alemania, muchos operadores de redes se vieron sobrepasados por un gran número de peticiones privadas para conectar generadores con un pequeño tiempo de respuesta.

Para superar esta barrera y permitir decisiones rápidas, ABB ha desarrollado el método de la “planificación inteligente” que transforma esencialmente por pasos una red existente de baja tensión en una red inteligente que cumple los requisitos actuales [11]. Las redes se clasifican en primer lugar empleando unas pocas características estructurales, tales como el número de unidades y puntos de acoplamiento común, el radio de la red de distribución secundaria, y la implantación de sistemas fotovoltaicos (PV) en la red.

Si la generación distribuida no alcanza un punto crítico, pueden concederse las solicitudes de conexión sin otros cálculos

---

#### Nota a pie de página

<sup>3</sup> En colaboración con Netze BW, EnBW ODR AG y T-Systems.



en la red. Se clasifica una red como potencialmente crítica y después se procede a la fase de observación en que se mide el nivel de tensión en la subestación secundaria. El nivel de tensión de la red local se estima empleando como referencia la huella característica (fingerprint) de la red (tomada mediante mediciones o cálculos de la red). Se ha comprobado en diversas redes reales que las tensiones estimadas (basándose en la huella fingerprint) en el punto crítico del alimentador y los valores realmente medidos en las diversas redes de distribución solamente varían en un máximo de  $\pm 2$  V (menos de un 1 por ciento). Si durante esta fase, la red alcanza el límite máximo permitido de tensión, la subestación secundaria correspondiente tiene que ampliarse en la fase siguiente, por ejemplo, con un regulador de tensión o un transformador de distribución controlado por tensión.

#### Regulación de incentivos

La liberalización del mercado de la energía y la introducción de una regulación mediante incentivos han hecho crecer la presión sobre las operaciones del sistema para reducir sus costes al tiempo que se asegura un alto nivel de fiabilidad de servicio. Esto supone desplazar la atención de los aspectos puramente técnicos a los técnico-económicos. Para conseguir este equilibrio, es esencial un plan de mantenimiento que ajuste los recursos empleados y la operación de la red.

La herramienta de gestión de recursos de ABB, NEPLAN Maintenance, es un software aprobado para preparar planes de

mantenimiento, por ejemplo, mantenimiento centrado en la fiabilidad y simulación de recursos a largo plazo. Hay una herramienta de evaluación de presupuestos que calcula los costes para diversas estrategias de mantenimiento.

Los sistemas de distribución desempeñan un papel importante en la transformación en curso de los sistemas energéticos. Las soluciones desarrolladas por ABB junto con los operadores de redes y las instituciones académicas alemanas ayudan a los usuarios mejorando técnica y económicamente sus instalaciones ya existentes. En un futuro próximo, funciones más automatizadas (predefinidas) podrán efectuar el control de dispositivos primarios para optimizar la operación de la red.

**Britta Buchholz**

**Martin Maximini**

**Adam Slupinski**

**Leyla Asgarieh**

ABB Power Systems Consulting  
Mannheim, Alemania

britta.buchholz@de.abb.com

martin.maximini@de.abb.com

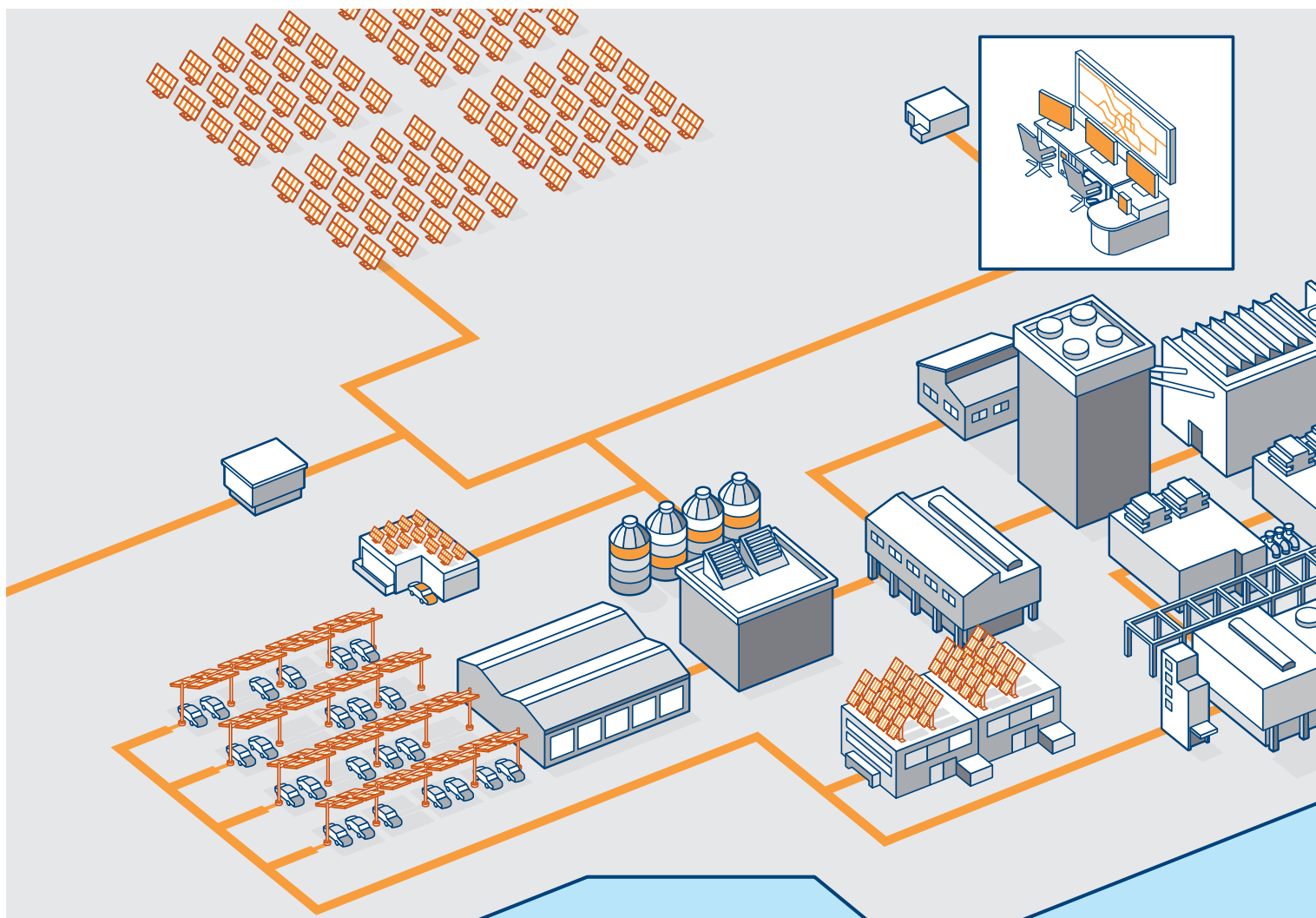
adam.slupinski@de.abb.com

leyla.asgarieh@de.abb.com

#### Referencias

- [1] S. Papathanassiou *et al.* "Capacity of Distribution Feeders for Hosting DER," CIGRE Technical brochure 586, Paris, ISBN: 978-2-85873-282-1, June 2014.
- [2] BDEW. (2008, June). *Generating plants connected to the medium-voltage network: Guideline for generating plants' connection to and parallel operation with the medium-voltage network* [Technical guideline]. Available: [http://www.bdew.de/internet.nsf/id/A2A0475F2FAE8F44C12578300047C92F/\\$file/BDEW\\_RL\\_EA-am-MS-Netz\\_engl.pdf](http://www.bdew.de/internet.nsf/id/A2A0475F2FAE8F44C12578300047C92F/$file/BDEW_RL_EA-am-MS-Netz_engl.pdf)
- [3] VDE. (2011). *VDE Anwendungsregel 4105 "VDE-AR-N 4105"* [Technical guideline]. Available: <http://www.vde.com>
- [4] Renewable Energy Act (2014) *Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien*. Available: [http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/eeg\\_2014/gesamt.pdf](http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/eeg_2014/gesamt.pdf)
- [5] ENTSO-E. *Requirements for generators* [Network code]. Available: <https://www.entsoe.eu/major-projects/network-code-development/requirements-for-generators/Pages/default.aspx>
- [6] dena. (2014, Feb. 11). *Ancillary Services Study 2030: Security and reliability of a power supply with a high percentage of renewable energy* [Report]. Available: [http://www.dena.de/fileadmin/user\\_upload/Projekte/Energiesysteme/Dokumente/dena\\_Ancillary\\_Services\\_Study\\_2030.pdf](http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Projekte/Energiesysteme/Dokumente/dena_Ancillary_Services_Study_2030.pdf)
- [7] C. Willim *et al.*, "Zukünftige Spannungsregelung im Netz der E.ON Mitte AG (Future voltage regulation in the distribution grid of E.ON Mitte AG)," in *Proceedings of VDE-ETG Congress*, Wuerzburg, Germany, 2011.
- [8] VDE-ETG. (2013, January). *Aktive Energienetze im Kontext der Energiewende*. Available: <http://www.vde.com/de/fg/ETG/Arbeitsgebiete/V2/Aktuelles/Oeffentlich/Seiten/VDE-StudieAEN.aspx>
- [9] S. Kaempfer *et al.*, "The RiesLing (Germany) and InovGrid (Portugal) projects - Pilot projects for innovative hardware and software solutions for Smart Grid requirements," in *Proceedings of CIGRE Session*, Paris, 2014, pp. 25–28.
- [10] C. Franke *et al.*, "Una actuación inteligente: fortalecimiento de las redes inteligentes mediante una colaboración piloto en condiciones reales," *ABB Review* 3/2013, pp. 44–46.
- [11] A. Slupinski *et al.*, "Neue Werkzeuge zur Abschätzung der maximalen Spannung im Niederspannungsnetz" (New tools to estimate maximum voltage in the low-voltage grid), in *Proceedings of VDE-ETG Congress*, Berlin, 5–6 November 2013, ISBN 978-3-8007-3550-1 VDE Verlag.

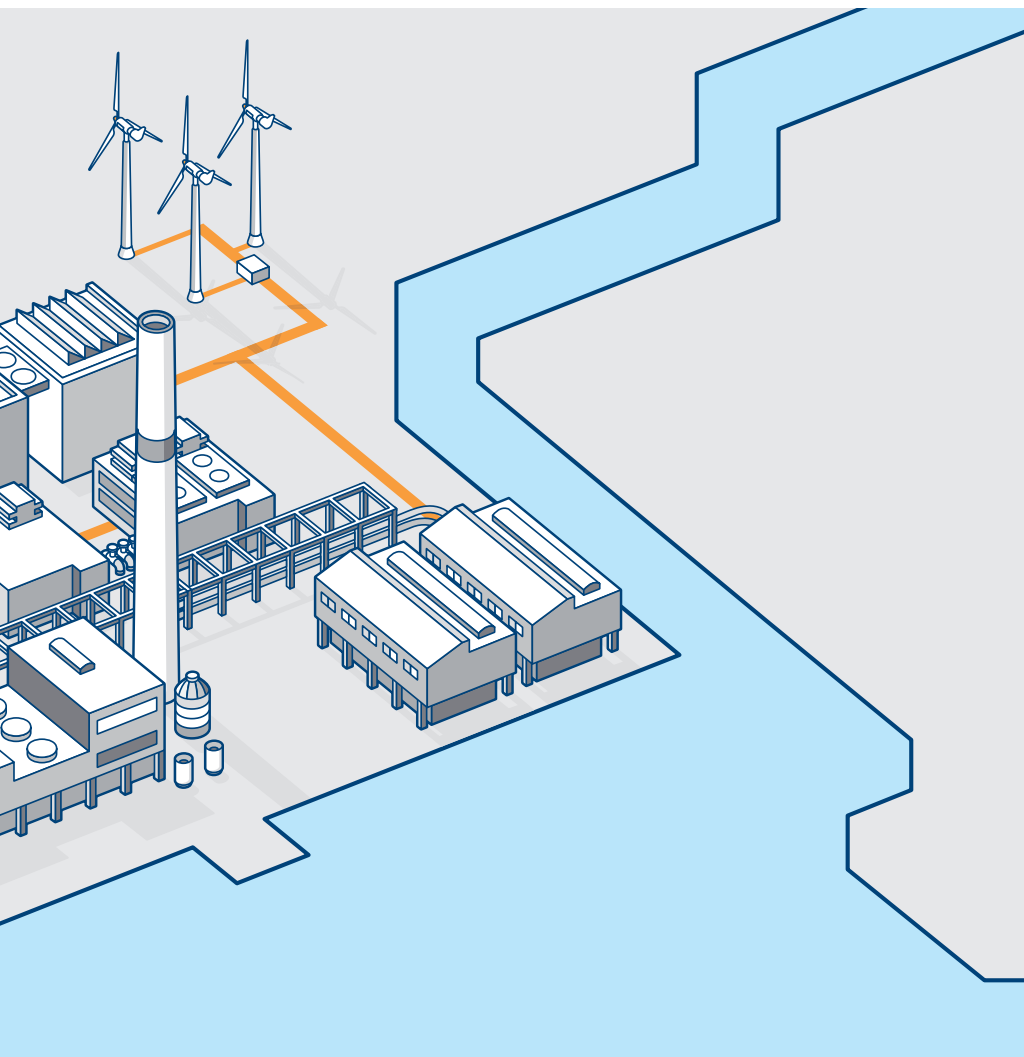




# Sitio activo

Active Site de ABB optimiza la conectividad entre las microrredes y la macrorred

PHILIP JUNEAU, DIRK JOHN – La rápida extensión de la generación descentralizada (como los paneles fotovoltaicos de cubierta) está cambiando fundamentalmente el funcionamiento de la distribución eléctrica. Muchos emplazamientos, desde institutos hasta complejos industriales o militares, tienen ahora grandes unidades de generación y almacenamiento y, en consecuencia, están creando redes locales que son casi versiones en miniatura de las redes exteriores. Estos sitios pueden (en parte) cubrir sus propias necesidades mientras utilizan su conexión exterior para obtener lo que no pueden generar por ellos mismos (o para descargar el exceso). Aquí es donde interviene la tecnología Active Site de ABB: un Active Site puede controlar y optimizar la microrred y su interfaz con la macrorred, asegurando una optimización del empleo de la energía eléctrica y de los costes, permitiendo al tiempo que la microrred participe totalmente en lo que se denomina a menudo la red inteligente.



Las microrredes son básicamente versiones de tamaño reducido de las redes eléctricas clásicas.

La generación descentralizada que emplea tecnologías renovables ha abierto nuevas posibilidades para que los emplazamientos industriales controlen localmente sus recursos energéticos. Las ventajas incluyen la eficiencia energética, asegurando una estabilidad y calidad de la electricidad e interconectándose con la red eléctrica exterior de forma beneficiosa. Este modelo energético, más o menos independiente, se denomina sin mucha precisión “microrred”. En la industria y la universidad hay muchas definiciones para este término, pero ABB lo ha definido de la forma siguiente: “Una microrred es un sistema energético integrado compuesto

por recursos energéticos distribuidos y múltiples cargas eléctricas que actúan como una sola red, autónoma, bien en paralelo o en “modo de isla” respecto a la red de la compañía eléctrica existente.”

Muchos sitios, que van desde institutos hasta complejos industriales o militares, incorporan ahora grandes unidades de generación y almacenamiento.

mas avanzados de supervisión, control y automatización.<sup>1</sup>

Las microrredes son básicamente versiones de tamaño reducido de las redes eléctricas clásicas. Los tipos de microrredes incluyen:

- Microrredes autónomas aisladas, que se encuentran por ejemplo en islas sin conexión con la red principal.
- Microrredes conectadas débilmente que se pueden encontrar en los extremos de las líneas de redes eléctricas clásicas de mayor tamaño, o en instalaciones que pueden “salirse” cuando lo desean.
- Microrredes semiautónomas, situadas en lugares continentales remotos, tales como comunidades muy alejadas, estaciones de investigación, bases militares y sitios industriales.

Todas las microrredes tienen una potencia nominal total comprendida entre 100 kW y 50 MW.

#### Imagen del título

Optimización de la generación, el intercambio, el almacenamiento y el consumo de energía eléctrica para varios edificios u objetos

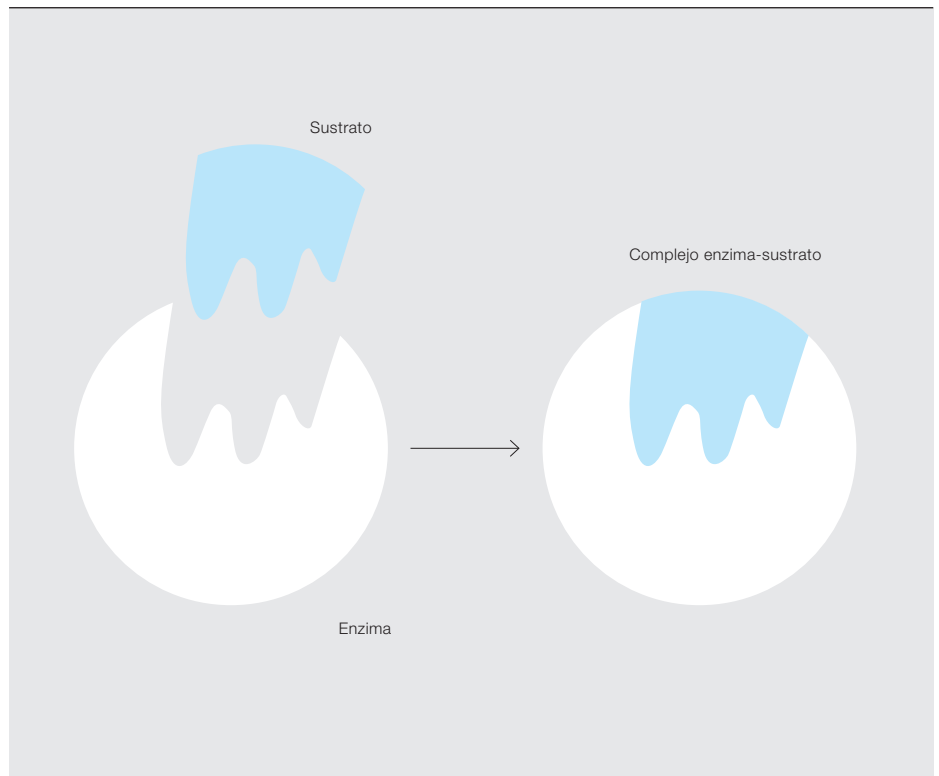
#### Nota a pie de página

<sup>1</sup> Véase asimismo el artículo sobre microrredes en las páginas 54–60 de este número de la Revista ABB

Una microrred incluye generación, un sistema de distribución, consumo y almacenamiento, y gestiona todo ello con siste-

Un Active Site permite que el propietario o el operador del sitio pase de un papel pasivo a otro activo estableciendo un sistema avanzado de supervisión y control.

1 En biología, un sitio activo es el acoplamiento a la medida entre la enzima y el sustrato.



#### Active Site

El término de ABB, Active Site, tiene su origen en la biología, donde un sitio activo es la pequeña parte de una enzima a la que se unen moléculas de sustrato para experimentar una reacción química. La reacción sólo se puede producir cuando un sustrato choca y encaja con su único y coincidente sitio activo → 1.

En el contexto de conectividad de sitios de microrredes, ABB emplea el término Active Site para describir el “sustrato tecnológico” que une un sitio (el sustrato) a la macrorred (la enzima) permitiendo así

La tecnología Active Site de ABB se dirigirá a las microrredes de compañías eléctricas que, por ejemplo, se encuentran en sedes industriales, instalaciones universitarias y complejos militares. Estas microrredes están conectadas, pero pueden controlarse independientemente de la macrorred. Las microrredes de distribución, que forman parte de la red del suministrador de energía eléctrica o compañía de redes malladas, pueden ser manejadas de forma diferente, y no se contemplan en este artículo. No obstante, la aplicabilidad de la tecnología merece una mayor evaluación.

## La creación de un Active Site es un desarrollo continuado que requiere un procedimiento paso a paso.

que el sitio funcione como una microrred semiautónoma. Un Active Site optimiza el despliegue de la generación (renovable) y el almacenamiento in situ, la supervisión y el control en todo el sitio y la comunicación con la red eléctrica.

Un Active Site permite que el propietario u operador de un sitio pase de un papel pasivo a otro activo utilizando eficientemente una tecnología de vanguardia por medio de

un sistema avanzado de supervisión y control; proporciona una relación mutuamente beneficiosa con la red inteligente, a saber:

- Aumento de la eficiencia energética global del sitio y reducción simultánea de las pérdidas de energía de línea en la red al dimensionar y situar la generación cerca de la demanda.



## 2 Estructura del proceso de ABB para poner en servicio Active Site.

|   | Perfil y requisitos definidos  | Recursos optimizados   | Edificio optimizado  | Sitio optimizado   |   |
|---|--|--|--|--|---|
|   | ↓  | ↓  | ↓  | ↓  |   |
| <b>Plan de energía del edificio/sitio</b> | <b>Verificar perfil de energía y requisitos</b>  | <b>Adoptar medidas para la instalación</b>   | <b>Supervisar y controlar del edificio</b>   | <b>Supervisar y controlar el sitio</b>   | <b>Conexión inteligente a la red</b>  |
| <b>Acciones</b>                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Determinar perfiles de energía (contador principal)</li> <li>- Medir y analizar los subsistemas pertinentes</li> <li>- Determinar una base de referencia</li> <li>- Determinar el funcionamiento del edificio óptimo y conforme</li> <li>- Evaluar posibles ahorros de energía</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Definir medidas de mejora para sistemas del edificio (HVAC, iluminación, DER-renovables, almacenamiento de energía, etc.)</li> <li>- Calcular las ventajas económicas (ahorros de energía y operativos)</li> <li>- Seleccionar y poner en práctica mejoras</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Diseñar e instalar un: sistema de supervisión energético (medición) e integrar:</li> <li>- HVAC, iluminación y otros controles /sistemas de información en un BEMS (sistema de gestión de energía del edificio) central</li> <li>- Supervisión y control</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Integrar todos los DER y BEMS de instalaciones en un sistema de gestión de energía de Active Site</li> <li>- Establecer el funcionamiento del sitio y la priorización de cargas (equilibrar la alimentación local y la demanda al sitio)</li> <li>- Hacer funcionar el sitio (interfaz de red preparada)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Evaluar los contratos de suministro de energía existentes a fin de conseguir ahorros</li> <li>- Estudiar y optimizar contratos con el (los) proveedor(es) de energía (para que todos salgan ganando)</li> </ul>  |
| <b>Resultados</b>                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Transparencia energética</li> <li>- Base de referencia energética establecida</li> <li>- Estado/condición de los recursos</li> <li>- Estado de cumplimiento de normas/disposiciones</li> <li>- Posible optimización de las instalaciones</li> </ul>                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mejora del valor de los recursos y edificio</li> <li>- Reducción de costes de energía y operativos</li> <li>- Prolongación de la duración de los recursos</li> <li>- Funcionamiento fiable de la instalación</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Visión holística de la gestión proactiva del edificio</li> <li>- Transparencia energética y del funcionamiento para identificar otros potenciales y contratar ocupantes</li> <li>- Capacidad de respuesta a la demanda (DR)</li> </ul>                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Visión holística para una gestión proactiva del sitio y un funcionamiento sin dificultades</li> <li>- Perfil combinado de energía para una amplia optimización/ahorros en el sitio</li> <li>- Capacidad de respuesta a la demanda para la interfaz de red</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Para el propietario del Active Site:</li> <li>- Independencia de la energía</li> <li>- Costes de la energía previsible</li> <li>- Para el proveedor de la energía:</li> <li>- Posibilidad de ampliación por medio de una central eléctrica virtual</li> <li>- Estabilidad de la red</li> <li>- Reduce la demanda de generación: "negavattios"</li> </ul> |

- Suministro de generación localizada y almacenamiento de energía eléctrica para operar sin interrupciones de forma autónoma, equilibrando tensión y frecuencia al tiempo que se prioriza el suministro para las cargas críticas.
- Aseguramiento de la estabilidad de la red por medio de métodos de control basados en caídas de frecuencia y niveles de tensión en el terminal de cada aparato (reduciendo los cuellos de botella).
- Posibilidad de ampliación facilitando el uso de muchos aparatos pequeños de generación, almacenamiento y carga en paralelo y de forma modular para ampliar a una mayor producción de energía y/o niveles de consumo.
- Fomento de la autonomía energética y la responsabilidad para proporcionar beneficios sostenibles a la comunidad local (menor impacto ecológico, energía verde, etc.).
- Identificación de costes de energía predecibles y menores que permitan programar la toma de decisiones económicas en protocolos estándar de operación.
- Reducción de la necesidad de gastos de capital para nuevas centrales de generación de energía y mejora de la eficiencia global de la red (energía ahorrada o "negavattios").

- Estímulo de soluciones innovadoras que permitan nuevos modelos de negocio en un mercado energético dinámico.

### Lanzamiento de un Active Site

La creación de un Active Site no se hace de la noche a la mañana. Es un proceso que requiere un método por pasos. ABB emplea una estructura de proceso → 2 para colaborar con sus clientes y sus socios de canal de una forma sistemática.

El primer paso y el más importante es medir todos los medios energéticos para un periodo distinto: electricidad, gas natural, vapor, agua, gasolina, etc., tanto a nivel macro (medidor principal) como micro (sistema/recurso). Esto confirmará el perfil energético del edificio y ayudará a comprender sus aspectos operativos y los requisitos globales de energía del sitio.

Una vez que se han obtenido y analizado estos datos se pueden llevar a cabo la evaluación, la selección, el diseño y la puesta en servicio de las medidas para la mejora de la compañía basándose en el plan energético del sitio o el edificio del propietario a fin de alcanzar los beneficios e ingresos esperados. Estas medidas pueden incluir la automatización de edificios (HVAC<sup>2</sup>), iluminación, etc.), la automatización industrial, los recursos ener-

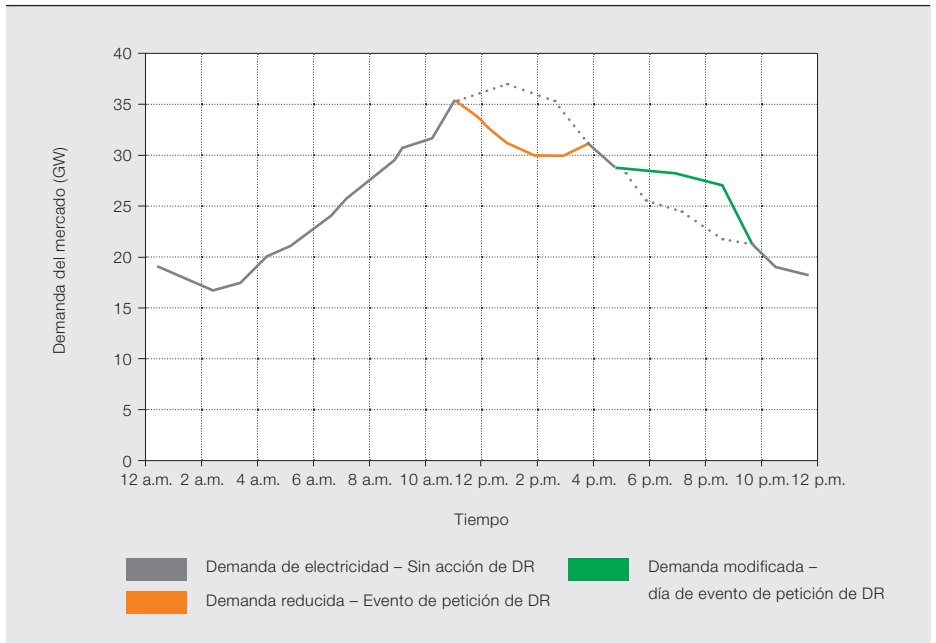
La fase de supervisión y control verifica los resultados comparados con el objetivo fijado, pero asimismo identifica otras mejoras y/o aspectos operativos.

#### Nota a pie de página

- 2 HVAC: calefacción, ventilación y aire acondicionado.

Hay que buscar un acuerdo para los aspectos de interconexión y comunicaciones entre el sitio y el suministrador de energía.

3 La variación del consumo o la utilización de almacenamiento pueden ayudar a reducir los picos de energía variando la demanda en el lado de la red.



géticos distribuidos (DER) tales como solares, eólicos, calor y electricidad combinados (CHP), y el almacenamiento de energía y carga de vehículos eléctricos. Este proceso precisará muy probable-

la gestión del mantenimiento) para una visión holística.

En general, un Active Site contribuye a la gestión de la macrorred participando de forma predictiva y dinámica en sus necesidades globales.

Tan pronto como se han optimizado todos los edificios y están alineados con la generación del sitio y la capacidad de almacenamiento, se emplea un sistema de gestión energética del Active Site para integrar todos estos sistemas y, de esa forma, tener una mejor supervisión y control del sitio. Se pueden supervisar y controlar todos los parámetros operativos del sitio (priorización y requisitos de sistema/carga) junto con los de producción y almacenamiento de energía (eléctrica y térmica) que permiten compensar las fluctuaciones de la demanda o el suministro de todo el sitio, ya sean programadas, solicitadas o inesperadas. Por ejemplo, cuando la demanda es muy alta, el sistema puede desconectar cargas que no sean críticas de iluminación, sistemas HVAC y equipos auxiliares (por ejemplo, bombas, ventiladores) y utilizar la generación y almacenamiento más rentables del sitio.

mente varias iteraciones basadas en el presupuesto y el calendario del plan energético.

Tras la implantación de las medidas de mejora, comienza la fase de supervisión y control. Esta fase no sólo verifica los resultados comparados contra el objetivo, sino que también identifica otras mejoras y/o aspectos operativos. También puede necesitarse la integración de diversos sistemas de control del edificio y el proceso y de los correspondientes sistemas de información (por ejemplo,

Ahora que se ha convertido el sitio en un Active Site, es posible una conexión inteligente con la red y el sitio que pueda pasar a ser un participante activo en la macrorred general. Los aspectos de interconexión y comunicación para todos los modos de operación entre el sitio y el suministrador de energía, es decir, el cambio al modo de isla, reconexión del sitio a la red eléctrica, modo de recarga

#### 4 Las microrredes son básicamente versiones más pequeñas de las redes eléctricas clásicas con generación, distribución, almacenamiento y consumo.



del almacenamiento de energía, y reducción de la generación del sitio tras la reconexión a la red, tienen que acordarse con el suministrador de energía. Esto es una cuestión de acuerdos de regulación, normalización y contratación. En general, los beneficios para el propietario del sitio son los costes predecibles y optimizados de la energía. El beneficio para el suministrador de energía es la posibilidad de crecimiento para esa región, que como un Active Site puede participar en el modelo de central eléctrica virtual (VPP), que contribuye tanto a una red estable como a reducir la demanda de generación centralizada (es decir negavattios).

En general, un Active Site contribuye a la gestión de la macrorred participando de forma predictiva y dinámica en sus necesidades globales. Al poder predecir la capacidad del sitio mediante el análisis, la simulación y la planificación, el sitio se convierte en un participante activo que sostiene las necesidades, siempre variables, de la macrorred.

Desde un punto de vista más aislado, un Active Site puede ser también beneficioso para la macrorred al controlar la demanda global del sitio mediante la reducción/desvío de la demanda y el empleo de almacenamiento energético en los momentos adecuados. Puede verse un ejemplo en → 3: Cuando la demanda de pico llega a 35, se reduce la demanda (o se desvía a un periodo posterior) y de esa

forma se consigue una reducción de la energía de pico (y del coste).

Por otro lado, cuando sea más conveniente, las cargas que se desviaron pueden recibir energía para que lleven a cabo su misión original (o, en ciertos casos, almacenar energía para limitarla durante la demanda de pico).

¿Para qué tipo de aplicaciones ofrecería la máxima ventaja un Active Site? En pocas palabras, la respuesta es un sitio cuyos propietarios concedan un gran valor a:

- Acceso a una energía fiable y segura (seguridad energética)
- Control sobre su suministro y demanda de energía (independencia energética)
- Ahorro de costes, tanto en energía como de explotación (eficiencia energética)
- Beneficios de costes por desempeñar un papel activo en el mercado energético

Desde un punto de vista del mercado, hay sitios industriales tales como las plantas químicas con una importante demanda energética donde ya se están instalando o integrando sistemas dedicados como parte de un sistema de control completo. Pero sitios industriales, tales como alimentación y bebidas, papel e imprenta, fabricantes eléctricos/electrónicos, fabricación de vehículos, etc. que

En Alemania hay un número importante de sitios que disponen de un “consumo de energía de Active Site” ideal.

tienen una variedad de edificios funcionales (proceso, oficinas, almacenes, logística, etc.) son candidatos ideales.

En Alemania, por ejemplo, hay un número importante de sitios que tienen un “consumo de energía de Active Site” ideal, comprendido entre 2 y 20 GWh/año y la parte eléctrica del consumo de energía idealmente por encima del 50 por ciento. Se estima que hay 24.000 sitios en esta categoría → 4.

Con la tecnología, la demanda del mercado y todos los beneficios presentados aquí, nada se opone a que los propietarios de sitios inicien un proceso de Active Site, ya sea de forma independiente o conjuntamente con sus suministradores de energía. ABB está dispuesta para acompañar en este proceso. La empresa admite consultas e informaciones y espera noticias por parte de candidatos interesados.

#### Philip Juneau

ABB Low Voltage Products, Building Automation  
Zurich, Suiza  
philip.juneau@ch.abb.com

#### Dirk John

ABB Corporate Research, Building Automation  
Ladenburg, Alemania  
dirk.john@de.abb.com





# Ninguna red es una isla

## Tecnologías de comunicación para redes más inteligentes

MATHIAS KRANICH – Las redes inteligentes recogen información y sacan conclusiones, pero para reaccionar adecuadamente a los cambios en el entorno de la generación y el transporte, los sistemas y las personas que se encuentran tras ellos necesitan una visión completa del estado de la red. Recoger información exige comunicaciones robustas, porque desconocer lo que está ocurriendo dificulta la toma de decisiones. Con más

de medio siglo de experiencia integrando sistemas de comunicaciones, ABB puede resolver las dificultades técnicas para que la red inteligente sea una realidad. La construcción de redes precisa distintas soluciones, como las de multiplexores de fibra óptica FOX, conmutadores de Ethernet AFS, comunicación por línea eléctrica ETL y redes inalámbricas malladas Tropos 802.11 que ofrece ABB.



Las comunicaciones críticas para la misión dependen de la calidad de servicio (por ejemplo, la latencia) más que del ancho de banda.

Las dimensiones geográficas de las redes de transporte y distribución suponen una dificultad única para mantener unas comunicaciones fiables. El tamaño de casi todas las redes es una dificultad ya en sí misma, pero la configuración topológica puede hacer de difícil aplicación la disposición de anillos redundantes o conexiones en bucle cerrado, y con una infraestructura crítica así, es esencial una conectividad a prueba de fallos → 1.

#### Imagen del título

Hacen falta inversiones a largo plazo para proporcionar a las redes de las compañías eléctricas la inteligencia que necesitan. Gracias a su abundante experiencia, ABB puede resolver los problemas técnicos y hacer realidad la red inteligente con productos que aseguran que la información operativa se comparte en la red.

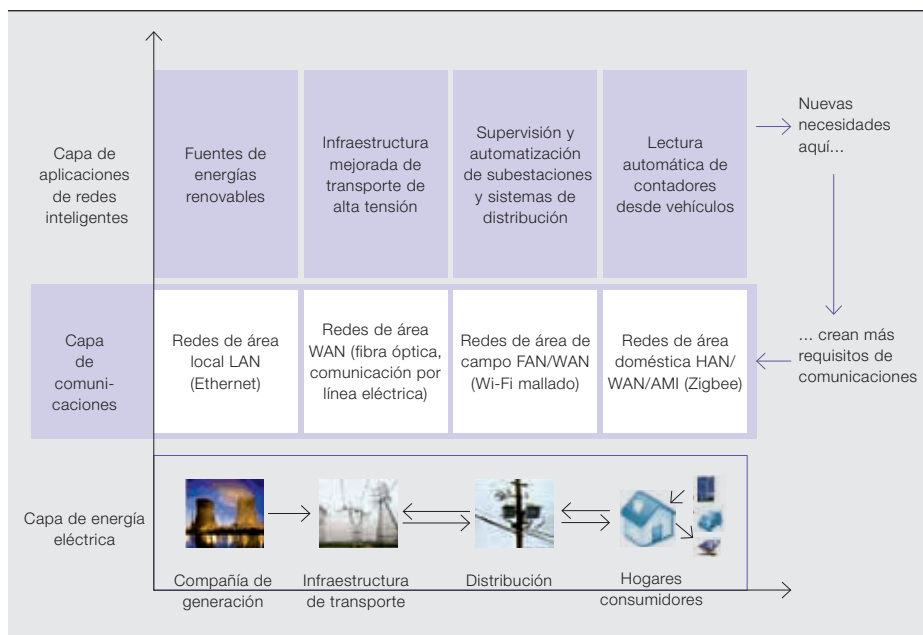
El término “comunicaciones críticas” sugiere inmediatamente imágenes de técnicos luchando en los pupitres de una sala de control para redirigir la electricidad ante un desastre irremediable. En realidad, la mayoría de las comunicaciones son más tranquilas, aunque no dejen de ser críticas. Los mensajes que realmente importan, y de los que depende la seguridad de la red, suelen enviarse, recibirse y ejecutarse en un abrir y cerrar de ojos. Esas comunicaciones dependen de la calidad de servicio (por ejemplo, la latencia) más que del ancho de banda. Los propios mensajes críticos para la misión son cortos, pero deben entregarse en un plazo

predecible. Actualmente, muchas redes de los más altos niveles de tensión están ya enlazadas con conexiones de fibra que se configuran en bucles redundantes, y los multiplexores FOX de ABB pueden asegurar que esos mensajes se entregan a tiempo mediante sus enlaces de reserva Powerline Communication (PLC) para

Una subestación inteligente puede generar varias decenas de megabits de datos por segundo, y manejar esto exige una planificación cuidadosa.

las líneas de alta tensión importantes → 2. Pero en las regiones más remotas del mundo, se utilizan abundantemente redes





basadas sólo en líneas eléctricas. En muchos sitios, en vez de tender fibra en un ramal del circuito, es más económico utilizar tecnología PLC o, en casos especiales, microondas. Para asegurar que esas estaciones remotas no se vean separadas de la red inteligente, la serie de equipos PLC de Electrical Transmission Line (ETL) de ABB llevan hasta 320 kb/s; las soluciones de microondas necesitan línea de visión directa, pero admiten capacidades superiores de hasta 622 Mbit/s → 3.

cias y de destacar incidentes combinados, que muestren el efecto de una maquinaria nueva o un exceso de carga. Este análisis permite al control central identificar problemas en gestación, programar labores de reparación antes de que algo se rompa y, en general, mantener la vigilancia del estado de la red.

Una subestación inteligente puede generar varias decenas de megabits de datos por segundo, y manejar esto exige una planificación cuidadosa. Por supuesto, la red de área extensa no tiene que llevar todos esos datos; los datos reunidos por Ethernet de alta capacidad (controlada con conmutadores AFS de ABB para asegurar el cumplimiento de la

## Dado que una red de comunicaciones averiada puede acarrear serias consecuencias, la protección de la red se hace tan importante como la de los servicios que se suministran.

Pero si esas capacidades no son necesarias para mensajes de emergencia, ¿a qué se dedica toda la capacidad del cableado? Igual de importante para la viabilidad a largo plazo de la red eléctrica son los mensajes de rutina que informan del estado operativo de los transformadores, de la temperatura de los interruptores automáticos, de la viscosidad del aceite de refrigeración y de muchos otros factores ambientales que afectan a la red. Estos datos se tienen que reunir y analizar con software capaz de detectar tenden-

IEC 68150) sobre fibra entre subestaciones se cargan en los dispositivos electrónicos inteligentes de las subestaciones (IED) y las unidades terminales remotas (RTU), que extraen información repetitiva y redundante. Pero cuando se enlaza media docena de subestaciones, empiezan a aumentar la carga de la red y el potencial de averías.

El tráfico de mantenimiento y administrativo también es una parte esencial de la red inteligente, pero puede suponer una





Según el Instituto de Investigación de la Energía Eléctrica (EPRI), una parte importante de la inversión en una red inteligente estará en la infraestructura de comunicaciones, que también puede llevar a importantes ahorros de costes.

carga considerable para la infraestructura de comunicaciones. Si la comunicación sólo se usa en casos de urgencia o para dar instrucciones al personal de campo por el cable de órdenes de ingeniería (EOW), el ancho de banda necesario es mínimo. Una intranet en las subestaciones y la interconexión de las redes de área local (LAN) de oficinas mediante redes operativas eleva fácilmente el

de decidir dónde debe cortarse la línea para aislar un fallo. Esto se complica cuando, por ejemplo, el sistema de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA) debe decidir cómo responder a un IED que repentinamente enmudece o informa mal. Por lo tanto, la protección de la red de comunicaciones es tan importante como la de los servicios que se suministran.

## FOX615 es un multiplexor multiservicio que admite la conexión directa de todas las aplicaciones específicas de una compañía sin cajas convertidoras externas.

ancho de banda necesario a varias decenas de megabits por segundo.

### La comunicación es el alma de la red inteligente

Una red de comunicaciones averiada puede tener consecuencias serias más allá de la obvia reducción de la visibilidad de la red. La autonomía de la red inteligente depende de la aptitud de los sensores para intercambiar información, como en el caso de la protección a distancia para el disparo de disyuntores directos, donde un interruptor debe saber qué se ha detectado en otro lugar antes

Cuando las redes sufren una avería masiva, no puede permitirse que la red de comunicaciones forme parte de la avería. Con unos recursos limitados, y la seguridad pública frecuentemente en riesgo, la red debe poder

decir a la compañía dónde debe enviar personal y qué partes de la red siguen operativas, manteniendo así los cortes al mínimo y reduciendo los costes al tiempo que aumenta la seguridad.

El Instituto de Investigación de la Energía Eléctrica (EPRI) ha estudiado con detalle el coste de una red inteligente<sup>1</sup>. Según el EPRI, una parte importante de la inver-

#### Nota a pie de página

<sup>1</sup> <http://www.epri.com/abstracts/Pages/ProductAbstract.aspx?ProductId=0000000001022519>

---

ETL 600 proporciona comunicaciones que siguen funcionando en las situaciones más difíciles, como la transmisión a lo largo de más de un millar de kilómetros sin repetidores.

---

3 Los router ETL Powerline de ABB admiten hasta 320 kb/s y aseguran que las estaciones remotas no se separan de la red inteligente.

---



sión en una red inteligente estará en la infraestructura de comunicaciones, que también puede llevar a importantes ahorros de costes. Para ilustrar este punto, la compañía eléctrica de Filadelfia, PECO, evitó 7.500 visitas de técnicos, sólo en 2005, gracias a una red inteligente de comunicaciones que verificaba si eran reales los cortes denunciados por los clientes.

#### El problema de la red inteligente

Como parte del concepto de red inteligente, las comunicaciones ya no deben verse limitadas a las operaciones dentro de una sola compañía. Para tener una visión de toda la red, un sistema de transporte debe hablar con un sistema de distribución, los generadores deben poder leer la demanda desde las instalaciones del cliente y las redes de comunicación deben estar integradas sin fisuras de forma que las decisiones puedan basarse en la totalidad de la red, no en partes de la misma. Esta integración va contra la forma en que el sector ha evolucionado hasta ahora. Se ha fomentado la fragmentación para impulsar la competencia, pero para la red inteligente esta fragmentación representa una dificultad considerable. Hay que integrar equipos de comunicación y estrategias distintos para conseguir el objetivo de una red inteligente.

Las compañías eléctricas nacionales y los organismos oficiales exigen compatibilidad como preparación para unas comunicaciones integradas. Normas como la

IEC 61850 aseguran la compatibilidad dentro de la compañía, y ABB lleva décadas trabajando en la elaboración de tales normas. Igualmente importante es la comunicación entre compañías y, por lo tanto, ABB ha apoyado también la creación del Protocolo de Comunicaciones entre Centros de Control (ICCP, también conocido como IEC 60870-6) para permitir la comunicación entre compañías eléctricas en sentido ascendente y descendente. ABB ya ha instalado software de pasarelas que asegura que sus clientes puedan integrar sus sistemas en beneficio de la propia red inteligente.

#### Tecnologías de comunicación de redes inteligentes

ABB tiene décadas de experiencia en el tendido de redes de comunicaciones, desde las primeras instalaciones que empleaban señales de rizado para controlar calderas y luces urbanas, hasta el desarrollo del PLC, fibras ópticas con transmisión de láser y las técnicas de radio malladas que cubrirán la ciudad inteligente del futuro.

El rizado ya no se utiliza, pero la tecnología PLC sigue empleándose, y ETL600 mantiene comunicaciones que funcionan en los ambientes más difíciles, como la transmisión a más de un millar de kilómetros sin repetidores. En la actualidad, PLC se utiliza a menudo como sistema de reserva en paralelo con las líneas de fibra óptica, especialmente donde la geografía hace impracticable un anillo de fibra redundante.

4 Los FOX de ABB (en armarios) soportan redes multiuso con soluciones especiales para compañías suministradoras.



Si se dispone de fibra en una red, se instalan redes ópticas. Mientras que los sistemas SDH basados en circuitos se utilizan principalmente en el transporte [1], la distribución de baja tensión no necesita tanta calidad de servicio y admite redes Ethernet de conmutación de paquetes. Considerando el difícil entorno de la red eléctrica y sus aplicaciones específicas, estas soluciones precisan un diseño especial (margen amplio de temperaturas de trabajo, sin ventiladores). La familia FOX y AFS de ABB proporciona las características que precisan las compañías eléctricas para SDH y para Ethernet → 4.

A menudo faltan medios de comunicación, lo que a su vez conduce al empleo de soluciones inalámbricas. El número 1/2013 de *ABB Review* recoge un reportaje sobre los principios fundamentales [2]. Las dificultades que impone la red inteligente se resuelven mejor con tecnología normalizada 802.11 WiFi, que proporciona suficiente ancho de banda para combinar distintas aplicaciones y para que distintos operadores trabajen conjuntamente en una red. La línea de productos Tropos 802.11 de ABB permite unos sistemas 802.11 de calidad industrial y alta fiabilidad que soportan simultáneamente varias aplicaciones sobre una red unificada. Incluso la mensajería de suce-

Los organismos oficiales y el público en general ven claras ventajas en una red inteligente y, en último término, se necesita voluntad política e inversión a largo plazo para añadir a las redes eléctricas la inteligencia que precisan.

Los organismos públicos y el público en general ven ventajas claras en una red inteligente, pero algunas compañías han tardado en reconocer tales ventajas, en particular cuando consideran la bajada de precios de la energía y el hecho de que pueden acabar colaborando con empresas que han considerado competidoras, suministradoras o clientes. Estos problemas pueden abordarse con normas internacionales, como la IEC 61850, con plataformas multiservicio como FOX o Tropos de ABB, que admitirán redes multiuso con soluciones específicas de la compañía como ETL PLC, y conmutadores AFS Ethernet. Estas soluciones pueden allanar el camino, pero para las compañías puede ser difícil justificar la inversión. En último término, se necesita voluntad política e inversión a largo plazo para aportar a las redes de las compañías la inteligencia que precisan.

Los organismos públicos y el público en general ven ventajas claras en una red inteligente, pero algunas compañías han tardado en reconocer tales ventajas, en particular cuando consideran la bajada de precios de la energía y el hecho de que pueden acabar colaborando con empresas que han considerado competidoras, suministradoras o clientes. Estos problemas pueden abordarse con normas internacionales, como la IEC 61850, con plataformas multiservicio como FOX o Tropos de ABB, que admitirán redes multiuso con soluciones específicas de la compañía como ETL PLC, y conmutadores AFS Ethernet. Estas soluciones pueden allanar el camino, pero para las compañías puede ser difícil justificar la inversión. En último término, se necesita voluntad política e inversión a largo plazo para aportar a las redes de las compañías la inteligencia que precisan.

**Mathias Kranich**

ABB Power Systems  
Baden, Suiza  
mathias.kranich@ch.abb.com

**Referencias**

[1] M. Kranich, *et al.*, "Equipos de conmutación: el nuevo multiplexor multiservicio de ABB, FOX615, responde a los nuevos retos a los que se enfrentan las redes de comunicaciones operativas," *ABB Review* 1/2013, pp. 36-41.  
[2] P. Bill, *et al.*, "Malla fina: conectividad de la red inalámbrica mallada 802.11," *ABB Review* 1/2013, pp. 42-44.  
[3] P. Bill, *et al.*, "Radio resistente: comunicación inalámbrica Wi-Fi mallada para la industria," *ABB Review* 4/2013, pp. 74-78.





# El comienzo de una nueva época

## Historia breve del suministro eléctrico

JOCHEN KREUSEL – La electricidad está en todas partes, desde las aplicaciones más corrientes hasta los sistemas mayores y más complejos. El suministro eléctrico ha pasado a ser, en poco más de un siglo, el motor más importante de la actividad y el comercio humanos. Sin ella no habría suministro seguro de agua o alimentos. No existiría la tecnología de la información. La productividad no alcanzaría a satisfacer las necesidades básicas de la población del planeta. El crecimiento continuo en importancia y extensión de la red eléctri-

ca ha ido acompañado (y ha sido permitido) por el desarrollo de los sistemas que aseguran su continuidad y fiabilidad. A pesar de las profundas transformaciones experimentadas en el trayecto desde las primeras redes aisladas a las mallas de CA trifásica sincronizada que cubren continentes, aparecidas en la segunda mitad del siglo XX, los principios básicos que subyacen a estos sistemas permanecen invariables en gran medida. Pero las innovaciones recientes están aportando cambios nuevos y fundamentales.



La energía eléctrica se descubrió en forma de CC, y las primeras aplicaciones de comunicaciones, transporte y alumbrado empleaban CC de baja tensión. Por ello, no es una sorpresa que las primeras redes de distribución urbanas fueran también de CC. Incluso la primera línea de transporte de electricidad a larga distancia (57 km, entre Miesbach y Munich en Alemania, en 1882) empleaba tecnología de CC. Estos primeros trabajos se anticiparon a la tecnología de CA trifásica, cuyo desarrollo surgió en Europa y fue promovido en Estados Unidos por Nikolas Tesla y Georges Westinghouse.

El principal motor para la transición al sistema de CA trifásica fue la posibilidad de convertir tensiones con transformadores. Los transformadores hicieron posible el transporte de la electricidad con pocas pérdidas convirtiéndola a tensiones demasiado altas para su empleo directo en aplicaciones. Esta eficiencia del transporte hizo posible el empleo de centrales eléctricas de mayor tamaño que introdujeron la economía de escala. Otra importante ventaja de la CA era la mayor facilidad de interrupción de las corrientes de cortocircuito; todavía hoy, los interruptores de CC de alta tensión son prototipos. Y la última ventaja de la CA, pero no la menos importante, era la muy fácil conversión de la

energía eléctrica en mecánica y viceversa en las máquinas de inducción.

En 1891, con ocasión de la Exposición Electrotécnica Internacional de Fráncfort, Alemania, se presentó el transporte con éxito de CA trifásica a lo largo de 176 km, entre Lauffen y Fráncfort. La demostración fue una colaboración entre AEG y Maschinenfabrik Oerlikon. Se hizo bajo la dirección del pionero de la tecnología trifásica Mikhaíl Osipovich Dolivo-Dobrovolsky, de AEG. La contribución de Maschinenfabrik Oerlikon fue dirigida por Charles Eugene Lancelot Brown, que había de convertirse en uno de los fundadores de Brown, Boveri & Company (BBC).

La irrupción del sistema de CA trifásico en Estados Unidos se produjo cuando se confió la iluminación de la Feria Mundial de Chicago de 1893 a George Westinghouse. Westinghouse presentó un presupuesto mucho más bajo que el de CC de Thomas Edison. Su victoria fue decisiva para el triunfo de la CA en la “Guerra de las Corrientes”.

### Los primeros sistemas de suministro a larga distancia

En la primera mitad del siglo XX se fueron interconectando progresivamente las redes aisladas anteriores para constituir mallas de mayor tamaño y, al final, nacionales. Ello dio lugar a una estructura de sistemas eléctricos que todavía perdura. Se

## La electricidad se descubrió inicialmente en forma de CC y sus primeras aplicaciones empleaban CC de baja tensión.

caracteriza por la interconectividad de todo el sistema → 1, un nivel mallado de transporte de alta tensión conectado a redes regionales subordinadas de alta tensión, y redes de distribución subyacentes de media y baja tensión que sirven a zonas urbanas y rurales. Las razones para fusionar las redes locales aisladas son la mayor eficiencia de las grandes centrales, la menor capacidad de reserva de energía y la utilización de fuentes primarias próximas, en especial hidráulicas

#### Imagen del título

Construcción de la primera línea de BBC de 110 kV (entre Karlsruhe y Mannheim, Alemania, 1914).

## La Exposición Mundial de Chicago de 1893 supuso la irrupción del sistema trifásico en Estados Unidos.

y de lignito. Su transporte en su forma primaria no es económico a causa de su baja densidad de energía → 2. Puesto que muy pronto se reconoció el suministro eléctrico como una infraestructura económica clave y un monopolio natural, prácticamente todos los países lo nacionalizaron o reglamentaron desde muy al principio.

Con la aparición de grandes sistemas, comenzó el modo de explotación que sigue siendo válido para todos los grandes sistemas de suministro eléctrico del mundo → 3. Los dos principales requisitos que debe cumplir el sistema son asegurar el equilibrio entre oferta y demanda (lado izquierdo de la figura) y mantener los parámetros especificados de tensión en los puntos de transferencia (lado derecho).

La dificultad de operar en tiempo real un sistema tan grande, geográficamente repartido y heterogéneo sin la tecnología actual de comunicaciones de alto rendimiento se abordó desplegando un proceso de planificación amplio con herramientas tales como control de unidades y distribución de cargas y con el objetivo de minimizar las demás incertidumbres. Lo último debe controlarse en tiempo real. El control de las demás desviaciones aprovecha el hecho de que la frecuencia está disponible casi instantáneamente en el sistema. La diferencia entre consumo y generación se puede medir utilizando la desviación resultante en la frecuencia, que proporciona una señal para que las centrales equipadas con control adecuado modifiquen su salida y corrijan la diferencia.

El control de la red es bastante independiente de estas actividades de gestión de la energía. El control de la red utiliza los ajustes de control de los transformadores situados

entre los distintos niveles de alta tensión y los que se encuentran entre el nivel de alta y media tensión, así como la energía reactiva alimentada desde las centrales para ajustar el flujo de carga y las tensiones de la red. La regulación de la tensión suele finalizar en el nivel de media tensión. La conexión entre los niveles de media y baja tensión utiliza transformadores con relaciones fijas.

## 2 La energía hidroeléctrica tiene una fuerte dependencia geográfica y por ello exige transporte a grandes distancias



En principio, estos dos procesos son independientes. Sin embargo, en la práctica están interrelacionados debido al uso de centrales para el control local de la energía reactiva, y a que los cuellos de botella del transporte exigen que las centrales trabajen fuera del coste óptimo de funcionamiento de todo el sistema.

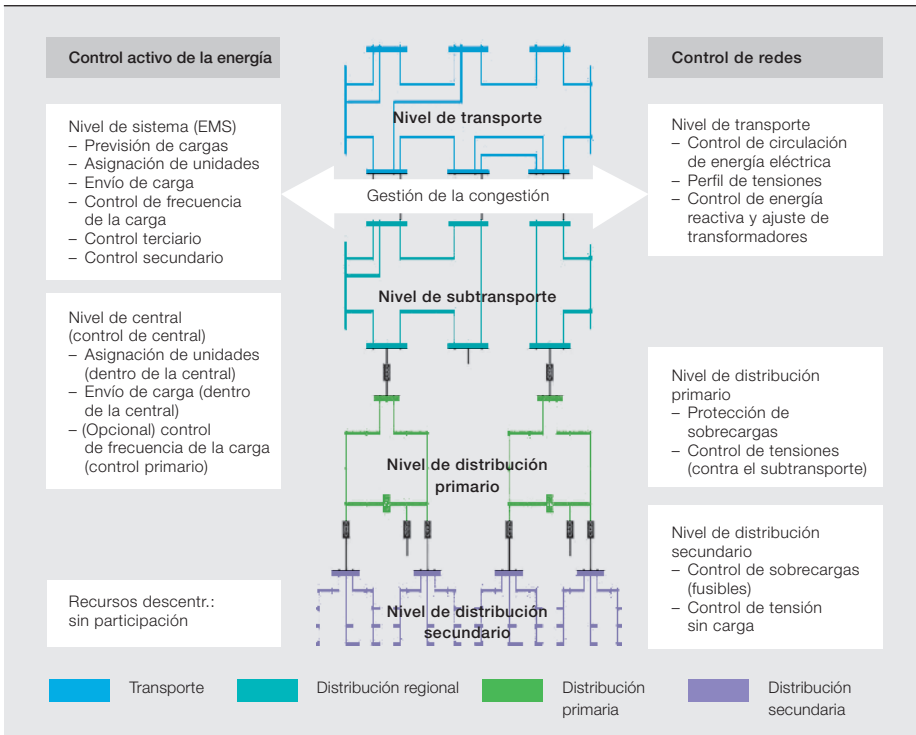
La importante afirmación final de → 3 es que la explotación de grandes redes síncronas interconectadas en el nivel primario de distribución se consigue con un pequeño número de elementos dispuestos centralmente, como grandes centrales eléctricas

## En los primeros años del siglo XX apareció una estructura para sistemas eléctricos que todavía sigue vigente.

cas e instalaciones de conmutación. Por ejemplo, en las estructuras europeas típicas, las instalaciones de conmutación del nivel primario representan menos del dos por ciento de la aparamenta total.

En la segunda mitad del siglo XX se interconectaron las redes nacionales a través de las fronteras para formar redes síncronas transnacionales. Estos cambios fue-





Actualmente China tiene el mayor sistema eléctrico sincronizado del mundo, y sigue evolucionando rápidamente.

ron impulsados por la búsqueda de una mayor rentabilidad y seguridad del suministro. En Europa, la creación en 1951 de la Unión para la Coordinación de la Producción y el Transporte de Electricidad (UCPTE) sentó las bases para la fundación de un sistema europeo operado sincrónicamente. La implantación técnica comenzó con la conexión de las redes de Francia, Suiza y Alemania en la “Star of Laufenburg” (Suiza) en 1958, mucho antes de que naciera la idea de un mercado eléctrico europeo. Actualmente, una sola red síncrona se extiende desde Portugal hasta Polonia y desde los Países Bajos hasta Turquía. También se ha sincronizado ahora con Marruecos, Argelia y Túnez → 4.

En paralelo con la aparición del sistema europeo continental interconectado, se crearon el sistema Nordel escandinavo y el Interconnected Power System (IPS) de la (entonces) Unión Soviética y los países de su esfera de influencia. Este último es hasta hoy el sistema sincronizado de mayor cobertura geográfica del mundo. En Norteamérica se adoptó una solución ligeramente distinta. Aunque se crearon sistemas síncronos que cubrían varios estados, no se extendió la operación síncrona a todo el territorio continental. Ahora hay tres áreas interconectadas sincrónicamente mediante acoplamientos HVDC. Actualmente, China tiene el mayor sistema eléctrico sincronizado del mundo (en

términos de potencia), y sigue evolucionando rápidamente. Los datos clave de algunas redes síncronas importantes se comparan en → 5.

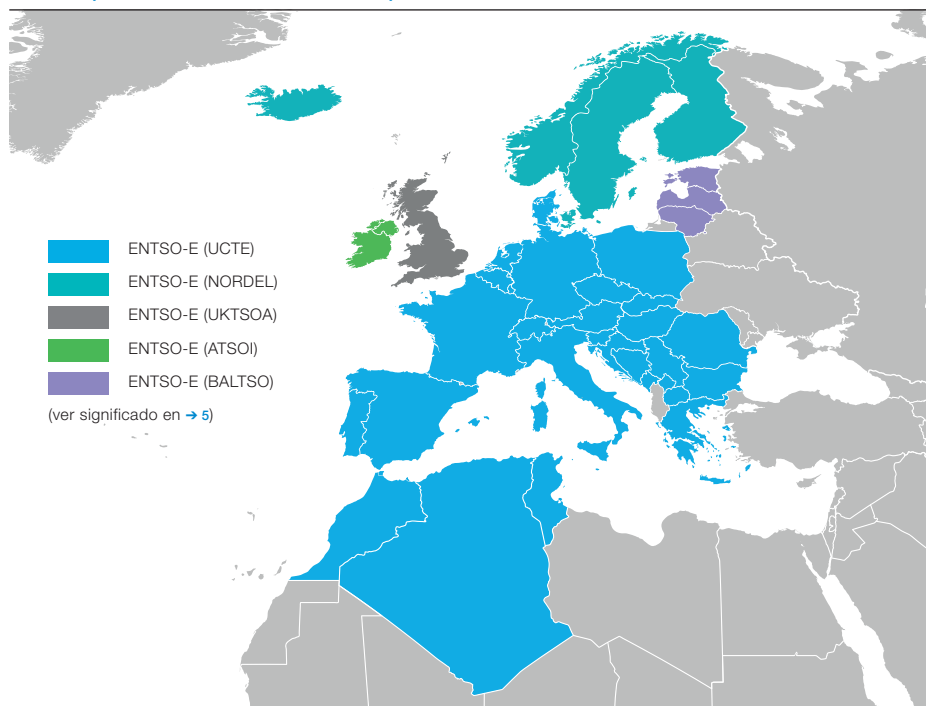
Las diferentes tensiones máximas de estas redes de transporte reflejan el diferente tamaño geográfico de los sistemas. Como los requisitos de energía reactiva limitan la longitud máxima de funcionamiento estable, el transporte a larga distancia exige alta tensión o baja frecuencia.

### Transporte de corriente continua de alta tensión

Aunque las ventajas de la tecnología de CA llevaron a su adopción universal, el crecimiento de tamaño de las redes síncronas puso también de manifiesto sus inconvenientes. Los sistemas empezaron a alcanzar los límites del transporte estable, especialmente donde se utilizaba transporte por cable (que introduce requisitos de energía reactiva muy capacitiva). La importancia de los cables submarinos en los países escandinavos les animó a considerar en la década de 1920 el transporte de CC de alta tensión (HVDC). El pionero de esta tecnología, August Lamm, pasó más de veinte años trabajando en este problema en ASEA. El primer enlace comercial entró en funcionamiento en 1954 para conectar la isla de Gotland en el Mar Báltico con la red continental sueca → 6.

En la segunda mitad del siglo XX se interconectaron las redes nacionales a través de las fronteras para formar redes síncronas transnacionales.

#### 4 Principales redes síncronas de Europa



#### 5 Datos fundamentales de las redes síncronas seleccionadas

| Sistema                        | Año y fuente | Generación de la red instalada (GW) | Carga máxima (GW) | Consumo anual (TWh) | Tensión más alta transportada (kV) |
|--------------------------------|--------------|-------------------------------------|-------------------|---------------------|------------------------------------|
| ENTSO-E (ATSOI <sup>1</sup> )  |              | 16,5                                | 6,2 <sup>6</sup>  | 34,9                | 400                                |
| ENTSO-E (BALTSO <sup>2</sup> ) |              | 9,4                                 | 4,6               | 26,0                | 330                                |
| ENTSO-E (UCTE <sup>3</sup> )   | 2013 [1]     | 816                                 | 420               | 2.553               | 400 (750 <sup>7</sup> )            |
| ENTSO-E (NORDEL <sup>4</sup> ) |              | 87,4                                | 66,1              | 350                 | 400                                |
| ENTSO-E (UKTSOA <sup>5</sup> ) |              | 84,2                                | 66,7              | 366                 | 400                                |
| IPS                            | 2007 [2]     | 337                                 | 215               | 1.285               | 750 (1.150 <sup>8</sup> )          |
| Estados Unidos (Oeste)         | 2012 [3]     | 326                                 | 151               | 885                 | 500                                |
| Estados Unidos (Este)          | 2011 [4]     | 743                                 | 578 <sup>6</sup>  | 1.069               | 765                                |
| Estados Unidos (ERCOT)         | 2010 [5]     | 108                                 | 65                | 358                 | 345                                |
| China                          | 2010 [6]     | 966                                 | 673               | 4.200               | 1.000                              |

##### Notas a pie de página

- 1 ATSOI: Red síncrona de la isla de Irlanda, conectada asincrónicamente a UKTSOA.
- 2 BALTSO: Red síncrona de los países bálticos, conectada síncronamente a IPS.
- 3 UCTE surgió como organización de operadores de Europa continental tras la liberalización del suministro eléctrico en Europa y la disolución de la UCPTE, pasando a formar parte de la ENTSO-E en 2009.
- 4 NORDEL: Red síncrona de Escandinavia, conectada asincrónicamente a BALTSO y UCTE.
- 5 UKTSOA: Red síncrona de Gran Bretaña (isla principal de Inglaterra, Gales y Escocia), conectada asincrónicamente a ATSOI y UCTE.
- 6 Suma de las cargas máximas de países participantes (ENTSO-E) o sistemas regionales (Eastern Interconnection).
- 7 Enlace de 471 km 750 kV como conexión a IPS
- 8 Línea Ekibastus-Kokshetau en Kazajastán.

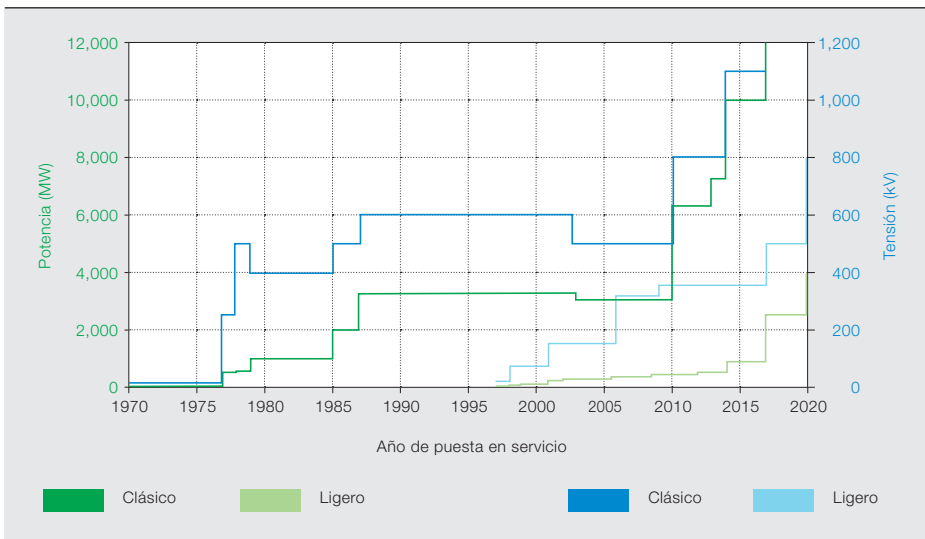
##### Referencias

- [1] ENTSO-E Statistical Factsheet 2013. ENTSO-E, Brussels, April 25, 2014.
- [2] Luther, M. "Lessons learned from the UCTE-IPS/UPS Feasibility Study." Regional Transmission Network Development: Implications for Trade and Investment, Istanbul, November 11/12, 2009.
- [3] 2012 State of the Interconnection. Western Electricity Coordinating Council, July 2013.
- [4] Market Structures and Transmission Planning Processes In the Eastern Interconnection. Christensen Associates Energy Consulting & Energy Policy Group for EISPC and NARUC, June 2012.
- [5] State Electricity Profile: Texas. U.S. Energy Information Administration, May 1, 2014.
- [6] Liu, Z. "Electric power and energy in China." John Wiley & Sons Singapore, 2013.



La liberalización condujo a una separación del negocio de la generación y la explotación de la infraestructura de las redes.

7 Desarrollo de los parámetros HVDC



Durante las décadas siguientes, el transporte en HVDC se consolidó como la mejor tecnología para transportar grandes cantidades de electricidad a grandes distancias. La construcción de centrales hidroeléctricas cada vez más grandes ha seguido siendo el principal impulsor del desarrollo de la HVDC → 7; por ejemplo, Cahora Bassa en el sur de África, Itaipú en Sudamérica y desde el decenio de 1990 varios grandes proyectos en China. Los mayores valores actuales (en distintos sistemas) son 6.400 MW, 2500 km y 1100 kV en CC.

**Liberalización del suministro eléctrico**  
Hacia finales del siglo XX, muchos países comenzaron a cuestionar los requisitos de total integración vertical del sector eléctrico. La discusión comenzó inicialmente en Estados Unidos, el Reino Unido

y Escandinavia, y culminó con la liberalización del suministro eléctrico en dichos países. Posteriormente Australia y la Unión Europea hicieron lo mismo. En los países en los que el suministro eléctrico había sido propiedad pública, esto condujo a su privatización. A pesar de estos desarrollos paralelos, las motivaciones reales para el cambio no fueron uniformes. Las razones incluían el deseo de atraer inversiones privadas al suministro eléctrico, el deseo de mejorar la calidad del suministro y el objetivo de bajar los precios de la energía por medio de la competencia.

La liberalización exigió la separación de la generación y la explotación de la infraestructura de las redes. Aunque las redes se siguieron considerando como monopolios naturales y, por lo tanto, reguladas por el estado, la generación pasó a ser un

mercado competitivo. Pero los distintos países optaron por distintas materializaciones de esta liberalización. En Europa, los clientes finales pueden participar directamente en el mercado competitivo escogiendo entre distintos proveedores. En Norteamérica, por el contrario, los monopolios territoriales permanecen en el nivel de la distribución, y la competencia se limita al nivel mayorista.

La liberalización introdujo también nuevas funciones en el mercado, no sólo en el área de la optimización comercial y la interacción con los clientes, sino también asegurando un funcionamiento continuo estable del sistema. Estas funciones se ilustran en → 8 junto con las funciones técnicas básicas conservadas de la configuración anterior. La liberalización acabó efectivamente con la planificación integrada de las estaciones y las redes eléctricas, tanto en términos de desarrollo como de operación. La competencia real entre las centrales eléctricas de distintos lugares requiere una capacidad de transporte mayor que la necesaria para un sistema planificado integralmente. Pero exige una coordinación operativa entre los participantes en el mercado y normas de cooperación.

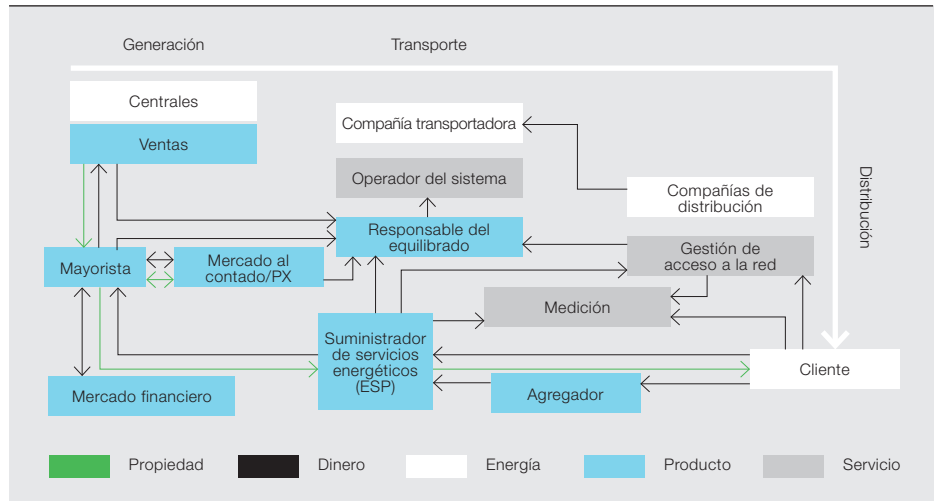
**Suministro eléctrico 2.0**

Desde el comienzo del nuevo milenio, muchos países se han movido hacia un fuerte apoyo y promoción de las nuevas fuentes de energía renovables, principalmente solar y eólica → 9. Este rápido desarrollo ha introducido problemas técnicos para las redes, pero también ha contribuido a una importante reducción



Desde el comienzo del nuevo milenio, muchos países se han movido hacia un fuerte apoyo y promoción de las energías solar y eólica.

### 8 Funciones técnica y comercial en un mercado eléctrico minorista totalmente liberalizado



### 9 El enorme crecimiento de la energía eólica y solar en los últimos años ha creado nuevos problemas



del coste de la energía, especialmente la fotovoltaica. El resultado es que se puede suministrar energía desde un número cada vez mayor de países a un precio inferior al que pagan los clientes de la red de baja tensión. Como la electricidad fotovoltaica presenta una estructura de costes casi lineal (sin una economía de escala significativa en los costes de inversión), está causando un efecto fundamental en la economía, y por ende en la estructura, del suministro eléctrico. Las principales características de este efecto, desde una perspectiva sistémica técnica, son:

- Mayor separación geográfica entre generación y consumo en sistemas construidos con anterioridad pensando en los combustibles fósiles y la energía nuclear, que antes equilibraban consumo y generación a escala

regional. Esta evolución está principalmente impulsada por fuentes de energía primarias con fuerte dependencia de la localización, como el viento y el agua.

- La generación distribuida está aumentando, principalmente debido a las fuentes fotovoltaicas y combinadas de calor y electricidad, y hará que una parte importante de la generación sea cubierta por un gran número de unidades pequeñas.
- La producción volátil de energías eólica y solar está provocando fluctuaciones mayores y más rápidas en el lado del suministro que pueden predecirse en una medida limitada.

Estos tres cambios tienen implicaciones técnicas en todos los aspectos del suministro y la utilización de la energía eléctrica.

## 10 Efectos de los principales impulsores del cambio en las distintas partes de la cadena de suministro eléctrico

| Impulsor                    | Sistema afectado                   |  |   |   |  |
|-----------------------------|------------------------------------|--|---|---|--|
|                             | Generación convencional            | Transporte   | Distribución                                | Funcionamiento del sistema  | Aplicación   |
| Generación remota           |                                    | - FACTS1<br>- Transporte troncal<br>- Red superpuesta, HVDC                        |   | - Estabilización con FACTS1   |  |
| Generación distribuida      |                                    |  | - Automatización<br>- Regulación de tensión | - Comunicación<br>- Control<br>- Centrales eléctricas virtuales             |  |
| Generación volátil          | - Carga parcial<br>- Flexibilidad: | - Equilibrio transregional<br>- Malla superpuesta /HVDC<br>- Almacenamiento masivo | - Almacenamiento distribuido                | - Respuesta a la demanda<br>- Centrales eléctricas virtuales<br>- PMU/WAMS2 | - Almacenamiento (en aplicaciones)<br>- Respuesta a la demanda |
| Cargas nuevas (E-movilidad) |                                    |  | - Infraestructura de carga                  | - Respuesta a la demanda  |  |

### Notas a pie de página

- 1 FACTS: Sistemas flexibles de transporte en CA
- 2 PMU/WAMS: Unidades de medición de fasores / Sistemas de supervisión de grandes áreas

ca → 10. Dos cambios son especialmente notables: la creciente importancia de las redes de transporte a larga distancia y de altas prestaciones y la integración de elementos muy distribuidos, tanto en el aspecto de la producción como en el del consumo (gestión inteligente del consumo).

Con la instalación a gran escala de la generación renovable, la capacidad de compensar distintas fuentes de energía primaria muy alejadas es cada vez más ventajosa, por ejemplo, en forma de conexiones desde el norte de África y el Medio Oriente hacia Europa [1]. Se espera la instalación de una red de transporte a muy larga distancia como una capa super-

picos de entrada pronunciados reclaman una gestión de la congestión en el nivel de distribución. Para conseguir una coordinación activa, habrá que añadir hasta tres órdenes de magnitud de nuevos componentes en comparación con los sistemas pasados. La tecnología de información y comunicaciones desempeñará un papel crucial. La recogida eficiente de información y su utilización homogénea para planificación, explotación y mantenimiento será crucial para la operación económica de redes descentralizadas.

Hay en marcha otro cambio, no producido por la energía renovable, sino por la evolución técnica: aunque en los primeros días de la electrificación la CA trifásica era dominante, tanto en el lado de la generación como en el de la aplicación, ahora se encuentran en los sistemas cada vez más aparatos que necesitan CC

Estos desarrollos están provocando cambios en los principios fundamentales del suministro eléctrico y ponen a prueba principios que habían permanecido inmutables desde los primeros días de la CA. Por tanto, no es exagerado hablar de la transición a una nueva fase: electricidad 2.0.

## Cada vez se encuentran más aparatos en sistemas que, o bien precisan CC o que son neutrales respecto a la frecuencia.

puesta a las redes de alta tensión actuales. Con la presentación en 2012 de su interruptor automático de CC, ABB ha eliminado el último obstáculo importante para conseguir esta tecnología HVDC [2].

De todos los cambios que nos esperan, la generación distribuida será probablemente el que tenga efectos de más largo alcance. Con una gran parte de la capacidad de generación conectada al nivel de distribución, este nuevo fenómeno debe integrarse en la gestión del sistema. Además, en el caso de la energía solar, los

o son neutros con respecto a la frecuencia. Ejemplos en el lado del consumo son los aparatos electrónicos, LED, baterías y motores accionados por inversor, y en el lado de la generación, las células solares. Por tanto, hay una justificación económica cada vez mayor para la distribución de CC. ABB lo ha reconocido y, por ejemplo, ha realizado ofertas de centros de datos [3] y buques [4]. El mundo de la CA trifásica está haciéndose cada vez más híbrido, no sólo en el nivel del transporte sino también en el de la distribución.

### Jochen Kreusel

ABB Smart Grids  
Mannheim, Alemania  
jochen.kreusel@de.abb.com

### Referencias

- [1] Desert Power: Getting Started. Dii GmbH, München, June 2013
- [2] J. Häfner, B. Jacobson, Proactive hybrid HVDC breakers – a key innovation for reliable HVDC grids. Cigré Symposium, Bologna, Italy, September 13–15, 2011
- [3] A. Schärer, Dc for efficiency, *ABB Review* 4/2013, pp. 16–21
- [4] Breakthrough order for DC technology, ABB press release, 22.02.2012



# Microrredes

## Integración de microrredes con tecnologías de ABB

CELINE MAHIEUX, ALEXANDRE OUDALOV – Durante años, la generación local de electricidad ha sido la forma normal de suministrar electricidad a islas, comunidades remotas o emplazamientos industriales. Pero diversos factores, como la fiabilidad del suministro eléctrico, las preocupaciones medioambientales o las limitaciones económicas, están forzando a los proveedores de servicios energéticos y a los clientes finales a repensar otras formas de autoabastecimiento independientes de las redes, como las microrredes. Las microrredes pueden incorporar ahora energías renovables, reducir costes y mejorar la fiabilidad. Hoy también pueden emplearse como fuente para el arranque sin energía externa o para reforzar la red durante periodos de fuerte demanda. En consecuencia, cada vez se están adoptando más las microrredes. Las considerables reducciones de costes de la generación distribuida de energías renovables, como la fotovoltaica solar (PV) y la eólica, junto con el desarrollo de tecnologías eficientes de almacenamiento de energía y la disponibilidad de una infraestructura de comunicaciones de gran cobertura, han ayudado a que las microrredes sean más viables. ABB sigue desarrollando tecnologías que están estableciendo una nueva definición de la cadena de suministro de electricidad.





---

Una microrred puede estar constituida por muchas combinaciones de generación y almacenamiento y formatos de conectividad de redes.

**S**e considera una microrred como un sistema eléctrico integrado formado por generación y almacenamiento distribuidos y cargas eléctricas múltiples que actúa como una sola red, autónoma, en paralelo o en “modo de isla” respecto a la red existente de una compañía eléctrica. Según esta definición, una microrred puede estar formada por muchas combinaciones de generación y almacenamiento y formatos de conectividad de red, y cubrir una amplia variedad de tamaños. Por lo tanto, el concepto de microrred cubre instalaciones muy diversas. Una microrred típica puede tener la estructura y los componentes ilustrados en → 1. Esta definición permite que diversas clases de microrredes se clasifiquen según el tipo de cliente

al que sirven, las motivaciones de su construcción y la región del mundo en la que están operando → 2.

En muchos aspectos, las microrredes son versiones en pequeño de una red eléctrica clásica. No obstante, las microrredes difieren de las redes eléctricas clásicas en que mantienen una proximidad mayor entre generación y consumo, lo que se traduce en una mayor fiabilidad del suministro. Las microrredes integran asimismo fuentes de energía renovables, como solares, eólicas, hidráulicas pequeñas, geotérmicas, generación a partir de residuos y sistemas combinados de calor y energía (CHP).

Un sistema de control de microrred realiza un control dinámico de las fuentes de energía que permite operaciones autónomas y automáticas de autorreparación. Durante el uso normal o en momentos de pico, o durante una avería de la red pri-

---

Las microrredes difieren de las redes eléctricas clásicas en la mayor proximidad entre generación y consumo.

maria, la microrred puede funcionar independientemente de la red general y aislar la generación y las cargas locales sin afectar a la integridad de la red. Las microrredes interoperan con los sistemas energéticos y de información existentes y tienen la capacidad de devolver energía a la red para apoyar su funcionamiento estable.

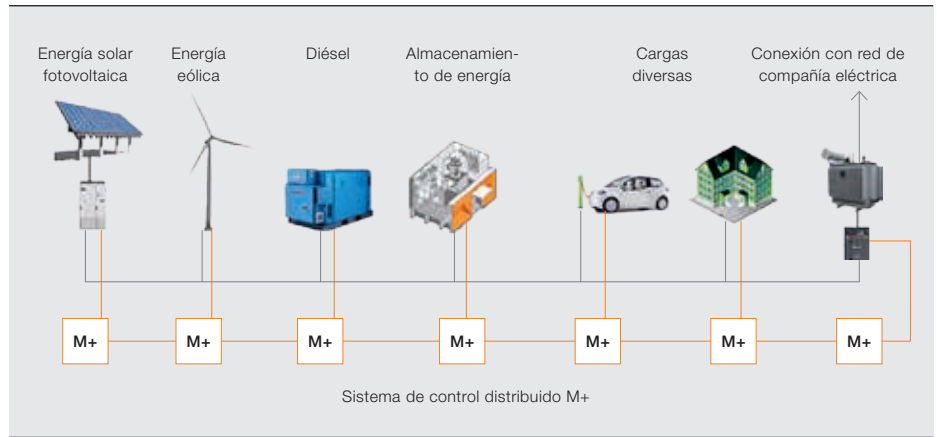
---

#### Imagen del título

Las microrredes están destinadas principalmente a áreas remotas e islas, y con frecuencia integran fuentes de energías renovables.

Un sistema de control de microrred realiza un control dinámico de las fuentes de energía que permite operaciones autónomas y automáticas de autorreparación.

### 1 Estructura y componentes típicos de una microrred



#### Instalaciones satisfactorias

La plataforma de integración de microrredes modular y ampliable de ABB es el resultado del desarrollo de una tecnología de vanguardia y de la experiencia práctica acumulada a lo largo de más de dos décadas de diseño y construcción de microrredes por todo el mundo. La solución de microrredes de ABB consta de dos elementos básicos. En primer lugar, la solución Microgrid Plus de ABB para el control de la red, que emplea agentes distribuidos que controlan cargas individuales, conmutadores de red, generadores y dispositivos de almacenamiento para lograr la gestión energética inteligente y el funcionamiento eficiente de la microrred. Esta solución se une a PowerStore™ de ABB, una tecnología de estabilización de redes basada en volantes de inercia o baterías que permite una concentración elevada de generación renovable gracias a su capacidad de inercia sintética y de formación de redes.

La combinación de estas tecnologías permite una presencia del 100 por cien de energías renovables en sistemas eólico-diésel y solar-diésel, maximiza el ahorro de combustible y activa la microrred para que se conecte o desconecte automáticamente de la red general sin interrupción de las cargas críticas.

Unos pocos ejemplos notables de instalaciones de la tecnología de microrredes de ABB realizadas con éxito ilustran estas soluciones y su valor para los clientes.

#### Marble Bar

Las primeras estaciones eléctricas del mundo con alta penetración fotovoltaica solar diésel entraron en servicio en 2010 en Nullagine y Marble Bar, en Australia






























Occidental. Los proyectos incluían más de 2.000 módulos solares y un sistema de seguimiento de la trayectoria del sol a lo largo del día → 3.


La tecnología de estabilización de redes PowerStore y la solución para gestión energética Microgrid Plus aseguran que pase a la red la máxima cantidad de energía solar reduciendo al mínimo aceptable la generación diésel o apagándola por completo. Cuando se oculta el sol, PowerStore cubre la pérdida de generación solar con el sistema Microgrid Plus que aumenta la generación diésel y asegura que la red tenga un suministro ininterrumpido de energía. Los sistemas de energía solar generan más de 1 GWh al año de energía renovable y suministran el 60 por ciento de la energía media en horas de luz para ambas ciudades, con un ahorro anual de 405.000 l de combustible y 1.100 t de emisiones de gases de efecto invernadero.


#### Isla de Faial


ABB puso en servicio en 2013 una solución para control de microrredes que permitió que la isla de Faial en el Océano Atlántico añadiera más energía eólica a su combinación de energías sin desestabilizar la red. Faial es una de las nueve islas volcánicas de las Azores, a unos 1.500 km del continente. La isla de 15.000 habitantes tiene una red eléctrica que trabaja como una microrred autónoma alimentada por seis generadores de gasóleo que producen hasta 17 MW. La compañía eléctrica local, Electricidade dos Açores (EDA), ha instalado cinco turbinas eólicas como parte de su esfuerzo por aumentar la capacidad en más de un 25 por ciento y minimizar el impacto ambiental en la isla, donde el turismo es una industria impor-


## 2 Impulsores básicos de microrredes por clase y por región

|  |  Europa |  Norteamérica |  América latina |  Asia-Pacífico |  África |
|--|--|--|--|---|--|
| Comercial e industrial                 |         |               |  |                |  |
| Instituciones e instalaciones públicas |         |               |  |                |  |
| Comunidades                            |         |               |  |                |  |
| Poblaciones alejadas                   |         |               |                 |                |         |
| Islas                                  |         |               |                 |                |  |
| Minas y construcciones alejadas        |         |               |                 |                |        |
| Instalaciones militares                |  |               |  |   |  |

 Electrificación

 Entorno

 Coste

 Suministro eléctrico fiable y seguro

El mercado de las microrredes está evolucionando rápidamente, con encargos ejecutados en todo el mundo en segmentos de aplicación muy variados.

tante → 4. El sistema de control MicrogridPlus calcula la configuración más económica, asegura un equilibrio entre suministro y demanda, maximiza la integración de la energía eólica y optimiza los generadores de forma que el sistema completo trabaje a su capacidad máxima. La integración de la energía eólica con la solución innovadora de ABB ahorra una cantidad estimada de 3,5 millones de l de combustible al año y tiene el potencial de reducir las emisiones anuales de dióxido de carbono en unas 9.400 t.

### SP AusNet

Una microrred con una capacidad de almacenamiento de energía por baterías de 1 MH – 1 MWh y una potencia de generación diésel de 1 MW es un proyecto piloto para la red de distribución de electricidad de SP AusNet en Victoria, Australia → 5. El sistema de baterías y el inversor inteligente son las fuentes de energía primarias, mientras que el generador diésel actúa como reserva para aumentar la capacidad disponible. La terminación del sistema está prevista para finales de 2014 y cumplirá los códigos de la red de distribución cuando se conecte a ella, pasará al modo de isla cuando el controlador de la red de la orden, y volverá a trabajar conectado a la red sin interrumpir el suministro. El alcance de la entrega de ABB incluye el diseño, la ingeniería, la construcción, las pruebas y el suministro del PowerStore-Battery System ABB y de un transformador de 3 MVA que se integrará con el generador diésel. La central está controlada por el sistema de control

Microgrid Plus de ABB y se ha ejecutado en forma de estación eléctrica transportable formada por siete contenedores de exterior y quioscos.

### Mirando al futuro

El mercado de las microrredes está evolucionando rápidamente, con encargos ejecutados en todo el mundo en segmentos de aplicación muy variados. Las microrredes están dejando atrás los proyectos piloto de demostración de la tecnología, sustituidos por proyectos comerciales impulsados por sólidos análisis económicos. Un reciente informe de Navigant Research ha identificado más de 400 proyectos de microrredes en funcionamiento o en desarrollo en todo el mundo.<sup>1</sup> El mismo estudio prevé que la capacidad global anual de las microrredes aumentará de 685 MW en 2013 a más de 4.000 MW en 2020. Norteamérica seguirá encabezando el mercado de microrredes y la región Asia Pacífico surgirá probablemente en 2020 como otra área de crecimiento a causa de la enorme necesidad de suministrar energía a poblaciones crecientes, no atendidas por infraestructuras de red tradicionales.

A medida que evoluciona el mercado de las microrredes, ABB desarrolla nuevas tecnologías para abordar los problemas. Aunque superables, los problemas son variados y complejos.

#### Nota al pie

<sup>1</sup> "Microgrids Global Market Analysis and Forecasts Report," Navigant Research, Boulder, CO, Dec. 2013.



El almacenamiento de energía desempeña un papel importante en la estabilización de las microrredes y en los turnos de energía renovable que cubren los picos de generación y consumo de electricidad.

3 Microrred de Marble Bar en Australia



4 Microrred eólica-diésel en la isla de Faial, en las Azores



#### Almacenamiento de energía

El almacenamiento de energía desempeña un papel importante en la estabilización de las microrredes y en los turnos de energía renovable que cubren los picos de generación y consumo. Pero las dos funciones requieren tecnologías de almacenamiento muy distintas.

Los equipos de estabilización de microrredes deben proporcionar una respuesta muy rápida cuando son solicitados, posiblemente varias veces por minuto. Esto se traduce en una alta potencia de salida pero muy poca energía almacenada. Sin embargo, con los turnos de energía renovable el sistema debe ser capaz de almacenar energía para algunas horas a fin de cubrir los picos de producción y consu-

mo. Para satisfacer estos distintos requisitos, la mejor elección puede ser un sistema híbrido con una combinación de tecnologías de almacenamiento de diferentes características (vida útil y tiempo de respuesta) → 6. Un sistema híbrido de almacenamiento de energía combinará las ventajas de cada medio de almacenamiento y tendrá un coste total inferior al de las unidades individuales. ABB está analizando las ventajas y los inconvenientes de un sistema así y elaborando soluciones de control para la tecnología.

#### Sistema de protección

Un sistema de protección debe responder a los fallos de la red y de la microrred. En una red, la protección frente a averías debe aislar inmediatamente la microrred

## 5 Esquema de la microrred de SP AusNet, Victoria, Australia

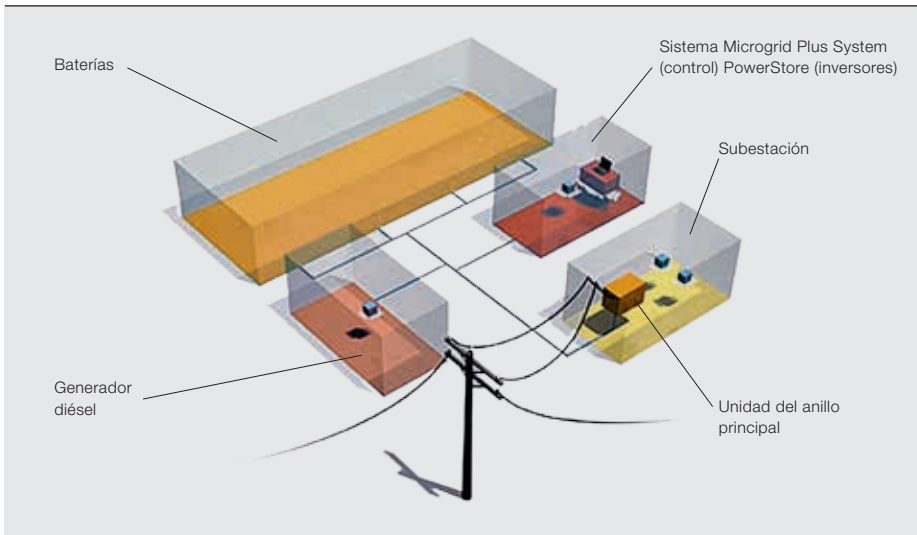
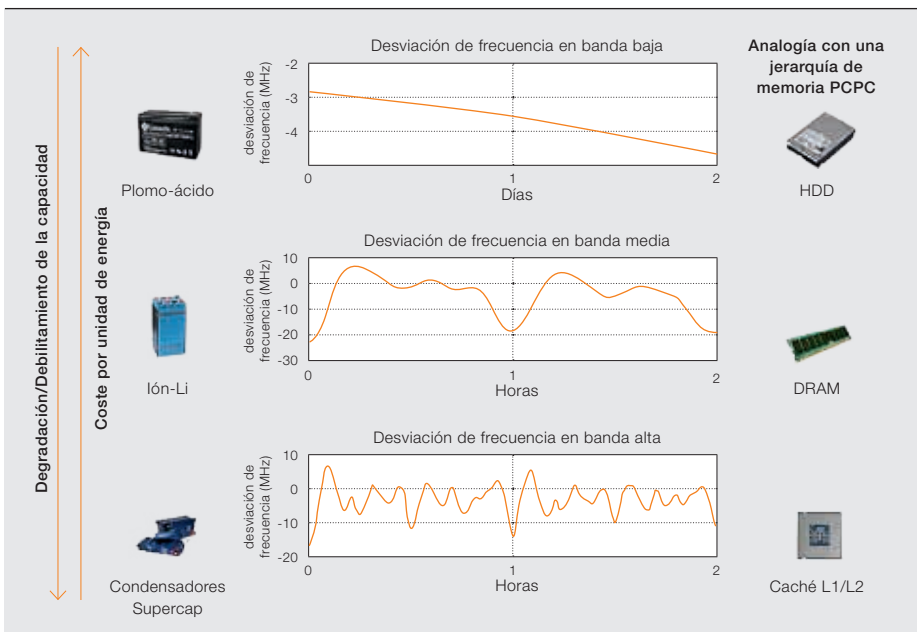


ABB está analizando las ventajas y los inconvenientes de un sistema híbrido de almacenamiento de energía y elaborando soluciones de control para la tecnología.

## 6 Jerarquía de almacenamiento híbrido y analogía con las memorias de ordenador



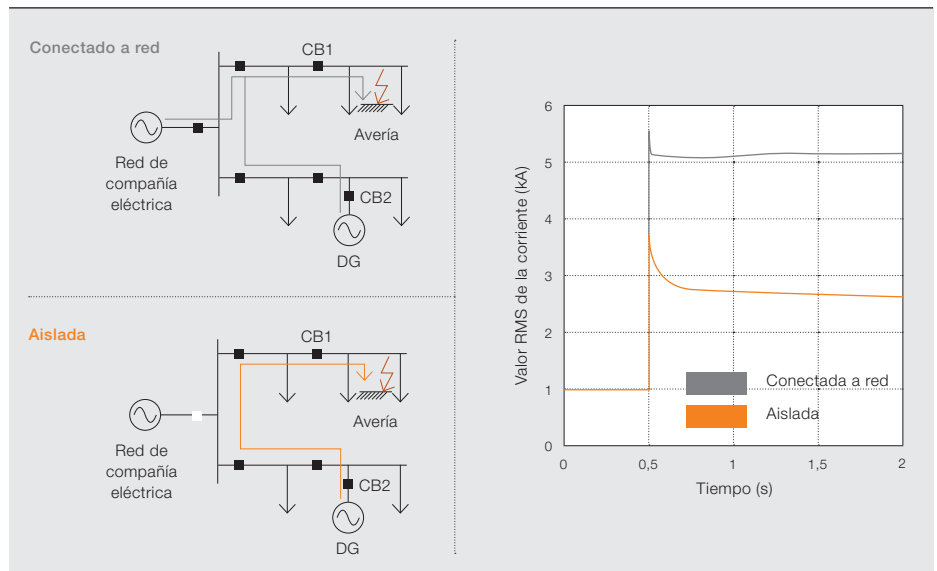
para proteger sus cargas. En el caso de las averías dentro de la microrred, la protección debe aislar la sección más pequeña posible del alimentador.

Pueden presentarse problemas relacionados con la selectividad (disparos falsos innecesarios) y la sensibilidad (fallos no detectados o disparos retardados) del sistema de protección porque el nivel de la intensidad de cortocircuito en el modo de operación en isla de una microrred pueda caer considerablemente tras una desconexión de la red general → 7 ABB está investigando diferentes soluciones para abordar este problema, bien con dispositivos de automatización de la red, bien empleando una fuente reservada para averías.

Cuando se protege una microrred con IED (dispositivos electrónicos inteligentes) que admiten grupos de ajustes múltiples, éstos pueden cambiarse en tiempo real en función del estado de la microrred basándose en la lógica prefijada. Con frecuencia las microrredes pueden protegerse con fusibles dimensionados para los niveles de intensidad de fallo suministrados por la red principal. En este caso, al menos un recurso energético local debe suministrar una corriente de fallo suficiente para asegurar la sensibilidad y la selectividad de las protecciones. Una fuente de corriente de fallo de este tipo detectará un cortocircuito basándose en una medición local o remota de la tensión y liberará rápidamente una gran cantidad de energía que genere el nivel de intensidad necesario para saltar el fusible.

Una predicción precisa de la energía renovable disponible y las cargas (tanto eléctricas como térmicas) desempeñará un papel importante en el informe económico de una microrred.

## 7 Avería por variación del nivel de intensidad en los modos conectado a red y aislado



### Gestión de la energía

Las cargas térmicas suelen representar una parte importante del uso total de energía por los consumidores finales. Hay un gran potencial de ahorro de costes, especialmente con respecto a los sistemas de calor y electricidad combinados (CHP), que permiten que los consumidores obtengan mayores rendimientos recuperando el calor residual de los generadores eléctricos. Además, es mucho más fácil y barato almacenar la energía térmica que la eléctrica. Por lo tanto, para una gestión rentable de la energía de una microrred debe contemplarse la coordinación entre el almacenamiento de energía térmica y otras fuentes térmicas y entre sistemas térmicos y eléctricos. ABB está trabajando en el desarrollo de un sistema de control energético con esta funcionalidad. Una predicción precisa de la energía renovable disponible y las cargas (tanto eléctricas como térmicas) desempeñará un papel importante en el informe económico de una microrred.

### Herramientas de modelización

La forma en que se modeliza un sistema es de gran importancia durante todas las fases del desarrollo, desde el diseño conceptual y el estudio de viabilidad hasta la construcción y la prueba del proyecto de microrred. Por ejemplo, cuando se amplía un suministro ya existente de energía de reserva basado en diésel con una gran cantidad de recursos renovables fluctuantes, no se puede garantizar el funcionamiento estable de la microrred. Para dimensionar de forma óptima un dispositivo estabilizador de red, como un

PowerStore, y ajustar sus parámetros de control, hay que conocer el comportamiento dinámico de los grupos generadores diésel existentes. Por lo general, la repuesta dinámica exacta de un generador se evalúa solo en ensayos de campo seguidos de un proceso de ajuste de los parámetros de todos los controladores, lo que suele ocasionar retrasos en la fase de puesta en servicio. Pero esta situación se evitará una vez que se desarrolle un controlador de microrredes que pueda aprender cuál es la respuesta de una unidad controlada (por ejemplo, un generador antiguo) y comparta esta información con otros controladores para el ajuste automático de sus parámetros.

#### Celine Mahieux

ABB Power Generation  
Zurich, Suiza  
celine.mahieux@ch.abb.com

#### Alexandre Oudalov

ABB Corporate Research  
Baden-Dättwil, Suiza  
alexandre.oudalov@ch.abb.com

#### Lecturas recomendadas

ABB Renewable Microgrid Controller MGC600, <http://new.abb.com/power-generation/microgrids-solutions>





# Gestión de recursos

Arquitectura punto a punto para el almacenamiento de energía en la red

STEPHEN CLIFFORD – Muchas discusiones acerca de las energías renovables conducen en última instancia a un debate sobre el almacenamiento de la energía. La amplia variedad de opciones de almacenamiento es testimonio del hecho de que no hay una tecnología que sirva para todo; cada una tiene sus ventajas e inconvenientes particulares. La elección de la tecnología adecuada para una aplicación exige un conocimiento profundo de las demandas funcionales que deben hacerse al sistema de almacenamiento y, a su vez, las que el sistema de almace-

namiento aplicará a la red. Tomar uno de estos medios de almacenamiento de energía y construir un sistema de almacenamiento de energía de la red eficiente, fiable y duradero exige tecnologías y competencias variadas, desde la conversión de electrónica de potencia y el control a nivel de sistema y de red hasta la predicción y la optimización. En definitiva, lograr la funcionalidad deseada de almacenamiento en la red precisa una arquitectura punto a punto para la integración de todos estos elementos entre sí y con la red.

más potencia, duran más tiempo y necesitan poco o ningún mantenimiento. Gracias al avance de la conversión de la electricidad con la electrónica de potencia, estas baterías se integran sin problemas en las redes, tanto de CA como de CC [5].

### Tecnologías fundamentales

El almacenamiento de electricidad eficaz exige otras tecnologías, además del almacenamiento propiamente dicho. Cabe considerar tres capas distintas: tecnología de energía, control e “inteligencia”.

La capa de tecnología de energía debe asegurar una conexión eléctrica a la red estable y segura del medio de almacenamiento de energía, que abarque el medio de almacenamiento, la conversión de electrónica de potencia y la conexión a la red de CA o la subestación. A continuación, se deben controlar localmente todos los elementos del sistema de almacenamiento de energía y la subestación para garantizar una operación precisa y segura y la capacidad de ejecutar órdenes desde el control del nivel de red. Junto con las capas de tecnología de energía y de control instaladas hace falta una capa de “inteligencia” para determinar y programar el estado óptimo de cada recurso de la red. La unión de estas tres capas es la

arquitectura punto a punto precisa para conseguir un verdadero almacenamiento de energía en la red → 1.

### Medios de almacenamiento

La función básica del almacenamien-

to de energía en la red es permitir que la energía generada en un determinado momento se utilice en otro. La duración para la que el sistema de almacenamiento de energía puede necesitar cargar o descargar continuamente es quizá la principal diferencia entre las diversas aplicaciones de almacenamiento y tiene una fuerte influencia en la elección de los medios → 2.

### Conversión de electrónica de potencia

Muchas tecnologías de almacenamiento de energía funcionan con CC de forma nativa, como los condensadores, supercondensadores y baterías. Para conectarlas a una red de CA hace falta electrónica de potencia para el paso de conversión. Además, incluso las tecnologías de

**E**l almacenamiento de energía ha sido una característica de la generación, el transporte y la distribución de la electricidad durante bastante más de un siglo. La introducción de las baterías recargables de ácido-plomo en los primeros 1880 se vio seguida por instalaciones de almacenamiento por bombeo hidráulico, en las que se bombea agua a alturas mayores en momentos de baja carga con el fin de utili-

## La actual tendencia hacia la generación “sin combustible”, como energía eólica y solar, obliga a adaptar la forma de almacenar la energía.

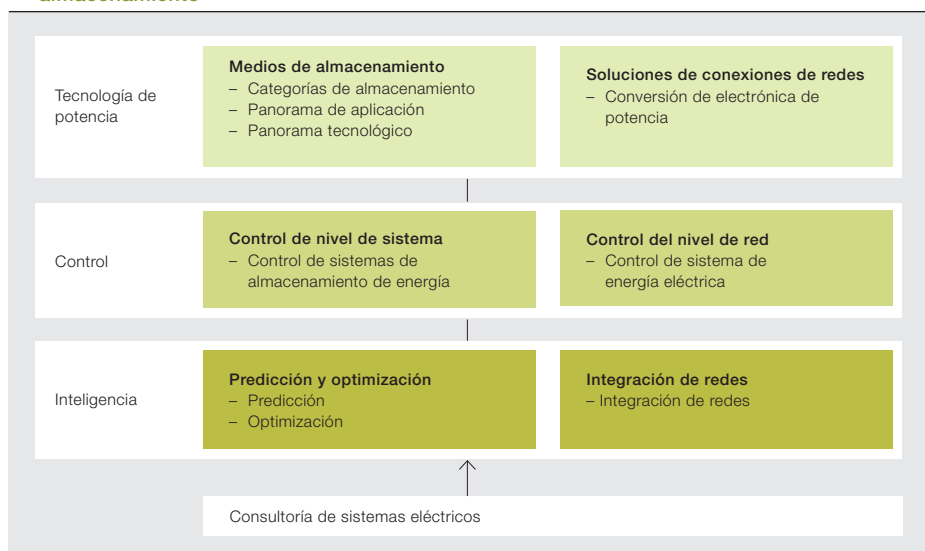
zarla para mover las turbinas en momentos de carga elevada. Actualmente muchas reservas proceden de centrales eléctricas que trabajan por debajo de su capacidad y que pueden aumentar rápidamente su actividad a petición; es la llamada “reserva giratoria”.

La actual tendencia hacia la generación “sin combustible”, como energía eólica y solar, obliga a adaptar la forma de almacenar la energía [1,2]. Hay que centrarse en las opciones de almacenamiento de energía ya disponibles, como baterías y bombeo hidráulico. Es lo que está pasando, por ejemplo, con el renacimiento del bombeo hidráulico [3,4]. Las baterías modernas almacenan más energía, entregan

#### Imagen del título

El almacenamiento de energía en una red eléctrica no es una simple cuestión de disponer algunas baterías o supercondensadores. Se necesita una serie completa de tecnologías interdependientes que constituyan un sistema de almacenamiento de energía completo y eficiente.

## 1 Tecnologías clave que incorporan a la red la arquitectura punto a punto de almacenamiento



El almacenamiento de energía ha sido una característica de la generación, el transporte y la distribución de la electricidad durante bastante más de un siglo.

almacenamiento de energía nativas de CA, como el bombeo hidráulico o los volantes de inercia, dependen de la electrónica de potencia para integrarse óptimamente en una red de CA.

### Control a nivel de sistema

Tras conectarlo eléctricamente a la red, un sistema de almacenamiento debe controlarse de forma efectiva. Hace falta hardware y software de control para atender todas las aplicaciones de almacenamiento, desde los sistemas de control distribuido para aplicaciones como las microrredes hasta los sistemas de control de generación eléctrica especiales para centrales de almacenamiento de bombeo hidráulico.

### Control a nivel de red

Una vez integrado localmente en la red y controlado eficazmente, la ventaja de un sistema de almacenamiento solo puede notarse en toda la red si se controla concertadamente con todos los demás generadores, cargas y sistemas de almacenamiento. El sistema de gestión de red ha de ser capaz de gestionar y optimizar recursos limitados por la energía y la potencia. Esta optimización debe basarse en criterios tanto económicos como técnicos.

ABB ofrece todas las soluciones para conseguirlo. ABB Ventyx Network Manager™ es una solución versátil de centro de control para gestionar la red. El sistema de gestión de generación (GMS) incluido en Network Manager –SCADA (control de supervisión y adquisición de datos)/GMS– permite programar instalaciones de almacenamiento masivo como

las de bombeo hidráulico o las de baterías de gran tamaño y disponer de ellas junto con todas las demás estaciones eléctricas de la red.

Donde hay muchos sistemas de almacenamiento pequeños y recursos de energía distribuidos por toda la red (como la energía solar de cubiertas), puede emplearse el sistema de gestión de demanda-respuesta (DRMS) para consolidarlos en una central eléctrica virtual. Entonces, el sistema de gestión de generación puede programar y disponer esta central eléctrica virtual como si fuera una central convencional.

### Predicción y optimización

No sólo es necesario predecir las cargas, sino que al aumentar la proporción de generación intermitente y volátil, se hace esencial la capacidad de predecir con precisión la generación.

La solución Ventyx Nostradamus puede obtener datos de muchas fuentes diferentes tales como pronósticos meteorológicos, datos históricos de generación de renovables y datos de carga, y determinar las relaciones entre ellos. Cuando se han determinado estas relaciones pueden realizarse predicciones continuas del estado de la red, con horas y días de anticipación.

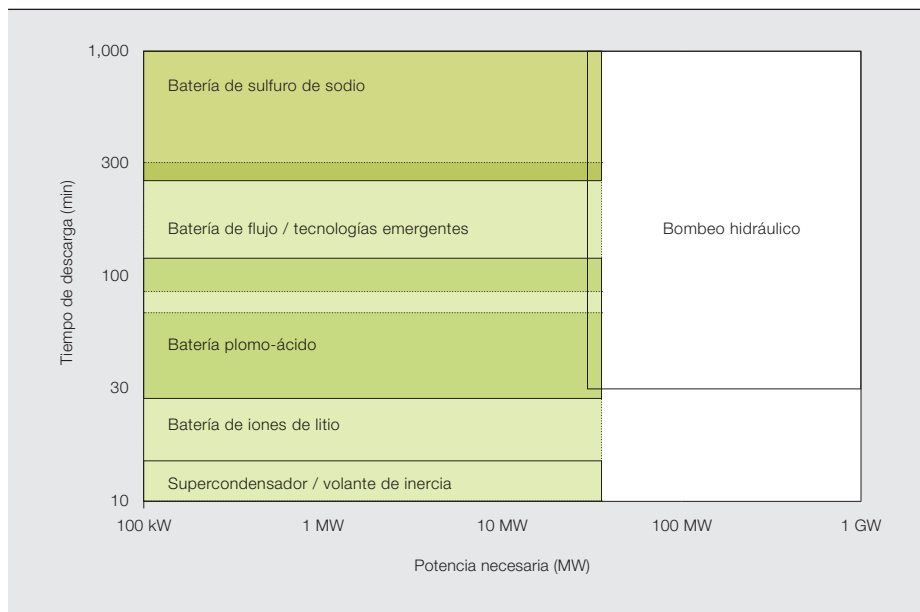
### Validación de tecnologías

Todas las tecnologías aptas para el almacenamiento de electricidad están maduras y se han demostrado y probado en condiciones de redes reales. En efecto, casi todas las tecnologías, como la elec-



El almacenamiento de electricidad eficaz exige otras tecnologías, además del almacenamiento propiamente dicho. Cabe considerar tres capas distintas: tecnología de energía, control e “inteligencia”.

## 2 Tecnologías de almacenamiento y valores más adecuados de tiempos de alimentación y descarga



trónica de potencia y las de control, se utilizan de forma generalizada en la red.

### Almacenamiento en baterías

ABB aplicó en 2003 la tecnología de almacenamiento en baterías para crear una reserva giratoria para una autoridad eléctrica en Alaska, Estados Unidos. Una solución con un sistema convertidor que emplea baterías de cadmio-níquel suministra 27 MW durante 15 minutos y 46 MW durante 5 minutos, tiempo suficiente para incorporar en línea la generación local.

En 2011, ABB se asoció con una compañía eléctrica suiza para poner en servicio el mayor sistema de almacenamiento de energía por baterías de su tipo en Suiza. Esta instalación de baterías de litio de

fundamentales como el equilibrado de cargas de pico y el suministro intermitente de energía eléctrica, y la viabilidad de la solución para optimización de la red.

### Almacenamiento por bombeo hidráulico

ABB lleva más de 125 años desarrollando tecnologías y entregando soluciones para la industria hidroeléctrica. En ese tiempo, ABB ha suministrado equipos eléctricos y de automatización para más de 300 centrales hidroeléctricas de todo el mundo, desde pequeñas instalaciones de 1 o 2 MW hasta gigantes de 10 GW.

En una central de almacenamiento por bombeo hidráulico en los Alpes Suizos, ABB está remodelando un sistema de accionamiento de velocidad variable (VSD) basado en el concepto de conversión total →3. Con 100 MW, es el VSD mayor del mundo en su tipo.

No sólo es necesario predecir las cargas, sino que al aumentar la proporción de generación intermitente y volátil, se hace esencial la capacidad de predecir con precisión la generación.

### Almacenamiento por volante de inercia

ABB se asoció con una compañía australiana de generación de electricidad, operación de

1 MW puede absorber o descargar energía durante 15 minutos. Se integra en la red de distribución y se está utilizando para evaluar su comportamiento en áreas

redes y minorista, y con otras para construir la primera estación eléctrica del mundo híbrida solar-diésel de alta penetración. La tecnología (basada en volantes



## Conocer todas estas piezas del rompecabezas y su ajuste mutuo es fundamental para definir una arquitectura punto a punto para el almacenamiento en la red.

de inercia o baterías) y el sistema de automatización Power-Store™ de ABB permite que la central consiga niveles de penetración anual de uso del consumidor del 65 por ciento y de penetración instantánea de hasta el 100 por cien.

### Control, predicción y optimización a nivel de red

La solución de centro de control ABB Ventyx Network Manager ha acumulado bastantes más de 400 referencias por todo el mundo en los últimos 25 años. El sistema de gestión de generación SCADA/GMS de Network Manager es, por tanto, una solución bien probada, capaz de controlar el almacenamiento de energía por bombeo hidráulico al mismo tiempo que otras formas de generación.

ABB se asoció en Alemania con una universidad y un proveedor de infraestructuras y servicios de energía en un proyecto que demostrara la capacidad de un sistema de gestión de energía para integrar en la red sistemas de renovables, almacenamiento, combinados de calor y electricidad (CHP) y vehículos eléctricos. La solución de ABB implicaba la utilización del Ventyx DRMS para crear la central eléctrica virtual y el MicroSCADA Pro de ABB para establecer un control y supervisión local de cada uno de los recursos.

### Arquitectura punto a punto

La necesidad de almacenamiento en la red ha existido siempre, pero en el pasado se resolvía normalmente con el almacenamiento de combustible en las centrales de combustible fósil y manteniendo una determinada proporción de capacidad con centrales de reserva. Con el cambio a las energías eólica y solar, la red debe adaptarse al almacenamiento de la energía eléctrica después de generarla.

Cada tecnología de almacenamiento tiene ventajas e inconvenientes que hay que conocer bien y que, una vez instaladas, precisan que se puedan controlar para poder explotar todas sus ventajas.

Junto con los recursos físicos y la capacidad de controlarlos, pasa a ser crítica la posibilidad de tomar las decisiones acertadas para su gestión. Esto exige predicciones precisas del estado de la red y de los propios sistemas de almacenamiento.

Para lograrlo, son necesarios nuevos niveles de inteligencia.

Conocer todas estas piezas del rompecabezas y su ajuste mutuo es fundamental para definir una arquitectura punto a punto para el almacenamiento en la red.

### Stephen Clifford

ABB Smart Grids  
Zurich, Suiza  
stephen.clifford@ch.abb.com

### Lecturas recomendadas

[www.abb.com/smartgrids](http://www.abb.com/smartgrids) Schlunegger, H., "Rendimiento en el bombeo – Un convertidor de 100 MW para la central de bombeo para reserva de energía Grimsel 2," *ABB Review* 2/2014, págs. 42–47.

### Referencias

- [1] B. Koch, B. Husain, "Electricidad inteligente: energía eficiente para un mundo sostenible," *ABB Review* 1/2010 pp. 6–9.
- [2] A. Oudalov, *et al.*, "Utility scale applications of energy storage," in Energy 2030 Conference, Atlanta, Ga, 2008.
- [3] J. J. Simond, *et al.*, "Expected benefits of adjustable speed pumped storage in the European network," in *Hydropower into the next century*, 1999, pp. 579–585.
- [4] J. Svensson, *et al.*, "Improved power system stability and reliability using innovative energy storage technologies," in *AC and DC Power Transmission*, IET, 2006, pp. 220–224.
- [5] C. Ryttoft, *et al.*, "La desmitificación de los semiconductores: Parte 1, Los chips en el corazón de la cambiante red eléctrica," *ABB Review* 3/2010 pp. 27–32.



# Enchufado

Análisis de la rentabilidad de la reducción de emisiones con conexión eléctrica de muelle a buque

PETR GURYEV – El transporte marítimo supone aproximadamente del 4 al 5 por ciento del total de las emisiones mundiales, y las emisiones de buques en el puerto suponen alrededor del 7 por ciento de las emisiones totales de un buque. En los últimos años se viene prestando atención a reducir las emisiones en el puerto. De todas las tecnologías disponibles para la reducción de las emisiones en el puerto, incluyendo el GNL (gas natural licuado), depuradoras y combustibles purificados, la solución más eficaz es la conexión eléctrica de muelle a buque. Solo la conexión de muelle a buque acaba por completo con las emisiones en el puerto, pues se trata de una conexión a la electricidad de la red, que suele ser más barata y mucho más limpia de producir. ABB suministra soluciones de muelle a buque desde el año 2000, cuando entregó la primera conexión de alta tensión de muelle a buque del mundo en el puerto de Gotemburgo, Suecia.



## 1 Necesidades típicas por segmentos en un puerto

| Segmento de buques   | Potencia nominal media (kW) | Número de visitas al mismo puerto (anuales) | Tiempo en puerto por visita (h) | Inversiones*             |                           |
|--|-----------------------------|---|---------------------------------|--------------------------|---------------------------|
|  |                             |   |                                 | Buque (miles de dólares) | Puerto (miles de dólares) |
| Crucero (250+m y viajes regionales)  | 10,000                      | 16  | 15                              | 1,170                    | 6,500                     |
| Crucero (250+m y viajes globales)  | 10,000                      | 2   | 15                              | 1,170                    | 6,500                     |
| Ro-ro/ro-pax/ferry   | 1,500                       | 156   | 6                               | 975                      | 1,430                     |
| Contenedores (2.500+ TEU, servicio de aporte o feeder)                       | 1,200                       | 52  | 9                               | 1,040                    | 1,430                     |
| Contenedor (5.000 + TEU servicio global)                                     | 2,500                       | 8   | 24                              | 1,040                    | 1,430                     |
| Cisterna   | 1,200                       | 20  | 24                              | 780                      | 1,430                     |
| Granelero  | 800                         | 5   | 168                             | 520                      | 650                       |
| AHT/WSV (buques remolcadores y de manejo de anclas/de estimulación de pozos) | 80                          | 80  | 24                              | 78                       | 195                       |

\* Para que la infraestructura eléctrica conecte un buque a la vez

## 2 Rentabilidad de las inversiones en proyectos de conexión eléctrica de muelle a buque en ECA entre distintos segmentos para reducir las emisiones de SO<sub>2</sub>



Desde esta primera conexión de muelle a buque, se han realizado con éxito muchas otras. Para estimular el desarrollo de proyectos de electricidad de muelle a buque, algunas administraciones proporcionan subsidios o incentivos reglamentarios y fiscales. Casi todos los proyectos realizados en el mundo han recibido alguna subvención, tanto de instituciones públicas como de fondos de apoyo. En Norteamérica, el desarrollo de proyectos de conexión de muelle a buque se centró en los segmentos de cruceros y portacontenedores, con legislación promulgada por el Estado de California y posteriormente con ayuda económica de los gobiernos de EE.UU. y Canadá. La ruta comercial directa para portacontenedores entre el este de Asia y la costa occidental de Estados Unidos, donde ya hay legislación sobre conexión eléctrica de muelle a buque, está impulsando nuevos proyectos de este tipo en Asia para el mismo segmento de buques. En Europa, la mayor parte de los proyectos se centra en el segmento ro-ro/ro-pax/ferry<sup>1</sup>, impulsado más por razones de negocio que por la legislación.

Distintos tipos de buques tienen distintas necesidades en puerto, pasan períodos variables atracados y tienen diferentes necesidades energéticas; por tanto, cada

tipo de buque tiene un perfil propio de emisiones anuales. Además, los costes de inversión para los distintos segmentos varía con el buque y las infraestructuras del puerto. Así pues, los proyectos de energía de muelle a buque en los distintos segmentos de barcos tendrán rentabilidades de reducción de emisiones que variarán con cada caso. Por ello es necesario un método preciso para medir y analizar la rentabilidad de la reducción de emisiones.

Los parámetros típicos de los principales segmentos de transporte marítimo se recogen en → 1. Los segmentos de cruceros y portacontenedores se separan en dos subsegmentos con distintos perfiles de visitas a puerto y, en el caso de los portacontenedores, con distintas necesidades energéticas.

El consumo anual de electricidad de un buque en puerto puede calcularse con la fórmula siguiente:

$$\text{Energía [kWh]} = \text{potencia en puerto [kW]} \cdot \text{número de visitas a puerto [veces]} \cdot \text{tiempo en el puerto [h]}$$

Suponiendo que todos los buques tienen generadores nuevos y utilizan un combustible similar –MDO/MGO, es decir, gasóleo para motores marinos y gasolina para motores

### Imagen del título

En 2012, ABB entregó al quinto puerto más importante de Suecia, Ystad, una solución llave en mano de conexión eléctrica de muelle a buque para buques ro-ro/ro-pax/ferry.

### Nota a pie de página

- 1 Ro-ro (roll-on/roll-off) es el tipo de buque utilizado para el transporte de carga con ruedas, por lo general coches y grandes camiones. Ro-pax es un buque ro-ro que admite pasajeros.

La rentabilidad de la reducción de emisiones muestra qué cantidad de emisiones en puerto puede reducirse anualmente por cada dólar invertido en instalaciones de conexión eléctrica de muelle a buque en buques y en puertos.

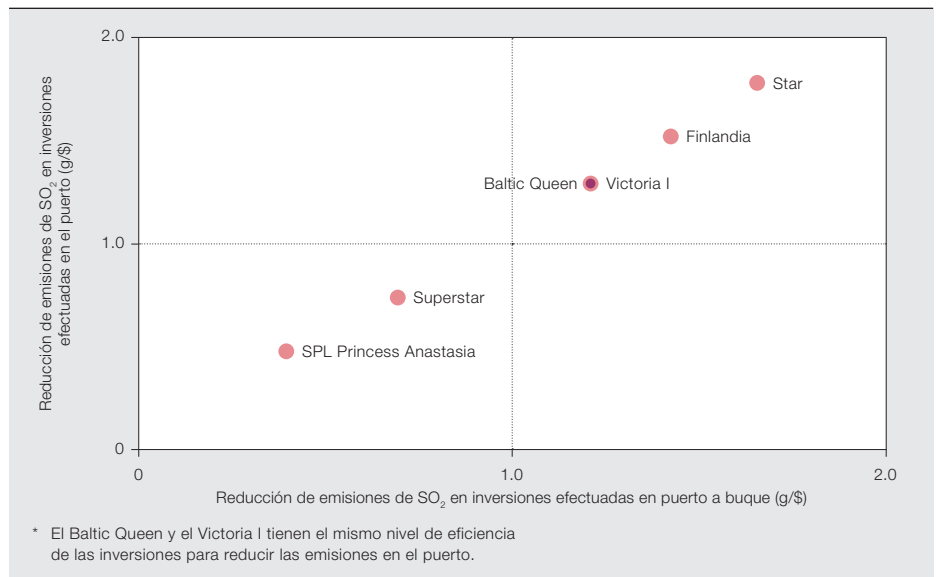
### 3 Buques ro-pax que visitan el puerto de Tallín, Estonia, de forma regular

| Compañía naviera | Buque                  | Visitas estimadas a puerto (por año) | Tiempo medio (ponderado) en puerto (h) | Inversiones                            |   |
|------------------|------------------------|--------------------------------------|--|--|---|
|                  |                        |                                      |  | Por parte del buque (miles de dólares) | Por parte del puerto (miles de dólares) |
| St. Peter Line** | SPL Princess Anastasia | 50                                   | 7.5                                    | 780                                    | 650                                     |
| Tallink Silja    | Victoria I             | 180                                  | 8                                      | 975                                    | 910                                     |
| Tallink Silja    | Baltic Queen           | 180                                  | 8                                      | 975                                    | 910                                     |
| Eckerö           | Finlandia              | 600                                  | 3.75                                   | 975                                    | 910                                     |
| Viking Line      | Viking XPRS            | 734                                  | 5.6                                    | 975                                    | 910                                     |
| Tallink Silja    | Star                   | 1,095                                | 3                                      | 975                                    | 910                                     |
| Tallink Silja    | Superstar              | 1,095                                | 1                                      | 975                                    | 910                                     |

\* Las inversiones son menores porque los buques no precisan conversión de frecuencia.

\*\* Se consideran los costes de inversión para la conexión con el muelle a BT.

### 4 Eficiencia de las inversiones en proyectos de conexión eléctrica de muelle a buque para buques regulares ro-pax/ferry en Tallín para reducir las emisiones de SO<sub>2</sub> en el puerto\*



marinos, respectivamente–, las reducciones de emisiones anuales en puerto pueden calcularse mediante la fórmula siguiente:  $Emisiones [g] = energía [kWh] \cdot emisiones del combustible [g/kWh]$

Dado que el SO<sub>2</sub> está considerado uno de los gases de escape más nocivos, ABB lo ha utilizado como referencia para la conexión eléctrica de muelle a buque. En las Áreas de Control de Emisiones (ECA) se ha establecido por ley un contenido máximo de azufre del 0,1 por ciento. Las máximas emisiones de SO<sub>2</sub> en las ECA son de 0,41 g/kWh<sup>2</sup>. La eficiencia de las inversiones en proyectos de conexión eléctrica de muelle a buque entre los distintos segmentos para reducir las emisiones de SO<sub>2</sub> en puerto se muestran en → 2.

La rentabilidad de la conexión eléctrica de muelle a buque se identifica como la relación entre las emisiones anuales en puerto y las inversiones de capital en infraes-

tructuras eléctricas a bordo o en puerto. Suponiendo que los generadores de los buques son de la misma antigüedad en todos los segmentos y que consumen el mismo tipo de combustible en puerto (MDO/MGO), también se puede suponer que sus emisiones de combustible serán las mismas. La rentabilidad de la reducción de emisiones muestra qué cantidad de emisiones en puerto puede reducirse anualmente por cada dólar invertido en instalaciones de conexión eléctrica de muelle a buque en buques y en puertos.

La rentabilidad de la reducción de emisiones con conexión eléctrica de muelle a buque para el segmento ro-ro/ro-pax/

ferry es una de las más altas para inversiones en buque y en puerto. La reducción de emisiones depende directamente del consumo de energía. Si por cada kWh de energía en muelle, el puerto o el buque pudieran ganar o ahorrar una cantidad de dinero fija, la eficiencia de la relación de inversión podría utilizarse como referencia para el período de amortización entre distintos segmentos. El período de amortización más corto para un proyecto de conexión eléctrica de muelle a buque para infraestructura de puerto y buque, se da en el segmento ro-ro/ro-pax/ferry. Debe tenerse en cuenta que este marco está basado en un perfil típico de segmentos de navegación, pero puede haber proyectos en los que los buques tengan más o menos rentabilidad de reducción de emisiones.

El 26 de marzo de 2014 la Comisión Europea adoptó una “decisión de ejecución” para establecer un Programa Multianual de Trabajo para ayuda económica

#### Nota a pie de página

2 Para combustible purificado con un contenido de azufre del 0,1 por ciento, como identifica la herramienta de casos de negocio de ABB. Para zonas fuera de las Áreas de Control de Emisiones (ECA), el contenido máximo de azufre en el combustible es 3,5 por ciento; las emisiones máximas de SO<sub>2</sub> son de 14,35 g/kWh.



## La energía de muelle a buque es una solución bien establecida para la eliminación completa de emisiones de buques en puerto.

en el sector del transporte del programa Conectar Europa (CEF) para 2014–2020, apoyando el desarrollo de la Red Transeuropea de Transporte (TEN-T). Hay 64 puertos principales identificados por las directrices TEN-T<sup>3</sup>; estos puertos pueden recibir ayuda económica para proyectos eléctricos en el muelle en línea con las prioridades de las Autopistas del Mar<sup>4</sup>. Estos proyectos de conexión eléctrica de muelle a buque pueden recibir hasta el 20 por ciento<sup>5</sup> de la financiación, conforme al reglamento CEF, siempre que se lleve a cabo un análisis adecuado de coste-beneficio. En base al marco identificado anteriormente, se llevó a cabo un ejemplo de análisis coste-beneficio para buques regulares ro-pax en el puerto estonio de Tallín → 3.

La autoridad portuaria de Tallín está considerando instalar una conexión eléctrica de muelle a buque y, dadas las limitaciones presupuestarias, las inversiones deben ser asignadas al segmento en el que la reducción de emisiones sea más rentable. Las rutas de ferry entre los estados bálticos de Finlandia y Suecia son muy competitivas; las compañías navieras rotan a menudo los buques de una ruta a otra en función de la demanda y de los resultados de la compañía. Así pues, es difícil

predecir de forma regular programas a largo plazo para buques concretos, y durante cuánto tiempo permanecerán en puerto. El análisis de la rentabilidad de la reducción de emisiones se basa en resultados intermitentes de planificación, que se obtuvieron en junio de 2014. El Tallink Europa se excluyó del análisis debido al tipo de uso del buque; el VIKING XPRS se excluyó también porque utiliza GNL como combustible y la huella de emisiones en puerto ya es reducida. Los costes de inversión se calculan para la instalación eléctrica llave en mano. Los parámetros de los buques ro-pax que visitan el puerto de Tallín de forma regular se muestran en → 3.

De los buques que visitan el puerto de Tallín solo el Princess Anastasia tiene la toma de energía adecuada para recibir electricidad del muelle y solo en baja tensión con una capacidad máxima de 2.700 kW / 0,4 kV. El panel de conexión con el puerto se instaló a bordo de este buque para conectar en Estocolmo, donde la energía es mucho más barata debido a las reducidas tasas (ver “Aire limpio en los muelles” en la Revista de ABB 3/2014) Se supone que las necesidades medias de potencia nominal del Princess Alexandra son de 2.000 kW. Según un estudio de ABB, las necesidades medias de potencia desde el muelle para el Victoria I y el Baltic Queen pueden ser también de unos 2.000 kW, con un máximo de 2.500 kW. Estimando que todos los demás buques necesitarán como media unos 1.500 kW nominales, el Tallink Star demandará 1.200 kW debido a estancias nocturnas en puerto, cuando las necesidades de energía son mucho menores. El puerto de Tallín está situado en una ECA

donde las emisiones de SO<sub>2</sub> procedentes del combustible son como máximo de 0,41 g/kWh. Suponiendo que los buques que utilizan MDO/MGO emiten la misma cantidad, puede determinarse la eficiencia de las inversiones para reducir las emisiones en puerto con conexión eléctrica de muelle a buque → 4.

### Las mejores ventajas para el medio ambiente

Las ayudas económicas son un medio probado de estimular el desarrollo de proyectos orientados al medio ambiente e intensivos en capital. Con ayudas económicas para desarrollar infraestructura de TEN-T (red transeuropea de transporte) para puertos, es importante asignar fondos a los proyectos más rentables. La electricidad de muelle a buque es una solución asentada para la eliminación total de emisiones de buques en puerto → 5. Aunque la eficiencia de las inversiones en infraestructuras energéticas de muelle a buque varía mucho con el tipo de buque, en general los buques ro-ro/ro-pax/ferry son los más rentables, por lo que se recomiendan para la puesta en marcha prioritaria de infraestructuras de puerto TEN-T.

#### Petr Guryev

Anteriormente en ABB Smart Grids  
petr.guryev@gmail.com

Para más información sobre la oferta de ABB de conexión eléctrica de muelle a buque, visite [www.abb.com/ports](http://www.abb.com/ports) o escriba a [shore-to-ship@ch.abb.com](mailto:shore-to-ship@ch.abb.com)

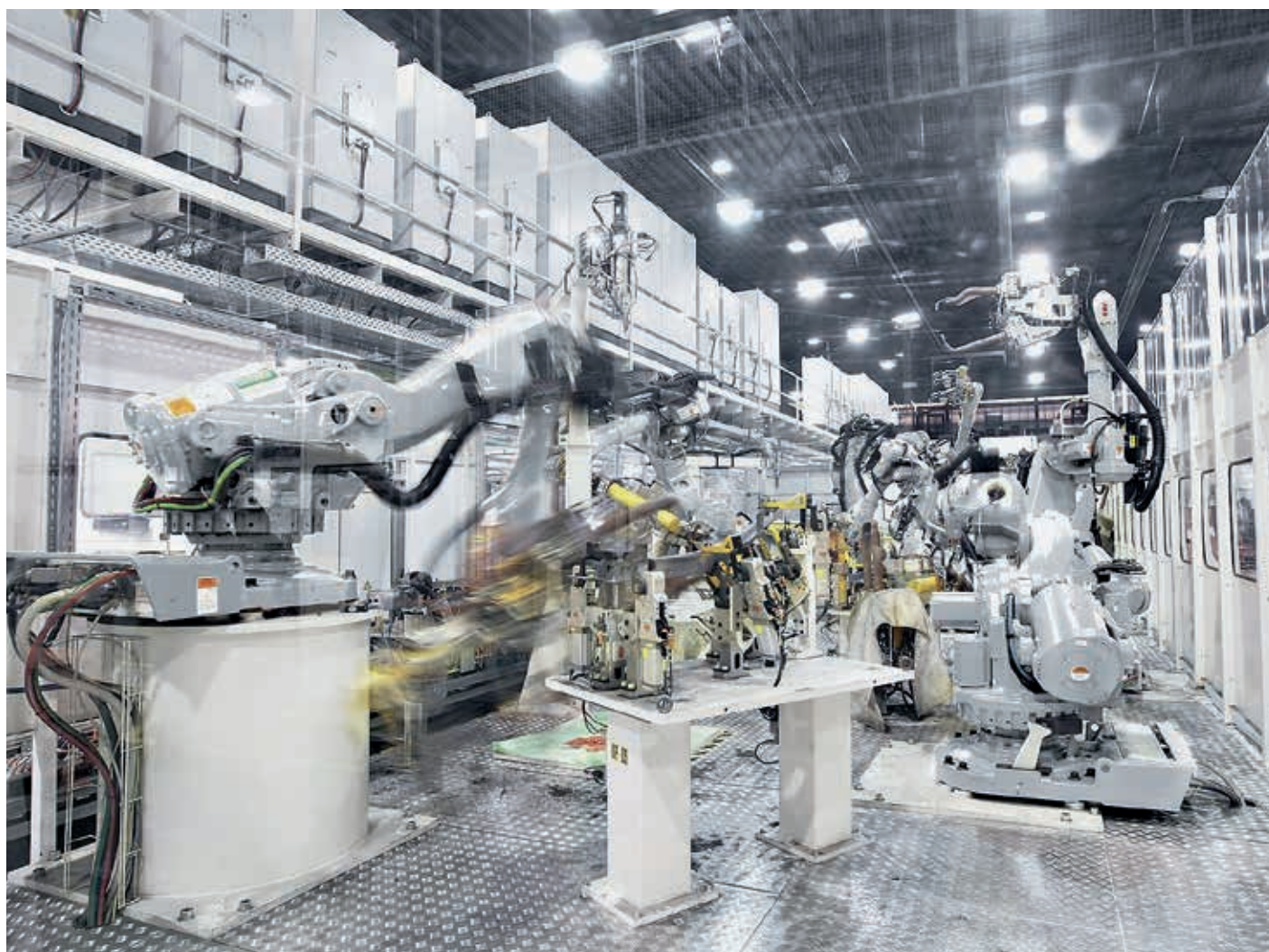
#### Lecturas recomendadas

P. Guryev, “Aire limpio en los muelles: Los incentivos fiscales pueden mejorar la calidad del aire en los puertos”, *ABB Review*, 3/2014, pág 76–79 .

#### Nota a pie de página

- Según lo identificado por: Comisión Europea: (septiembre de 2013). The Core Network Corridors. [En línea]. Disponible en: [http://www.tentdays2013.UE/Doc/b1\\_2013\\_brochure\\_lowres.pdf](http://www.tentdays2013.UE/Doc/b1_2013_brochure_lowres.pdf)
- Autopistas del mar es un proyecto TEN-T “dirigido a promover enlaces de transporte marítimo verdes, viables, atractivos y eficientes” Véase [www.mos-helpdesk.eu](http://www.mos-helpdesk.eu)
- Según la decisión de ejecución de la Comisión C (2014) 1921

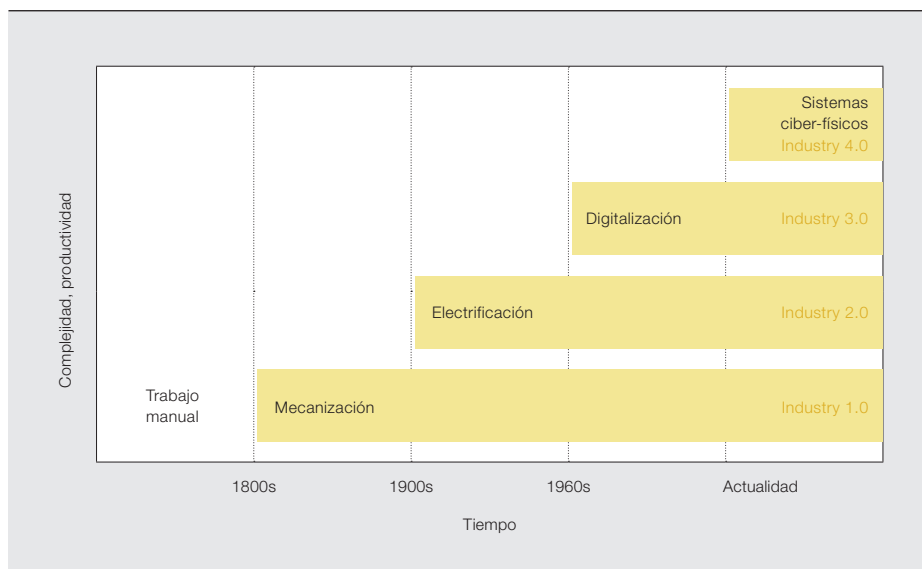




# Una nueva era

ABB está trabajando con destacadas iniciativas del sector para contribuir al comienzo de una nueva revolución industrial

MARTIN W. KRUEGER, RAINER DRATH, HEIKO KOZIOLEK, ZIED M. OUERTANI – Estamos a las puertas de una nueva era de innovación industrial. Descrita como la cuarta revolución industrial, la profunda interrelación del mundo digital con el mundo de las máquinas tiene el potencial de provocar una profunda transformación en la industria. Esta nueva etapa industrial, en la que Internet se une a la producción, es un importante tema de debate en las conferencias y congresos de industrias de producción y de proceso. La iniciativa Industria 4.0 es uno de los varios proyectos que están en marcha para hacer realidad la cuarta revolución industrial. ABB está colaborando con el grupo de la iniciativa Industry 4.0 y los grupos de trabajo de las respectivas asociaciones industriales relacionadas<sup>1</sup> para investigar el efecto de esta nueva etapa industrial, tan esperada, y la viabilidad técnica de hacerla llegar a los clientes de ABB.



El mundo está en el umbral de otra revolución industrial, en este caso como consecuencia de la convergencia del sistema industrial global con la potencia de los avances en informática, análisis, sensores de bajo coste y nuevos niveles de conectividad que permite Internet.

La revolución industrial comenzó cuando la energía mecánica sustituyó al trabajo manual a partir de finales del siglo XVIII, con la invención del telar mecánico.

Esta revolución siguió desarrollándose por etapas a lo largo de los siguientes 150 años, con más mecanizaciones y mediante la combinación de la energía de vapor y de la energía hidráulica. La segunda etapa se remonta a la aparición de la electrificación y de la automatización. En cada etapa la productividad aumentó

enormemente por encima de la situación precedente.

La tercera y más reciente etapa de la revolución industrial comenzó en 1969 con los primeros sistemas de control digitales y libremente programables, que sustituyeron al cableado tradicional de los programas lógicos y de control analógicos. Esta etapa creó las bases de la pirámide de automatización actual<sup>2</sup> y de los sistemas de control modernos, y ha continuado hasta nuestros días. Una visión general de estas revoluciones industriales se presenta en → 1.

#### La próxima etapa industrial

La llegada de Internet al mundo del consumo en los años 90 del siglo pasado trajo unos cambios sin precedentes en la vida cotidiana: redes sociales, televisión por Internet y acceso prácticamente instantáneo a enormes cantidades de información.

Ahora se espera una revolución similar en la industria, dado que Administraciones y consorcios industriales de todo el mundo perciben la tendencia hacia una mayor utilización de la tecnología de Internet en sistemas de producción industrial. Dispositivos en el entorno de producción se conectan (sin cables) cada vez más entre sí y en red, por ejemplo, en una red privada o en Internet. En su momento los sistemas de producción

industrial podrán intercambiar información de forma autónoma, provocando acciones y controlándose entre sí de forma más independiente.

Los grupos de trabajo que desarrollan este nuevo concepto son muy diversos, por lo que la descripción del concepto, e incluso su nombre, varían. Por ejemplo, el nombre Industry (Industrie en alemán) 4.0 fue concebido por un grupo de trabajo dirigido por alemanes, mientras que en los Estados Unidos una iniciativa similar

## Las iniciativas marcan esfuerzos dirigidos a preparar la industria mundial para el cambio esperado.

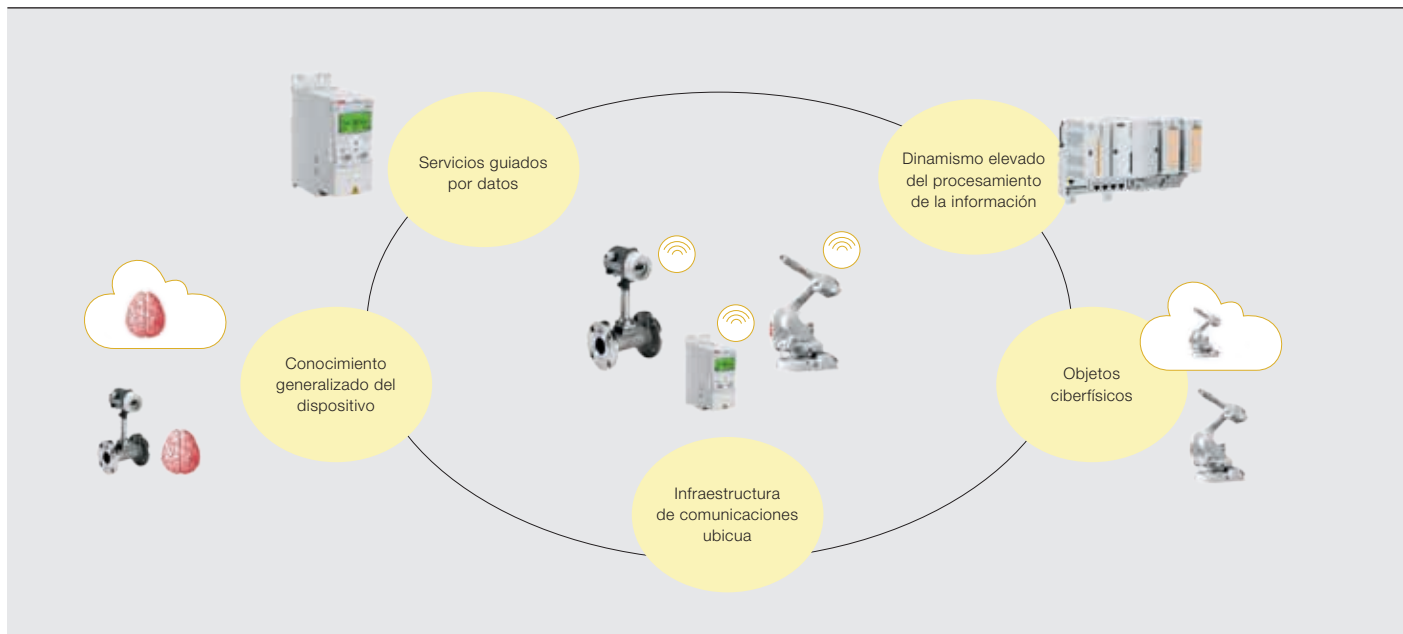
se llama Industrial Internet [1,2]. Ambas iniciativas están basadas en tecnologías asociadas con la Internet de las Cosas, (la conexión ubicua de todos los dispositivos a Internet, p. ej., relojes, coches, frigoríficos) y sistemas ciberfísicos, una combinación de objetos físicos y sistemas de software. Las iniciativas marcan esfuerzos dirigidos a preparar la industria mundial para el cambio esperado. Además de participar activamente en las iniciativas y comisiones relacionadas, los proyectos de investigación y desarrollo de ABB están configurando las posibilidades técnicas del futuro.

#### Imagen del título

La robótica no es sino una de las áreas en las que ABB se dirige hacia la cuarta revolución industrial.

#### Nota a pie de página

- Los grupos de trabajo incluyen asociaciones como VDMA, ZVEI y VDI / VDE y Platform Industrie 4.0
- La pirámide de la automatización agrupa en distintos niveles los dispositivos y sistemas de un entorno de producción.



## Todos los objetos físicos conectados serán representados por objetos de datos en la red

### Impulsores técnicos de Industry 4.0

Diversas innovaciones técnicas están impulsando los esfuerzos de Industry 4.0 [3] → 2. Las infraestructuras de comunicaciones estarán en todas partes en las instalaciones de producción industrial, a medida que vayan siendo más baratas y accesibles. La disponibilidad de redes crea las bases para tareas como obtención de datos, ingeniería, explotación, mantenimiento y servicios avanzados.

Cuando una red este en marcha, se conectarán más dispositivos, máquinas, instalaciones y plantas, bien en Internet o en una red privada de la compañía. Todos los objetos físicos conectados se representarán mediante objetos de datos en Internet. El resultado es que estos objetos de datos forman una segunda identidad virtual dentro del mundo cibernético, los objetos ciberfísicos. Estos objetos serán fáciles de localizar, explorar y analizar, y contendrán información acerca de sus respectivas funcionalidades y requisitos.

Dispositivos, máquinas, instalaciones y plantas podrán almacenar conocimiento sobre sí mismos más allá de su representación física y directamente en el objeto de datos en la red. Cada uno de ellos publicará en la red actualizaciones sobre su estado del momento, historial, documentación relacionada o requisitos técnicos. Dicha información puede ser actualizada de forma sencilla por el propietario del dispositivo, un técnico de servicio, o el sistema matriz.

Como parte de un sistema ciberfísico, unos algoritmos inteligentes o el software incorporado podrán explorar estos nuevos conjuntos de datos para generar servicios de valor añadido que antes no habrían sido viables desde el punto de

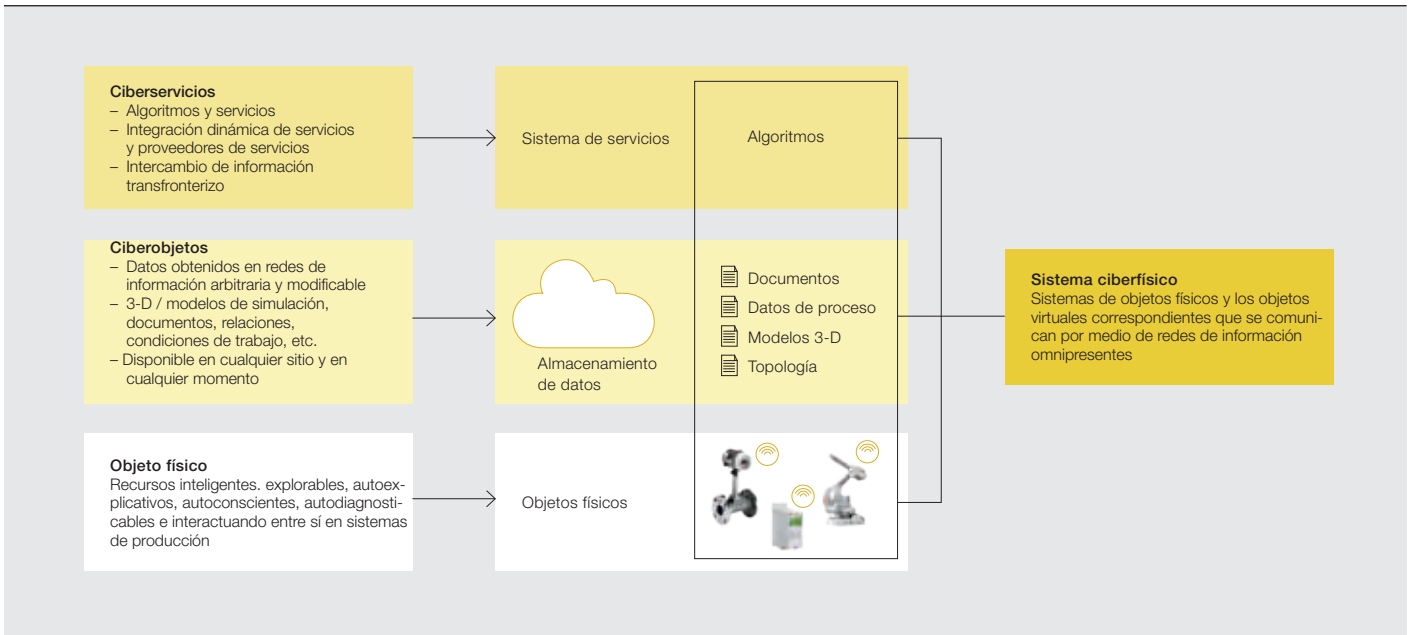
## Los dispositivos, máquinas, instalaciones y plantas podrán almacenar conocimiento entre sí más allá de la representación física.

vista técnico o económico → 3. Este campo es objeto de investigación continua [4] pero, desde la perspectiva actual, los servicios a distancia o basados en datos marcan el primer paso hacia estos nuevos servicios.

El creciente nivel de integración de objetos ciberfísicos en una red basada en la tecnología de Internet conducirá inevitablemente a niveles mayores de procesamiento de la información. Esto abrirá nuevas puertas para que conceptos conocidos del mercado de consumo entren en el mercado entre empresas, como plug and play –por ejemplo, al conectar un



### 3 Sistema ciberfísico



### 4 Demandas industriales de la cuarta revolución industrial



ratón USB a un ordenador los drivers se descargan automáticamente de Internet y se mantienen siempre al día— o plug and produce, como el cambio de un dispositivo antiguo por otro nuevo que funciona automáticamente, sin necesidad de operaciones manuales, puesta en marcha o mantenimiento.

Los sistemas ciberfísicos han estado presentes en el mercado de empresa a consumidor desde hace algún tiempo. Una aplicación del concepto es la compra de gasolina en las estaciones de servicio de Alemania. Los precios de la gasolina se envían a un almacén central de datos en el que todas las estaciones de servicio están representadas por objetos de datos en la red.

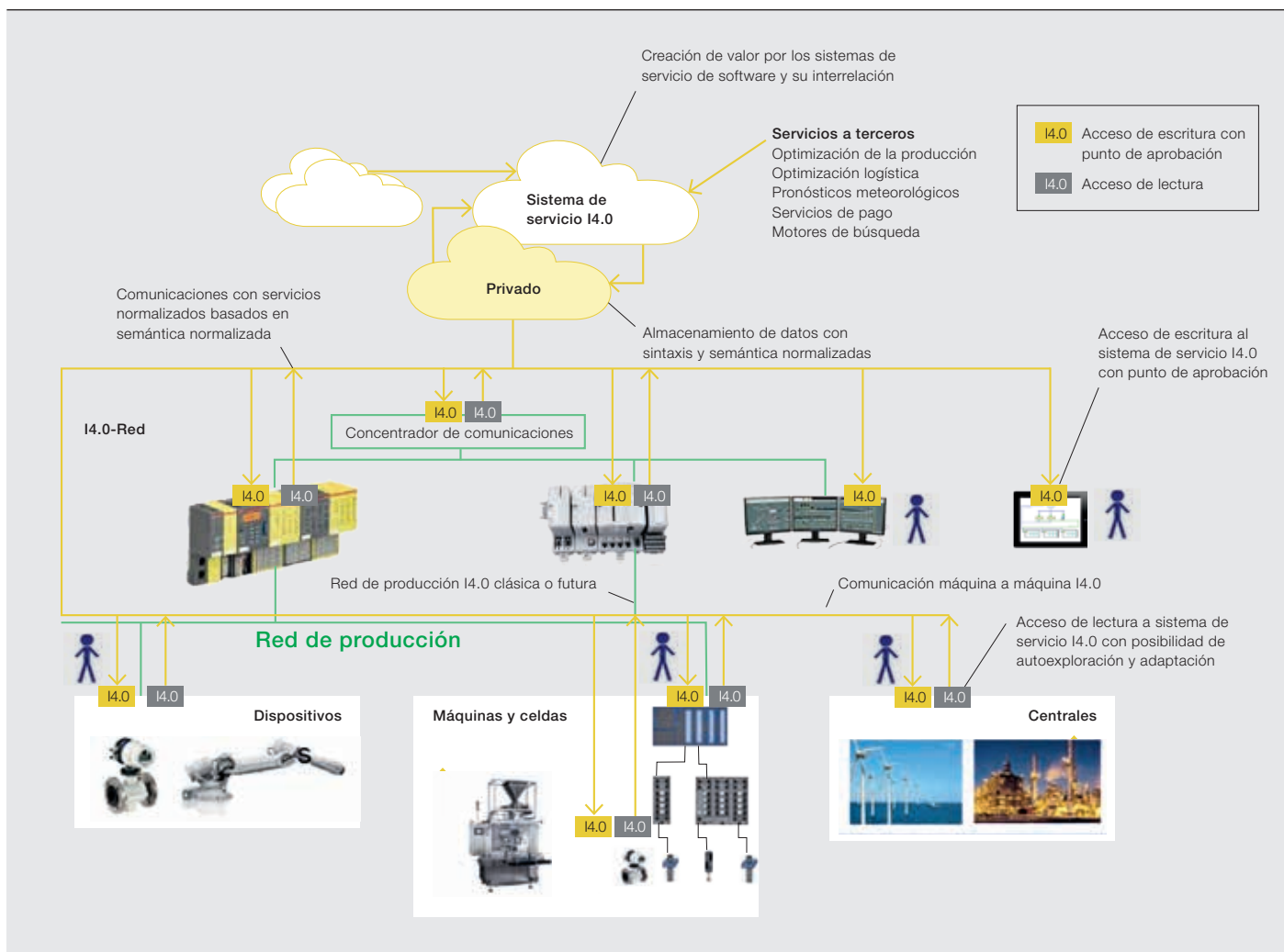
El valor de objetos de datos aislados es mínimo. Sin embargo, con los avances en las tecnologías móviles y en las aplicaciones de teléfonos inteligentes, millones de usuarios pueden ahora tomar decisiones informadas sobre la compra de combustible consultando los precios vigentes en sus ubicaciones respectivas. En este ejemplo, la arquitectura del sistema ciberfísico se descompone de la siguiente forma: el objeto físico (estación de servicio), la parte cibernética (el objeto de datos con precios) y la capa de software (las aplicaciones para smartphone).

#### Demandas industriales

La introducción de tecnologías de comunicación y de Internet en la producción industrial tiene un tremendo potencial para aumentar la productividad y la flexibilidad; pero también suscita preocupaciones, en especial para los propietarios de plantas, que combinan en sus instalaciones inversiones, conocimiento, capacidades de producción y beneficios. Entre las visiones actuales de Industry 4.0, todavía es necesario identificar las proposiciones de valor. Para crear una aceptación sostenible de la próxima revolución industrial, es necesario cumplir algunos requisitos prácticos → 4.

– Con objeto de proteger las inversiones, es necesario introducir paulatinamente nuevas tecnologías en las instalaciones de producción existentes, asegurándose de no interferir en la maquinaria y tecnologías en curso.

Como parte de un sistema ciberfísico, unos algoritmos inteligentes o el software incorporado podrán explorar estos nuevos conjuntos de datos.



La topología permitirá la introducción paulatina de nuevas tecnologías y procesos de producción.

- Para mantener la estabilidad, las tecnologías de Internet no deben alterar la producción, ni mediante paradas en la red ni mediante accesos a distancia intencionados a los activos.
- El operador de la planta debe controlar cuidadosamente el acceso a datos específicos de la planta. Autorizar el acceso a activos, máquinas e instalaciones importantes para la producción precisa una auditoría adicional para comprobar más minuciosamente la validez de la intervención en el contexto de la producción en curso.
- Como siempre, la seguridad es un aspecto vital. Es necesario evitar un acceso no autorizado a datos y servicios para garantizar la seguridad de la información y para controlar aspectos críticos de las instalaciones de producción.

Por otra parte, los sistemas de producción tienen en general mayores requisitos de propiedades no funcionales, como

disponibilidad, capacidad en tiempo real, fiabilidad, robustez, ciclo de vida, productividad o coste, que los sistemas informáticos en otros mercados. ABB tiene en cuenta estos requisitos de los clientes en todos sus proyectos de I+D relacionados con Industry 4.0.

#### Topología de integración

Para facilitar el desarrollo ulterior de Industry 4.0, ABB ha desarrollado una topología de integración que ha sido adoptada por la iniciativa alemana Industry 4.0 [5]. La topología permitirá la introducción paulatina de nuevas tecnologías y procesos de producción.

El aspecto principal de la topología de integración es la separación de la red de producción establecida de la nueva red Industry 4.0 → 5. Desde un punto de vista técnico dicha separación se puede llevar a cabo con redes separadas físicamente o con redes separadas lógicamente dentro de redes existentes basadas en Ethernet. Como se muestra en → 5, la red ver-

## Los sistemas de producción tienen en general mayores requisitos de propiedades no funcionales.

de de producción simboliza un sistema de automatización que cumple los requisitos industriales de disponibilidad, fiabilidad, sostenibilidad y seguridad. La red amarilla de Industry 4.0 permite nuevos servicios y proporciona valor añadido al usuario. La producción no depende de la red Industry 4.0, por lo que los fallos en dicha red no interrumpen la producción.

En la primera etapa de la puesta en marcha de la topología, los activos, dispositivos, líneas de producción y factorías se conectan a la red Industry 4.0 con acceso de solo lectura (marcadores amarillos). Los participantes autorizados pueden leer, por ejemplo, identificaciones de dispositivos, datos de diagnóstico, parámetros o datos de producción. Estos datos formarán la base de futuros procesos de creación de valor de Industry 4.0. En una segunda etapa, se introducirá el acceso de escritura con una instancia de aprobación para evitar efectos no deseados sobre la producción en curso.

Los datos de la red amarilla de Industry 4.0 se recopilan en un sistema de almacenamiento privado y seguro. El propietario de los datos, p. ej., el responsable de la planta, controla el acceso a estos datos. La publicación de estos datos en el sistema de servicios de Industry 4.0 está controlada por interfaces y sistemas de autorización. El valor añadido puede crearse tanto por servicios en el sistema privado de datos como a través de servicios de terceros dentro del sistema de servicios Industry 4.0.

La topología de integración trata los requisitos industriales de protección de inversiones, estabilidad del sistema, controlabilidad y aspectos de seguridad de datos. El comité de dirección alemán de Industry 4.0 ha publicado esta topología bajo el paraguas de Industry 4.0 [5].

### Lo que tiene que venir

Muchos componentes que forman la cuarta revolución industrial no son nuevos. En muchos mercados las tecnologías en la nube, los dispositivos de red, las interfaces de comunicaciones y los servicios basados en datos están bien establecidos. Sin embargo, para que pueda avanzar la nueva etapa, es necesario establecer algunos acuerdos y principios, tales como:

- Acuerdo entre proveedores sobre una terminología y una semántica normalizadas para identificar, recopilar y almacenar datos.
- Acuerdo entre proveedores sobre servicios normalizados basados en interfaces, comunicación y semántica normalizados.
- Introducción de principios como, por ejemplo, la autoexploración, o enchufar y explorar para facilitar la creación de valor en todos los proveedores.
- Disponibilidad de servicios para crear valor añadido a partir de la disponibilidad de datos en todos los proveedores.
- Interconexión de servicios con servicios de terceros.
- Disponibilidad de datos en tiempo real a través de toda la cadena de valor y las cadenas de aprovisionamiento.
- Adaptación dinámica y parcialmente autónoma de los servicios de producción a los cambios en los parámetros medioambientales (por ejemplo, enchufar y producir para dispositivos de sustitución o actualización de software durante la producción continua).
- Reorganización de los procesos de producción para explotar de forma sistemática datos y procesos.

Esta nueva revolución industrial es un fenómeno que tendrá éxito. La clave de aportar valor añadido al cliente está en comprender mejor las necesidades de normalización que permitirán la interacción de las tecnologías 4.0. Es también importante investigar casos de aplicación en distintos ecosistemas industriales para confirmar el potencial de la tendencia [5]. Aparecerán nuevas oportunidades de negocio para los clientes de ABB, consolidando sus ventajas competitivas en mercados existentes y facilitando su entrada en nuevos mercados. ABB está desarrollando casos de negocio e investigando la viabilidad técnica de la próxima revolución industrial basada en la cartera

de productos. Se está llevando a cabo un importante trabajo de normalización, sin dejar de intentar comprender mejor lo que desean los clientes y los desafíos a los que se enfrentan.

**Martin W. Krueger**

**Rainer Drath**

**Heiko Koziolk**

**Zied M. Ouertani**

ABB Corporate Research

Ladenburg, Alemania

[martin.krueger@de.abb.com](mailto:martin.krueger@de.abb.com)

[rainer.drath@de.abb.com](mailto:rainer.drath@de.abb.com)

[heiko.koziolk@de.abb.com](mailto:heiko.koziolk@de.abb.com)

[mohamed-zied.ouertani@de.abb.com](mailto:mohamed-zied.ouertani@de.abb.com)

### Referencia

- [1] P. C. Evans and M. Annunziata, "Industrial Internet: Pushing the boundaries of minds and machines," whitepaper, General Electric, 2012.
- [2] H. Kagermann *et al.*, "Recommendations for implementing the strategic initiative Industry 4.0," technical report, acatech, 2013.
- [3] R. Drath and A. Horch, "Industry 4.0: Hit or Hype?" IEEE Industrial Electronics Magazine 8(2), pp. 56–58, 2014.
- [4] H. Kagermann *et al.*, "Smart Service World: Recommendations for the Strategic Initiative Web-based Services for Businesses," technical report, acatech, 2014.
- [5] Platform Industry 4.0, "Exemplarische Integrationstopologie" ("Exemplary Integration Topology," translated version is figure 5 in this document). (2014, Apr. 10). Available: <http://www.plattform-14.0.de/sites/default/files/14.0%20-%20Exemplarische%20Integrationstopologie.pdf>





# Mejor sobre ruedas

Un robot experto con ruedas ofrece ayuda a distancia

ELINA VARTIAINEN, VERONIKA DOMOVA – En casi todos los campos de la industria, los recursos humanos expertos son cada vez más escasos. Así pues, se plantea la pregunta de cómo hacer el mejor uso posible de tales recursos. Un enfoque innovador que está ganando popularidad rápidamente es el robot de telepresencia. Situado en una instalación industrial, este robot proporciona una presencia experta virtual que

canaliza la comunicación bidireccional rica en contenido entre un experto a distancia y el personal local. ABB ha desarrollado un prototipo de robot industrial de telepresencia denominado “experto sobre ruedas”. Este robot tiene por objeto aumentar la eficacia de los expertos de ABB en resolver cuestiones de mantenimiento y servicio en colaboración con trabajadores locales en las instalaciones del cliente.

1 El robot tiene una sólida base montada sobre ruedas cubiertas de goma que proporcionan una excelente tracción. Los respiraderos impiden el sobrecalentamiento.



El bajo coste de la informática, la conectividad sin cables y las capacidades de vídeo de alta calidad en tiempo real han facilitado el importante crecimiento de los robots de telepresencia. Estos robots proporcionan una sensación de entorno físico, a través de alimentación de vídeo y audio, a una persona que controla a distancia el robot. Esto permite a un experto estar “presente” en lugares alejados, tanto en una conferencia como en una reunión o en una factoría, sin tener que desplazarse físicamente. Los robots por lo general permiten acceder mejor a los trabajadores a distancia, que pueden accionarlo, ver por medio de una cámara y mantener una conversación con sus colegas.

Los robots de telepresencia tienen un potencial especial para establecer sesiones de comunicación en entornos industriales, por ejemplo, en situaciones en las que un trabajador local sobre el terreno necesita la orientación de un experto a distancia. En este caso, el experto puede hacerse una mejor idea utilizando el robot para observar la situación. Si el robot per-

## El experto controla a distancia el robot desde una aplicación de ordenador basada en Windows mediante la cual puede guiarlo y ver las imágenes de la cámara.

mite también al experto hacer observaciones virtuales al trabajador sobre el terreno, dispone de un excelente medio de guiar al trabajador en tareas de mantenimiento complejas.

ABB ha percibido esta oportunidad y ha diseñado un primer prototipo de robot de telepresencia para entornos industriales. El concepto pretende ayudar a los expertos a distancia de ABB a ser más eficaces en resolver problemas de mantenimiento y servicio junto a los trabajadores sobre el terreno situados en las instalaciones del cliente.

### Consideraciones sobre el diseño

Para desarrollar un prototipo, los investigadores de ABB estudiaron soluciones similares en otros mercados y comunidades de investigación para determinar experiencias y requisitos comúnmente aceptados para robots de telepresencia [1, 2]. Entre otras cosas, se descubrió que la transmisión de vídeo por Internet puede hacer que el experto a distancia sea más consciente de la situación cuando el sistema desarrollado:

- Proporciona un amplio campo de visión.

#### Imagen del título

El “experto sobre ruedas” de ABB proporciona al experto a distancia una presencia local.

El robot es un dispositivo autónomo que puede moverse con su plataforma móvil con ruedas, mostrar el entorno mediante una cámara de vídeo y proyectar anotaciones en el equipo investigado utilizando un proyector.

2 El proyector del robot presenta las anotaciones a distancia del experto sobre el objeto adecuado.



- Aclara cuál es el espacio visual compartido.
- Proporciona mecanismos que permiten ver dónde se centra la atención de otros.
- Permite ver gestos dentro del espacio virtual compartido.

Otra preocupación frecuente era el exceso de agua, polvo, etc. que se encuentra en algunas instalaciones industriales. Para combatir estos problemas, el diseño exterior del robot debe ser monolítico, a prueba de agua y suciedad. Además, las limitaciones que suponían la mala conectividad por Internet en algunas instalaciones industriales deben ser superadas mediante algoritmos automáticos que ajusten convenientemente la calidad de vídeo.

### El prototipo

Los problemas de diseño se afrontaron en un prototipo de robot de telepresencia. El robot, renombrado “experto sobre ruedas”, es un dispositivo autónomo que puede moverse en su plataforma móvil con ruedas, mostrar el entorno mediante una cámara de vídeo y proyectar anotaciones en el equipo investigado utilizando un proyector. El experto controla a distancia el robot desde una aplicación de ordenador basada en Windows mediante la cual puede guiarlo y ver las imágenes de la cámara. Puede anotar en la pantalla de vídeo los símbolos y texto que quiera proyectar.

La orientación a distancia se proporciona en una aplicación de tipo asistente que hace que facilita su uso. Se eligió el enfoque de tipo asistente porque la sesión de



3 La cubierta antiarañazos incluye orificios especiales para proyector, cámara, altavoz y micrófono.



Para ampliar la realidad con la anotación escrita por el experto, el robot incorpora un proyector compacto.

colaboración precisa una serie de pasos consecutivos que normalmente se siguen en un cierto orden:

1. Colocar el robot en el sitio apropiado.
2. Seleccionar en el vídeo el objeto o área de interés.
3. Ajustar el área de proyección al área seleccionada en el paso anterior. Dibujar las anotaciones.

Una vez que el trabajador local ha posicionado el robot y lo ha encendido, el experto a distancia lo maneja. En caso necesario puede cambiar de sitio el robot para obtener una visión diferente. El trabajador sobre el terreno tiene las manos libres. El robot incluye también un altavoz y un micrófono mediante los cuales el trabajador sobre el terreno y el experto a distancia pueden comunicarse.

### Puesta en práctica

La base del robot es una plataforma móvil sobre ruedas que puede moverse en todas las direcciones, girar y detenerse de forma instantánea → 1. La parte fundamental del robot es un miniordenador basado en Windows que contiene una tarjeta de red, memoria y procesador. El software del robot controla todas las interfaces, permite la conectividad, procesa las órdenes del experto a distancia y emite vídeo de alta calidad en dos dimensiones. Para ampliar la realidad con la anotación escrita por el experto, el robot incorpora un proyector compacto que “dibuja” en el equipo inspeccionado → 2. El sistema utiliza un algoritmo semiautomático para sincronizar el sistema de coordenadas de la cámara con el del proyector. Futuras versiones dispondrán de

---

## La carcasa exterior tiene una cubierta protectora de plástico antiarañazos con orificios especiales para proyector, cámara, altavoz y micrófono.

una sincronización que se llevará a cabo de forma simultánea e implícita para ambos usuarios. Para hacer posible la funcionalidad y movilidad sin cables del robot, este dispone de una batería recargable con una autonomía de dos horas.

La carcasa exterior del robot está diseñada para entornos industriales. Tiene una cubierta protectora de plástico antiarañazos con orificios especiales para proyector, cámara, altavoz y micrófono → 3. También tiene aberturas especiales para ventilación para proteger al robot de sobrecalentamientos. La plataforma móvil tiene un cuerpo metálico con una capacidad de carga de 20 kg y ruedas cubiertas de goma con buena tracción.

Se prestó una atención especial al tiempo de arranque del robot, ya que cada segundo de espera es muy costoso. Actualmente el robot arranca o se reinicia simplemente pulsando un botón y solo tarda unos segundos en estar listo para una sesión de colaboración a distancia.

### Primeras impresiones

El prototipo se evaluó en una central eléctrica para disponer de una información inicial sobre el concepto y su aplicabilidad a instalaciones industriales. La impresión general fue que ABB puede ofrecer realmente un concepto así como un servicio a sus clientes. Estos pueden utilizar un robot de este tipo cuando necesiten asistencia u orientación para resolver problemas con equipos de ABB, o para otros aspectos relacionados con el servicio.

La información obtenida indicó también que un concepto así puede ofrecer ventajas considerables para trabajos generales de mantenimiento o de servicio. Por ejemplo, el robot ofrecería al trabajador sobre el terreno dos ojos y dos oídos extra. Además, puede utilizarse por separado para supervisar zonas desagradables para seres humanos y señalar aspectos que necesiten una atención especial. El robot puede utilizarse también para proyectar manuales pesados de transportar cuando un trabajador sobre el terreno necesita consultar documentación.

El concepto ha hecho también aparecer ideas para su futuro desarrollo. Por ejemplo, si una plataforma móvil tiene dificultades relacionadas con el terreno, por ejemplo, una superficie complicada, puertas y escaleras, una idea puede ser sustituir

la solución con ruedas por un trípode fácilmente transportable. También debe conectarse el audio a unos auriculares inalámbricos para mejorar la calidad del sonido, dado que es difícil escuchar un altavoz en ambientes ruidosos. Además, la cámara debe tener visión nocturna para ver mejor en la oscuridad y quizá visión térmica para vigilar equipos y detectar problemas de sobrecalentamiento.

### El robot del futuro

El concepto de “experto sobre ruedas” presenta un alto potencial para mejorar la colaboración a distancia para trabajos de mantenimiento y de servicio en instalaciones industriales. La evaluación confirmó que la colaboración a distancia entre trabajadores sobre el terreno y expertos de ABB a distancia puede mejorar sustancialmente con estos robots. Por otra parte, el concepto tiene aún una serie de cuestiones a resolver que afectan, por ejemplo, al manejo del robot y sus funcionalidades exactas. En próximas investigaciones, ABB abordará estas cuestiones abiertas.

**Elina Vartiainen**

**Veronika Domova**

ABB Corporate Research

Västerås, Suecia

elina.vartiainen@se.abb.com

veronika.domova@se.abb.com

---

### Referencia

- [1] R. E. Kraut, *et al.*, “Visual information as a conversational resource in collaborative physical tasks.” *Human-Computer Interactions*, vol. 18, no. 1, June 2003, pp. 13–49.
- [2] R. E. Kraut, *et al.*, “Collaboration in performance of physical tasks: effects on outcomes and communication.” in *ACM conference on computer-supported cooperative work*, New York, NY, 1996, pp. 57–66.

# Innovación



- 6 Lo más destacado en innovación**  
Las innovaciones más destacadas de ABB para 2014
- 13 Luz para medir la intensidad**  
Sensor de intensidad de fibra óptica integrado en un interruptor automático de alta tensión
- 18 Imagen del estado de salud**  
Un enfoque integrado de la gestión del estado de los activos
- 24 Vientos de cambio**  
Diseño y prueba de la transmisión de una turbina eólica de 7 MW
- 28 Novedades en los frenos**  
Productos de CC montados junto a las vías para mejorar la eficiencia de la tracción
- 34 Más velocidad**  
Simulación en tiempo real de componentes de electrónica de potencia para aplicaciones ferroviarias y de otro tipo
- 40 Turbocompresión**  
ACTUS es un nuevo software de simulación de ABB para grandes motores de combustión turboalimentados
- 45 Tren de modelos**  
Combinaciones electromagnéticas y mecánicas simuladas para mejorar el diseño de transmisiones
- 50 Matriz de modelos**  
Conceptos de simulación modularizada para el análisis y la optimización de interruptores
- 55 Enchufe inteligente para teléfonos inteligentes**  
Enchufe con conector USB integrado
- 59 Jugador experto**  
El RPC PCS100 de ABB no se limita a compensar la potencia reactiva
- 65 En armonía**  
La provechosa historia del desarrollo conjunto de rectificadores y semiconductores para alta potencia

# 1er centenario



- 7 100 años de ABB Review**  
Recuerdos de un siglo en prensa
- 21 Los directores eligen**  
Tesoros de los archivos
- 24 El amanecer del robot**  
ABB celebra cuarenta años de robótica industrial
- 33 60 años de HVDC**  
El camino recorrido por ABB desde pionero a líder del mercado
- 42 Rendimiento en el bombeo**  
Un convertidor de 100 MW para la central de bombeo para reserva de energía Grimsel 2
- 48 Unidad de fuerza**  
El diseño vanguardista del motor redefine la densidad de potencia
- 54 Polifacético**  
La electrónica de potencia del ACS800 puede hacer más que girar un motor
- 58 Punto caliente**  
Un nuevo sensor de infrarrojos mide la temperatura de los interruptores automáticos del generador
- 65 A un nivel superior**  
Un SAI de nivel de media tensión para proporcionar una protección total del suministro de energía eléctrica
- 68 Fronteras del conocimiento**  
El conocimiento de las condiciones de contorno es crucial para unas simulaciones fiables
- 74 Forzar los límites**  
Simulación de turbinas para los turbocompresores de la próxima generación

# Minería



- 7 La mina del futuro**  
La convergencia de las tecnologías hace avanzar el rendimiento y la productividad de la minería
- 12 Transportando el progreso**  
ABB suministra accionamientos para cintas transportadoras sin engranajes, fiables y casi sin mantenimiento, para aplicaciones de potencia y par elevados
- 18 Devanados avanzados en 3-D**  
Devanados en 3-D para GMD con sólo unos pocos clics
- 25 Mayor es mejor**  
Los sistemas de accionamiento de ABB permiten a la industria minera utilizar molinos mayores
- 31 Evolución industrial**  
Integración eléctrica con el sistema de automatización Extended Automation System 800xA de ABB con la IEC 61850
- 35 Explotación más eficiente**  
El sistema de automatización ampliado System 800xA permite la colaboración en la explotación minera
- 37 Comunicación ininterrumpida**  
Las redes inalámbricas privadas de ABB para automatización sobre el terreno mejoran la gestión del parque de vehículos de la mina a cielo abierto
- 42 Elevar el producto de la mina**  
Elevadores de ABB para minería
- 47 Transformar el mantenimiento en la minería**  
Soluciones de servicio avanzadas en minería y proceso de minerales
- 52 System 800xA avanza**  
Desmitificar MPC e implantarlo con el sistema ampliado de automatización System 800xA de ABB
- 60 Un salto adelante**  
La madurez de las TI convierte el sector de la minería de atrasado en líder
- 64 Una y no más**  
Una solución de plataforma unificada ayuda a las empresas mineras a superar las complejidades de los procesos de comercialización actuales
- 70 Ciborgs modernos**  
Adentrarse donde sólo la ciencia ficción se ha atrevido a penetrar
- 76 Aire limpio en los muelles**  
Los incentivos fiscales pueden mejorar la calidad del aire en los puertos
- 80 Cuenta corriente**  
Modbus hace posible un nuevo sistema de medición de la intensidad eléctrica
- 84 Generaciones de semiconductores**  
ABB repasa 60 años de progreso en semiconductores

# La red digital



- 6 Actualización de subestaciones digitales**  
Una red más inteligente necesita subestaciones más inteligentes, y han de ser digitales
- 11 Información anticipada**  
Gestión de redes más cerca de sus límites anticipándose a los fallos
- 17 Sin cortes**  
Abordar las averías con inteligencia disminuye los cortes de suministro
- 23 Equilibrio de poder**  
El control volt/var mejora la eficiencia de la red
- 29 Distribución más inteligente**  
Cómo aumentar la capacidad de las redes de distribución para incluir una generación distribuida
- 34 Sitio activo**  
Active Site de ABB optimiza la conectividad entre las microrredes y la macrorred
- 40 Ninguna red es una isla**  
Tecnologías de comunicación para redes más inteligentes
- 46 El comienzo de una nueva época**  
Historia breve del suministro eléctrico
- 54 Microrredes**  
Integración de microrredes con tecnologías de ABB
- 61 Gestión de recursos**  
Arquitectura punto a punto para el almacenamiento de energía en la red
- 66 Enchufado**  
Análisis de la rentabilidad de la reducción de emisiones con conexión eléctrica de muelle a buque
- 70 Una nueva era**  
ABB está trabajando con destacadas iniciativas del sector para contribuir al comienzo de una nueva revolución industrial
- 76 Mejor sobre ruedas**  
Un robot experto con ruedas ofrece ayuda a distancia
- 81 Índice de 2014**  
Resumen del año



## Consejo de redacción

### Claes Ryttoft

Director de Tecnología  
I+D y tecnología del Grupo

### Ron Popper

Jefe de Responsabilidad empresarial

### Eero Jaaskela

Jefe de gestión de cuentas del grupo

### Andreas Moglestue

Jefe de redacción de la *Revista ABB*

## Editorial

La *Revista ABB* es una publicación de I+D y tecnología del Grupo ABB.

ABB Technology Ltd.  
*ABB Review*  
Affolternstrasse 44  
CH-8050 Zurich  
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 suscríbese en línea en [www.abb.com/abbreview](http://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 © 2014  
ABB Technology Ltd.  
Zurich, Suiza

## Impresión

Vorarlberger Verlagsanstalt GmbH  
AT-6850 Dornbirn/Austria

## Diseño

DAVILLA AG  
Zurich, Suiza

## Cláusula de exención de responsabilidad

Las información contenida en esta revista refleja el punto de vista de sus autores y tiene 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

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



Avance 1115

# Innovación

A los seres humanos siempre nos ha atraído el futuro. ¿Cómo será el mundo dentro de unos años o de unos decenios? ¿Cómo será nuestra vida? ¿Cómo serán las infraestructuras y los lugares de trabajo?

Los investigadores y desarrolladores se encuentran en la envidiable situación de influir en estos cambios, de sentar las bases en las que se apoyarán y hasta de hacerlos realidad. En el primer número de cada año, *ABB Review* aprovecha la oportunidad para mirar por encima de los hombros de los científicos e ingenieros de la empresa y para compartir sus logros.

## *ABB Review* en tablets

Ya hay una versión de *ABB Review* para tablets. La encontrará en <http://www.abb.com/abbreview>

## Manténgase informado

¿Alguna vez se ha perdido un número de *ABB Review*? Ahora le proponemos una forma sencilla de recibir un aviso cada vez que se publique un nuevo número (o un informe especial) de *ABB Review*. Puede suscribirse a los avisos por correo electrónico en [www.abb.com/abbreview](http://www.abb.com/abbreview)



Colocar aquí la etiqueta de la dirección



## Los tiempos cambian. La calidad permanece.

Vea nuestra nueva app *ABB Review*.  
Disponible en cuatro idiomas, esta app tiene funciones interactivas para tablets y smartphones, búsqueda de todo el contenido, diapositivas, películas y animaciones.  
<http://www.abb.com/abbreview>



Power and productivity  
for a better world™

