

ABB

3 | 11

La revista técnica  
corporativa

# revista

---

**Un convertidor solar para el hogar** 13

Recortar los picos con el almacenamiento por bombeo 26

**Decisiones correctas en arquitectura del software** 41

La inteligencia artificial protege el medio ambiente 58

---



La tecnología  
importa

Power and productivity  
for a better world™



La fotografía de la portada de este número de la *Revista ABB* se tomó en las instalaciones de almacenamiento de carbón de una central eléctrica de carbón limpio. ABB suministra componentes y sistemas de energía y automatización a estas centrales para mejorar su eficiencia energética y productividad.

La contraportada ilustra la planta de gas natural licuado de Statoil en la isla de Melkoya, al norte de Noruega, a la que ABB suministró una gama completa de productos de energía y automatización.



# La eficiencia en el punto de mira

- 7 **El fabricante frugal**  
Parte 1. Uso moderado de la energía
- 13 **Eficiencia y facilidad de uso**  
Nuevo inversor de cadena ABB para sistemas fotovoltaicos

---

# Electricidad y energía

- 19 **Protección avanzada de redes eléctricas**  
La próxima generación de soluciones de teleprotección
- 26 **Energía de barril**  
Una solución de almacenamiento por bombeo para satisfacer las demandas de energía y de tarifas
- 32 **Aplicación inteligente**  
Aplicación de equipos inteligentes para aumentar los beneficios de los distribuidores de electricidad y los consumidores

---

# La fabricación en el punto de mira

- 41 **Arquitectura de software que dura**  
Una arquitectura de software inteligente que crea valor y protege las inversiones de producto a corto, medio y largo plazo
- 51 **Una extracción más inteligente**  
Operaciones Integradas: explotación segura y rentable de recursos aislados y ya explotados
- 58 **Control de emisiones basado en modelos**  
PEMS: un sistema de control que utiliza inteligencia artificial para reducir el impacto ambiental
- 64 **Captura eficaz desde el bucle 4.20mA**  
Diseño de bajo consumo del adaptador inalámbrico FieldKey de ABB

# La tecnología importa



**Claes Ryttoft**  
Director de Tecnología  
ABB Ltd.

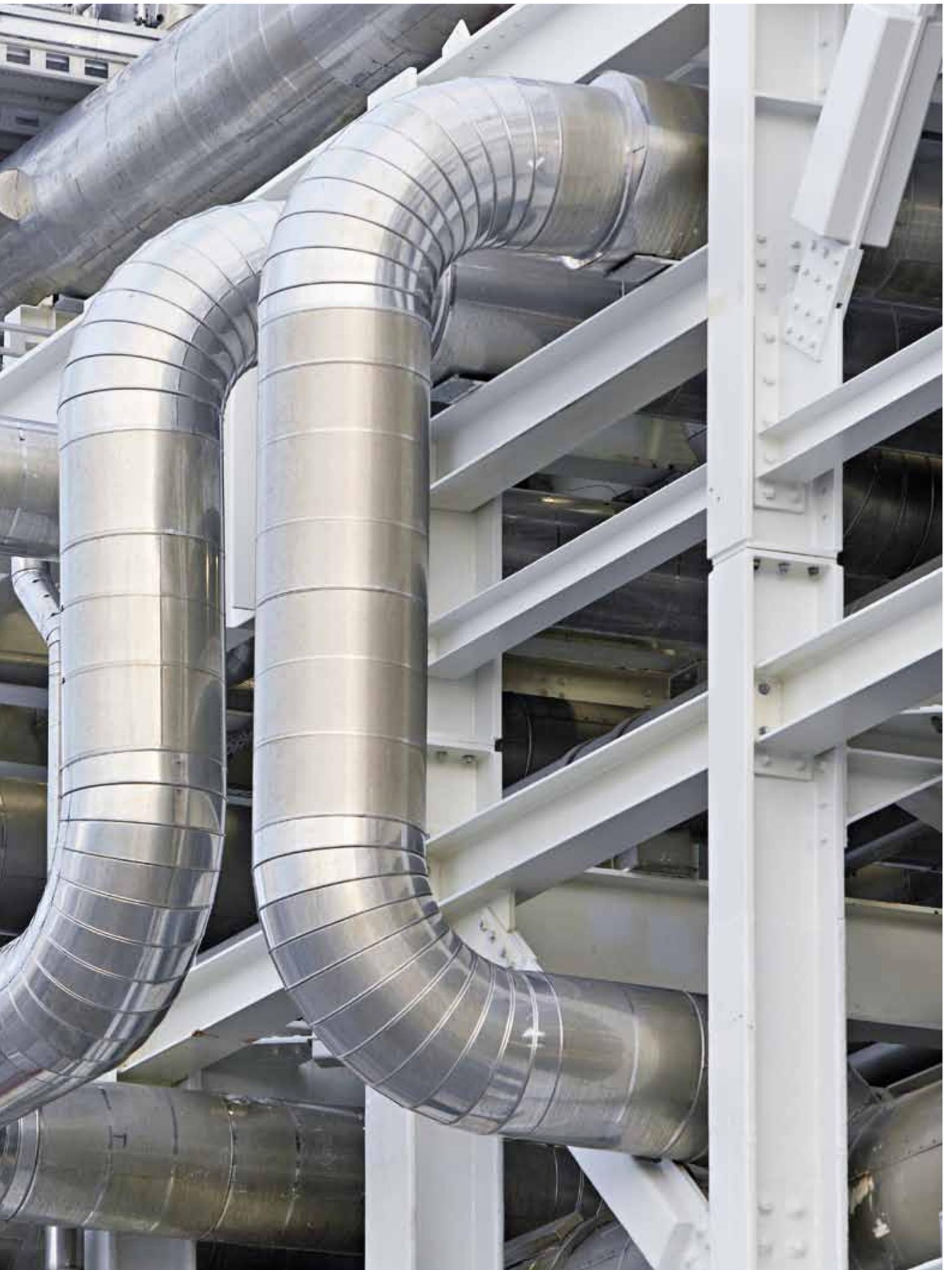
## Estimado lector:

La cartera de ABB es extensa y crece sin cesar. No solo abarca miles de familias de productos y aplicaciones que van desde minúsculos interruptores a sistemas de electrificación y control completos, sino que también cubre desde productos de hardware a ingeniería de sistemas, diagnóstico, servicio y soporte técnico. Como brazo informativo de la organización de investigación y desarrollo de ABB, la *Revista ABB* presenta regularmente informes y datos de todo el espectro tecnológico de la empresa. En el presente número, “La tecnología importa”, explicamos este aspecto central de la tecnología mediante el análisis de aplicaciones muy diferentes. Las fuentes fotovoltaicas han avanzado enormemente en los últimos años. Una combinación de iniciativas públicas, conciencia medioambiental y reducción de precios se traduce en que los paneles solares son cada vez más atractivos para las viviendas particulares. Además de su menor tamaño y potencia nominal, una de las principales diferencias entre las instalaciones domésticas independientes y las grandes instalaciones fotovoltaicas es que el usuario medio no es técnico ni ingeniero y, por lo tanto, la interfaz debe diseñarse de forma que resulte mucho más intuitiva. Justamente eso es lo que hace el nuevo inversor de cadena de ABB. En otros números de la *Revista ABB* se ha analizado cómo las redes eléctricas se volverán más inteligentes en vista de la evolución de la demanda de redes de transmisión y distribución. Un área a tener en cuenta es el almacenamiento de energía como medio para solventar las variaciones. Las centrales de reserva hidráulica con bombeo son la única tecnología de almacenamiento masivo importante que existe. La aplicación de accionamientos modernos está potenciando la tecnología aún más. En un proyecto de Avče (Eslovenia) hacemos hincapié en la aportación que pueden hacer. Seguidamente, en lo referente a la cadena de distribución, un artículo muestra cómo pueden

aplicarse las tecnologías de redes inteligentes en este ámbito. El puerto marítimo de Estocolmo Royal Seaport es un área urbana en el que se están aplicando diferentes tecnologías de redes inteligentes. En este artículo destacamos el impacto que se produce al adoptar equipos inteligentes de baja tensión. Si vamos de la planificación urbana a la arquitectura del software, mostramos cómo está trabajando ABB con métodos y herramientas para que su software sea sostenible y fácil de mantener. A medida que la funcionalidad del software en los productos es cada vez más extensa y sofisticada, este aspecto cobrará una importancia aún mayor. También en los dominios del software presentamos un sistema de supervisión que emplea inteligencia artificial para predecir las emisiones y, en última instancia, para reducir el impacto medioambiental. El sistema se ha implantado con éxito en una de las plantas de procesamiento de gas más grandes del mundo. En las comunicaciones industriales hay una tendencia hacia la simplificación y la reducción del cableado. Con multitud de sensores y actuadores distribuidos en la planta de procesamiento, los cables son fuente de errores y costes. Las comunicaciones inalámbricas ya están bien consolidadas, pero el nuevo adaptador Fieldkey de ABB va un paso más allá y asegura una conectividad inalámbrica HART sin necesidad de fuente de alimentación independiente. Confío en que la lectura de este número de la *Revista ABB* le aporte información nueva y sugestiva sobre el mundo de la tecnología de ABB.

Que disfrute de la lectura.

Claes Ryttoft  
Director de Tecnología  
ABB Ltd.







# El fabricante frugal

## Parte 1. Uso moderado de la energía

**CHRISTOPHER WATTS** – A medida que el mundo abandona una larga era de abundancia energética y entra en otra de restricciones, los gobiernos, las empresas y la sociedad se enfrentan a cambios difíciles. Uno de ellos es la resolución del conflicto entre seguir aumentando la producción industrial en las regiones en desarrollo para mejorar su nivel de vida y atenuar el impacto medioambiental negativo de las actividades de fabricación industrial en todo el mundo. Una de las estrategias para abordar este problema es mejorar la eficiencia energética en el núcleo de los procesos de producción de la industria.

**E**n enero y febrero de 2011, la Economist Intelligence Unit realizó una encuesta a 348 altos ejecutivos, principalmente de Norteamérica, Asia-Pacífico y Europa Occidental, sobre sus planes de inversión para mejorar la eficiencia energética de los procesos de producción, los problemas a los que se enfrentan cuando consideran estas inversiones y los factores que pueden influir en la eficiencia energética industrial en los próximos años. Este es el primero de tres artículos que van a aparecer en la *Revista ABB* basados en los resultados de esa encuesta, así como en un programa pormenorizado de entrevistas e investigación de despacho sobre la eficiencia energética industrial. Además, el estudio se basa en un análisis completo e independiente de los patrones de consumo energético mundial de siete sectores industriales muy consumidores de energía realizado por la empresa de consultoría e información energética Enerdata.

Más de dos tercios de los encuestados son ejecutivos que ocupan cargos de dirección. Lo más probable es que los encuestados tengan responsabilidades en estrategia y desarrollo de negocio, finanzas, administración general y operaciones y producción. Alrededor del 58% pertenecen a empresas con unos ingresos anuales totales de 500 millones de dólares o más. La encuesta se centra exclusivamente en los sectores de la energía y la fabricación, siendo este último el que cuenta con una representación mayor.

Además de la encuesta en línea, la Economist Intelligence Unit realizó 15 entrevistas en profundidad a ejecutivos de alto nivel, responsables políticos y otros expertos en

---

### Imagen del título

Planta de desalinización y purificación de agua de Palmachim El proceso de desalinización consume mucha energía. ABB ha suministrado accionamientos de alta eficiencia energética para esta instalación. La contribución de ABB al abastecimiento de agua se tratará ampliamente en la *Revista ABB* 4/2011.

1 Un 82% de los ejecutivos de los segmentos de fabricación muy consumidores de energía coinciden en que la eficiencia energética es clave para la rentabilidad. Esta es una planta de la compañía cementera Qassim Cement Company que mejora la eficiencia mediante electrificación, accionamientos y automatización de ABB.



Las prácticas de eficiencia subóptima son habituales en los sectores industriales, y la mejora de la eficiencia energética ofrece un gran potencial de ahorro.

eficiencia energética industrial. Los resultados de estas entrevistas aparecen en los tres artículos.

La industria es responsable de aproximadamente un tercio de la demanda final de energía mundial, de la que alrededor de un 60% procede de países en desarrollo. El consumo de energía total de la industria sigue creciendo como resultado del aumento de los volúmenes de producción, una tendencia que probablemente continuará en las próximas décadas si los niveles de vida mejoran en las regiones en desarrollo. Mientras tanto, todavía se puede mejorar mucho la eficiencia energética en muchas partes del mundo y sectores industriales.

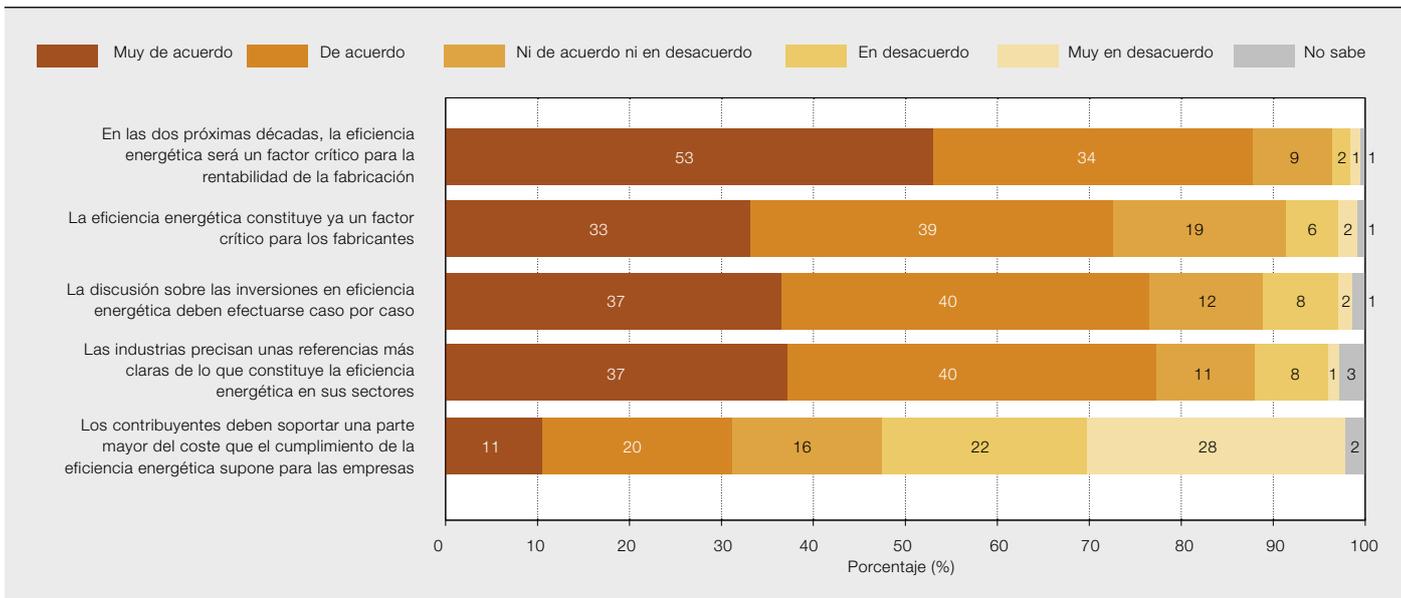
Frente a esta situación, las empresas se enfrentan a un futuro de restricciones, incluido el acceso restringido a la energía y el freno a las emisiones de dióxido de carbono. Por tanto, mejorar la eficiencia energética industrial ya no es una opción, sino un requisito claro para el crecimiento financiero a largo plazo. Es probable que las empresas que no afronten la cuestión de la eficiencia energética encuentren que su rendimiento financiero a largo plazo se ve afectado negativamente. Por su parte, hay muchas posibilidades de que las empresas que buscan una mejora continua de la efi-

ciencia energética ganen a sus competidoras.

En total, el 88% de los fabricantes afirman que la eficiencia energética industrial será un factor crítico de éxito para sus empresas en las próximas dos décadas. Las razones tienen que ver en gran medida con la competitividad de los costes, especialmente para las empresas de los sectores de fabricación que consumen mucha energía. Al invertir en eficiencia energética las empresas buscan ante todo la rentabilidad financiera. Las prácticas de eficiencia subóptima son habituales en los sectores industriales, y la mejora de la eficiencia energética ofrece un gran potencial de ahorro. En la justificación empresarial y financiera de las inversiones en eficiencia energética, el precio de la energía es uno de los factores más importantes, citado por el 59% de los encuestados.

“En nuestras operaciones en la India, en torno al 50%–55% de los costes directos de transformación de las materias primas en productos terminados corresponden a la energía”, afirma Satish Agarwal, director de fabricación corporativa en Apollo Tyres, con sede en Gurgaon, al norte de la India. Esta es una de las razones por las que, en los últimos tres años, Apollo Tyres ha invertido unos 12 millones de dólares en

## 2 Percepción de la necesidad de eficiencia energética en la industria (resultados de una encuesta con 348 participantes)



mejorar la eficiencia energética de sus fábricas, lo que incluye la instalación de dispositivos de intercambio de calor para las calderas, sistemas de vapor flash para capturar y utilizar el calor del proceso y materiales aislantes para reducir las pérdidas de calor. Estas inversiones recientes forman parte de una iniciativa en marcha que hasta el momento ha conseguido reducir en un 40% la intensidad del consumo energético de la compañía.

Frente a un escenario de competitividad cada vez mayor, precios crecientes de la energía y un control reglamentario más riguroso, Agarwal no es la única firma que comprende hasta qué punto la eficiencia energética es un factor clave de éxito industrial. De hecho, entre los directivos del sector manufacturero que respondieron a la encuesta, el 72% “están muy de acuerdo” o “están de acuerdo” en que la eficiencia energética es, actualmente, un factor de éxito fundamental para los fabricantes. Si miramos a las próximas dos décadas, el 88% de los encuestados esperan que la eficiencia energética sea un factor fundamental para la rentabilidad de los fabricantes.

Las variaciones de estos resultados destacan las diferentes trayectorias de las empresas representadas en la encuesta. Por ejemplo, entre las empresas de sectores de fabricación muy consumidores de energía, como el siderometalúrgico, el químico y petroquímico, el cementero, el de producción de pasta y papel y el del aluminio, el 82% de los ejecutivos estaban de acuerdo en que la eficiencia industrial es ya un factor crítico para la rentabilidad → 1 (frente

al 67% en actividades que consumen menos energía). Esta concienciación aparentemente mayor del papel de la eficiencia energética quizás refleje características de los segmentos que consumen mucha energía, como los costes energéticos elevados en relación con los costes totales, la volatilidad reciente de los precios de la energía y el aumento de los precios y los relativamente estrechos márgenes de beneficio → 2.

Visto desde un punto de vista regional, es más probable que los ejecutivos estén de acuerdo en que la eficiencia energética es un factor clave de éxito para los fabricantes (82%) en los países en desarrollo que en los desarrollados (67%). “Creemos que, en los países en desarrollo, una de las razones por las que están más concienciados con la eficiencia energética es que la energía es un recurso escaso”, comenta Pradeep Monga, director de Energía y Cambio Climático en la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUUDI). De hecho, los resultados de la encuesta parecen confirmar una mayor apreciación de la eficiencia energética en las economías que más energía consumen → 3 y → 4.

¿Por qué es crucial la mejora de la eficiencia energética para la rentabilidad a largo plazo? Para empezar, por el importante ahorro que supone. Doug May, vicepresidente

de Energía y Cambio Climático de la Dow Chemical Company en EE.UU., afirma que los esfuerzos de su empresa para mejorar la eficiencia energética desde 1994 han contribuido a ahorrar un total de unos 9.400 millones de dólares. “La eficiencia energética es un regalo que nunca deja de producir beneficios”, afirma.

### Los “beneficios colaterales” de la mejora de la eficiencia

El ahorro de costes es una cosa. De hecho, por detrás de cifras destacadas como las de Dow, la mejora de la eficiencia energética aporta otros beneficios que contribu-

La industria es responsable de aproximadamente un tercio de la demanda final de energía mundial, de la que alrededor de un 60% procede de países en desarrollo.

yen a los resultados financieros a largo plazo. Por ejemplo, emplear menos energía en los procesos de producción significa que las empresas pueden hacer frente a precios de la energía relativamente más altos sin resentirse, una ventaja competitiva clara. “[Mejorar] la productividad energética es uno de los mejores planteamientos de gestión de riesgos que puede realizar una empresa manufacturera en el mercado actual”, comenta Neal Elliott, director adjunto de investigación en el

# Las principales empresas están revisando la eficiencia energética en sus operaciones de fabricación.

## 3 Los mercados emergentes en el centro del debate sobre la energía

A lo largo de las últimas décadas, los países desarrollados han experimentado un cambio estructural continuo en sus economías, que han pasado de la fabricación a los servicios. Actualmente, el sector servicios de las economías más desarrolladas es considerablemente mayor que el productivo, y además está creciendo más deprisa. Por supuesto, el sector servicios utiliza mucha menos energía por unidad de producción que el productivo, de forma que en términos de intensidad energética, las economías desarrolladas van haciéndose menos consumidoras de energía.

Por muchas razones, los países en desarrollo dominan el consumo global de energía industrial.

En primer lugar, las economías de los países en desarrollo han evolucionado desde el sector agrícola al manufacturero en los últimos años. En segundo lugar, el reciente desarrollo económico ha aumentado la demanda de infraestructuras y edificios, lo que a su vez requiere gran cantidad de cemento, acero y otros materiales muy consumidores de energía. Y en tercer lugar, los países en desarrollo constituyen cerca del 80% de la población mundial.

Estas tendencias básicas se reflejan en las estadísticas de crecimiento económico y demanda de energía industrial de la Agencia Internacional de la Energía (AIE) presentadas en la tabla siguiente y en → 4.

	Crecimiento del PIB en 1990–2008 (porcentaje)	Consumo de energía industrial en 1990–2008 (porcentaje)
Reino Unido	54	-7
EE.UU.	66	4
India	205	63
China	485	172

Consejo Estadounidense para una Economía Energéticamente Eficiente (ACEEE). Luis Farías, vicepresidente de Energía y Cambio Climático de la cementera mejicana CEMEX, está de acuerdo: “La energía es un componente muy caro del cemento”. “Por eso, la eficiencia energética nos aporta más capacidad para predecir nuestros beneficios y flujos de caja futuros”.

Además de éstos, los esfuerzos para mejorar la eficiencia energética de los procesos de producción industrial a menudo están asociados a otros beneficios. Entre ellos están el menor tiempo de inmovilización de las plantas y los ciclos de mantenimiento más largos, mayor productividad, mejor calidad de producción, cumplimiento de los códigos de construcción y medioambientales, salud y seguridad de los empleados o ventajas en investigación e innovación. Según Elliott, estos llamados “beneficios colaterales” no deben desdeñarse. “Generalmente vemos que el valor de los beneficios del ahorro no energético es de tres a cinco veces el valor del beneficio del ahorro energético”, afirma.

A pesar de la apreciación de la contribución decisiva de la eficiencia energética en la rentabilidad a largo plazo entre los ejecutivos industriales, parece que la baja eficiencia energética sigue siendo la norma en los procesos de producción de muchos sectores industriales. En algunos casos, se debe al funcionamiento poco eficiente de la fábrica y los equipos como, en su forma más simple, dejar los motores funcionando continuamente, aunque no se estén usando. En otros casos, se debe a equipos

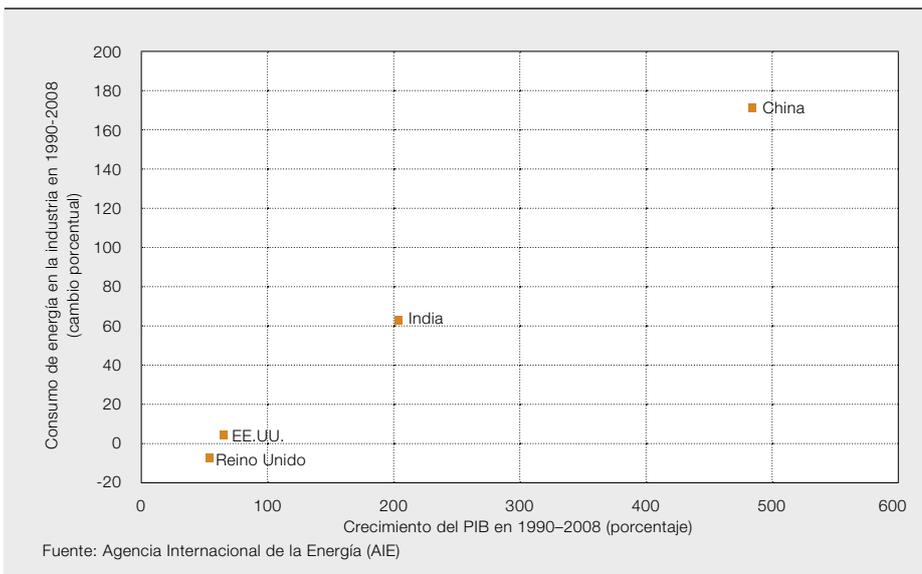
ineficientes. Terry Mc-Callion, director de Eficiencia Energética y Cambio Climático en el Banco Europeo para la Reconstrucción y el Desarrollo (BERD) de Londres, lo explica así: “En algunos sectores industriales, parece que las bombas y los motores tienen dos modos: encendido y apagado”. Los expertos industriales estiman que los motores eléctricos consumen en torno a las dos terceras partes de la electricidad industrial mundial. Sin embargo, la penetración en el mercado de accionamientos de velocidad variable de media tensión que aumentan la eficiencia de los motores industriales entre un 40% y un 60% gracias a la regulación de la velocidad solo alcanzó un valor del 13% en Europa en 2009, según estimaciones de la empresa de investigación de mercados Frost & Sullivan.

Por lo tanto, no es de extrañar que el margen para el ahorro de energía en la industria sea tan grande. Según un análisis de UNIDO, el potencial de ahorro energético en los procesos de producción llega al 50% de la demanda actual en algunos sectores industriales → 5. En total, se estima que si se alcanzaran esas eficiencias energéticas potenciales se ahorrarían entre 230.000 y 260.000 millones de dólares al año. Esto equivale a reducir los costes de producción totales entre un 3% y un 4%, según UNIDO.

### La búsqueda de la rentabilidad financiera

No es sorprendente que, dado el potencial de ahorro de costes de electricidad, los ejecutivos entrevistados para el informe afirmen en su mayoría que, ante todo, bus-

#### 4 El consumo de energía industrial crece con más fuerza en las economías emergentes que en las desarrolladas.



can una rentabilidad financiera demostrable en cualquier inversión realizada para mejorar la eficiencia energética. Típicamente, los ejecutivos de la industria miden su rentabilidad sobre la base de un período de amortización simple (coste de la inversión dividido por el ahorro anual), o la tasa interna de rentabilidad. Por ejemplo, en marzo de 2011, la cementera india UltraTech Cement pidió sistemas de recuperación del calor residual por un valor de 90 millones de dólares; L. Rajasekar, presidente ejecutivo de la empresa, espera que estos gastos se cubran totalmente en seis u ocho años. Pero, en muchos casos, el período de amortización de la inversión en

decisiones de inversión en eficiencia energética, el 59% de los encuestados citan el precio de la energía. Entre los fabricantes que consumen gran cantidad de energía, la cifra es del 67%; entre los que consumen menos, es del 57% → 6.

Las inversiones realizadas por Apollo Tyres son un buen ejemplo. Como apunta Ajay Mathur, director general de la Oficina de Eficiencia Energética (BEE), un organismo público de la India: “Para la industria india, el coste de la energía es muy alto. Y en lo que respecta al país, las presiones sobre la energía no harán más que aumentar”. Así que, para los sectores para los que la energía supone una parte esencial e importante

de los costes, su gestión se convierte en algo increíblemente importante para la competitividad”. La volatilidad y la tendencia de los precios a largo plazo, así como los precios actuales, son un factor a

considerar en las inversiones de las empresas. “Los picos de precios provocan preocupación”, comenta Steve Schultz, director mundial de energía corporativa del fabricante estadounidense de bienes de consumo e industriales 3M. “Pero el hecho de que la tendencia de los precios sea al alza ayuda a materializar algunas de esas acciones”.

Además del precio de la energía, otro factor que los encuestados dicen que influye en sus decisiones de inversión en eficiencia

#### 5 ¿Dónde se podría ahorrar?

En el documento de trabajo de noviembre de 2010 “Medida comparativa global de la eficiencia energética: una herramienta para la política energética”, la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) estima que actualmente el potencial de ahorro de energía en la industria manufacturera y las refineras de petróleo está entre el 23% y el 26% de la demanda mundial total actual de energía industrial.

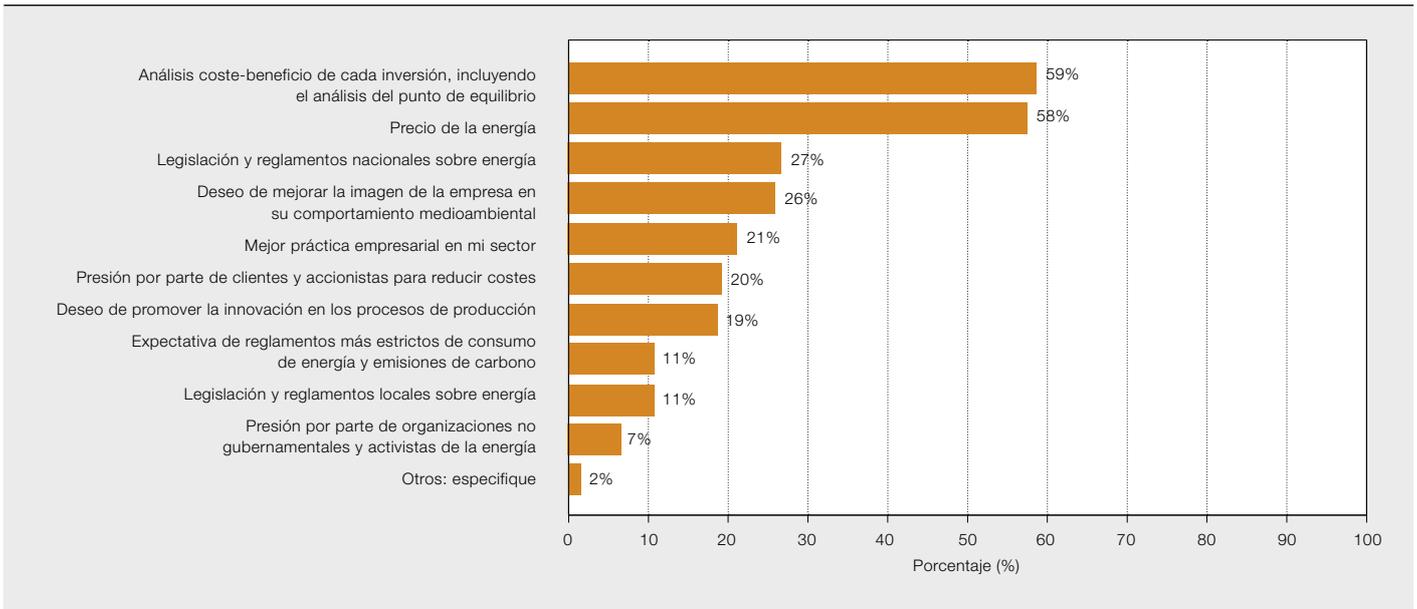
Mientras que el potencial de la eficiencia energética en los países desarrollados está entre el 15% y el 20%, en los países en desarrollo es mayor, del orden del 30% al 35%. De acuerdo con el informe, los países industrializados podrían ahorrar 65.000 millones de dólares o más en costes de energía. Los países en desarrollo podrían ahorrar 165.000 millones de dólares o más.

En todo el mundo, el mayor potencial de ahorro en términos absolutos está en los sectores muy consumidores de energía, como el metal, el papel, el cemento y el químico. Pero porcentualmente, el mayor potencial está en sectores menos consumidores. En algunos en los que dominan las plantas pequeñas con tecnología obsoleta, el potencial de ahorro es de hasta el 40% o el 50%.

## La penetración en el mercado de accionamientos de velocidad variable de media tensión solo alcanzó un valor del 13% en Europa en 2009.

eficiencia energética es de solo seis meses. Cuando los ejecutivos sopesan los argumentos financieros para invertir en eficiencia energética, entran en juego varios factores externos importantes. Uno es el precio de la energía. Los expertos reconocen que cuanto mayor es la proporción de los costes de la energía en los costes totales de producción, tanto mayor es el atractivo financiero de las inversiones en eficiencia energética. Cuando se pide nombrar los principales factores que influyen en las

## 6 Factores principales que influirán en las inversiones en eficiencia energética industrial a lo largo de los próximos tres años (respuestas a la encuesta en la que se permitían hasta tres respuestas por participante, con 348 participantes)



energética es la legislación nacional sobre energía, que citan un 27% de los ejecutivos. Algunas de estas políticas se centran directa o indirectamente en el uso industrial de la energía. Además, un 26% de los ejecutivos cita el deseo de mejorar la imagen de la empresa como otro factor que influye en las decisiones sobre estas inversiones. Este factor parece tener cada vez más peso por la relevancia creciente de los aspectos medioambientales. Muchos de estos factores varían de un continente a otro, de una región a otra y de una fábrica a otra, lo que explica por qué un 76% de los encuestados dice que las inversiones en mejorar la eficiencia energética deben

### Otro factor que influye en las decisiones de inversión en eficiencia energética es el deseo de mejorar la imagen de la empresa.

valorarse caso por caso. Andreas Genz, vicepresidente senior de servicios energéticos para la empresa finlandesa de pasta y papel Stora Enso, es uno de los ejecutivos que está de acuerdo con esto. “Todas nuestras máquinas parecen iguales, pero están hechas a medida”, explica. “Por eso las iniciativas de mejora de la eficiencia

energética deben hacerse también a medida”.

Conforme la industria afronta las dificultades de adaptación a una era de restricciones energéticas, las principales empresas están evaluando la eficiencia energética de sus operaciones de fabricación. Los esfuerzos para medir, gestionar y mejorar continuamente la eficiencia ahorran dinero a corto plazo. A largo plazo, estos esfuerzos mejoran la competitividad, promueven la innovación y preparan el terreno para que las empresas cumplan los compromisos medioambientales y de sostenibilidad. En otras palabras, las inversiones en eficiencia energética son fundamentales, no solo a corto plazo, sino también para la rentabilidad financiera a largo plazo. A pesar de las experiencias y los puntos de vista de los ejecutivos, los responsables políticos y otros expertos entrevistados para el informe, las prácticas que no alcanzan un nivel óptimo son generalizadas. La eficiencia energética ahorra costes y hace que las empresas sean más competitivas. Con unos precios mundiales de la energía volátiles pero en aumento, la eficiencia es especialmente crítica para las empresas de sectores muy ávidos de energía, donde la exposición a las fluctuaciones de los costes es elevada y los márgenes de beneficio son pequeños. Aunque las empresas lo reconocen, muchas siguen empleando equipos ineficientes o de forma ineficaz. Una de las principales razones para esta brecha entre el conocimiento de las ganancias que proporciona la eficiencia y las inversiones reales en eficiencia es la mala información.

Esto incluye la falta de información sobre tecnologías avanzadas y formas alternativas de mejorar la eficiencia, la falta de medidas comparativas de la eficiencia, e información insuficiente sobre la amortización de proyectos específicos.

Este artículo es la primera de las tres partes del informe “El fabricante frugal. Uso moderado de la energía”. La investigación y redacción del informe la ha llevado a cabo The Economist Intelligence Unit por encargo de ABB. El siguiente artículo de la serie, que se publicará en el próximo número de la *Revista ABB*, analizará con más detalle por qué los compromisos de mejora industrial siguen siendo poco sólidos.

The Economist Intelligence Unit tiene la responsabilidad exclusiva del contenido del informe. Las conclusiones y los puntos de vista expresados en el informe no reflejan necesariamente los puntos de vista del patrocinador.

Encontrará más información sobre eficiencia energética en la industria, fábricas, edificios y transporte en [www.abb.com/energyefficiency](http://www.abb.com/energyefficiency)

The Economist Intelligence Unit quiere dar las gracias a todos encuestados, así como a los ejecutivos citados en el informe.

**Christopher Watts (autor)**

**Aviva Freudmann (editora)**

The Economist Intelligence Unit

Para cualquier consulta póngase en contacto con

Mark Curtis

[mark.curtis@ch.abb.com](mailto:mark.curtis@ch.abb.com)

ABB Corporate Communications

Zurich, Suiza



# Eficiencia y facilidad de uso

Nuevo inversor de cadena ABB para sistemas fotovoltaicos

JUKKA NURMI – La inquietud por el calentamiento global y la subida de los precios del petróleo y el gas hacen que el uso de las fuentes de energía renovables aumente para adaptarse a la creciente demanda mundial de energía. El planeta ha recibido desde siempre una gran cantidad de energía procedente de una fuente renovable: los rayos del sol. El método más sencillo de aprovechar la energía solar es usar células fotovoltaicas. Estas células producen corriente continua (CC) que hay que convertir en alterna (CA). La conversión se efectúa con un inversor; los inversores de cadena de ABB se han diseñado para sistemas fotovoltaicos instalados principalmente en edificios residenciales y comerciales de pequeño y mediano tamaño. La nueva serie de inversores incluye ahora funciones de protección incorporadas que reducen la necesidad de contar con dispositivos externos costosos y voluminosos y de armarios de mayor tamaño.



**E**l avance tecnológico mejora continuamente la eficiencia y la rentabilidad de los sistemas fotovoltaicos. Por su parte, ABB es, desde hace mucho tiempo, líder en la tecnología de inversores y convertidores de potencia, y ha empleado su conocimiento y experiencia para proporcionar soluciones de vanguardia y alta calidad para sistemas de energía fotovoltaica. Su cartera de inversores solares va desde el pequeño inversor de cadena monofásico hasta los inversores para centrales que llegan a cientos de kilovatios. La última incorporación a este catálogo, el PVS300 → 1, dispone de una gama de potencias comprendidas entre 3,3 y 8 kW, lo que lo hace adecuado para edificios residenciales y para instalaciones comerciales o industriales de tamaño pequeño o mediano. Su diseño compacto lo hace fiable, seguro y muy rentable, especialmente en instalaciones con varios inversores.

La base del inversor de cadena PVS300 es la intuitiva unidad de control equipada con una pantalla gráfica fácil de usar que presenta tres visualizaciones principales: medidor de radiación solar, información de la producción de energía solar y menús de ayuda y configuración. El medidor de radiación solar indica la cantidad de luz solar (10 rayos indican que el sol brilla en toda su plenitud y un rayo, que está lloviendo) → 2

y, por la noche, el inversor pasa al modo de reposo, que consume menos de 1 W. La pantalla con la información sobre la producción de energía solar está diseñada para proporcionar los datos necesarios a los interesados o a quienes intervienen en las tarifas<sup>1</sup> de alimentación a la red que establecen muchos países para la producción de energía respetuosa con el medio ambiente, como la energía solar → 3. El registro de datos incorporado presenta y guarda la cantidad exacta producida de forma diaria, semanal, mensual y anual durante un periodo de hasta 24 años. Además, el inversor calcula el ahorro de emisiones de CO<sub>2</sub>. Además, presenta datos técnicos detallados para quienes precisen algo más que una visión general de su producción de energía solar.

Cuenta, asimismo, con una tecla exclusiva de ayuda y un manual de usuario integrado que explica las diferentes visualizaciones y posibilidades de configuración. El dispositivo de visualización admite hasta 24 idiomas.

La puesta en marcha en solo cuatro sencillos pasos está guiada por un asistente de arranque que se inicia cuando se enciende el inversor por primera vez. Se puede modificar fácilmente la configuración gracias a una estructura de menús similar a la habitual en aparatos corrientes, como los teléfonos móviles.

La cartera de inversores solares de ABB va desde el pequeño inversor de cadena monofásico hasta los inversores para centrales que llegan a cientos de kilovatios.

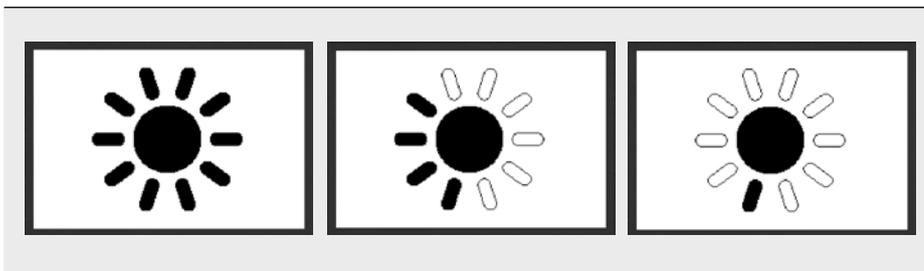
#### Imagen del título

El nuevo inversor de cadena de ABB, diseñado para sistemas fotovoltaicos instalados en edificios residenciales y comerciales de pequeño o mediano tamaño, incluye ahora funciones de protección incorporadas.

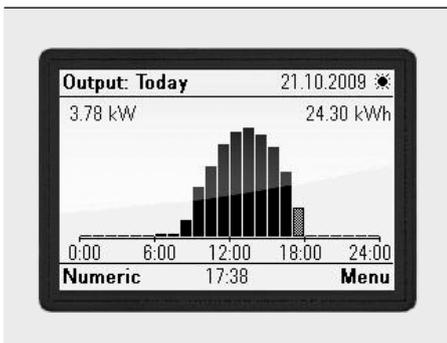
#### Nota a pie de página

<sup>1</sup> Una tarifa de alimentación a la red (FiT) es un mecanismo de política energética que promueve la adopción de fuentes de energía renovables y ayuda a acelerar la evolución hacia la paridad de red. Con una estructura de tarifas, los generadores de electricidad renovable aptos (que pueden incluir los instalados por particulares y empresas) cobran un precio especial por la electricidad renovable que produzcan.

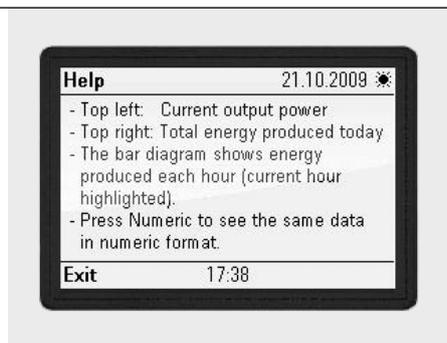
## 2 Indicaciones que hasta un niño puede entender



## 3 Muestra información técnica detallada para quienes deseen una perspectiva más amplia para su producción de energía solar



3a Información sobre la producción de energía solar



3b La tecla "Ayuda" explica las distintas indicaciones

La pantalla puede separarse del inversor → 4 y → 5 y montarse por separado en una pared para vigilar el funcionamiento del inversor desde fuera de la habitación donde está instalado. También puede conectarse de forma inalámbrica al inversor; el transmisor y el receptor inalámbricos están ya sintonizados en fábrica para que el usuario no tenga que llevar a cabo los complejos ajustes a menudo necesarios en ese tipo de conexiones. La tecnología y la gama de frecuencias son similares a las que se utilizan en los sensores meteorológicos inalámbricos, pero cubre mayores distancias que Bluetooth y consume mucho menos que Wi-Fi.

### Protección incorporada

La atención prestada a la estética y el diseño interno y a la configuración del inversor de cadena de ABB son importantes para ayudar a los integradores de sistemas y a los instaladores de sistemas fotovoltaicos. En particular, la incorporación de una protección completa incorporada elimina la necesidad de contar con los componentes externos utilizados en la mayoría de los sistemas fotovoltaicos tradicionales.

Para empezar, las corrientes de fallo que se crean en un sistema sin conexión a tierra cuando se producen dos fallos a tierra o un fallo de línea a línea pueden dañar módulos o causar un calentamiento excesivo en alguna parte del sistema. Los sistemas

deben protegerse frente a esta incidencia, sin duda infrecuente, colocando fusibles de cadena en las ramas negativa y positiva de la conexión de la cadena.

Asimismo, los paneles solares están sujetos a la actividad atmosférica y pueden sufrir daños por la sobretensión generada por los rayos. Para minimizar estos riesgos hay que instalar dispositivos de protección de sobretensiones (SPD) en cada polari-

## La incorporación de una completa protección incorporada elimina la necesidad de los componentes externos utilizados en la mayoría de los sistemas fotovoltaicos tradicionales.

dad. La impedancia de estos dispositivos varía con la tensión aplicada; por ejemplo, durante el funcionamiento normal la impedancia es muy alta y solo disminuye (en el caso de sobretensión) descargando a

El PVS300 se ofrece en potencias de 3,3 a 8 kW, y su diseño compacto lo hace fiable y seguro, especialmente en instalaciones con muchos inversores.

La topología de punto neutro fijo (NPC) combinada con el esquema de modulación de ABB, cuya patente está en trámite, crean un inversor eficaz con corrientes de fuga mínimas y tensión de CC admisible máxima.

4 El inversor de cadena PVS300 es adecuado para uso residencial y comercial



5 La pantalla del PVS300 puede separarse para el control a distancia



6 Interruptor de CC, fusibles de cadena y dispositivos de protección contra sobretensiones integrados bajo la tapa principal

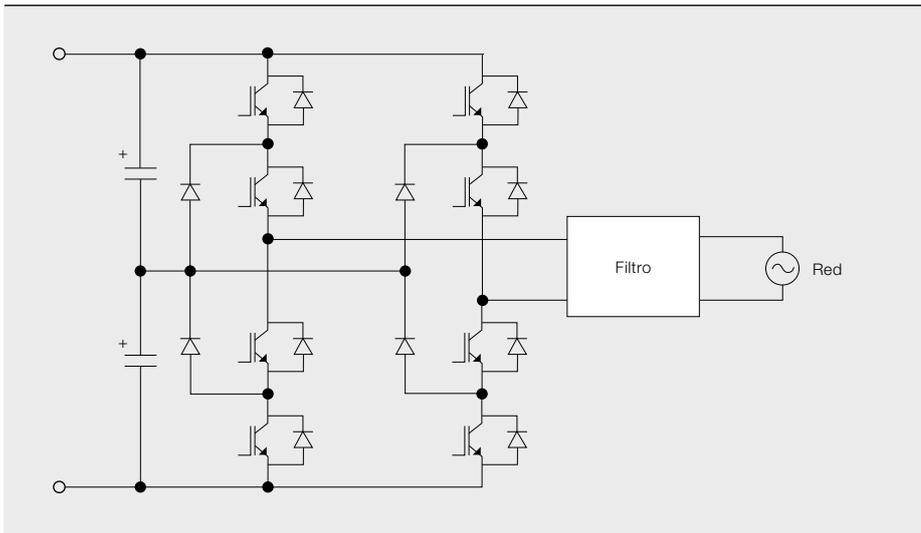


tierra la corriente asociada. Desgraciadamente, los SPD normales no funcionan adecuadamente en los sistemas fotovoltaicos. Hacen falta otros especialmente diseñados para estos sistemas con una alta tensión nominal de CC y una pequeña capacidad de corriente de cortocircuito. Estos dispositivos de protección suelen colocarse en una caja de empalmes separada entre los módulos solares y el inversor.

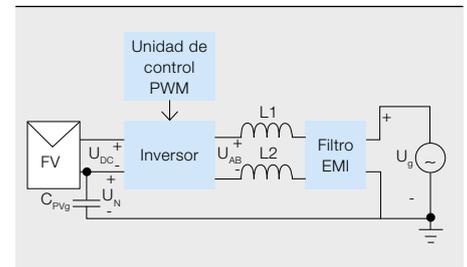
La protección integrada diseñada en el inversor de cadena PVS300 de ABB evita el tiempo y los costes necesarios para seleccionar, diseñar e instalar dispositivos y cajas externos de protección → 6. Para

los integradores de sistemas y durante la instalación, una solución integrada compacta significa que se utiliza el espacio con mucha más eficiencia, algo que se valora especialmente en instalaciones que emplean muchos inversores. Para los usuarios finales, el diseño interno del inversor reduce sustancialmente la localización de averías y el tiempo de reparación cuando se produce un problema. Por ejemplo, un microprocesador incorporado vigila los dispositivos internos de protección (como fusibles y dispositivos de protección contra sobretensiones) y transmite inmediatamente, en caso de presentarse un problema,

## 7 Topología del inversor de cadena PVS300 de punto neutro fijo (NPC) con puente completo



## 8 Sistema fotovoltaico con capacitancia parásita



mensajes de error o información a la pantalla del inversor y opcionalmente por Internet en forma de correo electrónico. Así se pueden sustituir de forma fácil y segura componentes tales como los cartuchos enchufables para descarga de sobretensiones. Por último, la reducción de la utilización de materiales es una contribución importante a la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> a lo largo del ciclo de vida del producto.

### Puro rendimiento en el núcleo

El núcleo del diseño del inversor de cadena de ABB se describe como de topología de punto neutro fijo con puente completo (NPC) → 7 y se combina con el esquema de modulación de ABB, con patente en trámite, para obtener un inversor eficaz con una corriente de fuga mínima y una tensión de CC admisible máxima.

Su elevado rendimiento procede de su sencillez, lo que se demuestra cuando se comparan ciertos aspectos de un inversor solar clásico con el diseño del PVS300. Por ejemplo, el diseño clásico utiliza un convertidor elevador extra en la entrada o un transformador elevador en la salida, mientras que el inversor de cadena de ABB solamente emplea una etapa de conversión de CC a CA. La eliminación de las etapas de conversión extra no solo mejora el rendimiento, sino también la fiabilidad del sistema. Se consiguen otras mejoras del rendimiento empleando una lógica durmiente inteligente y materiales avanzados, como los núcleos de aleación amorfa en el filtro LCL de salida.

En → 8 se muestra un sistema fotovoltaico sin tierra típico. Los módulos solares se conectan siempre a tierra mediante una

capacitancia parásita (CPVg). Cualquier componente de CA presente en la tensión UN generará una corriente a tierra a través de esta capacitancia. Si la tensión a través del condensador contiene componentes de frecuencia excesivamente altas, puede producir corrientes a tierra de frecuencia también excesivamente alta que, a su vez, pueden crear problemas de compatibilidad electromagnética o degradar o dañar los módulos solares con el paso del tiempo. El esquema de modulación de eliminación de altas frecuencias de ABB, cuya patente está en trámite, elimina los componentes de alta frecuencia de UN que algunos inversores del mercado introducen en realidad. La tensión de CC del sistema solar varía en función de la configuración, la temperatura y la radiación solar. Debido a su amplia gama de entradas de CC, el inversor de cadena de ABB se adapta fácilmente a una gran diversidad de configuraciones en serie y en paralelo y a distintos tipos de módulos solares. Su elevada tensión de CC máxima permite la conexión de más módulos en serie lo que, a su vez, reduce el coste y las pérdidas en el cableado de CC.

El inversor de cadena PVS300 se presentó en el mercado por primera vez en la feria Intersolar 2010 de Múnich, la mayor exposición del mundo del sector solar. Continúa el lanzamiento con éxito de la familia de productos de inversores de ABB para centrales eléctricas fotovoltaicas del año anterior.

### Jukka Nurmi

ABB Solar Inverters  
Helsinki, Finlandia  
jukka.nurmi@fi.abb.com

La de tensión de CC máxima permite conectar más módulos en serie. De este modo no solo se reducen las pérdidas en el cableado de CC, sino también el coste.



# Protección avanzada de redes eléctricas

La próxima generación de soluciones de teleprotección

ROMEO COMINO,

MICHAEL STRITTMATTER –

**La teleprotección es vital para la fiabilidad y la economía de los modernos sistemas de energía eléctrica. Con la creciente implantación de la tecnología no determinista Ethernet/IP en las redes de comunicaciones de área extensa, la inquietud de las compañías eléctricas de todo el mundo se centra en la señalización de protección, que garantiza un aislamiento rápido y selectivo de averías en la red eléctrica. Gracias a la amplia experiencia de la empresa en la teleprotección y las comunicaciones de servicios públicos, ABB ha podido impulsar el desarrollo de nuevas interfaces de su plataforma de teleprotección NSD570 que permiten por primera vez el funcionamiento seguro.**

---

## Imagen del título

La inquietud de las compañías eléctricas se centra en que la señalización de protección de las subestaciones puede estar en peligro debido a la comunicación Ethernet no determinista.

Las perturbaciones y las averías en los sistemas eléctricos pueden producir graves caídas de tensión y apagones que afecten a regiones o incluso a países enteros. A causa de su fuerte dependencia de la energía eléctrica, la sociedad moderna no acepta esos cortes de suministro eléctrico, tanto por su impacto en la vida pública como por sus consecuencias económicas. Por ello, es vital evitar las grandes perturbaciones por todos los medios posibles. Un elemento clave para aislar y eliminar rápidamente averías es una buena práctica de protección.

Los sistemas de protección deben reunir sensibilidad, rapidez de respuesta, selectividad y especificaciones de fiabilidad para satisfacer los requisitos de resolución de averías. Los esquemas de protección, especialmente para líneas de transporte de alta tensión, raramente cumplen estos requisitos sin utilizar telecomunicaciones. La arquitectura típica de un sistema de protección en una línea de transporte de alta tensión tiene tres componentes princi-

pales: relés de protección, equipos de teleprotección y un sistema de telecomunicaciones → 1. La teleprotección actúa como una interfaz física entre la infraestructura de telecomunicaciones y los relés de protec-

---

Los sistemas de protección deben reunir sensibilidad, rapidez de respuesta, selectividad y especificaciones de fiabilidad para satisfacer los requisitos de resolución de averías.

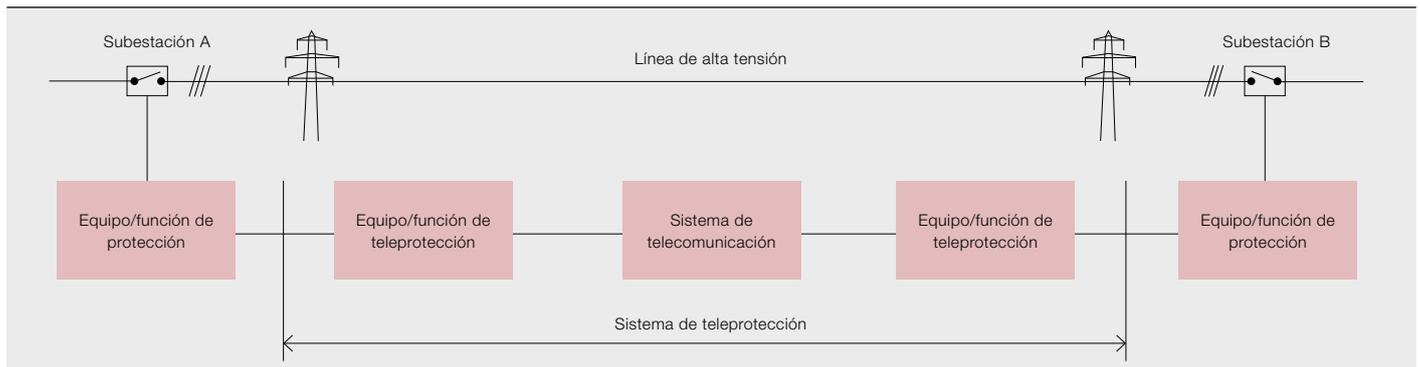
ción. Por tanto, es esencial para el transporte de las señales generadas por los relés de protección (“comandos”) y para garantizar que se satisfacen sus necesidades de tiempo de respuesta y selectividad en caso de presencia de condiciones de fallo del sistema.

**Criterios de prestaciones para la teleprotección: seguridad, fiabilidad y tiempo de transmisión**

Puesto que todo sistema de telecomunicaciones está sujeto a diversas formas de interferencias y degradación (como errores de jitter y bit en redes digitales o ruido de

Para el sistema de protección, es primordial que las perturbaciones del canal de telecomunicaciones no simulen un comando en el extremo receptor cuando no se transmite la señal del comando correspondiente (seguridad) ni produzcan una demora indebida o incluso la supresión de un comando realmente enviado (fiabilidad).

### 1 Arquitectura típica de un sistema de protección



corona y variaciones de atenuación en el canal de portadora de la línea eléctrica), el comportamiento del equipo de teleprotección en estas condiciones de perturbación del canal se caracteriza por los términos *seguridad*, *fiabilidad* y *tiempo de transmisión*.

Un criterio importante es el ancho de banda disponible en los enlaces analógicos y la velocidad de transmisión de datos en canales digitales o Ethernet. Cuanto mayor sea el ancho de banda o la velocidad de transmisión de datos, menor será el tiempo de transmisión que puede conseguirse normalmente con el equipo de teleprotección.

A este fin, todo el equipo de teleprotección debe cumplir los requisitos relevantes de seguridad, fiabilidad y tiempo de transmisión definidos en la norma IEC 60834-1 [1]. Seguridad, fiabilidad, tiempo de transmisión y ancho de banda (o velocidad de transmisión de datos) son parámetros interrelacionados. La combinación de

seguridad y fiabilidad elevadas con un tiempo de transmisión breve y un ancho de banda reducido (o una baja velocidad de

Ya está listo el equipo de teleprotección de ABB de la próxima generación de tipo NSD570 que permite conectividad Ethernet por medio de una interfaz de 10/100 Mbps.

datos) representa requisitos contrapuestos. Como consecuencia, hay que hacer hincapié en la fiabilidad, en la seguridad o en el tiempo de transmisión, dependiendo del esquema de protección utilizado, es decir, de si se aplica la señalización de protección en esquemas de disparo permisivo, disparo directo o bloqueo.

Otro criterio importante es la disponibilidad del propio canal de comunicaciones para que lleve a cabo la función requerida en cualquier momento de un intervalo determinado [2]. El nivel de disponibilidad de un sistema de telecomunicaciones utilizado



para teleprotección debe ser al menos de un 99,99%. Para alcanzar este objetivo crítico, es esencial conocer a fondo la tecnología de telecomunicaciones aplicada. Es más, son esenciales un diseño adecuado de la red, la instalación de mecanismos de autorreparación o recuperación, y la redundancia y los métodos de reserva necesarios.

Además de la disponibilidad del canal de comunicación, también es crítica la compatibilidad electromagnética (EMC) del sistema de teleprotección y su inmunidad a interferencias provocadas por ráfagas bruscas de transitorios y otras perturbaciones exteriores. Todo el diseño del sistema de teleprotección y los equipos correspondientes debe efectuarse de forma que puedan soportar interferencias justo en el momento de una avería en el sistema, es decir, en el momento en que es más necesaria su capacidad para transmitir comandos de forma fiable.

### Teleprotección a través de diversos medios y canales de telecomunicaciones

Para la teleprotección se pueden utilizar diversos tipos de medios de transmisión. Como los enlaces de comunicaciones punto a punto siguen siendo de uso común, dominan los medios siguientes:

- Enlaces con portadoras en líneas eléctricas (PLC)

- Enlaces por fibra óptica
- Cables de cobre / cables piloto
- Enlaces de radio por microondas

La propiedad física de la interfaz entre el equipo de teleprotección y el terminal de comunicación es un circuito analógico con ancho de banda de frecuencia de voz o un circuito digital/óptico con una determinada velocidad de transmisión de datos, como por ejemplo 64 kbps → 3.

El equipo de teleprotección de ABB de próxima generación NSD570 ofrece un conjunto completo de interfaces con el sistema de telecomunicaciones como se ha indicado anteriormente, y permite conectividad Ethernet por medio de una interfaz de 10/100 Mbps como se verá más adelante en este artículo.

### ¿Se ve afectada la teleprotección con el despliegue de redes basadas en Ethernet/IP?

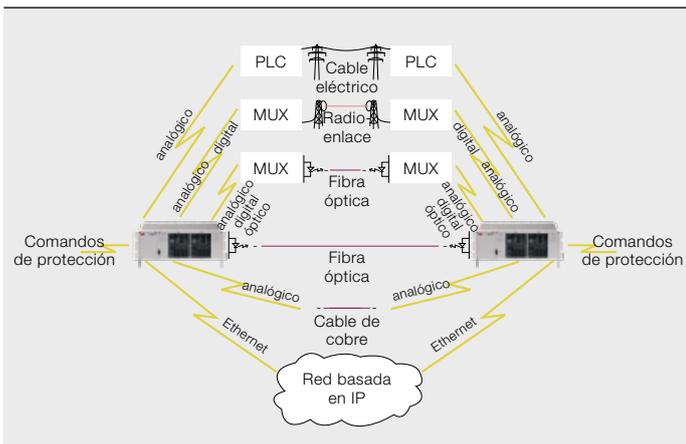
Los sistemas de teleprotección se basan en canales de telecomunicaciones que proporcionan un retardo determinista de la transmisión de señal y tienen un ancho de banda o velocidad de transmisión de bits constante a lo largo del tiempo, sin variación del retardo. Las técnicas de multiplexación estática, como las redes de jerarquía digital plesiócrona (PDH)<sup>1</sup> y jerarquía digital síncrona (SDH) cumplen este requisito y han sido aplicadas durante

Los sistemas de teleprotección dependen normalmente de canales de telecomunicaciones que proporcionan un retardo determinista de la transmisión de la señal y tienen un ancho de banda constante.

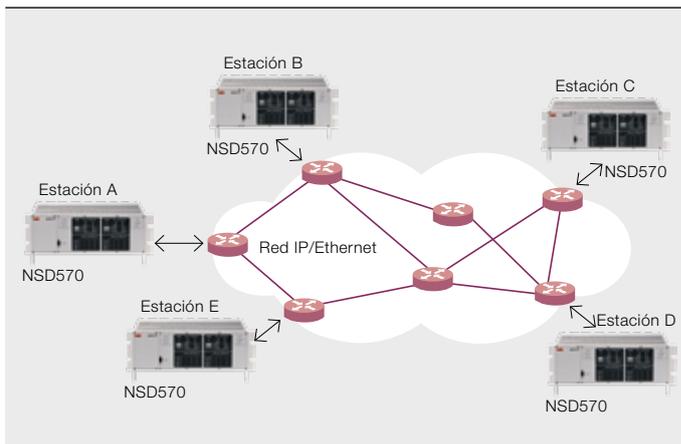
#### Nota a pie de página

- <sup>1</sup> Una red de jerarquía digital plesiócrona (PDH) es una red en la que diferentes corrientes de datos están casi sincronizadas, aunque no del todo.

### 3 Medios de transmisión y canales de comunicación disponibles con el NSD570



### 4 El problema: la teleprotección sobre redes Ethernet/IP



ABB, como principal proveedor de soluciones de teleprotección, ha desarrollado un nuevo conjunto de interfaces para la plataforma NSD570 que permite señalización de protección y gestión remota sobre redes Ethernet/IP.

décadas por las compañías en sus redes de comunicaciones de área extensa.

Con la implantación de las tecnologías de transmisión por multiplexación estadística que utilizan ancho de banda a demanda o técnicas de “esfuerzo óptimo”, a las compañías eléctricas de todo el mundo les preocupa que los requisitos de un comportamiento exigente de los sistemas de teleprotección puedan verse comprometidos con estas nuevas tecnologías de comunicación. Esto constituye un motivo especial de preocupación cuando estas compañías dependen de servicios de telecomunicaciones de terceros en los que los canales de comunicación no están bajo su control absoluto.

Así pues, en situaciones en las que redes basadas en Ethernet/IP se utilizan para señalización de protección, se precisa una solución que permita supervisar la disponibilidad y la calidad del canal de comunicación WAN (red de área extensa) y alertar al equipo de protección si no pudiera asegurarse una transmisión fiable de comandos al terminal remoto → 4.

#### Soluciones innovadoras para la próxima generación de teleprotección

ABB, como principal proveedor de soluciones de teleprotección, ha desarrollado un nuevo conjunto de interfaces para la plataforma NSD570 que permite señalización de protección y gestión remota sobre redes Ethernet/IP → 2. Las soluciones innovadoras constan de los dos módulos siguientes:

- NSD570 con interfaz Ethernet WAN tipo G3LE
- NSD570 con interfaz LAN de gestión tipo G3LM

#### NSD570 con interfaz Ethernet WAN

##### tipo G3LE

- Nueva interfaz de línea para transferir hasta ocho comandos simultáneos/independientes en redes Ethernet/IP → 3.
- Funciones de supervisión y alerta del canal similares a las interfaces de línea NSD570 existentes (calidad y disponibilidad del canal, retardo de punta a punta, direccionamiento de terminales).

#### NSD570 con interfaz LAN de gestión

##### tipo G3LM

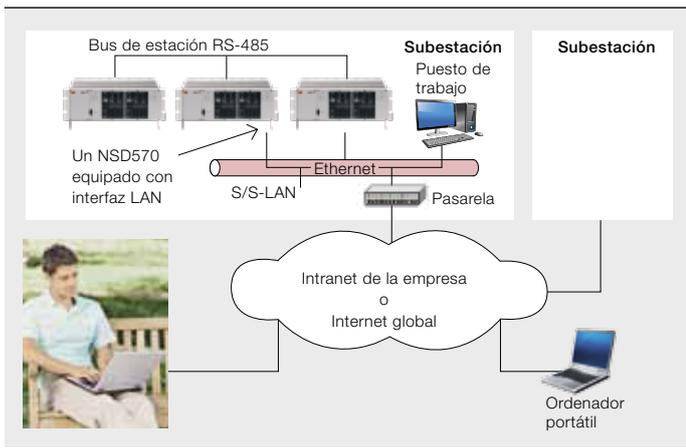
- El sucesor de la interfaz de gestión para acceso remoto, con otras características tales como apoyo de SNMP (*Simple Network Management Protocol* = protocolo sencillo de gestión de red) y VLAN (*Virtual Local Area Network* = red de área local virtual), así como medidas mejoradas de ciberseguridad, como autenticación y registro.
- Para la supervisión y gestión remota de las unidades de teleprotección en un bastidor y otras unidades accesibles por medio del bus de estación SR-485. Este último permite interconectar varios bastidores → 5.

Ambos módulos ofrecen un puerto eléctrico (10/100 Mbps) y un puerto óptico (100 Mbps) con transceptores enchufables de factor de forma pequeño (SFP) intercambiables para conexión a la red Ethernet/IP → 6.

#### NSD570 con interfaz Ethernet WAN (G3LE), solución fiable de señalización de protección en redes Ethernet/IP

En lugar de convertir simplemente el canal síncrono de 64 kbps existente del sistema digital NSD570 a paquetes Ethernet, se

## 5 Acceso a distancia seguro del NSD570



desarrolló un protocolo para reducir los requisitos de latencia y ancho de banda.

Además de los comandos de teleprotección reales, el contenido de carga útil de un paquete de este tipo incluye varios campos de datos que permiten la medición de diversos parámetros clave del comportamiento, incluidos el tiempo de transmisión y la tasa de pérdida de paquetes.

Toda la carga útil se protege mediante un algoritmo de autenticación (patente en trámite) que aborda diversos aspectos de ciberseguridad.

### La supervisión de canales controla continuamente la calidad y la disponibilidad

Una red de conmutación de paquetes es vulnerable frente a diversos factores que pueden afectar negativamente al tiempo de transmisión.

El NSD570 Ethernet supervisa continuamente la disponibilidad y la calidad del canal con paquetes de "vigilancia" que se envían a intervalos configurables por el usuario. Se generan alarmas si el tiempo de transmisión o la tasa de pérdida de paquetes medidos superan unos valores configurables por el usuario, o si el canal se pierde completamente.

### Garantía de transmisión de comandos fiable

Tan pronto como se recibe un comando del relé de protección, la interfaz Ethernet WAN del NSD570 empieza a enviar múltiples paquetes de "disparo" a intervalos cortos. Esto asegura una recepción rápida de paquetes en el NSD570 remoto, incluso en condiciones de canal muy malas (por

ejemplo, pérdida de paquetes elevada). Después de esta secuencia inicial, el NSD570 Ethernet continúa enviando paquetes de disparo, pero a la velocidad inferior fijada para los paquetes de vigilancia. Si el relé de protección elimina el comando, a partir de ese momento se envían paquetes de vigilancia.

La recepción de un solo paquete de disparo correcto en el NSD570 remoto dispara las salidas de la interfaz del relé configuradas de acuerdo con los comandos recibidos en el paquete.

### Configuraciones de prioridad para comandos de teleprotección urgentes

Puesto que los comandos de teleprotección son urgentes, deben transmitirse a través de la red tan rápidamente como sea posible. Tanto IP como Ethernet ofrecen la posibilidad de fijar prioridades y gestionar en consecuencia el tráfico de alta prioridad. El NSD570 Ethernet admite configuraciones de prioridad Ethernet/IP con los siguientes parámetros: ToS, que establece el tipo de campo de servicio en la capa 3 de IP, y el etiquetado en VLAN, que fija las prioridades e ID de la trama Ethernet en la capa 2.

### Eficacia probada en condiciones adversas de red

El requisito del caso más desfavorable para la seguridad (indicado por  $P_{uc}$  o probabilidad de un comando no deseado) de comandos de disparo transferidos en los

## 6 Nuevo módulo enchufable G3LE/G3LM para la plataforma de teleprotección NSD570 de ABB



sistemas de comunicación digital de acuerdo con la IEC 60834-1 es  $P_{uc} < 1E-08$ . En el nuevo protocolo instalado en el NSD570 se puede demostrar matemáticamente un valor de  $P_{uc} < 1E-18$ .

Se han efectuado pruebas exhaustivas de la nueva interfaz NSD570 tipo G3LE en una red construida a partir de la familia de conmutadores Ethernet tipo AFS de ABB. Incluso con tráfico simulado de ráfagas de paquetes de diverso tamaño y sobrecarga de tráfico en secciones de la red, el tiempo de transmisión no superó 4 ms, y alcanzó un valor medio de unos 2,5 ms.

Para comprobar un funcionamiento fiable incluso en condiciones de la red Ethernet/IP muy perturbadas, es decir, con tasas de pérdida de paquetes (PLR) de hasta el

Toda la actividad de los usuarios queda registrada para detectar manipulaciones en el sistema que afecten a la seguridad desde una fase inicial.

10% o más, se midió la fiabilidad (indicada por  $P_{mc}$  o probabilidad de pérdida de un comando). Se envió un número considerable de comandos de disparo a diversos niveles de PLR y se registró el número de comandos no recibidos a lo largo de un tiempo de transmisión dado ( $T_{ac}$ ) para calcular así el  $P_{mc}$  resultante. A efectos comparativos, la medición de la fiabilidad se basó en la tasa de errores de bit (BER), que puede obtenerse de la correspondiente tasa de pérdida de paquetes PLR → 7.

Un diseño adecuado de red Ethernet/IP es un requisito previo que garantiza la tasa máxima de pérdida de paquetes y la latencia mínima requeridas.

#### 7 Extracto de los resultados de la prueba (NSD570 con interfaz Ethernet WAN tipo G3LE)

Confiabilidad	$P_{mc} <$	1E-02	1E-02	1E-03	1E-03	1E-04
Estado del canal – Tasa de pérdida de paquetes	PLR <	1%	2%	3%	10%	10%
Estado del canal – Tasa de errores de bits	BER <	1.1E-05	2.3E-05	3.5E-05	1.2E-04	1.2E-04
Tiempo de transmisión real máx.	Tac ≤	4 ms	5 ms	6 m	8 ms	10 ms

Estos resultados, junto con otras pruebas de campo en redes Ethernet/IP de la compañía, confirmaron que la interfaz Ethernet WAN tipo G3LE innovadora de ABB satisface y supera los requisitos establecidos para los equipos de teleprotección “digitales” según la IEC 60834-1.

La garantía de una transmisión de comandos fiable requiere tanto un diseño adecuado de la red Ethernet/IP como una configuración que garantice que no se superan la tasa de pérdida de paquetes y la latencia especificadas entre los dos terminales NSD570. Si no se satisface este requisito, el NSD570 informará inmediatamente del mal funcionamiento de la red.

#### NSD570 con interfaz LAN de gestión (G3LM): conexión y supervisión seguras a distancia

Junto con la interfaz Ethernet WAN G3LE, se presentó un nuevo NSD570 de interfaz LAN de gestión tipo G3LM que permite el acceso remoto al equipo de teleprotección NSD570 en redes Ethernet/IP. El agente SNMP integrado proporciona a las estaciones de gestión de la red alertas e información del equipo utilizando la interfaz SNMP de norma abierta.

Al mismo tiempo, se integraron varias funciones para conseguir el máximo nivel posible de ciberseguridad y permitir a los usuarios aplicar el sistema de teleprotección NSD570 incorporando nuevas normas, tales como NERC CIP. Se utiliza una técnica denominada Secure Socket Layer (SSL) para cifrado y autenticación del acceso del usuario. Además, un nuevo sistema de administración del usuario permite ahora configurar cuentas individuales y asignar derechos de acceso a cada usuario. Toda la actividad de los usuarios

queda registrada para detectar manipulaciones en el sistema que afecten a la seguridad desde una fase inicial.

#### El NSD570 preparado para aplicaciones futuras de la IEC 61850

La presentación de la IEC 61850<sup>2</sup>, la norma internacional para la comunicación de subestaciones, ha impulsado la aplicación a las subestaciones de las redes locales basadas en Ethernet.

Actualmente, la comunicación por bus Ethernet intrasubestación con la IEC 61850 se emplea únicamente para las señales de control y automatización. Las señales de protección siguen estando físicamente cableadas de relé a relé o desde el relé al dispositivo de teleprotección. Sin embargo, el nuevo módulo NSD570 tipo G3LS se ha diseñado para que acepte en el futuro “mensajes GOOSE”<sup>3</sup> conformes con la norma IEC 61850-8-1 de los relés de protección con interfaz GOOSE.

Además, se han creado nuevos grupos de trabajo IEC para examinar y definir la ampliación de la IEC 61850 para la comunica-

La solución está totalmente integrada, es decir, no son necesarios dispositivos externos que necesiten su propia fuente de alimentación e interfaz usuario/gestión.

ción entre subestaciones. En marzo de 2010, se emitió un informe técnico para esta comunicación WAN de acuerdo con la IEC 61850-90-1 [3].

De acuerdo con el “método de gateway” descrito en este informe, las señales de protección GOOSE de la comunicación WAN pueden transferirse al NSD570 remo-

## Siglas

BER	Tasa de errores de bit
CIP	Protección de infraestructuras críticas
EMC	Compatibilidad electromagnética
GOOSE	Evento de subestación orientado a objetos genéricos
IEC	Comisión Electrotécnica Internacional
PI	Protocolo de Internet
LAN	Red de área local
MUX	Multiplexor
NERC	Corporación para la Fiabilidad Eléctrica de Estados Unidos
PDH	Jerarquía digital plesiócrona
PLC	Portadora en línea eléctrica
PLR	Tasa de pérdida de paquetes
SDH	Jerarquía digital síncrona
SFP	Enchufable de factor de forma pequeño
SNMP	Protocolo Simple de Gestión de Red
S/S	Subestación
ToS	Tipo de servicio
VLAN	Red de área local virtual
WAN	Red de área extensa

to por medio de cualquier canal analógico, digital/óptico o Ethernet → 3.

Un funcionamiento mixto de relés de protección “descatalogados” e IEC 61850 es posible con la interfaz LAN GOOSE G3LS.

Los comandos GOOSE y de tipo de contacto pueden enviarse en paralelo sobre el mismo enlace NSD570. Además, los mensajes GOOSE de una subestación se pueden enviar a través de las salidas de comandos de tipo contacto en la subestación remota.

Por tanto, el NSD570 de ABB, con su arquitectura abierta, está preparado para evolucionar en línea con las normas IEC 61850 para comunicaciones, tanto intrasubestación como entre subestaciones.

## Resumen

Con las últimas innovaciones de ABB, NSD570 ofrece una plataforma preparada para el futuro que se puede integrar en redes WAN Ethernet/IP o LAN de subestación simplemente sustituyendo o agregando un módulo. El NSD570 es un auténtico sistema todo en uno para los requisitos de líneas de comunicación e interfaz de protección.

La solución está totalmente integrada, es decir, no se necesitan dispositivos externos que necesiten su propia fuente de alimentación e interfaz usuario/gestión.

La gran base instalada de relés de protección “descatalogados” con entradas/salidas de comandos de tipo contacto puede utilizarse en todos los medios de comunicación existentes, incluso en paralelo con los nuevos relés de protección “GOOSE” IEC 61850 a través del mismo enlace NSD570. En este sentido, el NSD570 admite asimismo la modernización gradual de las subestaciones con IEC 61850, es decir, la interconexión de las subestaciones anteriores con las de la norma IEC 61850 a través de los canales de teleprotección NSD570 existentes.

Los clientes que proyecten pasar su infraestructura de red de comunicaciones WAN a las redes basadas en Ethernet/IP están bien cubiertos con la arquitectura NSD570. Pueden utilizar en paralelo, por ejemplo, las interfaces de línea digitales y Ethernet hasta conseguir la confianza en el nuevo medio. Con este fin, se incorpora un modo de operación rentable “1+1” de protección del enlace sin necesidad de duplicar las interfaces de los relés con los dispositivos de protección. La instalación únicamente precisa una interfaz de la segunda línea para el enlace redundante, conectado en el mismo bastidor.

### Romeo Comino

#### Michael Strittmatter

ABB Power Systems

System Group Utility Communications

Baden, Suiza

romeo.comino@ch.abb.com

michael.strittmatter@ch.abb.com

### Bibliografía

- [1] Publicación IEC 60834-1. “Teleprotection Equipment of Power Systems – Performance and Testing – Part 1: Command Systems”.
- [2] “Protection using Telecommunications”. Grupo de trabajo conjunto Cigre 34/35. 11 de agosto de 2001
- [3] Publicación IEC 61850-90-1. “Use of IEC 61850 for the communication between substations”.

### Notas a pie de página

- 2 Consulte también el Informe especial de la *Revista ABB* sobre la norma IEC 61850, que se puede descargar en [www.abb.com/abbreview](http://www.abb.com/abbreview)
- 3 GOOSE: Eventos de Subestación Orientados a Objetos Genéricos, es un modelo de control definido por la IEC 61850 para transferir datos de eventos.

Con las últimas innovaciones de ABB, NSD570 ofrece una plataforma preparada para el futuro que se puede integrar en redes WAN Ethernet/IP o LAN de subestación simplemente sustituyendo o agregando un módulo.



# Energía de barril

Una solución de almacenamiento por bombeo para satisfacer las demandas de energía y de tarifas

STEVE AUBERT – Los últimos avances en la electrónica de potencia y las tecnologías de máquinas abren una nueva tendencia para grandes aplicaciones de almacenamiento por bombeo hidráulico. Las centrales eléctricas de almacenamiento por bombeo (PSPP) con unidades de velocidad variable ofrecen varias ventajas en comparación con las soluciones convencionales de velocidad fija. La velocidad variable puede conseguirse con máquinas de inducción de alimentación doble controladas por sistemas de excitación de CA. Estos sistemas alimentan los circuitos del rotor de las máquinas con corrientes trifásicas de baja frecuencia y controlan su velocidad o su potencia activa o reactiva. La central eléctrica de almacenamiento por

bombeo de Avče, en Eslovenia, es la primera instalación de velocidad variable de Europa con un sistema convertidor de fuente de tensión de tres niveles de última generación de tiristor conmutado de puerta integrada (IGCT). El departamento MV Power Converter Systems (sistemas de conversión de potencia de media tensión) de ABB Switzerland Ltd presta los servicios de ingeniería electro-técnica y mecánica, instalación y puesta en servicio del sistema de excitación de CA, PCS 8000 AC Excitation, incluido un transformador de excitación. Después de terminar con éxito la puesta en servicio, se ha entregado la unidad al cliente SENG d.o.o. y se encuentra en explotación comercial desde abril de 2010.



**E**n Eslovenia, la generación de electricidad combina aproximadamente dos tercios de centrales nucleares y térmicas de carbón y un tercio de generación hidráulica, principalmente centrales fluviales. Estas capacidades de generación suministran principalmente la carga básica y la energía eléctrica intermedia. En estas circunstancias es difícil conseguir el control de la producción de electricidad en función de la demanda. El país se enfrenta a la falta de capacidad para suministrar picos de energía que cubran una demanda elevada y a un exceso de capacidad durante los períodos de baja demanda, especialmente durante la noche o los fines de semana. Con una gran diferencia de precios de la electricidad entre las horas de consumo máximo y de consumo bajo, esta situación determina una influencia negativa en el precio global de la energía. Al mismo tiempo, con conexiones transfronterizas con Italia, Croacia y Austria, Eslovenia se encuentra en la encrucijada del flujo internacional de energía en la nueva red europea de transporte de electricidad. La red eslovena debe

soportar su cuota de responsabilidad del transporte internacional de energía. Para satisfacer las necesidades y expectativas de los consumidores, hay que garantizar unas interconexiones adecuadas entre regiones y una capacidad de generación suficiente. Para mantener la continuidad del suministro eléctrico y evitar apagones, deben respetarse asimismo las reglas de las redes de transporte.

Basándose en estas consideraciones, Soške Elektranje Nova Gorica d.o.o. (SENG), filial de la empresa Grupo Esloveno de Energía HSE (Holdinga Slovenske Elektranje) d.o.o., decidió invertir en la primera PSPP del país. Las instalaciones de almacenamiento por bombeo hidráulico ofrecen la posibilidad de absorber grandes cantidades de energía en los períodos de precio bajo, especialmente de noche y durante

los fines de semana, transformando energía eléctrica en energía potencial mediante una bomba. En los períodos de gran consumo, cuando los precios de la electricidad son altos, la central utiliza el agua acumulada para generar electricidad. Con este proceso de generación con almacenamiento, las centrales nucleares y térmicas de car-

---

La principal ventaja de la solución de velocidad variable es la posibilidad de una regulación de la potencia activa en el modo de bombeo.

bón pueden trabajar de forma continua en el punto óptimo de funcionamiento, incluso en períodos de demanda reducida. De esta forma se pueden reducir las costosas e

---

**Imagen del título**

Vista de la presa superior de la planta de almacenamiento por bombeo de Avče y de su entorno.

Las instalaciones de almacenamiento por bombeo hidráulico ofrecen la posibilidad de absorber grandes cantidades de energía en los períodos de precio bajo. En los períodos de consumo elevado, la central utiliza el agua acumulada para generar electricidad.

1 Central de Avče situada en la margen izquierda del río Soča, dominando la presa inferior



ineficaces variaciones de los puntos de consigna de la generación en las centrales de vapor.

La ubicación de Avče, cerca de la ciudad de Nova Gorica, en la frontera occidental del país, tiene la ventaja de abastecer a las instalaciones de los embalses bajos del río Soča, pero también de disponer de una gran variación geológica en elevación → 1. Además, la subestación conecta eléctricamente la central al actual bucle norte de 110 kV de Primorska, que está asimismo conectado a una línea de transporte transfronteriza con Italia, a algunos kilómetros de distancia. La central de almacenamiento por bombeo apoyará también el desarrollo de instalaciones de generación hidráulica clásica de la región. Para crear la planta de almacenamiento por bombeo se construyeron la presa superior, la galería de aducción, la chimenea de equilibrio, la conducción forzada y la central. La central, situada en la margen izquierda del río Soča, consta de un pozo de 80 m de profundidad con una sección en superficie. Dentro del pozo se han montado los grupos reversibles de bomba-turbina y motor-generador con sus elementos auxiliares. El edificio de la central está equipado con el dispositivo del sistema de excitación, además de interruptores, transformadores, generador diésel, baterías, grúas móviles, etc.

#### Funcionamiento optimizado del almacenamiento por bombeo

Para explotar con la máxima eficiencia la central de almacenamiento por bombeo, SENG decidió instalar una unidad reversible de velocidad variable de 195 MVA. Esta configuración de almacenamiento por bombeo de velocidad variable presenta

muchas ventajas en comparación con las soluciones tradicionales de velocidad fija. En las soluciones clásicas de velocidad fija con máquinas síncronas solo se puede ajustar la potencia reactiva mediante la unidad de excitación. Durante la generación, solamente se puede ajustar la potencia activa de forma mecánica, por medio del álabe guía. En el modo de bombeo no es posible efectuar ningún ajuste de la potencia activa absorbida. Con una solución de velocidad variable, las potencias activas y reactivas del equipo se ajustan por medio del sistema de excitación de CA tanto en la operación de bombeo como en la de generación. Esto proporciona varias ventajas técnicas que se traducen en última instancia en ventajas económicas.

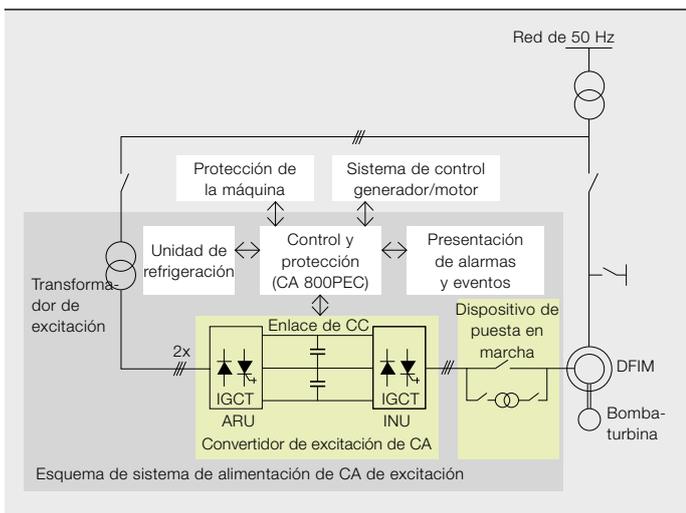
Los grupos reversibles de bomba-turbina Francis suelen estar diseñados para una caída del agua y una potencia nominales. Con los cambios continuos de la caída de agua real, los puntos de funcionamiento práctico con velocidad fija suelen estar en la zona del punto de diseño, pero no exactamente en él. Por tanto, los grupos bomba-turbina con unidades de velocidad fija trabajan habitualmente por debajo del rendimiento óptimo. En el modo de generador, el rendimiento del grupo bomba-turbina puede mejorarse para el trabajo con carga parcial ajustando la velocidad en función de la potencia necesaria y la caída de agua real, mientras que en el modo de bombeo el grupo bomba-turbina puede funcionar con rendimiento óptimo en función de la caída de agua real o en función de la potencia disponible en la red. Esto determina un margen de trabajo más amplio durante los períodos de bombeo y generación, con una mejora del rendimiento del

ciclo bomba-turbina de más del 77% en la central de almacenamiento por bombeo de Avče.

La principal ventaja de la solución de velocidad variable es la posibilidad de regulación de la potencia activa en el modo de bombeo, en el caso de Avče, dentro del intervalo del 65% al 100% de la potencia nominal. La posibilidad de controlar la potencia activa absorbida en el modo de bombeo permite un almacenamiento flexible de la energía de acuerdo con la potencia disponible en la red eléctrica, incluso si la potencia disponible fluctúa con arreglo a la diferencia entre producción y demanda. Esta flexibilidad es un buen ajuste para un comportamiento óptimo del almacenamiento y aumenta la cantidad de energía almacenada a igualdad de tiempo, pero a la vez reduce drásticamente el número de secuencias arranque-parada en comparación con las unidades de velocidad constante. Además, la regulación de la potencia activa ayuda al control de la frecuencia de la red primaria (servicio auxiliar) incluso en el modo de bombeo. Con unidades convencionales de velocidad fija, este servicio debe realizarse por separado con un generador durante los períodos de consumo y precios reducidos. Obviamente, generar electricidad cuando los precios son bajos no es económicamente sensato, por lo que las unidades de almacenamiento por bombeo de velocidad variable permiten maximizar las ventajas económicas generando mayores ingresos mediante el funcionamiento optimizado en régimen de bombeo-generación y servicios a la red.

La regulación de la potencia de las máquinas de velocidad variable cumple también una función importante en la integración de

## 2 Esquema de un sistema de excitación de CA



## 3 El sistema PCS 8000 AC Excitation de ABB en su solución en contenedor instalada en la central



cantidades aún mayores de fuentes de energía eólicas y renovables en general. La producción de las instalaciones de energía renovable no puede acomodarse a la demanda, ni siquiera en aquellas cuya producción pueda predecirse. El almacenamiento hidráulico por bombeo ofrece la solución mayor y más rentable para la integración en la red eléctrica real de fuentes de generación intermitentes. Además, se pueden evitar las emisiones añadidas de gases de efecto invernadero producidas en la generación de picos de energía en las centrales de turbina de gas.

### Excitación de CA de ABB

La unidad de almacenamiento por bombeo de velocidad variable incorpora una máquina de inducción doblemente alimentada (DFIM). Las máquinas de inducción doblemente alimentadas tienen conexión trifásica de anillo deslizante con el rotor devanado. Al aplicar al rotor corrientes de CA de baja frecuencia desde el llamado sistema de excitación de CA, se consigue el funcionamiento a velocidad variable. La frecuencia de las corrientes en el rotor está relacionada con la diferencia entre la velocidad real de giro y la velocidad síncrona, que depende de la frecuencia de la red. El PCS 8000 AC Excitation controla realmente el deslizamiento del rotor comparando con la velocidad síncrona. Al mismo tiempo, un control vectorial de las corrientes de excitación no solo permite controlar la velocidad/potencia activa, sino también la tensión/potencia reactiva de la máquina. Este último control se realiza de forma parecida mediante un sistema convencional de excitación de CC como el Unifit<sup>®</sup> de ABB para una máquina síncrona. La secuencia de

arranque/parada de la máquina se consigue con el mismo sistema de excitación PCS 8000 AC Excitation. No se precisa otro dispositivo de arranque.

Basándose en el hecho de que las unidades de velocidad variable controlan por separado las potencias activa y reactiva, se pueden conseguir otras aportaciones a la estabilidad de la red. Las centrales eléctricas de velocidad variable no precisan ninguna función de estabilizador de sistemas de potencia (PSS). El control de la potencia activa de la máquina mejora la estabilidad y permite una reacción rápida frente a perturbaciones de la red. Las unidades de velocidad variable actúan como elementos amortiguadores de la red en su conjunto, lo que significa que se absorben las oscilaciones de potencia creadas por los generadores síncronos. El control electrónico de la velocidad reduce drásticamente el tiempo de respuesta en comparación con el control mecánico del equipo de álabes de guía hidráulica. Puesto que la velocidad de la unidad no tiene por qué estar sincronizada con la red, se podría imaginar también una central eléctrica de velocidad variable como un almacenamiento en volante de inercia para fenómenos a corto plazo. Estas capacidades superiores de control se pueden utilizar para estabilizar líneas de transporte de gran longitud.

### El equipo de excitación PCS 8000 AC Excitation de ABB

Para el proyecto de Avče, el suministro de ABB comprendía el convertidor de excitación de CA, junto con su unidad de control y protección del convertidor, el transformador de excitación y los dispositivos para el arranque → 2. ABB era responsable de la

ingeniería, la gestión del proyecto, la fabricación y la prueba de aceptación en fábrica, así como de la instalación y puesta en servicio in situ. El proyecto entero se ejecutó y dirigió desde la planta de producción de la división Automation Products de ABB ubicada en Turgi, Suiza. La planta de producción de Turgi es responsable de los sistemas PCS 8000 AC Excitation para todo el mundo.

La excitación de CA se suministra como una solución dentro de un contenedor, e incluye el convertidor, la cabina de control y protección y la unidad de refrigeración por agua → 3, 4, 5. Todo el conjunto se montó y se probó totalmente en las instalaciones de ABB a fin de asegurar una instalación y un tiempo de puesta en servicio reducidos. El software de control, incluidas las funciones de protección del convertidor y el transformador de excitación, se comprobó en fábrica antes de la puesta en servicio en un simulador en tiempo real de hardware en bucle. Una vez más, esto mejoró radicalmente el tiempo de puesta en servicio in situ y evitó los tiempos de espera durante los períodos de prueba.

El sistema de excitación de CA de ABB se basa en una topología avanzada de convertidor de fuente de tensión (VSC) de tres niveles. Los convertidores de frecuencia de electrónica de potencia de ABB tienen una dilatada tradición. La primera generación se entregó en el decenio de 1970. La tecnología VSC ha sido utilizada por ABB para diversas aplicaciones tales como interconexión de redes ferroviarias, compensadores estáticos de energía reactiva (STATCOM), convertidores estáticos de frecuencia para aplicaciones de suministro de energía y, desde principios del decenio

4 Vista del interior de la central con el sistema PCS 8000 AC Excitation de ABB



6 Disposición del convertidor de IGCT PCS 8000 AC Excitation en el interior del contenedor



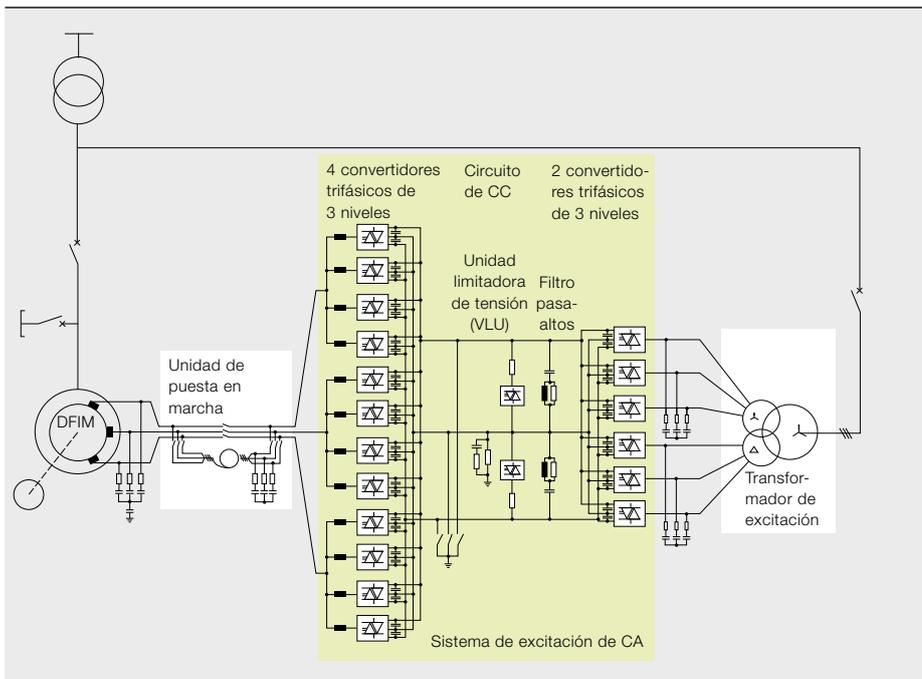
5 Transformador de excitación de CA con 3 conductos de bus (en amarillo, a la izquierda) para la alimentación de los devanados del primario y la conexión de 6 buses al ARU de 12 pulsos



de 1990, excitación de CA para DFIM en convertidores de frecuencia rotativos. Con más de veinte convertidores de excitación de CA instalados, ABB ofrece una amplia experiencia en aplicaciones de DFIM. Los algoritmos de control utilizados para los convertidores de frecuencia rotativos se mejoran continuamente desde hace más de treinta años. Esta abundante experiencia demostrada en la práctica ha ayudado a establecer los requisitos específicos para aplicaciones de almacenamiento por bombeo, y garantiza una instalación y operación del equipo fiable y segura. La topología del convertidor de fuente de tensión de ABB se basa en elementos de semiconductores IGCT montados en los denominados bloques funcionales de electrónica de potencia (PEBB) de tres niveles → 6. Los convertidores se montan a partir de estos PEBB. Para los requisitos del proyecto Avče, la configuración del sistema PCS 8000 AC Excitation contiene dos sistemas trifásicos en la unidad de rectificador activo (ARU) y un sistema trifásico en la unidad inversora (INU) conectados conjuntamente por una sola conexión de CC → 7. La llamada “topología ARU de 12 impulsos” presenta ventajas típicas de comportamiento de armónicos. La INU tiene cuatro ramas de fase en paralelo para suministrar en el rotor las corrientes necesarias para el funcionamiento deseado, incluyendo la reserva para situaciones transitorias. El acoplamiento de los dos inversores de tensión se realiza por medio de una conexión de CC que proporciona una flexibilidad operativa muy alta. La frecuencia, la tensión y el factor de potencia se pueden controlar de for-

ma independiente en ambos lados, sin que sea necesario el suministro de energía reactiva al sistema de excitación. El enlace de CC está equipado con una unidad limitadora de tensión (VLU). La misión de la VLU es asegurar que la tensión del enlace de CC se mantenga dentro de los límites. Los elementos semiconductores IGCT son una tecnología de vanguardia para los convertidores de alta potencia porque proporcionan las ventajas de desconexión de puerta (GTO) junto con las ventajas de los semiconductores transistores bipolares de puerta aislada (IGBT). Las pérdidas de conducción son bajas, como en los GTO, y las transiciones entre estados son relativamente rápidas, como en los IGBT. Debido a la estructura monolítica, los IGCT muestran el mismo comportamiento con sobrecargas que los tiristores y los GTO. En caso de fallo de un semiconductor, la corriente creará un canal de conducción en la oblea de silicio. En condiciones de fallo, este comportamiento asegura la integridad mecánica del encapsulado de los semiconductores, así como el camino conductor del circuito del rotor en las aplicaciones de velocidad variable, evitando sobretensiones peligrosas en el rotor. No todos los demás tipos de semiconductores disponibles en el mercado suelen mostrar el mismo comportamiento a prueba de fallos. El sistema de control de la excitación de CA se basa en la plataforma AC 800PEC de ABB, especialmente diseñada para el control a alta velocidad de los semiconductores de potencia. El armario de control alberga el hardware del controlador AC 800PEC y los dispositivos necesarios

**7 Esquema detallado del sistema PCS 8000 AC Excitation con su unidad simple DC Link para mejorar la estabilidad del sistema y optimizar el espacio ocupado**



de entrada/salida de los sistemas de control del generador/motor, el convertidor de excitación de CA, el transformador de excitación, el sistema de refrigeración y los transformadores de tensión/intensidad. El controlador AC 800PEC pertenece a la bien asentada familia 800xA de ABB y combina una CPU muy potente y una gran matriz de puertas programable sobre el terreno que adapta el AC 800PEC para el control de sistemas de electrónica de potencia exigentes.

Los algoritmos de control de ABB incluyen bucles para velocidad/potencia activa y controles de tensión/potencia reactiva, control de enlaces de CC, secuencias de arranque/parada y sincronización, así como control de los dispositivos auxiliares del sistema, tales como unidades de refrigeración por agua, ventiladores de refrigeración, etc. Además, el AC 800PEC (PEC de control) gestiona las comunicaciones con el sistema de control de la unidad superpuesto y el control de excitación/regulador, y proporciona los puntos de consigna para el funcionamiento. La supervisión y protección del convertidor y el transformador de excitación se programan en otro controlador AC 800PEC (PEC de protección). Sin embargo, con el fin de garantizar la seguridad del equipo, se programan también las principales funciones de protección como el respaldo en el PEC de control, que ofrece redundancia para el esquema de protección principal.

Con un PC de servicio es posible poner en marcha todo el software de mantenimiento y diagnóstico localmente por el personal de ABB, o por medio de una conexión adecuada por Internet, también a distancia. Esta función de acceso a distancia permitió a ABB apoyar activamente desde sus oficinas las pruebas de las máquinas de inducción doblemente alimentadas, realizadas en la central durante la puesta en servicio del motor-generador. ABB pudo fijar los puntos de consigna de potencia y velocidad de acuerdo con las necesidades de las pruebas sobre el terreno que se comunicaron por teléfono. Esto redujo el número de especialistas de ABB desplazados al lugar y, por tanto, el coste de la puesta en servicio. Las secuencias de inicio/parada de la máquina se consiguen con el mismo sistema PCS 8000 AC Excitation sin necesidad de otro equipo para el arranque. La función de arranque en el modo de motor está totalmente integrada en el software del PCS 8000 AC Excitation, además de la sincronización y las secuencias de parada. Se ha instalado una unidad de arranque que aumenta la tensión del rotor durante esa fase. Esto permite poner en marcha el equipo y sincronizarlo en menos de cuatro minutos y medio para la operación de bombeo. En el modo de generador, el proceso es similar a las máquinas síncronas. En ambos casos, sin embargo, puesto que el motor/generador es una máquina asíncrona, la sincronización de la unidad no debe realizarse a la veloci-

**8 La presa y el bello paisaje de la central eléctrica de Avče**



dad síncrona. Solo se debe tener en cuenta la tensión del estator y la diferencia de fase en ambos lados del interruptor del generador.

**Rodeada de belleza**

La central eléctrica de bombeo de velocidad variable de Avče, con equipo convertidor de fuente de tensión PCS 8000 AC Excitation de ABB, aporta ventajas muy importantes al explotador del emplazamiento, SENG d.o.o., y al explotador de la red. Se ajusta a la perfección a los requisitos de la red eléctrica, a la situación geográfica y a los aspectos económicos → 8. Genera picos de energía fuera de los períodos de poca demanda, ofrece flexibilidad de funcionamiento en el mercado abierto de la electricidad y aporta reservas primarias para el servicio de control de la red, estabilizando al tiempo las líneas de transporte de electricidad de las inmediaciones. Con su rápido arranque en los modos de turbina y bombeo, la DFIM de Avče, incluso cuando está fuera de línea, mantenida en reserva por el explotador de la red, está lista para arrancar al instante si se produce un desequilibrio brusco en la situación de la red. Además, ofrece beneficios no cuantificables producidos por el desarrollo turístico en la zona del embalse superior que aumenta el atractivo del bello paisaje de esta región de Eslovenia.

**Steve Aubert**

ABB Automation Products  
Turgi, Suiza  
steve.aubert@ch.abb.com

# Aplicación inteligente

Aplicación de equipos inteligentes para aumentar los beneficios de los distribuidores de electricidad y los clientes residenciales

PETR GURYEV, ENRICO RAGAINI – El Stockholm Royal Seaport es uno de los primeros grandes proyectos de redes inteligentes de Suecia. Se va a reconstruir una zona urbana de tres distritos, incluido el puerto, basándose en nuevos criterios para una ciudad inteligente. La generación local de energía renovable, la vida en casas inteligentes y el uso de vehículos eléctricos (VE) no son más que algunas de las tecnologías modernas que se utilizarán para la ciudad sostenible. ABB está trabajando junto con Fortum, una de las mayores compañías nórdicas de producción y distribución de calor y electricidad, para ayudar a rediseñar los métodos de distribución de electricidad. Fortum está explorando las distintas posibilidades de este proyecto que es posible gracias a la red inteligente. Una necesidad típica de este tipo de proyectos es un análisis de coste/beneficios de las tecnologías de red inteligente que pueden utilizarse para mejorar la fiabilidad de la red y reducir los tiempos de inmovilización. Estos análisis demuestran que los beneficios obtenidos con equipos inteligentes en forma de menores pérdidas de ganancias y penalizaciones justifican la inversión de capital.

**A**l cambiar la legislación en Suecia y hacerse más exigentes las reglamentaciones en toda Europa, las compañías de distribución deben ahora resolver más rápidamente los problemas de los cortes de suministro en las redes de distribución. La frecuencia y la duración de los cortes de electricidad se miden generalmente mediante los indicadores de fiabilidad SAIFI

(índice de frecuencia media de interrupciones del sistema) y SAIDI (índice de duración media de las interrupciones del sistema). Cuantos menos cortes de electricidad se produzcan y cuanto menos duren, tanto menores serán los índices y las penalizaciones y compensaciones que tendrá que pagar una compañía de distribución.

Los criterios de diseño para el proyecto Stockholm Royal Seaport incluyen mejoras en la calidad del suministro de electricidad y reducciones de los cortes. En el desarrollo del proyecto se utilizaron los siguientes requisitos:

## Imagen del título

Interpretación artística, cortesía de la ciudad de Estocolmo y el sistema Aaro Design





## 1 Comparación de soluciones de subestaciones de baja tensión

Resumen	Diseño clásico (sin supervisión ni redundancia)	Interruptores/ conmutadores con supervisión/control	Líneas de alimentación redundantes con selectividad y supervisión/control avanzados
Sencillez	+	-	-
Inversión inicial	Muy pequeña	Moderada	Grande
Tiempo para la identificación de fallos	Grande	Pequeño	Pequeño
Tiempo hasta reanudar el suministro	Muy grande	Grande*	Muy pequeño
Supervisión a distancia	-	+	+
Control remoto	-	+	+

\* Depende de la configuración del interruptor, la utilización del interruptor en paralelo y el tipo de corte de suministro

La supervisión y el control a distancia de los equipos aportan una reducción importante de los tiempos de interrupción del servicio en muchas situaciones.

- Reducción de la carga para evitar apagones cuando el sistema eléctrico se encuentre en una situación crítica
- Posibilidad de evitar cortes debidos a sobrecargas
- Consecuencias mínimas de los cortes por cortocircuitos
- Coste de propiedad mínimo (incluyendo la adquisición inicial de equipos, su explotación y mantenimiento y la compensación por averías)
- Tiempo de amortización reducido

### Mejorando lo tradicional

Los diseños clásicos de instalaciones de baja tensión (BT) presentan ventajas e inconvenientes intrínsecos. El diseño tradicional de una estación transformadora de media tensión (MT) y BT para clientes no industriales se basa normalmente en fusibles, que protegen cada línea saliente de BT, y suelen utilizarse líneas radiales. Las ventajas de este diseño son el bajo coste y la protección fiable frente a cortocircuitos y sobrecargas. Por otro lado, debido a la ausencia de supervisión y control a distancia, es necesaria la recuperación manual del suministro, lo que a veces cuesta mucho tiempo. De hecho, la empresa puede tarde varios minutos, o incluso varias horas, en saber que se ha producido una avería.

La alternativa es el uso de interruptores automáticos electromecánicos en vez de fusibles, lo que en algunos casos se traduce en una mejor protección coordinada. Las estaciones de mayor tamaño pueden utilizar dos transformadores en lugar de uno solo. Estos diseños "clásicos" también pueden sufrir las consecuencias de la gestión manual de averías y de la ausencia de supervisión.

Sin embargo, los diseños tradicionales pueden mejorarse mediante tecnologías modernas, especialmente en el campo de la electrónica y las comunicaciones. En las aplicaciones de redes inteligentes, como en el Stockholm Royal Seaport, el diseño de la red de baja tensión utiliza aparatos y aparataje con supervisión y control a distancia. Además, el diseño del sistema eléctrico se basa en líneas redundantes con coordinación de protección avanzada.

La supervisión y el control a distancia de los equipos aportan una reducción importante de los tiempos de interrupción del servicio en muchas situaciones. En caso

La supervisión a distancia optimiza el funcionamiento del sistema eléctrico.

de cortocircuito, la información sobre la avería se transmite inmediatamente a la compañía, que puede adoptar las medidas oportunas. La información transmitida puede incluir datos acerca de las intensidades y tensiones de avería, que son útiles para localizarla. Además, la supervisión a distancia optimiza el funcionamiento del sistema eléctrico. En caso de sobrecarga o en una situación próxima al apagón, cuando el consumo de energía se hace excesivo, se pueden desconectar algunas cargas. Se puede controlar en tiempo real la energía producida por fuentes renovables, como los paneles solares.

ABB ofrece una amplia gama de productos para el control y la supervisión a distancia de las redes de baja tensión,



como medidores de potencia que pueden comunicarse y que pueden instalarse junto con interruptores automáticos electromecánicos o conmutadores con fusibles. Esta solución es especialmente útil para remodelar subestaciones ya existentes. Una solución innovadora, que ofrece la máxima compacidad, es el interruptor automático con unidad de medición integrada. La unidad incluye protección, medición y comunicación en un solo elemento.

La supervisión a distancia puede reducir el tiempo de detección y el intervalo hasta la recuperación del suministro. Sin embargo, en caso de cortocircuito no puede restaurarse el servicio hasta que un equipo de reparación haya identificado y eliminado la causa de la avería. En un diseño tradicional, las líneas radiales no disponen de ruta redundante para el suministro eléctrico. Si se produce una avería en una parte de la línea y ésta es desactivada por el correspondiente dispositivo de protección, toda la parte situada después de la línea queda desconectada, lo que puede dejar sin

suministro a varios clientes. Puesto que ahora también se exige que el número de clientes afectados por la avería sea mínimo, puede aplicarse para conseguirlo una estrategia específica de diseño basada en nuevas tecnologías tales como líneas redundantes y protección mediante interruptores automáticos avanzados. Se consiguen mejoras importantes con líneas redundantes en el diseño de la red de baja tensión, ya que se dispone de dos vías alternativas para conectar cualquier cliente con el sistema eléctrico. Además, cada línea se divide en secciones separadas por interruptores o conmutadores. Solo se desconectan las secciones en las que se produzca la avería. Junto con los es-

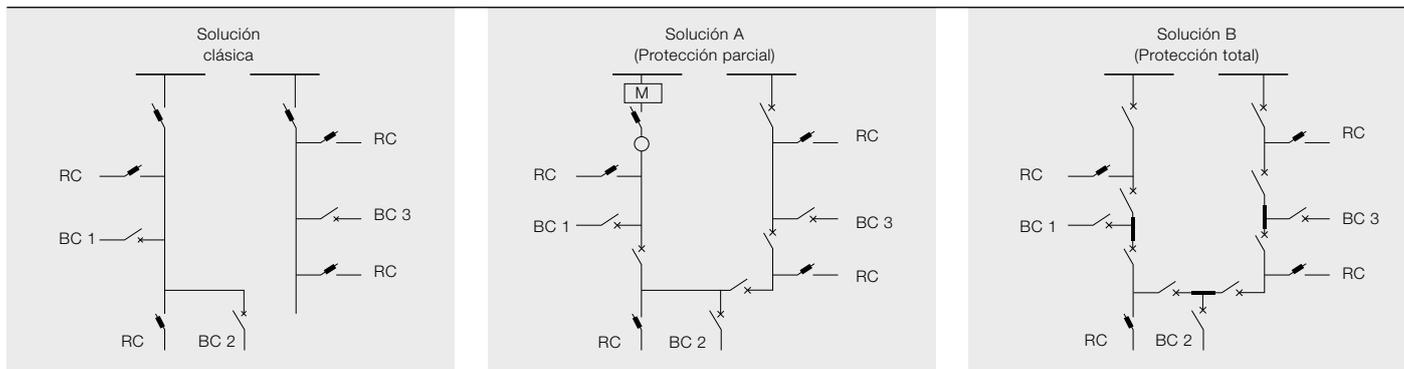
quemas avanzados de selectividad puestos en práctica por los interruptores inteligentes, este diseño permite restaurar el suministro a todas las cargas que no estén

directamente conectadas a la sección averiada de la línea en muy poco tiempo → 1. Las líneas redundantes se suelen utilizar en la distribución de media tensión, donde son usuales líneas diseñadas en anillo que pueden alimentarse desde ambos extremos. Cada línea se divide en segmentos, separados por interruptores automáticos o conmutadores-seccionadores. La línea funciona como un bucle cerrado, es decir, con todos los interruptores cerrados, o como bucle abierto, con uno de los interruptores abiertos, lo que en realidad crea

**Se pueden conseguir mejoras importantes utilizando líneas redundantes en el diseño de la red de BT.**

dos líneas radiales, cada una de ellas alimentada por una de las estaciones terminales. Cuando se detecta un cortocircuito, según la localización de la avería, solo se

### 3 Diseños clásico y propuesto para la subestación de baja tensión y la red de distribución



### 4 Cuota de compensación evitable en escenarios comparados

Tipo de corte	Costes en caso de corte de suministro %	Solución clásica	Solución A	Solución B
Sobrecarga	Indemnización a clientes residenciales	50 %	0 %	0 %
	Indemnización a clientes comerciales	50 %	0 %	0 %
	Trabajo del personal de reparación	100%	0 %	0 %
Corto-circuito	Indemnización a clientes residenciales	50 %	33 %	33 %
	Indemnización a clientes comerciales	50 %	33 %	0 %
	Trabajo del personal de reparación	100%	100%	100%

Los interruptores pueden identificar dónde se ha producido un fallo y desconectar solo esa parte de la red.

abre un determinado subconjunto de interruptores, de forma que se desconecta del sistema la sección defectuosa de la línea, y se mantienen conectadas todas las demás cargas.

El funcionamiento en bucle cerrado proporciona la máxima ventaja operativa en forma de menor tiempo de interrupción del suministro. Permite identificar y desconectar automáticamente la sección defectuosa de la línea, sin interrupciones del servicio en las demás secciones. Esto requiere elementos de protección con detección direccional, que se están haciendo cada vez más comunes en instalaciones de MT.

Para obtener ventajas similares en las líneas de baja tensión, pueden utilizarse interruptores con protección direccional e interbloqueo lógico. Cada interruptor reconoce la dirección de la corriente de avería y envía al interruptor situado más arriba una señal de bloqueo de disparo, es decir, una señal que impide la apertura. La señal de bloqueo se propaga entonces de un interruptor al siguiente, a lo largo de todo el recorrido hasta la estación de alimentación. El interruptor que se encuentra directamente frente a la avería no recibe señal de bloqueo, por lo que se elimina inmediatamente el fallo. Si la línea está alimentada en ambos extremos, ocurre lo mismo en ambas direcciones. El resultado final es que se abren los dos interruptores que están directamente frente a la avería, mien-

tras todos los demás permanecen cerrados y mantienen la alimentación de todas las cargas que no están directamente afectadas por la avería. Los interruptores de baja tensión con protección direccional e interbloqueo lógico son una tecnología exclusiva de ABB. Diseñados originalmente para aplicaciones de suministro crítico, como las instalaciones marinas, esta tecnología está encontrando nuevas aplicaciones como componente de las redes inteligentes. En todos los interruptores de aire de baja tensión de ABB, tales como los Emax E1 a E6 y X1, con una intensidad nominal mínima de 630 A [1], se dispone de protección direccional integrada.

El requisito más crítico para reducir apagones innecesarios y minimizar las consecuencias de cualquier avería es la selectividad. En otras palabras, la capacidad de los interruptores para identificar si se ha producido un fallo y desconectar solamente esa parte de la red. Se trata de un requisito complicado, especialmente en las líneas menores, donde se prefieren interruptores de caja moldeada por su tamaño compacto, su reducido tiempo de interrupción y la limitación más eficiente de la energía del fallo. Hasta hace poco, no existía para esos dispositivos un sistema de selectividad de zona. Para impedir disparos del interruptor, la detección de la avería y el procesamiento de la señal deben realizarse en menos de 1 ms, algo imposible para las

unidades embebidas de protección existentes.

Un notable avance reciente de la tecnología de baja tensión ha sido el desarrollo por ABB de un sistema exclusivo de protección con interbloqueo rápido, que permite a los interruptores identificar y desconectar automáticamente la sección defectuosa de la línea en menos de 5 ms. Esta protección, denominada protección por detección temprana de fallos (EFDP), está disponible en los interruptores T4 a T6 de la generación Tmax de caja moldeada, homologados para 250 A a 1.000 A → 2. Cuando se utilizan interruptores EFDP, se asegura la selectividad de zona. Cada interruptor que detecta un cortocircuito envía una señal de bloqueo de disparo a los situados más arriba, de modo que solamente se abrirá aquél que está directamente frente a la avería. A su vez esto reduce todo lo posible la parte de la red que se desconecta del sistema.

### Análisis económico y plazo de amortización

Durante la fase de estudio previo del proyecto Stockholm Royal Seaport, ABB desarrolló un árbol de decisiones de varias situaciones comerciales para soluciones de automatización de líneas basadas en los perfiles del cliente y las funciones necesarias.

---

Si se puede evitar el corte, el personal de reparación no tendrá que trabajar.

Para ilustrar una de las situaciones analizadas, mostrar sus ventajas y calcular el período de amortización, se han planteado las siguientes hipótesis acerca de los gastos relacionados con los cortes de suministro. Estos gastos pueden evitarse parcial o totalmente:

#### Indemnización a clientes comerciales

Suponiendo que un cliente comercial sea una tienda de barrio o un pequeño restaurante, su jornada de trabajo normal será al menos de 12 horas. Esto significa que puede tener un máximo de 12 horas de pérdida del suministro eléctrico al día. La indemnización a los clientes comerciales se encuentra entre los mayores de todos los gastos posibles, que pueden evitarse parcial o totalmente con la solución.

#### Indemnización a clientes residenciales

Suponiendo que sean los propios clientes los que soliciten la indemnización de acuerdo con la legislación sueca, esta obligación se aplica si el corte dura más de 12 horas. El valor de la indemnización para los clientes residenciales es fijo y moderado en el ámbito de los gastos evitables.

#### Trabajo del personal de mantenimiento

Si se puede evitar el corte, el personal de reparación no tendrá que trabajar. El valor del trabajo del personal de reparación es moderado, pero se acumula con cada hora de duración del corte y supone el segundo en importancia dentro de los gastos evitables.

#### Automatización avanzada de las líneas para subestaciones y redes de distribución de BT

Para satisfacer los requisitos establecidos por el proyecto, se sugieren dos posibles diseños para subestaciones y redes de distribución de baja tensión → 3. Los diseños propuestos tienen el menor precio posible y cumplen esos requisitos.

Se utiliza aquí la situación tradicional para la comparación con las soluciones A y B de automatización avanzada de líneas. Se contemplan tres clientes comerciales en la situación tradicional, que están situados en dos líneas no redundantes. Una compañía de distribución no tiene que compensar los cortes provocados por los clientes, pero sí debe indemnizar en el caso de que fuera consecuencia

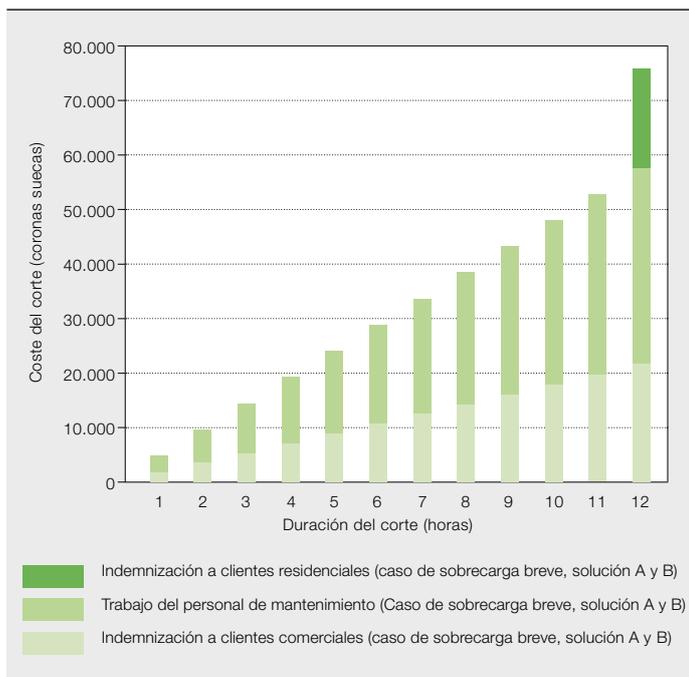
de un cable dañado que suministre energía al cliente. Si se produce un cortocircuito o una sobrecarga en cualquier sección de una línea, la indemnización media que deberá pagar una compañía de distribución es el 50% de la indemnización total si los tres clientes comerciales se quedaran sin suministro.

La solución A muestra el diseño de la línea redundante, con cajas de empalme para la conexión de secciones de líneas redundantes. Esta solución ofrece protección total frente a sobrecargas, y parcial para cortocircuitos a los clientes comerciales y residenciales, lo que significa que pueden producirse cortes en una de las tres secciones de la línea redundante y que solo los clientes residenciales y comerciales de dicha sección quedarán sin suministro. De esta forma, la indemnización media paga-

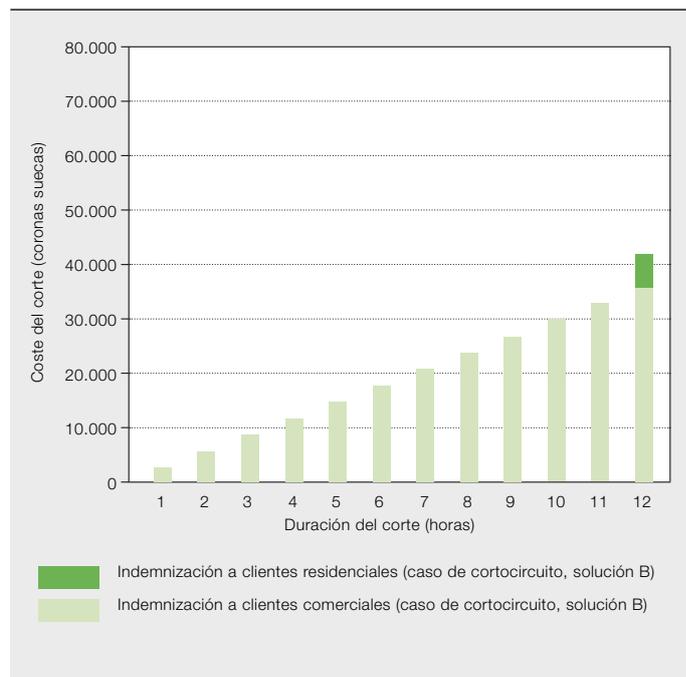
---

Los interruptores con EFDP envían una señal de bloqueo de disparo a los situados más arriba, de modo que solamente se abrirá aquél que está directamente frente a la avería.

## 5 Costes acumulados que pueden evitarse si el corte dura de 1 a 12 horas cuando se aplican las soluciones A o B



## 6 Costes acumulados que pueden evitarse si el corte dura de 1 a 12 horas cuando se aplica la solución B



La elección de la solución apropiada se basa en la probabilidad de los distintos tipos de fallos y en el importe de la indemnización a pagar en cada caso.

da a los clientes residenciales y comerciales asciende solamente al 33% de la posible indemnización si todos los clientes se hubieran quedado sin suministro.

La solución B representa el diseño en que los clientes comerciales se conectan a la línea redundante por medio de pequeñas cabinas con barras de distribución. Se utilizan en cada cabina dos interruptores de la alimentación, lo que permite que cada barra de distribución reciba alimentación en ambas direcciones. Además, se emplean interruptores inteligentes con protección direccional en todo el recorrido hasta la estación de la línea. Esta solución también ofrece protección total contra sobrecargas, protección parcial contra cortocircuitos a los clientes residenciales y protección total a los clientes comerciales. La posibilidad de un cortocircuito en las barras de distribución dentro de la cabina suele ser muy baja. Si se produce un cortocircuito en una de las tres secciones dentro de la línea redundante, la compañía distribuidora pagará a los clientes residenciales un promedio del 33% de la posible indemnización total si todos los clientes se hubieran quedado sin suministro, y no pagaría ninguna indemnización a los clientes comerciales.

En la figura → 4 se presenta un resumen de los cortes y de las indemnizaciones pagadas por una compañía distribuidora aplicando distintas soluciones.

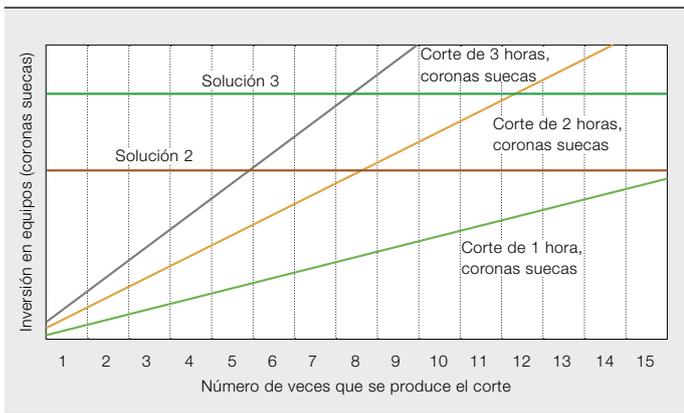
La elección de la solución A o B para una instalación determinada se basa en la pro-

babilidad de ocurrencia de los distintos tipos de fallos (sobrecarga frente a cortocircuitos), y en el importe de la indemnización a pagar en cada caso. En caso de un cortocircuito, la solución A producirá, por término medio, tiempos de corte mucho más largos para los clientes comerciales que la solución B, por lo que puede ser preferible esta última. Ambas soluciones son prácticamente equivalentes frente a las sobrecargas. Si la red tiene una probabilidad reducida de sufrir cortocircuitos porque, por ejemplo, los cables están instalados en conductos con protección física, y la probabilidad de que se produzcan sobrecargas es alta, puede ser aconsejable la solución A. Hay que ponderar estos factores frente al coste del equipo, que es menor para la solución A.

De acuerdo con las hipótesis del análisis económico, en la figura → 5 se presenta un resumen de los gastos acumulados que una compañía distribuidora puede evitarse en caso de sobrecarga aplicando las soluciones A o B en comparación con la solución tradicional.

Los gastos acumulados evitables para la empresa distribuidora que pueden ahorrarse en el caso de un cortocircuito aplicando la solución B, en comparación con la situación tradicional, se muestran en la figura → 6. Si la red no tiene clientes comerciales, o tiene clientes comerciales a los que solo se debe abonar una pequeña indemnización en caso de pérdida de suministro, la recomendación es aplicar la solución A.

## 7 Período de amortización de las soluciones A y B evitando sobrecargas de distintas duraciones y frecuencias



### Período de amortización

Para evaluar el período de amortización de los equipos es importante tener presente que el análisis económico se basa en los factores de riesgo de ocurrencia de un determinado tipo de corte y de la frecuencia con que ocurre. Para redes existentes con índices de calidad bajos, se puede utilizar un registro histórico de los tipos de corte y sus duraciones para estimar el período de amortización esperado. En este caso, al aplicar la solución A o B, una compañía de distribución tendrá el mismo número de cortes que en el pasado, pero se reducirán las consecuencias económicas. El período de amortización total del equipo depende de la frecuencia y la duración de los cortes del suministro que se

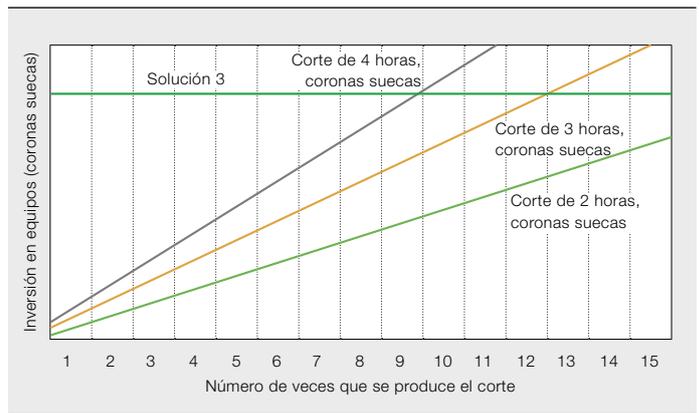
La aplicación de una tecnología inteligente en las situaciones consideradas para el proyecto Stockholm Royal Seaport ofrece a los distribuidores ahorros y mejoras de la fiabilidad.

producen en una determinada línea redundante en caso de sobrecarga → 7. El tiempo de amortización cuando se aplica únicamente la solución B en caso de cortocircuito es diferente al comparar con la

evaluación de las soluciones A y B juntas debido a ciertas pérdidas inevitables → 8. Los períodos de amortización que se muestran dependen del número y el tipo de clientes situados en la línea redundante y del precio del equipo. Las hipótesis sobre los clientes se considera que son las habituales en el mercado sueco. Esas hipótesis utilizan también listas de precios de los equipos, lo que significa que el período total de amortización puede disminuir considerablemente en función de los descuentos que un cliente negocie al adquirir el equipo. La decisión de aplicar las soluciones A o B de automatización avanzada de líneas se basa siempre en una evaluación de los riesgos del corte del suministro. Sin embargo, cuando sea adecuado aplicar la solución A o la B, la solución ofrecida proporciona un “seguro” a la compañía distribuidora de que, si se produce un corte, se evitarán las indemnizaciones, penalizaciones o gastos, o se reducirán considerablemente.

Las soluciones propuestas de automatización avanzada de las líneas tienen un período de amortización relativamente breve y pueden aumentar considerablemente los índices de calidad de las redes de distribución de baja tensión. Dichas soluciones encajan muy bien con las necesidades de las redes inteligentes, que permiten la supervisión y el control a distancia junto con una fiabilidad elevada y unas consecuencias mínimas de los cortes. Se recomienda este tipo de solución para redes con una probabilidad elevada de sobrecargas y con costes elevados de indemnización a los clientes comerciales en caso de corte del suministro. El equipo tiene una vida útil de 20 años, lo que supone una mejora importante y valiosa para redes de baja tensión con un período de amortización relativamente corto que no es corrien-

## 8 Período de amortización de la solución B evitando sobrecargas de distintas duraciones y frecuencias



te en este tipo de equipos de distribución. La aplicación de una tecnología inteligente en las situaciones consideradas para el proyecto Stockholm Royal Seaport ofrece a los distribuidores ahorros y mejoras de la fiabilidad, pero asimismo permite que los clientes residenciales puedan dedicarse a sus vidas y actividades con la mínima perturbación posible del suministro eléctrico.

### Petr Guryev

ABB Global Trainee Program  
Zurich, Suiza  
petr.guryev@ch.abb.com

### Enrico Ragaini

ABB Low Voltage Products  
Bérgamo, Italia  
enrico.ragaini@it.abb.com

### Bibliografía

- [1] Viaro, F. “Noticias de última hora: Productos de fácil uso, para las nuevas exigencias e los clientes y para el medio ambiente”. *Revista ABB* 3/2004, pp. 27–31.

### Lecturas recomendadas

Encontrará más información sobre las protecciones EFDP en el documento de aplicaciones técnicas de ABB, “Low voltage selectivity with ABB circuit-breakers”, con referencia 1SDC007100G0204.



# Arquitectura de software que dura

Una arquitectura de software inteligente que crea valor y protege las inversiones de producto a corto, medio y largo plazo

**ALDO DAGNINO, PIA STOLL, ROLAND WEISS – La participación y complejidad del software en casi todos los productos de ABB es ahora mayor que nunca, y la tendencia se está acelerando. De hecho, algunos productos son solo software. A medida que este software industrial crece en complejidad e influencia, su mantenimiento y sostenibilidad a largo plazo se transforman en factores muy importantes para la buena rentabilidad de las inversiones durante toda su vida útil. Por ello es esencial que se base en una arquitectura apropiada y duradera.**

## Imagen del título

En el corazón de muchas de las tecnologías visibles e invisibles que sustentan nuestra vida diaria se encuentra un software sofisticado. Bajo la superficie de este paisaje urbano, por ejemplo, hay todo un mundo de sistemas de software complejos e indispensables. Pero, independientemente de que el sistema sea un software para la gestión de edificios que controle una torre de 100 plantas o un paquete para la negociación mundial de acciones que funciona en una de las empresas alojadas allí, todos comparten una cualidad fundamental: una arquitectura de software sólida y robusta.

**E**l mundo en que vivimos se basa en una red de tecnologías increíblemente complicada. Las redes eléctricas equilibran delicadamente una gran variedad de activos de generación y distribución y nos suministran electricidad garantizada sin esfuerzo con solo accionar un interruptor. Una cadena increíblemente compleja de milagros tecnológicos transportan una molécula de petróleo desde un yacimiento marino hasta el surtidor de una gasolinera; cada cosa que compramos y consumimos nos llega a través de una serie asombrosamente compleja de acciones coordinadas, la mayoría ocultas a nuestra vista. Como individuos, solo interactuamos directamente con la punta de este iceberg tecnológico. ABB suministra muchos de los productos que, ocultos, proporcionan esta estructura material a nuestra sociedad. En el corazón de gran parte de esta infraestructura, que ahora es con frecuencia esencial está el software. Y la proporción y complejidad de este software ahora es mayor que nunca, una tendencia que no muestra signos de cambiar.

Algunos productos de ABB son solo software. En otros, los componentes de software y hardware trabajan en estrecha colaboración, y hay otros en los que el software está integrado en el propio hardware del producto. Se encuentran en todas las aplicaciones industriales: empresas de agua, gas y electricidad, industrias de procesamiento (como las de la pasta y el papel, el petróleo y el gas, la petroquímica, la farmacéutica, la química, etc.) y en todo tipo de plantas manufactureras.

Un contenido tan grande de software hace que los productos sean muy adaptables, confiere fuertes capacidades de toma de decisiones y promueve un mayor grado de autonomía de los sistemas. A su vez, esto ha cambiado el papel de los operarios, que ya no emplean su experiencia para establecer manualmente los valores de control,

---

**Para obtener una rentabilidad atractiva de la inversión, un sistema industrial basado en software debe ser totalmente sostenible durante décadas.**

sino que actúan como supervisores, aplican los ajustes más delicados y detectan averías. Actualmente, un sistema industrial

---

## Los arquitectos tienen que saber cómo puede influir en los requisitos de arquitectura del software el cambiante entorno empresarial de los clientes.

moderno es capaz de controlar un proceso con una intervención mínima del operario y de interactuar de forma autónoma con muchos sistemas de la planta.

Se crea una sinergia funcional aún mayor cuando los componentes del software interactúan unos con otros de una forma que está vedada a los componentes de hardware. En resumen, todo este contenido de software crea un valor añadido importante para los clientes de ABB.

Pero hay un aspecto muy crítico en un sistema de software tan sofisticado: su facilidad de mantenimiento y sostenibilidad. Para que los clientes y las organizaciones de desarrollo consigan una rentabilidad atractiva de la inversión, un sistema industrial basado en software debe poder mantenerse de forma rentable y ser operativo de forma totalmente compatible durante décadas; el sistema tiene que ser completamente sostenible.

Durante un período tan largo, esta sostenibilidad afrontará dificultades: tecnologías nuevas y, quizás, radicalmente diferentes; nuevos requisitos de los clientes; nuevas organizaciones y reorganizaciones; emigración de competencias cruciales; y cambios en los objetivos empresariales. Además, los sistemas basados en software a menudo heredan sistemas antiguos que afectan sustancialmente al avance del diseño y a la arquitectura del software. Si la organización en el pasado predijo con exactitud las necesidades actuales de las partes interesadas y adaptó el desarrollo en consecuencia, la incorporación en el sistema de los intereses actuales debería ser bastante sencilla. De la misma forma, la organización actual debe predecir las necesidades futuras de las partes interesadas y seleccionar los aspectos que requieren más atención.

Para ello, los arquitectos tienen que saber cómo puede influir en los requisitos de arquitectura del software el cambiante entorno empresarial de los clientes. Por ejemplo, los sistemas industriales basados en software a menudo se ven afectados por las fusiones y adquisiciones, donde

dos o más sistemas tienen que consolidarse en uno o, quizás, compartir un componente fundamental.

Es más, entre los interlocutores puede haber clientes, usuarios finales, desarrolladores, gestores de proyecto, jefes de pro-

ducto, personal de mantenimiento, etc., cada uno con unas expectativas diferentes y a menudo contrapuestas. La arquitectura debe conciliarlas y equilibrarlas con limitaciones técnicas y económicas.

La sostenibilidad está, por lo tanto, relacionada no solo con las infraestructuras de software y sus interacciones, sino también con sus entornos en términos de aspectos empresariales como la organización, el negocio, las tácticas y el ámbito [1].

Para afrontar todos los desafíos descritos anteriormente y preservar la integridad de sistemas de software sofisticados durante, quizá, muchas décadas, debe cumplirse un requisito muy importante: los sistemas deben asentarse sobre una base de software muy sólida. Y aquí es donde es fundamental el papel de la arquitectura de software.

### Arquitectura del software

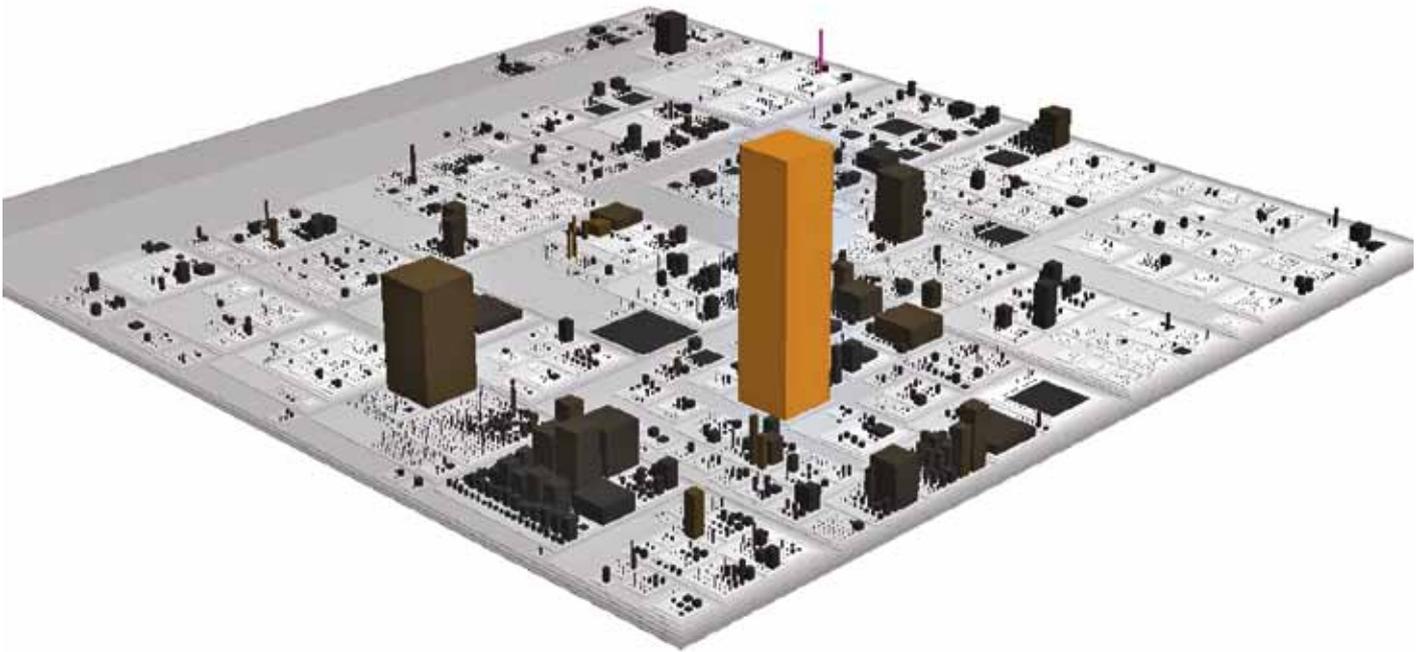
El estudio de la arquitectura del software es, en gran medida, un estudio de las estructuras del software y de sus interacciones. Comenzó en 1968, el año en que se introdujo el término “ingeniería de software”, cuando Dijkstra presentó su trabajo con el sistema de multiprogramación THE. Dijkstra presentó una estructura de software en capas que apoyaba la cualidad de “testabilidad” del sistema conectando dicha cualidad con las estructuras de la arquitectura del software [2]. Veinte años más tarde, Shaw describió diferentes estilos de arquitectura [3]. Esta autora escribió lo siguiente: “...las decisiones importantes están influenciadas por los tipos de módulos y subsistemas que hay que usar y la forma en que esos módulos y subsistemas se organizan. Este nivel de organización, el de la arquitectura de software, requiere nuevos tipos de abstracción que capture las propiedades esenciales de los principales subsistemas y las formas en que interactúan”. Shaw describe las formas habituales de resolver problemas específicos y concep-

---

“Modelamos nuestros edificios y ellos nos modelan a nosotros.”

WINSTON CHURCHILL, TIME, 12 DE SEPTIEMBRE DE 1960

tos para resolver un problema particular. Un ejemplo de esto último es el modelo arquitectónico “Blackboard”, donde un grupo de especialistas diversos actualizan iterativamente una base de conocimiento común, la “blackboard” o pizarra, empe-



zando con la especificación de un problema y finalizando con una solución. Esto se aplicó, por ejemplo, a la resolución de los primeros problemas de software de reconocimiento del habla.

En el lado formal, la norma ISO/IEC 42010:2007 define la arquitectura de sistemas como sigue: “La organización fundamental de un sistema expresada en sus componentes, las relaciones entre ellos y con su entorno, y los principios que guían su diseño y evolución”.

La arquitectura de software se puede visualizar como si sus componentes constituyentes fueran los edificios de una ciudad. En el mundo físico, un edificio seguro podría, por ejemplo, construirse con solo una carretera, controlada por un vigilante que pidiera una contraseña para entrar. El corolario del software permitiría solo una posibilidad de acceso, desde fuentes seguras y autorizadas, a un componente de software. Los investigadores de arquitectura de software buscan constantemente formas de diseñar sus “planes urbanísticos” para influir positivamente en la facilidad de manejo del software, la seguridad, el rendimiento, la fiabilidad o la eficiencia energética.

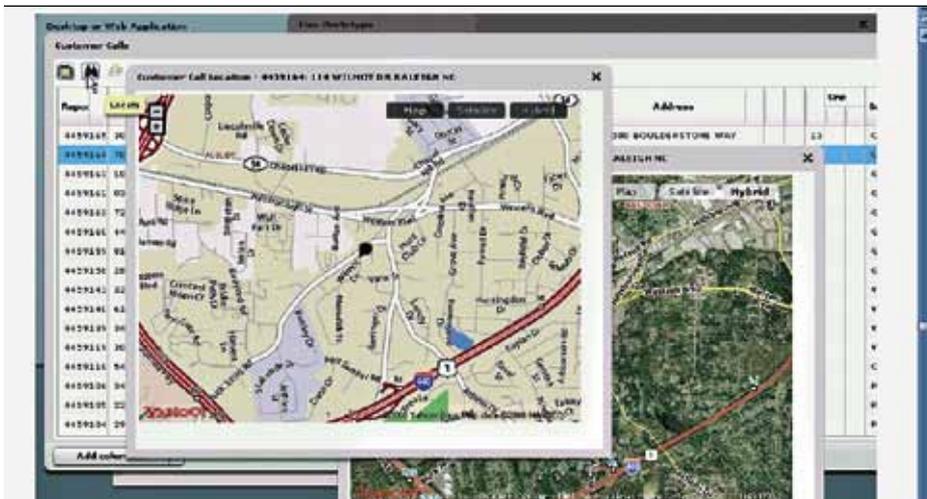
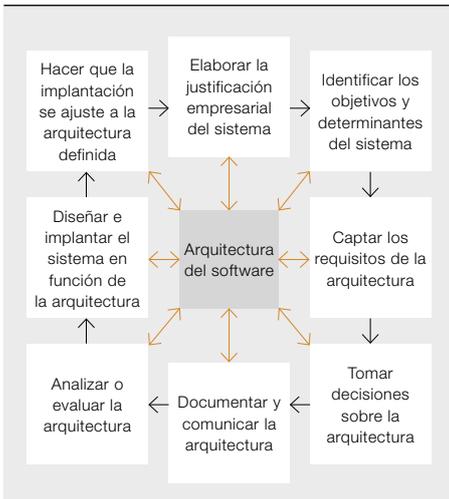
Esta analogía urbana se ha empleado en la visualización de la arquitectura, donde los componentes/paquetes vienen representados por distritos y las clases por edificios cuyos tamaños se determinan mediante métricas del código, por ej., el tamaño del código o la complejidad ciclomática (codecity.inf.usi.ch) → 1.

Diseñar un sistema es un proceso porque se prescribe una secuencia de pasos para producir o cambiar la arquitectura dentro de un conjunto de límites. Diseñar un sistema también es una disciplina porque se usa un conjunto de conocimientos para informar a los profesionales sobre la forma más eficaz de diseñar dentro de un conjunto de límites. La arquitectura de sistemas trata principalmente de las interfaces internas entre los componentes del sistema o subsistemas y la interfaz entre el sistema y su entorno externo, especialmente el usuario.

#### Los patrones arquitectónicos de los sistemas industriales de software de ABB

Christopher Alexander es un arquitecto investigador de edificios. En el libro *The Timeless Way of Building* (El modo intemporal de construir), publicado en 1979, describe patrones arquitectónicos comunes en el espacio, acontecimientos y experiencia humana a todos los niveles de detalle. Según Alexander, “cada patrón describe un problema que se repite una y otra vez en nuestro entorno y después describe el núcleo de la solución a ese problema, de una forma tal que se puede usar esta solución”. El pensamiento de Alexander respecto a los patrones de edificios ha inspirado a muchos de los arquitectos de la comunidad del software. Los patrones arquitectónicos del software describen el núcleo de una solución a los problemas del software que suceden una y otra vez. Mientras que

La arquitectura del software se puede visualizar como si sus componentes constituyentes fueran los edificios de una ciudad.



Alexander se centra en la cualidad de la usabilidad, concretamente en la experiencia del usuario del edificio, los patrones de la arquitectura de software abordan las cualidades del software, como la seguridad, el rendimiento, la fiabilidad, la disponibilidad, la facilidad de mantenimiento, etc. Los sistemas industriales de ABB presentan diferentes tipos de patrones de arquitectura. Algunos de los que se observan habitualmente son: cliente-servidor, guiado por eventos, multinivel y centrado en los datos. A continuación se explican brevemente.

**Cliente-servidor**

La informática cliente-servidor en una arquitectura de aplicación distribuida que divide las tareas o las cargas de trabajo entre los proveedores de servicio (servidores) y los

servicio a un servidor. Por consiguiente, los clientes inician las sesiones de comunicación con los servidores, que esperan las peticiones entrantes de los clientes [4].

**Arquitectura guiada por eventos**

Un evento se define como un cambio importante en un sistema específico, p. ej., la información entrante de los componentes de entrada/salida (I/O). La arquitectura guiada por eventos puede aplicarse al diseño y la implantación de sistemas que transmiten eventos entre servicios y componentes de hardware/software débilmente acoplados. Normalmente, un sistema guiado por eventos está formado por generadores de eventos y consumidores de eventos. Los consumidores de eventos tiene la responsabilidad de provocar una reacción tan pronto como se presente un evento. Una arquitectura así

facilita la capacidad de respuesta porque los sistemas guiados por eventos están, por diseño, más normalizados para entornos impredecibles y asíncronos [5]. Muchos sistemas de ABB funcionan de forma que se reciben y procesan constantemente las entradas externas y se adoptan medidas, p. ej. el control de procesos o la fabricación.

**Arquitectura centrada en los datos**

En este caso, las bases de datos desempeñan un papel clave, puesto que muchos sistemas usan un sistema de gestión de bases de datos (DBMS) como motor principal del sistema. Contienen un conjunto de procedimientos almacenados que se ejecutan en los servidores de bases de datos y tienen lógica por tablas. El enfoque centrado en los datos aprovecha principalmente las capacidades de indexación, procesamiento de transacciones, integridad, recuperación y seguridad que proporcionan los sistemas de bases de datos de alta capacidad [7].

**Principios de la arquitectura de software empleados en ABB**

La evaluación y el desarrollo de la arquitectura de software en ABB están enmarcados por importantes principios que forman una metodología establecida [8] → 2:

**Elaborar la justificación empresarial del sistema**

La justificación empresarial limita los requisitos y proporciona una guía para determinar las cualidades del software.

**La evaluación y el desarrollo de la arquitectura de software en ABB están enmarcados por importantes principios que forman una metodología establecida.**

solicitantes de servicio (clientes). Con frecuencia, clientes y servidores operan en una red informática sobre componentes de hardware independientes. Un ordenador servidor es un ordenador principal de alto rendimiento que ejecuta uno o más programas del servidor que comparte sus recursos con sus múltiples clientes. Un cliente no comparte ninguno de sus recursos, sino que pide un contenido o una función de



#### Identificar los objetivos y los motores del sistema

Hay que identificar los objetivos y los motores del sistema guiados por la justificación empresarial, p. ej., en un taller de atributos de calidad. Estos motores deben tenerse en cuenta al analizar los requisitos del sistema y al tomar decisiones de diseño arquitectónico.

#### Entender los requisitos arquitectónicos

Éstos suelen tener dos componentes: elementos funcionales y no funcionales (o cualitativos). Los requisitos funcionales de la arquitectura definen la funcionalidad básica del sistema, mientras que los requisitos no funcionales, o atributos cualitativos, definen los requisitos de comportamiento y de calidad, como la facilidad de uso o el rendimiento.

#### Tomar decisiones sobre la arquitectura

Los atributos cualitativos deseados de un sistema determinan la forma de su arquitectura. Las tácticas específicas que los tratan están integradas en el sistema.

#### Documentar y comunicar la arquitectura

Para ser un elemento eficaz del diseño del software, la arquitectura tiene que estar claramente documentada y explicada eficazmente a todos los interesados, teniendo en cuenta la diversidad de sus conocimientos (desarrolladores, probadores, clientes, directores, etc.). Esta documentación debería esclarecer el proceso de toma de decisiones que lleva a la arquitectura objetivo.

#### Analizar o evaluar la arquitectura

La arquitectura de software debe evaluarse por las cualidades que sostiene para asegurar que el sistema satisface las necesidades de todas las partes interesadas. Las

técnicas basadas en escenarios son herramientas eficaces para evaluar las arquitecturas de software.

#### Diseñar e implantar el sistema basándose en la arquitectura

Es imprescindible tener una serie de documentos de arquitectura claros y bien elaborados para que los diseñadores y desarrolladores del software sean fieles a la arquitectura definida.

#### Hacer que la implantación se ajuste a la arquitectura definida

La cultura de la organización debe soportar el mantenimiento del código y la arquitectura, especialmente una vez que el sistema está en modo de mantenimiento.

#### Uso de la metodología de arquitecturas de software en ABB

La metodología descrita en → 2 se usa en ABB de varias formas. En primer lugar, para evaluar si la arquitectura de un producto actual todavía satisface los atributos de calidad que espera el mercado, especialmente a medida que las expectativas de los clientes evolucionan con el tiempo. En segundo lugar, para evaluar tecnologías nuevas y emergentes que podrían emplearse para volver a desarrollar o mejorar un producto existente. En tercer lugar, para desarrollar una arquitectura de producto nueva o revisada que satisfaga los atributos de calidad y la funcionalidad esperada por el cliente. Finalmente, la metodología de la arquitectura se puede utilizar para verificar y validar una arquitectura de producto nueva mediante la evaluación de los escenarios arquitectónicos generados. A continuación se exponen ejemplos de estos cuatro casos, basados en proyectos realizados

La cultura de la organización debe sostener el mantenimiento del código y la arquitectura.

---

## Los objetivos empresariales y los beneficios para el cliente de la sustitución de la GUI son la reducción de los costes de mantenimiento, la mejora de la escalabilidad y el aumento del rendimiento del sistema.

por ABB Corporate Research junto con varias unidades de negocio de ABB.

### **Evaluar la arquitectura de un producto existente**

El Architecture Tradeoff Analysis Method (Método de análisis de compensación de arquitecturas, ATAM) fue desarrollado por el Software Engineering Institute (SEI) en Pittsburgh, EE.UU. ABB emplea este método para evaluar arquitecturas de productos de software nuevos y existentes. La fuerza del método estriba en el resultado del análisis, que muestra cómo los diferentes atributos cualitativos se compensan unos con otros y la justificación empresarial que apoyan. En el caso descrito aquí, los clientes de la revisión de ATAM formularon preguntas relacionadas con el uso de una herramienta generadora de código para los módulos de código integrados. No estaba claro si la herramienta generaba módulos de códigos que se optimizaban para mejorar el rendimiento, ya que los desarrolladores del motor de generación de la herramienta se habían centrado en la portabilidad de los módulos de códigos.

Sin embargo, con la ATAM, se pudo demostrar al cliente que el motor de generación de la herramienta generaba códigos con una arquitectura que podía ser ligeramente más eficiente en cuanto al rendimiento, a cambio de ser menos portátil. La revisión de la ATAM de la justificación empresarial del cliente mostró que la portabilidad ya no tenía la misma prioridad que en el momento del desarrollo de la herramienta. Esto mostró a los clientes que podían centrarse en la optimización del rendimiento del software en lugar de en la portabilidad de éste sin perder negocio.

### **Evaluar tecnologías de software emergentes**

Otro proyecto evaluó las tecnologías de software emergentes que podrían usarse para crear una nueva interfaz gráfica de usuario (GUI) de sustitución → 3 para un sistema de software de gestión de operaciones. Los objetivos empresariales y los beneficios para el cliente de la sustitución de la GUI son la reducción de los costes de mantenimiento, la mejora de la escalabilidad y el aumento del rendimiento del sistema. Todos éstos se materializaron directamente en las cualidades del software utilizadas para crear opciones de arquitectura y tecnología y evaluarlas. Se llevó a cabo un análisis de la arquitectura del sistema asociada a las tecnologías seleccionadas. Se obtuvo un conjunto de requisitos arquitectónicos en colaboración con la unidad de negocio que guiaba la evaluación de estas tecnologías. Se seleccionó un subconjunto de los requisitos identificados con la unidad de negocio, y este subconjunto se utilizó para crear un escenario que, a su vez, se empleó para evaluar las tecnologías mediante el desarrollo de prototipos. Basadas en los resultados que se obtuvieron en la creación de prototipos, surgieron dos tecnologías enfrentadas con sus correspondientes opciones de arquitectura, una de las cuales fue elegida finalmente después de una nueva fase de prototipos.

### **Desarrollar nuevas arquitecturas**

*Metodología de diseño determinado por atributos (Attribute-driven Design Methodology)*

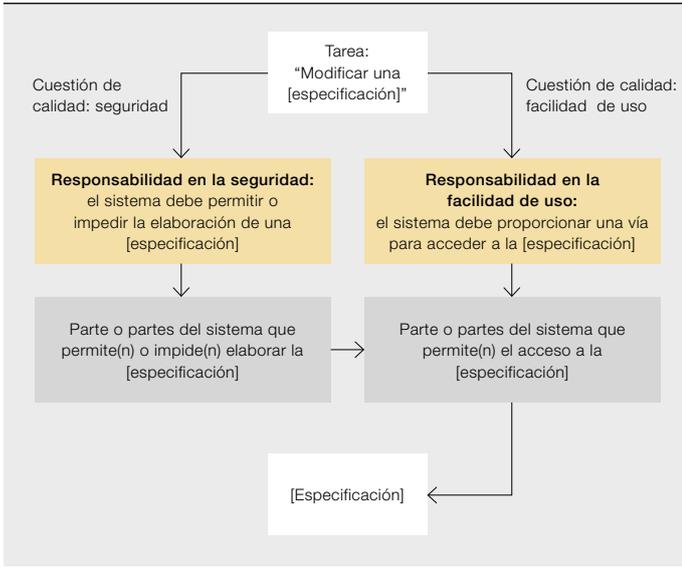
Se diseñó un sistema que integraba un producto crítico de ABB → 4 con una

amplia variedad de aplicaciones de terceros utilizadas en las instalaciones del cliente y que extrae datos de esas aplicaciones para un uso posterior con la metodología de diseño determinado por atributos [9]. Varios motores guiaron el desarrollo de la arquitectura del sistema: en primer lugar, el sistema tenía que integrarse sin fisuras con una amplia gama de aplicaciones de terceros. En segundo lugar, el sistema debía tener la capacidad de recopilar grandes cantidades de datos de las aplicaciones de terceros. En tercer lugar, era necesario que los usuarios percibieran que el sistema era muy rápido. Se utilizaron estos motores para definir los atributos cualitativos principales de este sistema como la capacidad de integración, la escalabilidad, el rendimiento y la seguridad. Los requisitos cualitativos se utilizaron después para crear los escenarios necesarios para construir y evaluar las opciones de arquitectura para el sistema y seleccionar la mejor. Una vez seleccionada la arquitectura del sistema, se construyó un prototipo del sistema y se hizo una demostración a los clientes. Fue una manera excelente de recabar sus opiniones para poder desarrollar el sistema final.

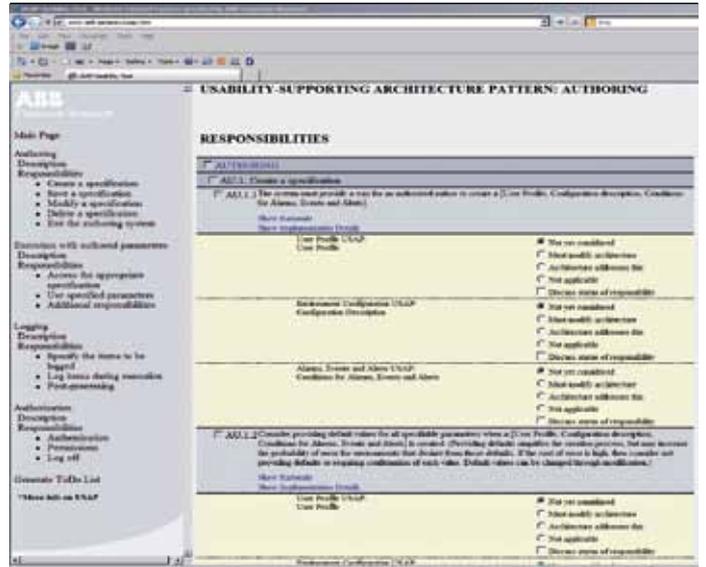
*Patrones arquitectónicos que soportan usabilidad (Usability-supporting architecture patterns)*

El siguiente ejemplo de desarrollo de nueva arquitectura tiene que ver con el sostenimiento de la usabilidad. Una tarea del usuario en un sistema de software puede suscitar varias preocupaciones de calidad → 5. A menudo, la seguridad y la usabilidad tienen que equilibrarse. La seguridad trata de evitar un acceso inapropiado

## 5 Múltiples cuestiones de calidad de una tarea [1]



## 6 Pantalla de la herramienta USAP



del usuario y la usabilidad trata de facilitar un acceso apropiado al usuario. En los patrones arquitectónicos que soportan la usabilidad, USAP, se usa el término “responsabilidad” para las subtarefas generales que tiene que soportar el sistema de software para asegurar la cualidad “usabilidad” de la tarea principal. Para cada responsabilidad USAP proporciona instrucciones de ejecución arquitectónicas → 6.

ABB realizó un estudio de USAP en el dominio de los sistemas de software industriales sostenibles y contribuyó a describir un método de investigación mejorado y una herramienta de software que visualiza las responsabilidades construidas del método.

La herramienta, que visualiza las responsabilidades, actúa como una fábrica de experiencias [10] que alberga conocimientos de arquitectura reutilizables para un conjunto de escenarios de interacción de sistemas en forma de lista de comprobación. Estos escenarios se alojaron con una lista de cuarenta y dos responsabilidades arquitectónicas que describen cómo puede revisarse la arquitectura para admitir los requisitos de usabilidad. Uno de los escenarios fue la interacción de “Alarma y Evento” entre el sistema y su entorno. Dos arquitectos de ABB que usaron la herramienta durante seis horas estimaron que en ese tiempo se ahorraron los esfuerzos de cinco semanas porque pudieron entender antes los requisitos de usabilidad [11]. Hay tres aspectos importantes en este estudio:

– Los patrones que soportan la usabilidad se describen principalmente al nivel de responsabilidades. Éstos son independientes de la implementación y llevan a

los arquitectos a pensar en cómo se relaciona una responsabilidad específica con su diseño actual del sistema.

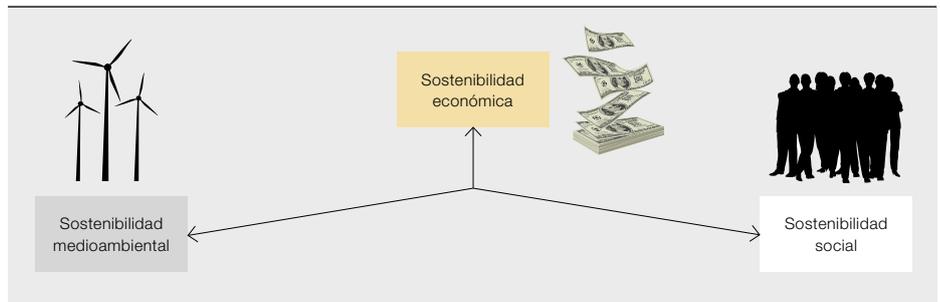
- Con descripciones textuales para las instrucciones de ejecución en vez de diagramas, los arquitectos de ABB lo acogieron bien. En el primer grupo del estudio, los arquitectos se mostraron algo reticentes respecto a las instrucciones diagramáticas. Con las instrucciones de texto, la herramienta permite que los arquitectos investiguen solo un aspecto de los patrones cada vez, en lugar de forzarles a superponer un diagrama visual completo de un patrón en su diseño para identificar los intervalos.
- Con una herramienta que anima a los arquitectos a examinar todos los elementos de la lista, éstos pasan por todos los aspectos de los patrones.

Además, no hay nada en la herramienta de USAP que sea específico para los patrones de usabilidad. Cualquier atributo de calidad donde los requisitos puedan expresarse como un conjunto de responsabilidades, como la seguridad, probablemente estaría incluido en la herramienta. Las mismas partes de un sistema podrían entonces estar representadas desde el punto de vista de la implementación de responsabilidades de seguridad y de usabilidad.

### Verificar y validar la nueva arquitectura

Un equipo de desarrollo responsable de la actualización más importante de un sistema de software de ABB dedicó mucho esfuerzo a crear una nueva arquitectura para esta nueva versión del sistema. Como ABB Corporate Research formó parte del proceso de creación de la arquitectura, se

Dos arquitectos de ABB que usaron la herramienta durante seis horas estimaron que en ese tiempo se ahorraron los esfuerzos de cinco semanas porque pudieron entender antes los requisitos de usabilidad.



“Cuando constru-  
yamos, pensemos  
que construimos  
para siempre.”

JOHN RUSKIN, 1849

pidió a una entidad independiente que llevase a cabo una evaluación de la arquitectura. Esta empresa externa utilizó la documentación de la arquitectura del equipo del proyecto y los resultados de un taller de atributos de calidad para valorar las demandas de las cualidades del sistema. A continuación entrevistaron a todos los interlocutores, incluido el personal de gestión de la unidad de negocio y gestión de producto y los arquitectos del sistema. Después de analizar el material y las entrevistas, los revisores externos presentaron sus conclusiones. Los resultados principales fueron:

- Las principales decisiones arquitectónicas en torno a la nueva arquitectura fueron sólidas y abordaron los objetivos fundamentales del proyecto.
- La documentación de la arquitectura no fue suficientemente precisa en algunas áreas y debía definirse mejor para evitar decisiones de diseño erróneas.
- El razonamiento que subyace a las decisiones de diseño no formaba parte de la documentación de la arquitectura. Esto hace que la evolución futura sea más difícil y deja espacio para desviaciones de la arquitectura objetivo.

En conjunto, el taller y la revisión externa posterior proporcionaron a las partes implicadas de la unidad de negocio la confianza necesaria en la nueva arquitectura propuesta, además de señalar puntos que necesitaban mayor atención y elaboración.

#### Centrarse en arquitecturas de software sostenibles

Es evidente a partir de la discusión anterior sobre la arquitectura de software que la disciplina ha empleado muchos esfuerzos para establecer unas bases arquitectónicas sostenibles. Pero, ¿qué aspectos específicos requieren atención de forma que se maximice la sostenibilidad?

En 1849, John Ruskin escribió: “Cuando construyamos, pensemos que construimos para siempre”. En aquel momento,

Ruskin se refería a la arquitectura de edificios, pero la afirmación tiene la misma relevancia en la actualidad para el mundo del software.

En una arquitectura sostenible, se pone la atención en el proceso además de en el producto final, y aunque el producto puede “desgastarse” con el tiempo, el proceso se mantiene. Este proceso se puede repetir sin recurrir a aportaciones externas importantes. En la industria de la construcción, la arquitectura sostenible reúne al menos cinco características fundamentales:

- Sostenibilidad técnica: ¿se pueden introducir y pasar a otros las destrezas y son accesibles las herramientas necesarias?
- Sostenibilidad organizativa: ¿hay una estructura que permita reunir a los diferentes interesados sin, por ejemplo, tener que llamar a un experto externo cada vez?
- Sostenibilidad financiera: ¿se puede acceder a dinero o intercambio de servicios para pagar el trabajo que tiene que hacerse?
- Sostenibilidad medioambiental: ¿el planteamiento evita agotar las reservas naturales y contaminar el ambiente?
- Sostenibilidad social: ¿el proceso global y el producto encajan en la sociedad y satisfacen sus necesidades?

La sostenibilidad económica representa uno de los “fundamentos triples” [12] de la sostenibilidad de la empresa → 7. Desde el punto de vista de la sostenibilidad económica, tres de las características anteriores son importantes en los sistemas basados en software: la sostenibilidad técnica, la organizativa y la financiera.

La sostenibilidad técnica en un sistema basado en software se logra seleccionando una tecnología que no solo proporcione las cualidades requeridas, sino que también ofrezca una plataforma para la facilidad de mantenimiento y la evolución futuras de los sistemas con una larga vida útil. Aspectos como las habilidades de los

desarrolladores y la compatibilidad con otros productos de la empresa son factores importantes.

La sostenibilidad organizativa garantiza que los recursos adecuados (personal y herramientas) estarán disponibles para asegurar que se mantiene el desarrollo de la forma más eficaz.

La sostenibilidad financiera asegura que la organización alcanza los ingresos esperados del software desarrollado. Es importante asegurar que se ejecutan y siguen los procesos adecuados para reducir los costes sin valor añadido como la repetición del trabajo, el coste de la baja calidad, etc.

Las arquitecturas de software también contribuyen al eje de sostenibilidad medioambiental → 7. En éste influyen las interoperaciones y estructuras de sistemas de software. La arquitectura de software diseñada para limitar el consumo de energía del producto aumenta el capital medioambiental. La sostenibilidad social se puede mejorar si se estructura la arquitectura de forma que simplifique el trabajo diario de los desarrolladores y les motive y estimule.

### Perspectivas

Dentro de las organizaciones de desarrollo de ABB se ha identificado la importancia del diseño sistemático de la arquitectura de software. La mayoría de las unidades de desarrollo han establecido el puesto de arquitecto de software y adoptan cada vez más metodologías de arquitectura de software, como el diseño determinado por atributos.

Al mismo tiempo, ABB sigue investigando formas de mejorar la disciplina de la arquitectura en áreas con potencial para ABB mediante, por ejemplo:

- La identificación y catalogación de las mejores prácticas para desarrollar

sistemas que tengan la sostenibilidad como un atributo de calidad de gran importancia, como los sistemas de control distribuido de ABB.

- La evaluación de los beneficios y la aplicabilidad de arquitecturas de líneas de productos de software como base para el desarrollo de software dentro de ABB, así como el fomento de la reutilización sistemática e intensiva del software.
- El desarrollo de métodos para adoptar las decisiones de diseño al principio del proceso de desarrollo, p. ej., basándose en la creación de prototipos. A este respecto, ABB ha participado en el proyecto de investigación con financiación pública Q-ImPRESS ([www.q-impress.eu](http://www.q-impress.eu)) que se centraba en las predicciones de cambios de los atributos de calidad del rendimiento, la fiabilidad y la facilidad de mantenimiento.
- La obtención de conceptos para sistemas de automatización futuros con el fin de mejorar la modularidad, la facilidad de mantenimiento, la escalabilidad y la portabilidad.

#### Aldo Dagnino

ABB Corporate Research  
Raleigh, NC, Estados Unidos  
[aldo.dagnino@us.abb.com](mailto:aldo.dagnino@us.abb.com)

#### Pia Stoll

ABB Corporate Research Center  
Västerås, Suecia  
[pia.stoll@se.abb.com](mailto:pia.stoll@se.abb.com)

#### Roland Weiss

ABB Corporate Research Center  
Ladenburg, Alemania  
[roland.weiss@de.abb.com](mailto:roland.weiss@de.abb.com)

---

La mayoría de las unidades de desarrollo han establecido el puesto de arquitecto de software y adoptan cada vez más metodologías de arquitectura de software, como el diseño determinado por atributos.

---

### Bibliografía

- [1] Stoll, P. (2009). *Exploring Sustainable Industrial Software System Development within the Software Architecture Environment*. Malardalen University Press, Västerås, Suecia.
- [2] Dijkstra, E. (1968). *The Structure of the T.H.E.-Multiprogramming System*. Comunicaciones de la ACM 11, 5:341-46.
- [3] M. Shaw. *Larger scale systems require higher-level abstractions*. Actas de la Fifth International Workshop on Software Specification and Design 1989.
- [4] Berson, A. (1996). *Client/server Architecture*. McGraw-Hill, Inc., Nueva York, NY, segunda edición.
- [5] Hanson, J. (2005). *Event-driven Services in SOA*. Javaworld, 31 de enero. <http://www.javaworld.com/javaworld/jw-01-2005/jw-0131-soa.html> (consultado el 16 de septiembre de 2009).
- [6] Uргаonkar, B., Pacifici, G., Shenoy, P., Spreitzer, M. y Tantawi, A. (2005). *An Analytical Model for Multi-tier internet services and its applications*. Actas de la 2005 SIGMETRICS.
- [7] Manuel, P. D. y AlGhamdi, J. (2003). *A data-centric Design for n-tier Architecture*. Information Sciences, volumen 150, números 3-, abril, pp. 195-06.
- [8] Bass, L., Clements, P., Kazman, R. (2003). *Software Architecture in Practice*. Segunda edición. Addison-Wesley. Pearson Education Inc. Boston, MA.
- [9] Shaw, M. y Garlan, D. (1996). *Software Architecture: Perspectives on an Emerging Discipline*. Prentice Hall.
- [10] Basili, V. R., Caldeira, G. y Rombach, H. D. (1994). *Enciclopedia de ingeniería de software* (capítulo: *The Experience Factory*). Wiley.
- [11] Stoll, P., Bass, L., John, B. E. y Golden, E. (2009). *Supporting Usability in Product Line Architectures*. Actas de la 13<sup>th</sup> International Software Product Line Conference (SPLC). San Francisco, EE.UU. Agosto de 2009.
- [12] Dyllick, T. y Hockerts, K. (2002). *Beyond the business case for corporate sustainability*. Business Strategy and the Environment, 11:130-41, 2002.





# Una extracción más inteligente

Operaciones Integradas: explotación segura y rentable de recursos aislados y ya explotados

**KATRINE HILMEN, ESPEN STORKAAS** – A medida que maduran, los actuales yacimientos de gas y petróleo pierden rentabilidad y las características de las reservas y del fluido se vuelven más complicadas. A su vez, los yacimientos nuevos suelen estar situados en zonas más aisladas e inaccesibles. Estas complicaciones han fomentado nuevas estrategias de extracción de petróleo y gas, tanto con tecnologías de perforación y explotación submarina como con nuevos y avanzados conceptos de supervisión, gestión de recursos y mantenimiento a distancia. **Integrated Operations (Operaciones Integradas, IO)** se enfrenta a estas dificultades, y **ABB** ofrece una amplia gama de soluciones en este campo.

La prospección y extracción de petróleo y gas siguen afrontando los obstáculos que hacen que la explotación segura con tecnologías de sensores, informática, diagnóstico y comunicación, y los procesos de trabajo sean menos rentables. Cuando maduran, los yacimientos pierden rentabilidad, con el consiguiente aumento de los costes de explotación. Los yacimientos más recientes situados en regiones aisladas y rigurosas, como el ártico o las aguas profundas, presentan dificultades especiales. Los factores que estimulan el cambio son los siguientes:

- Economía (menores gastos de explotación, mayor recuperación de las reservas y aumento de la capacidad de producción).

- Geografía (regiones difíciles, emplazamientos aislados).
- Vigilancia de la seguridad y el medio ambiente (exposición a riesgos, integridad, emisiones).

Los avances tecnológicos están también modificando la situación, pues amplían continuamente los límites de la capacidad técnica.

Estas dificultades, combinadas con el avance de las tecnologías adecuadas para superarlas, han estimulado nuevas estrategias de explotación de las reservas de

---

#### Imagen del título

Para obtener el máximo rendimiento de la planta industrial, ya se trate de instalaciones mar adentro o de la compleja planta de transformación que se ilustra aquí, es esencial aprovechar todos los datos pertinentes disponibles y sacarles partido.

## 1 Las diversas fases, funciones y responsabilidades relacionadas con el objetivo de una mayor producción

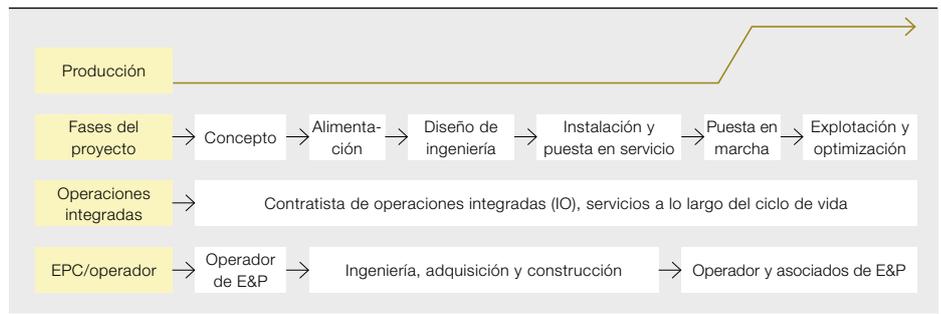


ABB ofrece una cartera de tecnologías y servicios para optimizar la producción y facilitar la explotación y el mantenimiento, desde la perforación a la exportación.

petróleo y gas. Son ejemplos de ello los yacimientos satélite y las conexiones submarinas, los pozos inteligentes y las intervenciones ligeras en pozos, así como el mayor interés por la supervisión a distancia, los modelos organizativos con gestión integrada de recursos y la adopción de principios de mantenimiento de categoría internacional.

Operaciones Integradas (IO) es un término colectivo que aborda algunas de estas dificultades y que han adoptado los principales agentes del sector del petróleo y el gas con nombres tales como "campos inteligentes", "yacimientos digitales", "energía inteligente", etc. Los conceptos y las soluciones de IO se pueden utilizar desde las primeras fases del desarrollo del yacimiento hasta el final de la producción.

ABB ha elaborado una serie de soluciones, metodologías y servicios de IO orientados a la seguridad, la salud y el medio ambiente y al aumento de la producción. En → 1 se ilustran las diversas fases, funciones y responsabilidades relacionadas con el aumento de la producción. ABB puede proporcionar una puesta en servicio más rápida, reducción de personal, mejor ejecución y facilidad de explotación como contratista de IO o proveedor de servicios de ingeniería, en apoyo de la ejecución del proyecto más tradicional. Son ejemplos la prolongación de la vida útil, donde ABB aporta la experiencia operativa a la selección del concepto en una fase temprana, la ingeniería de diseño, la puesta en servicio, la puesta en marcha y la optimización. Estrategias de control de procesos, gestión de alarmas, diseño de salas de control, simulación del ciclo de vida, integridad funcional del sistema, aseguramiento y optimización del flujo son otros ejemplos donde ABB puede aportar valor.

### Los elementos de Operaciones Integradas (IO)

ABB ofrece una cartera de tecnologías y servicios para optimizar la producción y facilitar la explotación y el mantenimiento, desde la perforación a la exportación. Sus componentes clave son → 2:

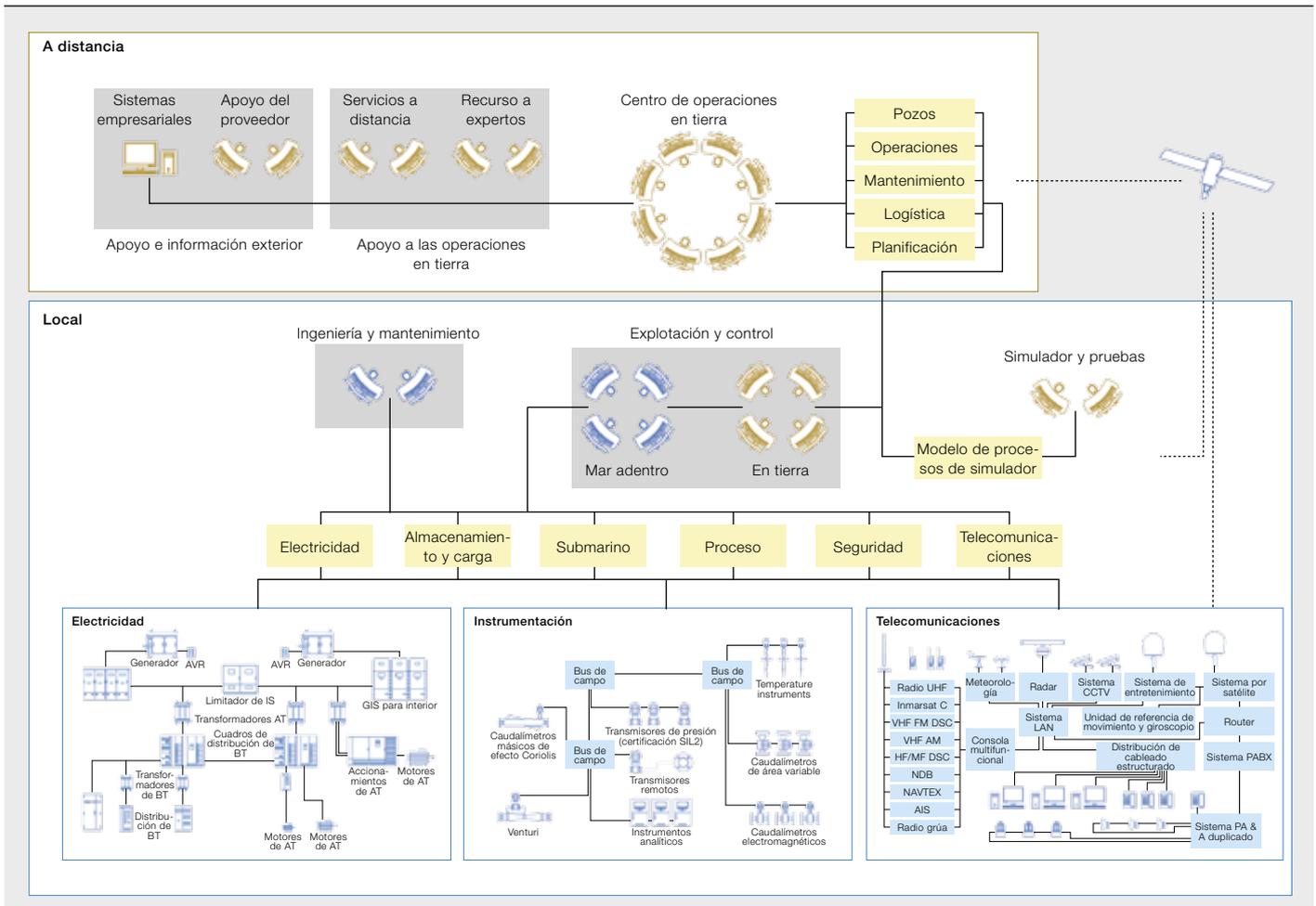
- Infraestructura y seguridad de TIC
- Captura de datos y acceso a los mismos y aplicaciones de software para el apoyo a distancia
- Información y optimización de la producción y la explotación
- Supervisión, diagnóstico y emisión de informes del estado

En este contexto, ABB se propone ser un socio y proveedor del sistema integrado a lo largo del ciclo de vida. El Centro de Productos y Soluciones de Operaciones Integradas ha desarrollado soluciones y ofertas de apoyo que complementan tecnologías de terceros y de ABB para la utilización, la prospección y la explotación de yacimientos de gas y petróleo, especialmente para explotaciones de alta mar y submarinas. Para aprovechar totalmente estas ofertas, se requiere un equipo multidisciplinar y conocimientos y formación en el sector de la tecnología y la explotación petroleras.

Las soluciones particulares para el petróleo, el gas y la industria petroquímica cubren las áreas siguientes:

- Optimización y control de la producción y el proceso
- Integración de la seguridad y la gestión de alarmas
- Sistemas integrados de explotación y control a distancia
- Seguridad informática e infraestructura de redes de comunicación
- Sistemas y servicios de supervisión del estado
- Control de emisiones y mejora de la eficiencia energética
- Aseguramiento y optimización del flujo multifásico

2 El correcto diseño de la infraestructura de equipos e instalaciones permite la asistencia a distancia y las IO. En particular, es crítica la integración de la instrumentación, la automatización y las tecnologías de información y comunicación (TIC) con la explotación y los sistemas de gestión del mantenimiento.



- Información submarina
- Captura y almacenamiento de datos y entornos de trabajo en colaboración
- Servicios a lo largo del ciclo de vida sobre el comportamiento del control del proceso
- Sistemas de sensores inalámbricos

### Operaciones Integradas: ventajas

El coste de la inversión en infraestructuras se suele compensar en la fase operativa. El valor potencial incorporado por IO se puede resumir como sigue:

- Aumento de la producción (3-5%)
- Disminución de las pérdidas de producción y los retrasos o aumento de la recuperación de crudo (20-40%)
- Menores costes de explotación y mantenimiento (15-30%)
- Mayor seguridad gracias a la reducción de riesgos y a unos entornos de trabajo mejorados; beneficios derivados de la logística y el transporte
- Reducción de emisiones, mejor rendimiento energético y mayor vigilancia medioambiental y supervisión de las operaciones marinas

### TIC y topología del sistema

Los principales componentes de un sistema de Operaciones Integradas para una instalación marina cumplen la norma ISA 95 Nivel 5 → 3:

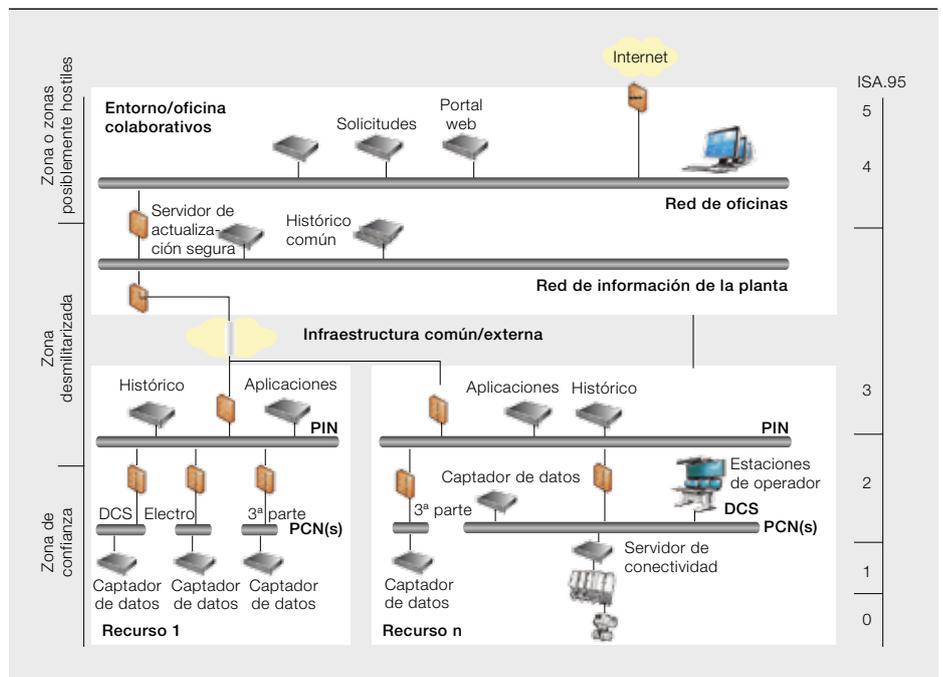
- Una infraestructura eficiente de registro de históricos e integración de datos con conectividad asociada y soluciones de interfaz para recopilar y distribuir todos los datos relevantes
- Una infraestructura eficiente y segura de redes de TI y comunicaciones que facilite el acceso, la supervisión y el apoyo de colaboración a distancia
- Un sistema completo de gestión de recursos que proporcione medidas de prestaciones y mantenimiento de todos los principales sistemas y unidades de procesamiento
- Aplicaciones y optimización para las operaciones diarias
- Una interfaz de usuario común
- Salas y puestos de trabajo para colaboración

Además de estos componentes técnicos, se requieren procesos de trabajo asociados, filosofías de trabajo apropiadas

y una organización con una mentalidad y una cultura adecuadas para Operaciones Integradas a fin de aprovechar al máximo las oportunidades que brinda esta metodología. Son también compo-

## Operaciones Integradas es un subconjunto de soluciones, metodologías y servicios dirigidos a aumentar la producción de petróleo y gas.

nentes esenciales los procesos de toma de decisiones interdisciplinaria y la colaboración entre las distintas partes de la organización, e incluso entre la compañía explotadora y los proveedores y suministradores de servicios.



Pueden ahora presentarse con más detalle algunos puntos destacados por ABB en las áreas de optimización de la producción, gestión de recursos y seguridad.

### Optimización de la producción

Los avances en la explotación submarina están adquiriendo una importancia cada vez mayor para la industria del gas y el petróleo, tanto en aguas profundas como para enlazar campos más pequeños a infraestructuras ya existentes con vistas a compensar la pérdida de producción. Una de las dificultades principales para la explotación de yacimientos submarinos es la optimización de la producción; la recuperación de reservas mediante desarrollos submarinos está normalmente un 10–15% por debajo de la de los pozos de la plataforma continental.

El sistema de aseguramiento y optimización del flujo (FAOS) es un producto de ABB para el control, la supervisión y la optimización y la gestión del caudal producido. Sus componentes clave son:

- Control: el sistema de control activo del flujo (AFC) patentado de ABB controla y estabiliza pozos y conducciones para garantizar una producción estable y sin interrupciones. El sistema AFC controla también con mucha precisión los pozos y las conducciones durante la prueba de los pozos, y proporciona así una información de valor incalculable para la optimización de la producción. Las otras funciones de control del sistema

AFC incluyen la protección de los pozos frente a los cambios bruscos de presión durante la puesta en marcha y la protección de los equipos frente a sobrecargas.

- Supervisión de la producción: la supervisión de pozos y conducciones es de vital importancia, especialmente para evitar bloqueos por formación de hidratos. Aparte de estas mezclas congeladas de hidrocarburos y agua, hay muchos otros fenómenos perjudiciales para el flujo, como la formación de ceras, el depósito de sólidos o la formación de tapones frente a los que es preciso protegerse. Los modelos matemáticos en tiempo real pueden predecir muchos de estos problemas y proporcionar datos para los programas de optimización de la producción.

En casos más sencillos, ABB dispone de su propio sistema de supervisión de pozos (WMS) para la vigilancia de conducciones y pozos. Se basa en modelos de estado estacionario y puede utilizarse para calcular los índices de producción en todo el sistema y para avisar de posibles problemas en el flujo de producto. Para sistemas más complejos, donde el comportamiento dinámico puede ser muy importante, debe utilizarse OLG Online, el simulador avanzado de flujo multifase (suministrado por el socio colaborador de ABB, SPT Group).

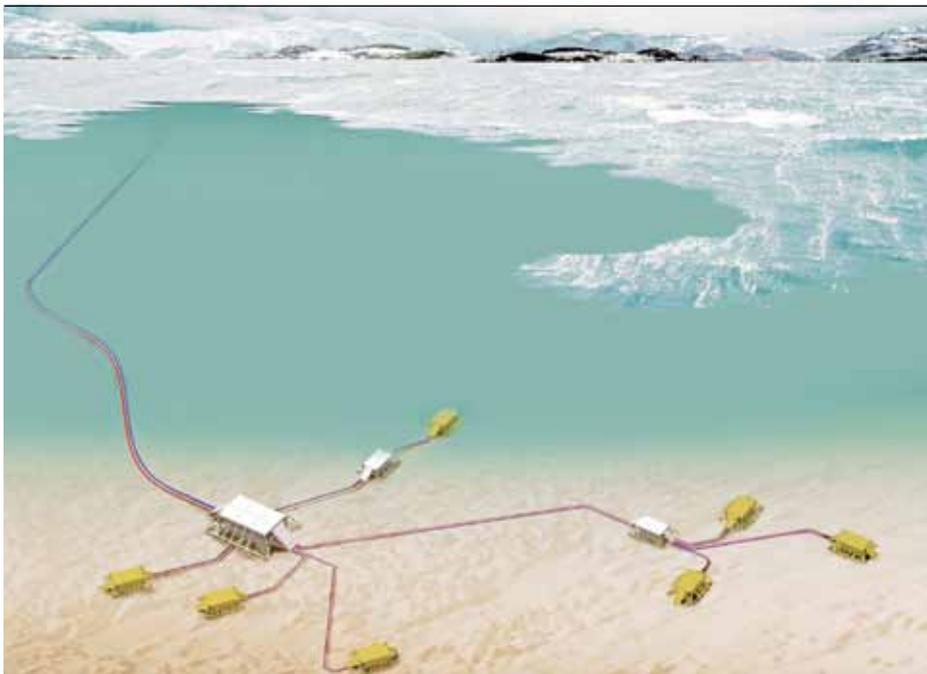
- Optimización: teniendo instalada la función de control y supervisión, se puede proceder a la optimización,

utilizando mediciones de producción tanto primarias (físicas) como secundarias. Las estrategias de optimización van desde las soluciones orientadas, como la optimización del bombeo neumático, hasta las soluciones de control predictivo basadas en modelos genéricos, como “cpmPlus Predict & Control” de ABB. Para la optimización a plazos más largos, la supervisión de la producción puede proporcionar datos muy valiosos para la optimización y las simulaciones del yacimiento (Eclipse).

- Gestión del mantenimiento: debido a las graves consecuencias de cualquier error de los equipos y a los costes de la intervención con ROV (vehículos controlados a distancia) o barcos de perforación y reparación, el mantenimiento de los equipos situados en el lecho marino exige una planificación cuidadosa. Por lo tanto, la detección a tiempo de los fallos en ciernes y de las necesidades de mantenimiento puede ser un factor crítico para el éxito. FAOS proporciona herramientas completas para garantizar la gestión óptima del mantenimiento.

FAOS ofrece todo lo anterior, y más aún, en un sistema integrado. Esto garantiza el aprovechamiento completo de las sinergias entre los diversos elementos. Por ejemplo, las mediciones virtuales del sistema de supervisión pueden ser utilizadas por AFC como variables de control (secundarias). Además, AFC puede servir como

4 El mantenimiento predictivo se considera cada vez más como un elemento fundamental para la explotación rentable de recursos complejos, como las unidades de producción submarinas.



FAOS garantiza el aprovechamiento completo de las sinergias entre los diversos elementos.

plataforma de aplicación de los puntos de consigna enviados desde el módulo de optimización. Además, esta integración garantiza una interfaz de usuario unificada, tanto para el resumen rápido de los datos más importantes como para un análisis detallado por parte de usuarios expertos. FAOS reside en la infraestructura de explotación integrada de ABB, y toda la información es accesible desde la red corporativa del cliente.

Por lo que se refiere a la seguridad de los datos del cliente, ABB ofrece un abanico completo de servicios de asesoría de seguridad que se centra en la protección de la confidencialidad, la disponibilidad y la integridad de la información de los recursos locales y de la red del sistema de automatización. Se cumplen las normas de la empresa, las nacionales y las internacionales y se desarrollan soluciones técnicas y de procedimientos adecuadas. También se ofrecen soluciones de seguridad estándar predefinidas para ayudar a establecer las bases para abordar los riesgos asociados a los sistemas de automatización de la planta.

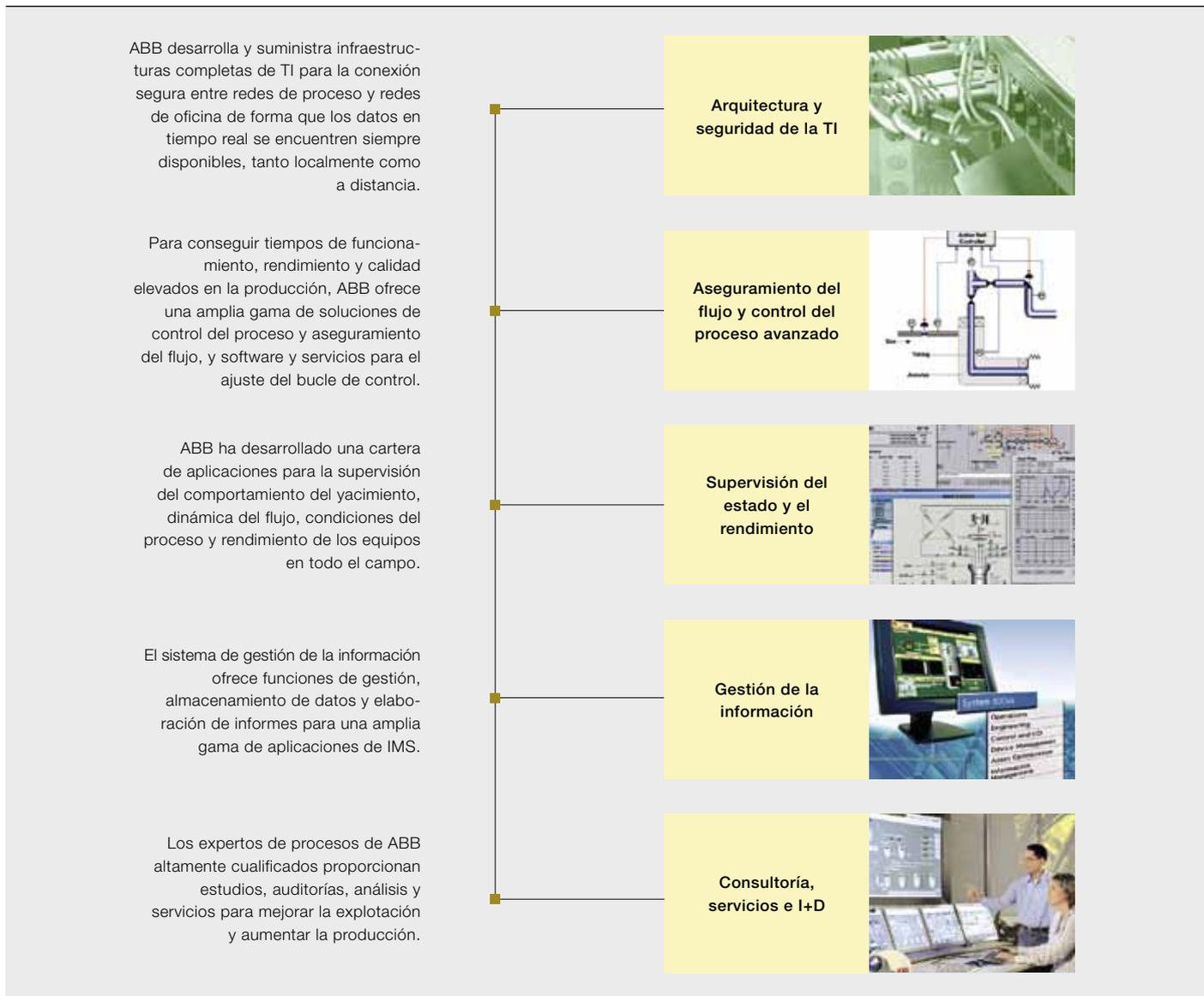
#### Sistema de gestión de recursos y servicios a lo largo del ciclo de vida

Se acepta cada vez más que el mantenimiento predictivo es clave para un mantenimiento rentable → 4. El método se basa en que las operaciones de mantenimiento se ejecutan siguiendo una predicción fiable del desgaste y las roturas de los equipos.

El mantenimiento predictivo asegura asimismo la fiabilidad y la integridad del equipo. Esto se aprecia especialmente en las instalaciones marinas y aisladas, donde los costes de personal y desplazamiento son considerables. El método también reduce los costes acortando los tiempos de inmovilización imprevistos, permitiendo un funcionamiento más próximo al límite de diseño y facilitando la planificación de un mantenimiento más estructurado. Una clave para el mantenimiento basado en el estado es una tecnología de supervisión y elaboración de informes en tiempo real.

El sistema Integrated Asset Management de ABB proporciona una infraestructura común para integrar los datos de mantenimiento de los sistemas individuales. Todos los componentes principales de los sistemas eléctricos, de instrumentación y de control y telecomunicaciones de ABB están disponibles con funciones de supervisión y diagnóstico inteligentes adecuadas para su inclusión en el sistema Asset Management System. Las funciones de supervisión a largo plazo proporcionan una información importante acerca del estado de los equipos, las tareas necesarias y las posibles mejoras de las prestaciones. También se pueden integrar sistemas de terceros.

El sistema Asset Management System permite el acceso en tiempo real a estas funciones, admite supervisión y diagnóstico e integra planificación y conectividad ERP en toda la empresa.



Se acepta cada vez más que el mantenimiento predictivo es la clave de un mantenimiento rentable.

La principal ventaja reside en la capacidad para presentar todos los datos de mantenimiento relevantes en una interfaz de usuario uniforme. Esto permite una toma de decisiones más informada basada en la comparación de funciones de supervisión superpuestas.

**Seguridad**

ABB dispone de un conjunto completo de ofertas de soluciones y servicios para el ciclo de vida dentro del área de la gestión de seguridad y alarmas, incluyendo preparación de puesta en alerta y valores de referencia de prestaciones, proyectos y servicios de mejora, aplicaciones para preparación de informes y mantenimiento de sistemas, así como instalaciones de sistemas de seguridad y control. Todos ellos siguen las normas del sector y las mejores prácticas.

**Importancia de los "soft factors"**

La experiencia acumulada hasta ahora en Operaciones Integradas ha revelado que el cambio organizativo y en la forma de pensar de los individuos, especialmente cuando se esfuerzan en adquirir nuevos conocimientos y aptitudes, desempeña un papel crítico en el éxito de la actividad. De hecho, más del 80% del esfuerzo se encuentra en este terreno.

**Tomar la propia medicina**

La tendencia hacia las operaciones integradas también ha hecho mella en ABB. La propia ABB Services se está adaptando a este cambio del sector mediante la asociación con los clientes y la adopción de nuevos conceptos de servicio, y mediante la mejora de los productos y servicios que potencian la metodología de IO. Las nuevas estrategias de contratación, como el contrato por resultados, con un servicio

total en el extremo, constituyen un área comercial emergente. La electrificación y las soluciones de información submarina son otros ejemplos.

#### Aportar valor

Una de las primeras empresas en adoptar las Operaciones Integradas vio reducido el coste de la extracción directa de la producción final de un pequeño yacimiento del Mar del Norte. La principal contribución a la reducción de los costes de explotación y a la prolongación de la producción prevista fue la "IO soft", es decir, el cambio organizativo, que adoptó de forma decidida el personal, muy interesado en prolongar la vida de las instalaciones. ABB actuó en colaboración con el explotador en todo el programa de cambio, realizando entrevistas y gestión de los cambios de actividades además de instalar una tecnología que permitió el apoyo a distancia del funcionamiento. Desde entonces, este importante cliente ha establecido procesos de trabajo, misiones y responsabilidades estándar y ha introducido un nuevo modelo de organización para instalaciones marinas basado en gran parte en este trabajo pionero.

## En la instalación de Ormen Lange el tiempo de funcionamiento "aumentó de cuatro a cinco días al año".

Más recientemente, los trabajos efectuados por un equipo de ABB Integrated Operations especializado en la optimización de procesos y producción han causado un gran impacto en la instalación de Shell Ormen Lange en las áreas de servicios de prestaciones del control de proceso, simulación y ajuste, puesta en servicio y asistencia para la puesta en marcha. Los beneficios se percibieron en forma de días de funcionamiento, menos fluctuaciones, eficiencia energética y reducción de emisiones. El tiempo de funcionamiento "aumentó de cuatro a cinco días al año". Puede imaginarse la magnitud del ahorro financiero logrado teniendo en cuenta que, en su producción máxima mantenida, Ormen Lange procesará unos veinte mil millones de m<sup>3</sup> de gas al año, lo que equivale al consumo total de Noruega.

Asimismo, Statoil se ha beneficiado de la asociación con ABB y de su desarrollo de tecnologías que buscan la optimización de la producción: como consecuencia de una iniciativa de Integrated Operations para mejorar la gestión de arenas en el yacimiento de Gullfaks en 2003, se añadieron 300 millones de dólares (15.000 barriles diarios del volumen de retención). En 2004, se añadieron otros 190 millones de dólares (3,8 millones de barriles). Un factor clave fue el establecimiento de un sistema de tratamiento de la erosión basado en datos de proceso y de producción combinados con modelos que permiten un control activo de las arenas. Statoil informó además en SPE 94511 [1]: "Durante 2004 se consiguieron unos ingresos añadidos totales de 95 millones de dólares (1,9 millones de barriles) en el yacimiento Statfjord". Estas inmensas cantidades se basan en un precio del petróleo de 60 dólares por barril; otros éxitos más recientes de Integrated Operations tienen un valor mucho mayor. El aumento de la seguridad debido a una supervisión más precisa de las arenas y de la estimación de la erosión, y la adaptación de las arenas permitidas a distintas condiciones de los pozos, tienen de por sí un valor incalculable para un campo ya en explotación. Se trata de un excelente ejemplo en el que se ha creado valor mediante la combinación de una tecnología potenciadora con el cambio operativo real para adaptarse a una nueva estrategia.

#### Operaciones Integradas en el futuro

La cartera de ABB en el ámbito de la habilitación de Operaciones Integradas → 5 se ha adaptado para aumentar la producción, reducir el consumo de energía y disminuir los costes operativos mediante la utilización avanzada de los datos disponibles, tales como los datos en tiempo real del proceso y la supervisión del estado del recurso. Operaciones Integradas ofrece una oportunidad para mejorar considerablemente la explotación de las reservas, puesto que ya se ha probado a sí misma en términos económicos, y continuará creciendo en importancia en el sector del petróleo y el gas con el progreso de la industria.

Durante 2004 se consiguieron unos ingresos añadidos totales de 95 millones de dólares (1,9 millones de barriles) en el yacimiento Statfjord.

**Katrine Hilmen**

**Espen Storakaas**

ABB Integrated Operations  
Products and Solutions Center  
N00603 Oslo, Noruega  
katrine.hilmen@no.abb.com  
espen.storkaas@no.abb.com

#### Bibliografía

- [1] [http://www05.abb.com/global/scot/scot267.nsf/veritydisplay/b23bba112053485585257894004ca8cf/\\$file/ormen\\_lange\\_mars2011.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot267.nsf/veritydisplay/b23bba112053485585257894004ca8cf/$file/ormen_lange_mars2011.pdf)
- [2] [http://www02.abb.com/global/seitp/seitp161.nsf/0/66864703b31245cbc12571f70031820e/\\$file/SPE+94511.pdf](http://www02.abb.com/global/seitp/seitp161.nsf/0/66864703b31245cbc12571f70031820e/$file/SPE+94511.pdf)



# Control de emisiones basado en modelos

PEMS: un sistema de control que utiliza inteligencia artificial para reducir el impacto ambiental

NUNZIO BONAVIDA, FEDERICO CALLERO – La obtención de información adecuada, fiable y a tiempo sobre los niveles reales de emisiones es fundamental para adoptar acciones de control correctas que permitan mantener las emisiones dentro de los límites establecidos por las leyes. Esto, combinado con la necesidad de cumplir las exigencias cada vez mayores de los organismos reguladores, hace que las industrias de transformación hayan comenzado a equiparse con sistemas de gestión medioambiental (EMS) que supervisan, recopilan y procesan datos del medio ambiente. En principio, hay varios tipos de sistemas de supervisión, pero

el más eficiente y fiable es el sistema de control continuo de las emisiones (CEMS), en el que se recoge un flujo continuo de datos mediante instrumentos de respuesta rápida y se presenta en tiempo real. Ahora empieza a llamar la atención otro sistema llamado sistema predictivo de control de emisiones (PEMS). Un PEMS utiliza un modelo empírico para predecir las concentraciones de emisiones basándose en los datos del proceso. Se ha implantado con éxito como parte de un EMS completo en una de las mayores plantas de transformación de gas del mundo.



Según la norma ISO 14001, el objetivo de un sistema de gestión medioambiental (EMS) es “permitir que un organismo establezca y evalúe la eficacia de los procedimientos para establecer una política y unos objetivos medioambientales, lograr la conformidad con ellos y demostrar esa conformidad a terceros” [1]. De acuerdo con ello, se ha diseñado un EMS típico que ofrece diversas funciones:

- Recopilación y procesamiento de datos relacionados con el medio ambiente
- Suministro de indicadores clave de comportamiento medioambiental
- Preparación de una planificación de la evaluación del comportamiento medioambiental
- Cálculo de las emisiones y preparación de informes
- Funciones de registro y auditoría

Un sistema de vigilancia conocido y fiable es el sistema de control continuo de emisiones (CEMS), formado por un equipo de extracción y transporte de muestras, un analizador, y hardware y software de registro y tratamiento de datos. CEMS se puede desglosar en tres tipos de métodos [2] → 1:

- Extractivo, que exige la extracción física de la muestra del cañón de la chimenea
- Instrumental en la planta, mediante técnicas automatizadas que utilizan diversos principios de detección para realizar mediciones continuas o periódicas de las emisiones
- Paramétricos, que constituyen alternativas posibles a la instalación de CEMS convencionales

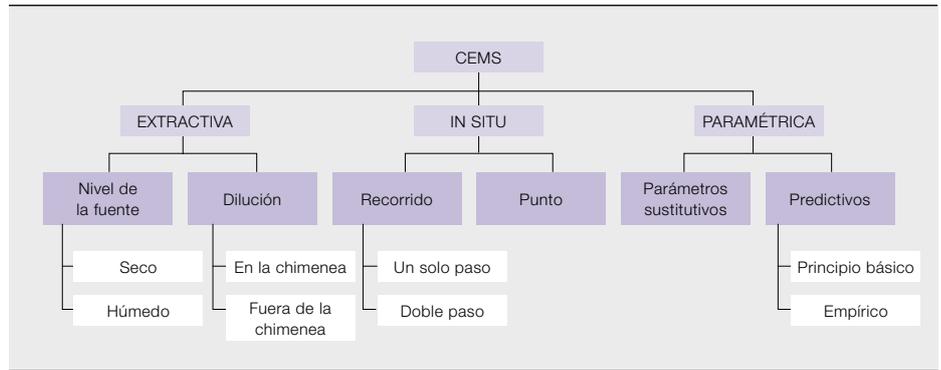
Hay dos clases de métodos paramétricos: sustitutivos y predictivos. Los sustitutivos pueden utilizarse para determinar si una fuente de emisiones cumple la norma. Sin embargo, la obtención de los valores de los parámetros suele requerir numerosas pruebas y validaciones. Por otra parte, los parámetros predictivos se aplican en los casos en que la relación entre las condiciones del proceso y los niveles de emisiones es tal que no se puede describir satisfactoriamente con un solo parámetro. Los parámetros predictivos implican el concepto de modelización, que actualmente desempeña un papel importante en los sistemas de gestión de emisiones → 2.

Un sistema predictivo de control de emisiones (PEMS), también conocido como ana-

lizador inferencial, no puede medir directamente las emisiones, sino que utiliza un modelo empírico para predecir sus concentraciones basándose en datos del proceso, como caudal de combustible, carga, presión de trabajo y temperatura del aire ambiente. De hecho, un sistema PEMS puede ser la única forma de obtener una corriente continua de valores (estimados) de emisiones en aquellas unidades de proceso en las que no se dispone de CEMS y donde se aplica un análisis *in situ* (es decir, periódico) o el método de campaña. En esos casos se permite que la planta pueda contratar un CEMS portátil para reunir datos suficientes de las emisiones con el fin de construir y validar los modelos. Una vez que se han certificado los modelos, se

#### Imagen del título

Planta de gas natural licuado (GNL) de Statoil en la isla Melkoya, cerca de la ciudad de Hammerfest, en el norte de Noruega. ABB suministró a esta planta de procesamiento de gas una gama completa de productos y sistemas de energía y automatización. El gas del yacimiento “Snohvit” (Blancanieves) se extrae mediante plantillas submarinas y se transporta por gasoductos a la planta, donde se enfría hasta que se licúa y queda listo para su transporte en barco.



La obtención de una información correcta y fiable sobre los niveles de emisiones es fundamental para adoptar las medidas de control adecuadas que mantengan las emisiones dentro de los límites establecidos por las leyes.

retira el CEMS y se sustituye por el sistema de tipo inferencial [4]. Se puede utilizar también un PEMS como sistema de reserva si hay instalado un CEMS; con independencia de la función que desempeñe, proporciona muchos servicios en distintas aplicaciones → 3.

Muchas aplicaciones han demostrado que los sistemas de software son tan precisos como los CEMS basados en hardware. Además, los analizadores virtuales ofrecen otras funciones que pueden [5]:

- Identificar las variables críticas que producen las emisiones
- Validar automáticamente los sensores
- Reconstruir los niveles de emisión a partir de datos históricos cuando falle el dispositivo de hardware
- Complementar y mejorar las estrategias de optimización de procesos

Los requisitos reales de regulación insisten en que es preciso realizar pruebas periódicas en el cañón de la chimenea así como un control de emisiones continuo para demostrar el cumplimiento de los límites legales e investigar las posibles infracciones. No obstante, un CEMS convencional no puede predecir infracciones de los límites de contaminación. Por el contrario, un PEMS podría permitir que los técnicos de la planta establecieran directamente la relación entre diversos parámetros operativos, predecir anticipadamente las emisiones de la planta y tomar medidas para ajustar las emisiones antes de que se produzcan infracciones. Está cambiando la actitud con que el mundo contempla los métodos utilizados para el control de las emisiones. Muchas normas europeas exigen ahora expresamente sistemas de seguimiento de emisiones con redundancia basada en software, mientras que en EE.UU., varios Estados permiten tecnologías de inteligencia artificial (IA) basadas en modelos como PEMS como técnica alternativa de control.

### Tecnología subyacente

La aplicación eficaz de sistemas PEMS como analizador de software depende en gran medida de la construcción de un modelo potente y de una herramienta para su aplicación. Esta herramienta tiene que asegurar la disponibilidad de tecnologías de modelización eficientes y fiables junto con todas las funciones precisas para la recogida y el procesamiento de datos, la prueba del modelo, etc.

Una herramienta de estas características, la Inferential Modeling Platform (plataforma de modelización de inferencias) (IMP), es un software patentado de ABB para el desarrollo y la implantación de aplicaciones avanzadas basadas en datos. IMP se basa en dos entornos separados:

- IMP Model Builder (generador de modelos de IMP) para el diseño y el desarrollo de aplicaciones
- IMP Online (IMP en línea) para la implantación y supervisión en línea del proyecto

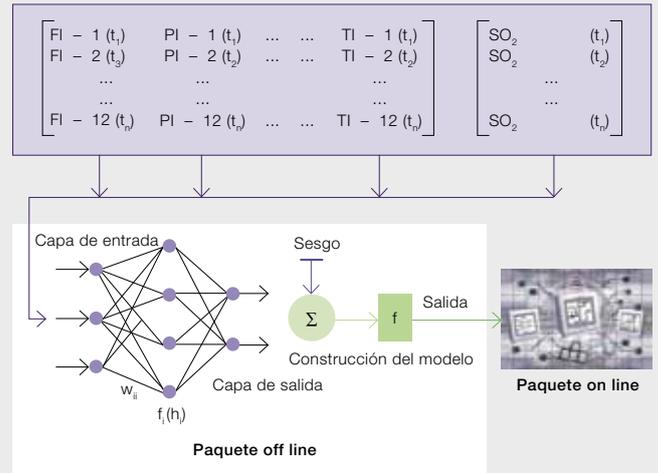
IMP incorpora la última generación de tecnologías de análisis de datos y modelización (por ejemplo, redes neuronales, algoritmos genéticos, regresión lineal múltiple, guión de cálculo) incluidos los algoritmos y herramientas obtenidos con inteligencia artificial, todos los cuales pueden explotarse mediante una extensa colección de herramientas muy sofisticadas [6]. Estas herramientas forman parte de un entorno de trabajo intuitivo basado en los últimos conceptos de HMI (interfaz hombre-máquina). El IMP se carga en un PC que se comunica a través de OPC con el sistema de control distribuido (DCS) que contiene las variables del proceso y los datos del analizador (si se utiliza PEMS como elemento de reserva). Con los datos del proceso en tiempo real, los modelos proporcionan el valor estimado de las emisiones relevantes, que se pueden controlar mediante una HMI es-

## 2 La modelización desempeña un importante papel en los sistemas de gestión de emisiones.

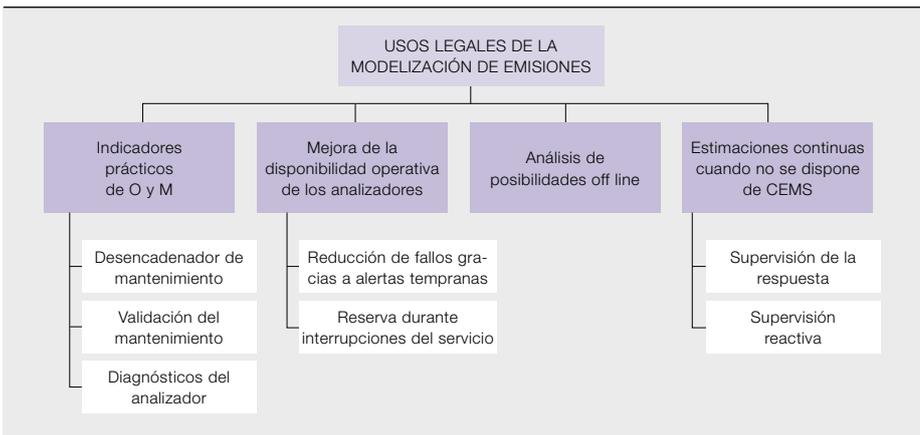
La modelización se utiliza para desarrollar expresiones matemáticas sencillas que describan el comportamiento de un proceso o equipo. Hay dos enfoques principales: teórico y empírico [3]. Un modelo teórico se construye a partir de principios científicos, como la conservación de la masa y la energía, y de las leyes de la termodinámica, mientras que un modelo empírico deriva matemáticamente de datos del proceso específicos de la planta. En general, la modelización permite una estimación precisa, en tiempo real, de cantidades de difícil medida; establece correlaciones que de otro modo permanecerían ocultas o serían ignoradas; y proporciona una visión más detallada del proceso. Las cantidades estimadas se suelen indicar como variables inferenciales, y el modelo se denomina asimismo modelo inferencial. Las estrategias avanzadas de control de procesos suelen utilizar modelos inferenciales.

La relación entre los datos de entrada (las variables medidas conocidas) y los datos de salida (las variables que hay que calcular) se determina durante la etapa de construcción del modelo. Se utiliza un software especial para importar, preprocesar y filtrar conjuntos de datos históricos, que deben incluir todas las muestras posibles de la cantidad que se tiene que estimar. El modelo resultante tiene que probarse y validarse exhaustivamente sobre el mayor abanico posible de condiciones operativas. Cuando se haya completado esto, se puede instalar el modelo en línea para que reciba datos en tiempo real. Estos datos suelen preprocesarse para identificar estados transitorios y eliminar excepciones y malas calidades. El resultado proporcionado por el modelo se somete asimismo a un preprocesamiento para aumentar su fiabilidad y precisión.

Modelización: el concepto



## 3 Áreas posibles de aplicación de PEMS



pecializada o devolver a la interfaz del operador del DCS.

### El trabajo de PEMS en la industria

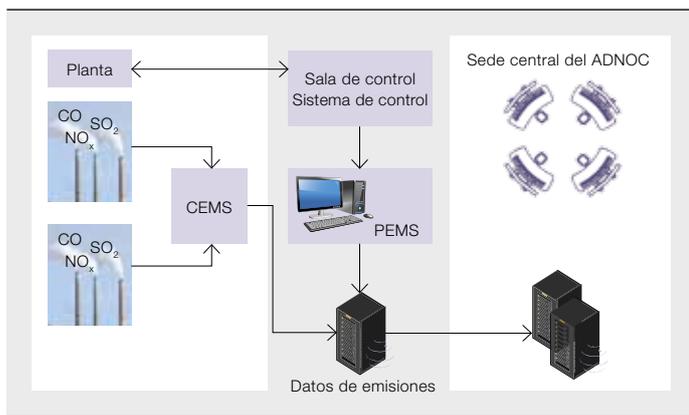
En 2007, ABB obtuvo un contrato para suministrar un EMS completo aprobado por la EPA para la planta de Gasco (parte del Grupo Adnoc) en el yacimiento de Habshan, en la región del Golfo. La planta de Gasco, una de las mayores plantas de transformación de gas del mundo, tiene ocho trenes de procesamiento de gas y dos de inyección de gas con una capacidad de 99.000 millones de m<sup>3</sup> al día. La planta produce gas de red, gas natural licuado (GNL), condensados y azufre. El proyecto necesita la instalación de CEMS (de forma temporal), PEMS y un sistema especial de obtención de datos que proporcione las mediciones de emisiones que

aseguren el cumplimiento de las disposiciones sobre salud y seguridad y la mejora del proceso → 4.

En el yacimiento de Habshan, los dos trenes de inyección de gas 96 y 97 están configurados en paralelo y cada uno de ellos dispone de dos compresores axiales de dos etapas, C101 y C102 → 5. Cada compresor es accionado por una turbina de gas (GT), cuyas emisiones están controladas por un PEMS. Para el accionamiento de las etapas de alta presión (HP) y baja presión (LP) de las turbinas se utiliza gas comercial. Las turbinas de alta presión trabajan en todos los casos a velocidad constante, es decir, muy cerca del 100% de la velocidad máxima. La velocidad de la turbina de baja presión puede variar dependiendo de las condiciones de trabajo de la planta, pero depende principalmente de

PEMS podría permitir a los técnicos de la planta establecer una correlación directa entre parámetros operativos variables, predecir las emisiones de la planta y tomar medidas antes de que se produzcan infracciones.

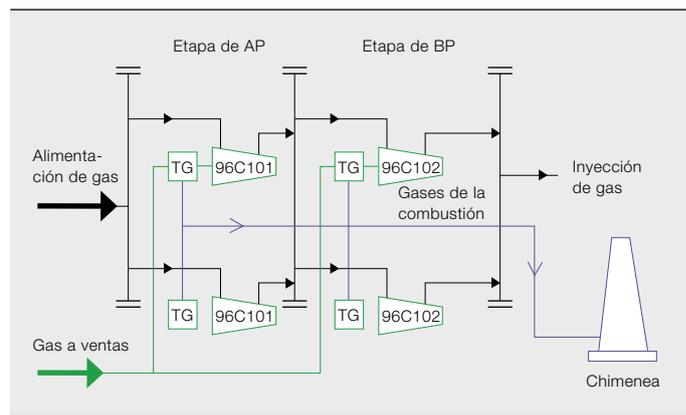
#### 4 Esquema del sistema de gestión medioambiental (EMS) exigido por Gasco



la disponibilidad del gas comercial. En la mayoría de los casos los dos trenes trabajan conjuntamente próximos a su carga máxima. Sin embargo, en horarios de poca o ninguna producción de gas, uno de los dos trenes trabaja con una carga o una velocidad menor. En verano, cuando la temperatura ambiente es muy alta, se disminuye el rendimiento total del sistema a fin de reducir un esfuerzo excesivo del equipo.

conjunto de variables de entrada como la configuración óptima del modelo de la planta de Gasco se definieron utilizando técnicas estadísticas y matemáticas sofisticadas. Fue esencial la identificación de la frecuencia óptima de muestreo para fines de modelización, porque tiene que cumplir dos objetivos: permitir la identificación de la dinámica y las condiciones del proceso y proporcionar una cantidad suficiente de

#### 5 Configuraciones de las unidades (96 y 97) del turbocompresor de Gasco



de la etapa intermedia de la turbina y la temperatura de los gases de la chimenea

- Medidas importantes relacionadas con la meteorología, como la temperatura y la humedad del aire
- Mediciones de emisiones de contaminantes, como NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub> y el caudal de gases en la chimenea

De las diversas opciones disponibles en la herramienta IMP, las redes neuronales de alimentación hacia delante (FFNN), una técnica de modelización de inteligencia artificial, se estimó que proporcionan los modelos más precisos, fiables y robustos. Cada conjunto de modelos se caracterizaba por el número de estructuras de capa oculta, de variables de entrada tales como las variables clave del proceso antes mencionadas y el número de parámetros variables. Para evitar cualquier sobreajuste y garantizar la robustez del modelo, los 1.700 valores de entrada se han distribuido en tres subconjuntos: formación (50%), pruebas (25%), y validación (25%). Se emplea una función IMP especializada para acceder a la sensibilidad de una sola variable de entrada del tipo de emisión estimada.

El sistema está integrado con el DCS, y se configuraron los valores estimados de las emisiones para anotarlos en el EMS por medio del protocolo serie Modbus.

## La evaluación del EPA y el proceso de homologación requirieron 18 ejercicios de pruebas, cada uno de los cuales duró 30 minutos con dos condiciones de funcionamiento distintas.

En Habshan, el PEMS desempeña un papel fundamental para el control de emisiones, ya que trabaja exclusivamente para las turbinas de gas. Para diseñar el modelo más adecuado para el PEMS, se empleó un analizador CEMS temporal en cada unidad de chimenea para obtener datos de emisiones suficientes, mientras se recogían simultáneamente datos del proceso, directamente en el DCS de la planta por medio de un protocolo OPC. La recogida de datos duró unas seis semanas para cubrir la mayor diversidad de condiciones del proceso. El diseño y la validación del modelo, el procesamiento de datos y las actividades de implantación *in situ* se llevaron a cabo mediante el IMP de ABB. El procesamiento de los datos es un paso fundamental durante el desarrollo de un modelo empírico. Para empezar, tanto el

conjunto de valores del proceso y las emisiones, muestreados cada hora) y 35 variables como adecuados para crear modelos eficaces. En este conjunto de datos se incluyen:

Una vez finalizada la fase de proceso de datos, se identificaron unos 1.700 registros (es decir, un conjunto de valores del proceso y las emisiones, muestreados cada hora) y 35 variables como adecuados para crear modelos eficaces. En este conjunto de datos se incluyen:

- Los principales parámetros del proceso, como el flujo de entrada de aire y gas, el caudal de alimentación, la carga del compresor, la temperatura de los gases

El sistema está integrado con el DCS, y se configuraron los valores estimados de las emisiones para anotarlos en el EMS por medio del protocolo serie Modbus.

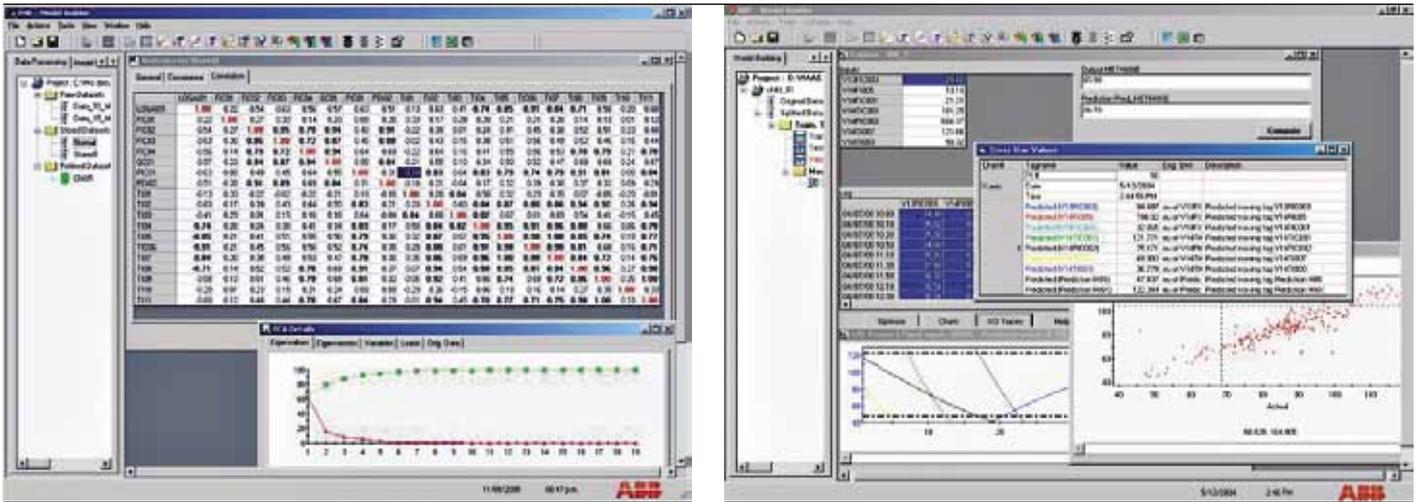
### Resultados y logros

Una vez instalado, el sistema se sometió a un proceso de evaluación y homologación de la Agencia de Protección Medioambiental.

#### Nota a pie de página

$$1 \text{ Precisión} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \text{abs}(Y_j - Y_j^*)$$

Siendo:  $Y_j$  la estimación del PEMS,  $Y_j^*$  la composición real y  $n$  el número de muestras que se utilizan en la comparación.



7 Resultados del proyecto PEMS y certificación resultante

Property	Pr* 95% carga	Pr* 100% carga
Oxígeno	< 10%	< 10%
NOx	< 10%	≈15%
SO <sub>2</sub>	Indetectable (<1ppm)	Indetectable (<1ppm)
CO	< 10%	< 15%
CO <sub>2</sub>	< 10%	< 10%

\*Pr = precisión relativa



tal (EPA) por parte de una tercera compañía autorizada de los Estados Unidos. El proceso necesitó 18 ejercicios de pruebas, cada uno de los cuales duró 30 minutos con dos condiciones de funcionamiento distintas (nueve con un 95% de carga del compresor y el resto con el 100%). Después de cada prueba, las emisiones estimadas por el PEMS se compararon con los valores medidos por el CEMS, lo que permitió determinar la precisión<sup>1</sup> relativa del sistema PEMS. Como los resultados para cada emisión cumplieron la normativa de la EPA, el sistema fue homologado y aceptado finalmente por el cliente → 7. El innovador PEMS del yacimiento de Habshan representa el primer sistema homologado por la EPA basado en tecnologías predictivas de la región del Golfo, y su éxito abre el camino para otras aplicaciones en esta zona. Actualmente, la tecnología PEMS se está probando en otra importante compañía de petróleo y gas para su aceptación oficial en otros países del Golfo y el Mediterráneo. Hay muchos que perciben las ventajas de contar con un sistema “inteligente” fácilmente adaptable:

- Su resultado es aceptado por agencias medioambientales reconocidas internacionalmente.
- Un sistema predictivo puede mejorar la disponibilidad tradicional del CEMS.
- El PEMS puede realmente sustituir a los analizadores convencionales cuando el CEMS no está disponible o no puede utilizarse.

Además de estas ventajas, las características de la simulación que proporciona la solución de ABB permiten a las plantas de producción investigar posibles mejoras de funcionamiento en un entorno no invasivo y determinar las mejores prácticas para ejecutar el proceso. También permiten realizar pruebas avanzadas de los sistemas de optimización para cumplir los reglamentos medioambientales locales.

**Nunzio Bonavita**  
**Federico Callero**  
 ABB SpA  
 Génova, Italia  
 nunzio.bonavita@it.abb.com  
 federico.callero@it.abb.com

El innovador PEMS del yacimiento de Habshan representa el primer sistema homologado por la EPA basado en tecnologías predictivas de la región del Golfo.

**Bibliografía**

- [1] IISO 14001, <http://www.iso14000-iso14001-environmental-management.com/14000.htm>
- [2] *Continuous emission monitoring systems for non-criteria pollutants*. Manual EPA, agosto de 1997.
- [3] Bonavita N, Matsko T. (diciembre de 1999). *Neural network technology applied to refinery inferential analyzer problems*. *Hydrocarbon Engineering*. pp. 33–38.
- [4] Samdani G.S. (diciembre de 1994). *Software takes on air monitoring*. *Chemical Engineering*. pp. 30–33.
- [5] Bonavita, N., Formenton, A., Pavan, E. (2005). *Inferential modeling for environmental applications – the predictive emission monitoring approach*. Libro blanco de ABB.
- [6] Bonavita, N., Martini, R., Matsko, T. (junio de 2003). *Improvement in the performance of online control application via enhanced modeling techniques*. Actas de la conferencia ERTC Computing, Milán.

# Captura eficaz desde el bucle 4.20mA

Diseño de bajo consumo del adaptador inalámbrico FieldKey de ABB

YANNICK MARET, STEFAN U. SVENSSON, TILO MERLIN – Muchos de los dispositivos de campo del bucle cerrado 4.20mA utilizados actualmente en aplicaciones de automatización industrial incluyen capacidades de comunicación por transductor remoto direccionable de alta velocidad (HART). Dado que estas posibilidades se utilizan muy a menudo solo durante la puesta en servicio, datos valiosos como los de proceso o de diagnóstico quedan sin utilizar o no se encuentran disponibles durante el tiempo de funcionamiento. Para transmitir esta información a una estación de ingeniería y de mantenimiento sin que se vean afectados los instrumentos ya instalados en el bucle 4.20mA, ABB ha desarrollado el adaptador FieldKey, que añade capacidad HART inalámbrica a dispositivos HART instalados. El adaptador FieldKey transmite datos por medio de una pasarela inalámbrica y, como tal, es el primer adaptador WirelessHART de la Fundación HART. Aunque se alimenta automáticamente extrayendo la energía necesaria del bucle de corriente en el que debe interactuar, en algunas circunstancias la potencia disponible es limitada. Para solucionarlo, ABB ha desarrollado técnicas para reducir el consumo del FieldKey y limitar su impacto en el bucle 4.20mA existente.

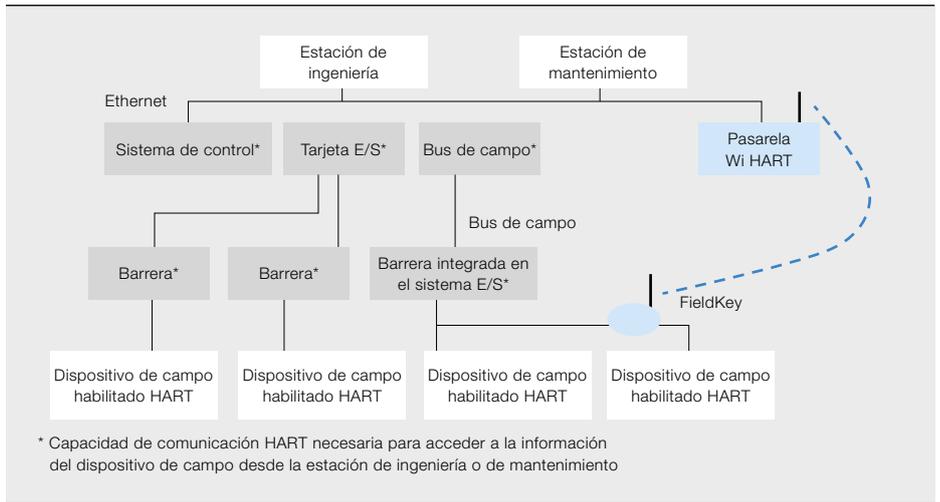
---

#### Imagen del título

ABB ha desarrollado técnicas para reducir el consumo del adaptador FieldKey, lo que a su vez beneficiará a muchas industrias.







La tecnología de señalización analógica, el bucle de corriente 4.20mA, se compone en general de una tensión de alimentación y un dispositivo de señalización que transmite valores de medición o de control modulando la intensidad entre 4 y 20 mA. Cualquier dispositivo conectado en serie al bucle puede leer la corriente y en su caso el valor transmitido. Muchos dispositivos de campo de bucle de corriente 4.20 mA incluyen capacidades de comunicación por transductor remoto direccionable de alta velocidad (HART) [1].

El protocolo de comunicaciones HART se ha diseñado para complementar la tecnología de señalización analógica superponiendo funciones de señalización digital en función del esquema de modulación por salto de frecuencia (FSK). La implantación de una capacidad de comunicación HART completa (la vuelta a un sistema de control y monitorización) en instalaciones en áreas peligrosas, como ocurre en la industria de transformación, es demasiado costosa → 1. Por ello la comunicación HART se limita a menudo a las fases de configuración y puesta en servicio, e información importante, como los datos de proceso o de diagnóstico, queda sin utilizar en el dispositivo de campo. De hecho el objetivo de muchos componentes, como las barreras, es únicamente transportar el 4.20mA a un sistema de control durante el tiempo de funcionamiento.

Aunque algunas instalaciones HART recientes conservan una vía de vuelta a aplicaciones de control del estado, el 80% de la base instalada carece de ella. Para utilizar información HART de dispositivos de campo para el mantenimiento predictivo o la gestión de activos, la

mayoría de los componentes de entrada/salida instalados y sus cables correspondientes deben cambiarse y reconstruirse. Para evitar un trabajo tan costoso, ABB ha desarrollado el adaptador inalámbrico FieldKey, un dispositivo que proporciona una vía de comunicación rentable y segura para aplicaciones de supervisión remota del proceso y el estado sin afectar al funcionamiento del 4.20mA normal [2]. En otras palabras, actúa como puente bidireccional entre los datos HART cableados y wirelessHART.

El adaptador FieldKey puede conectarse en cualquier lugar dentro del bucle 4.20mA utilizado por el dispositivo, y para minimizar los costes de instalación y de mantenimiento, se autoalimenta. En otras palabras, se adapta automáticamente a la potencia disponible. Por lo tanto, si se conecta en serie a un bucle 4.20mA instalado → 2, el adaptador debe ser capaz de extraer potencia suficiente para autoabastecerse creando una caída de tensión en el bucle actual. Esta caída de tensión representa realmente una pérdida de tensión añadida para el bucle, por lo que debe ser suficientemente pequeña para no alterar otros dispositivos. Sin embargo, al minimizar la caída de tensión del bucle, en realidad se limita la potencia disponible. Para solucionarlo, ABB ha buscado formas de limitar su repercusión en el bucle 4.20mA existente y de reducir el consumo del adaptador Field-Key.

Para limitar el impacto del adaptador en el bucle 4.20mA se ha desarrollado un nuevo método de regulación de la caída de tensión adaptativo que utiliza un nuevo circuito de bloqueo de barreras y permite la inclusión de una resistencia de comunicación "virtual". Puede reducirse el consumo del

adaptador optimizando el diseño para el consumo y, en particular, disminuyendo la corriente de fuga de la gran batería de condensadores utilizada para equilibrar los picos de potencia.

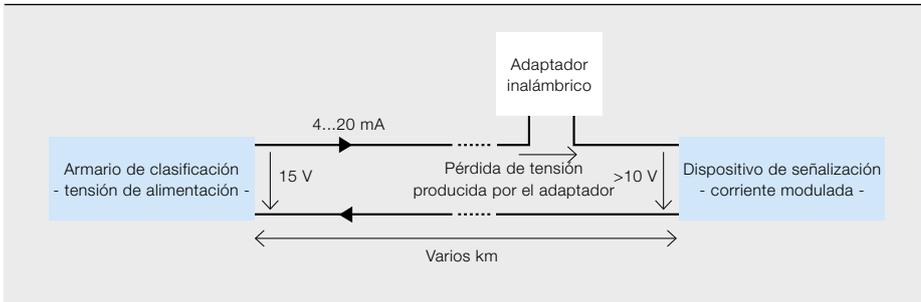
### Limitación del impacto del bucle de corriente

#### Optimización de la caída de tensión

La idea central de la regulación adaptativa de la caída de tensión es adaptar la pérdida de tensión causada por el adaptador FieldKey a la corriente que fluye por el bucle. Dado que la corriente la define el dispositivo de señalización y el adaptador necesita una potencia constante de unos 5 mW para funcionar, en realidad necesita menos tensión para operar a las corrientes de señalización más altas que a las más bajas. Además, la pérdida de tensión resistiva introducida por el cableado es máxima con intensidades mayores. Por ello, la tensión disponible para el dispositivo de campo es mínima a 20 mA y máxima a 4 mA. En la práctica, el cableado está en muchos casos cerca de la longitud máxima permitida, lo que provoca una tensión del dispositivo de campo que se aproxima al límite inferior aceptado por el mismo. La caída de la tensión creada por el adaptador FieldKey es así mayor con intensidades bajas que con las más altas → 3.

Un importante factor de pérdida de tensión de CC en el bucle 4.20 mA es la resistencia de comunicación en serie, necesaria para convertir la intensidad en tensión, y viceversa. Esta resistencia causa una pérdida de tensión de CC de hasta 2,5 V. El adaptador FieldKey sustituye esta resistencia de comunicación por otra "virtual" que actúa como resistencia de 240 Ω

## 2 Renovación de un adaptador inalámbrico Fieldkey



en el margen de frecuencias HART y de  $0 \Omega$  en CC.

El ajuste de la caída de tensión adaptativa y el efecto de la resistencia virtual de comunicación se consiguen mediante el procesamiento de la señal analógica para minimizar el consumo. El diagrama de bloques del sistema electrónico utilizado se ilustra en → 4.

El “front-end” cableado consiste principalmente en un modulador HART y un regulador de tensión de CC → 5. El modulador HART se encarga de la modulación del protocolo HART y regula también la caída de tensión de CC creada por el adaptador. El regulador de CC crea una tensión de CC estable que puede aplicarse al convertidor elevador de CA/CC.

### Reducción del consumo eléctrico

#### Optimización de las fugas en la batería de condensadores

El adaptador FieldKey no es otra cosa que un dispositivo de captura de energía. Pero debe capturar la energía necesaria de un proceso (el bucle de corriente 4.20mA) que no se ha diseñado para este fin. El chip inalámbrico HART necesita más picos de potencia que pueden extraerse del bucle 4.20mA (por ejemplo, hasta 100 mW para escribir en memoria flash, que puede durar 30 ms, o 75 mW para una transmisión inalámbrica de datos, que puede durar 5 ms). La potencia real disponible es el resultado de la corriente de bucle mínima y de la pérdida de tensión en el bucle causada por el adaptador. Por tanto, una pérdida de tensión de 1,5 V se traduce en 6 mW de potencia disponible. Y como hay que reducir la caída de tensión, se restringe la potencia disponible.

Se necesita un búfer de gran capacidad de 6 mF para promediar los picos de potencia, pero un búfer tan grande sufriría fugas de corriente a temperaturas elevadas, con las consiguientes pérdidas de energía. Solo los condensadores electrolíticos pueden alcanzar 6 mF con un tamaño razonable. Algunos condensadores electrolíticos especiales de aluminio presentan una corriente de fuga muy baja, pero su uso se ha descartado debido a requisitos intrínsecos de seguridad (IS) → 6, pues no está permitido el uso de electrolitos líquidos [3]. La opción es utilizar un electrolito sólido y, por tanto, condensadores de tantalio y óxido de niobio. Pero la pérdida de corriente continua (PCC) no es un objetivo de optimización prioritario en el mercado de los condensadores electrolíticos de estado sólido, a diferencia de la resistencia equivalente en serie (RES) o la capacitancia. Se obtiene la corriente de fuga más baja en condensadores de tantalio utilizándolos al 30% o 40% de la tensión nominal [4]. A tensiones más bajas, la corriente de fuga se debe principalmente a la absorción dieléctrica, mientras que a tensiones mayores está dominada por la corriente de falta. Por lo tanto, para un suministro de tensión interna de 3 V, el condensador debe tener una tensión nominal de 10 V.

Puede formarse un banco adecuado con doce condensadores Kemet de  $470 \mu\text{F}/10 \text{ V}^1$ . Además, la corriente de fuga de estos condensadores es mucho menor que la mencionada en las fichas de datos. Por ejemplo, a una tensión operativa de 10 V, se especifica que la corriente

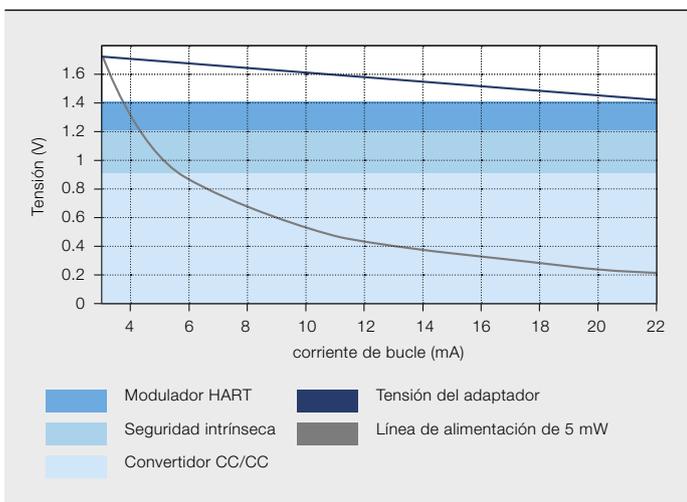
#### Nota a pie de página

<sup>1</sup> Los condensadores en cuestión son Kemet B45197A2477K509.

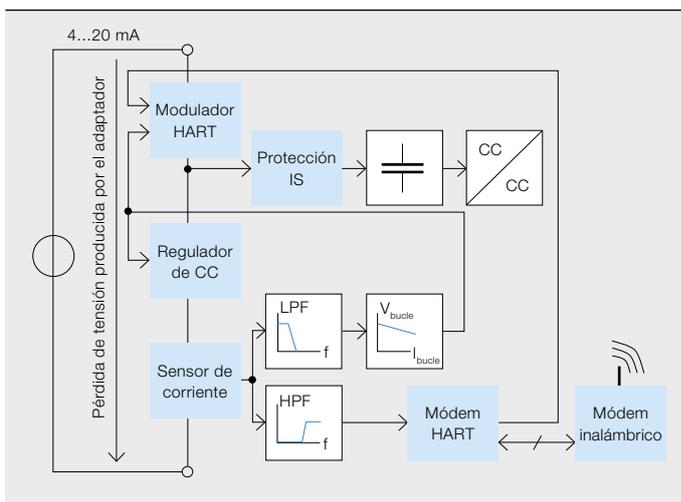
Como dispositivo de captura de energía, el adaptador FieldKey debe recuperar la potencia necesaria a partir de un proceso que no está diseñado para tal fin.

Un dispositivo que cumpla los requisitos de seguridad intrínseca (SI) puede utilizarse en presencia de gases explosivos sin necesidad de una costosa carcasa sellada.

### 3 Caída de tensión creada por el adaptador Fieldkey



### 4 Diagrama de bloques del "front end" cableado



de fuga es de  $14 \mu\text{A}$  por condensador (p.c.) a  $25^\circ\text{C}$ , y se multiplica por un factor de cinco a  $85^\circ\text{C}$ . A una tensión de  $3,6 \text{ V}$ , los gráficos de infradimensionamiento especifican una corriente de fuga máxima de  $8,5 \mu\text{A}$  p.c. a  $25^\circ\text{C}$ , que también se multiplica por cinco a  $85^\circ\text{C}$ . Pero, en mediciones realizadas por Kemet en varias muestras revelan valores de solo  $5,1 \mu\text{A}$  p.c. a  $85^\circ\text{C}$  a una tensión operativa de  $3,6 \text{ V}$  y valores de hasta  $55 \mu\text{A}$  p.c. a  $85^\circ\text{C}$  a una tensión operativa de  $10 \text{ V} \rightarrow 7$ . Estos valores corresponden a una reducción de la corriente de fuga del orden del 90% a  $3,6 \text{ V}$  y de solo el 20% a  $10 \text{ V}$ , resultados que corroboran los indicados previamente en [4] por otro proveedor de condensadores.

#### Barrera de bloqueo de corriente inversa de baja tensión

Para cumplir con las normas de SI, los grandes condensadores deben estar protegidos por una carcasa y conectarse al sistema electrónico exterior mediante una barrera de bloqueo de la corriente inversa [3]. Esto limita la energía térmica y eléctrica que podría transferirse desde los condensadores a partes situadas fuera de la car-

casa de protección en caso de fallo. Según la norma, la energía almacenada en el búfer capacitivo requerido de  $6 \text{ mF}$  es demasiado grande, por lo que se necesita algún tipo de barrera.

Un dispositivo que cumpla con la seguridad intrínseca (SI) tiene la importante ventaja de que puede utilizarse en presencia de gases explosivos sin necesidad de una costosa carcasa sellada. Además, la norma sobre seguridad intrínseca limita la energía que pueden emitir accidentalmente los sistemas electrónicos. Una de las consecuencias es que solo se permiten condensadores relativamente pequeños. Por ejemplo, si la tensión en los condensadores se limita, por ejemplo, a  $5 \text{ V}$ , la suma de todos los condensadores no deben sobrepasar los  $100 \mu\text{F}$  para dispositivos compatibles con los gases más volátiles. Hay dos formas de limitar la energía emitida por los condensadores: añadir una resistencia en serie, o evitar que refluya la energía a la zona peligrosa utilizando diodos de barrera. Por desgracia, la primera técnica implica pérdidas resistivas considerables, mientras que la segunda causa una fuerte caída de tensión.



Un dispositivo con seguridad intrínseca (IS) tiene la importante ventaja de que se puede usar en presencia de gases explosivos sin necesidad de una costosa carcasa sellada. Por otro lado, las normas sobre IS limitan la energía que pueden emitir accidentalmente los equipos electrónicos. Una de las consecuencias es que solamente se permiten condensadores relativamente pequeños. Por ejemplo: si la tensión de los condensadores está limitada a 5 V, la suma de todos ellos no debe superar 100  $\mu\text{F}$  para dispositivos que puedan funcionar en el seno de los gases más volátiles. Hay dos formas de limitar la energía liberada por los condensadores: añadir una resistencia en serie o impedir la vuelta del flujo de energía al área peligrosa con barreras de diodos. Desgraciadamente, la primera técnica implica importantes pérdidas resistivas, mientras que la segunda añade una acusada caída de tensión. Hay un inconveniente en una interfaz de bucle de 4.20mA optimizada e intrínsecamente segura: aumenta la probabilidad teórica de interferir con la corriente del bucle en caso de fallo del dispositivo. El adaptador FieldKey se utiliza para ampliar la capacidad de diagnóstico, pero no puede aceptarse la disminución de la fiabilidad del sistema. Se utiliza un análisis de modos de fallo, efectos y criticidad (FMECA) para ayudar a calcular el tiempo medio entre fallos (MTBF) de los distintos diseños.

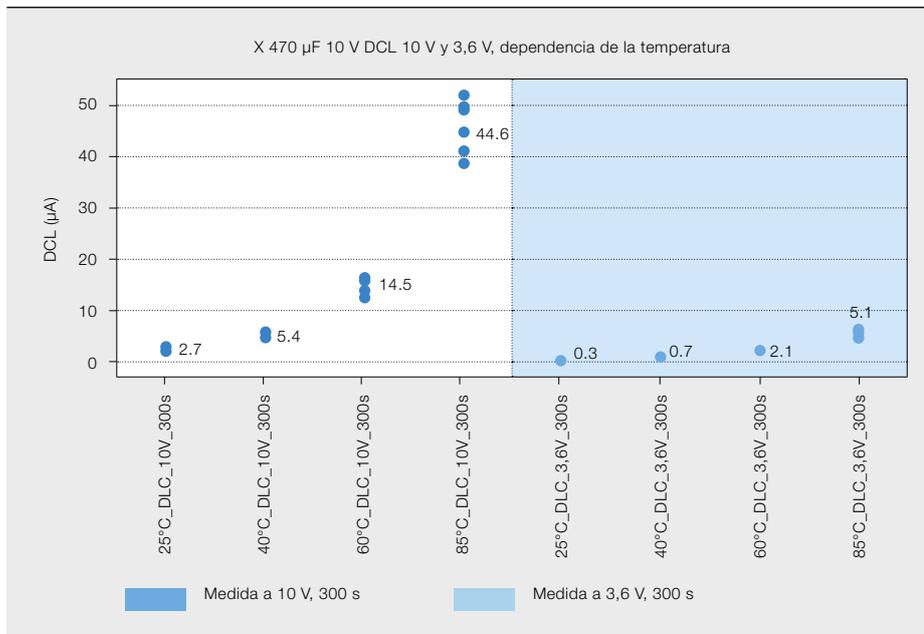
Una interfaz para el bucle 4.20mA optimizada para el consumo e intrínsecamente segura tiene un inconveniente: aumenta la probabilidad teórica de que interfiera con la corriente del bucle en caso de fallo del dispositivo. El adaptador FieldKey se utiliza para ampliar la capacidad de diagnóstico, pero la disminución de la fiabilidad del sistema no es aceptable. Para calcular el tiempo medio entre averías (MTBF) de distintos diseños se utiliza un análisis de modos de fallo, efectos y criticidad (FMEDA). Soluciones convencionales, como los circuitos basados en diodos, causan una pérdida considerable de tensión, mientras que los circuitos complejos, como los circuitos integrados, no están autorizados por las entidades de certificación porque es difícil analizar los fallos y, cuando algo va mal, el sistema de protección debe funcionar sin fuente de alimentación. Por estas razones, ABB ha propuesto una nueva barrera de potencial casi cero que funciona mejor que una solución basada en diodos.

El planteamiento convencional consta de varios diodos de silicio conectados en serie [5]. En algunos lugares del mundo, dos diodos son suficientes, mientras que en otros se exigen tres. Para reducir al mínimo las

pérdidas de tensión, se utilizan diodos Schottky. La caída total de tensión causada por tres diodos Schottky en serie a temperatura ambiente es de unos 0,5 V. Sin embargo, cuando baja la temperatura, hay menos portadores de carga y aumenta la caída de tensión para una intensidad determinada. Cuando ocurre esto, la pérdida de tensión puede aumentar hasta 1 V a  $-40^\circ\text{C}$ .

La solución propuesta por ABB (para tres niveles de protección) se muestra en [→ 7](#). En el modo avance ( $V_1 > V_D$ ), solo los transistores y resistencias más bajos definen el comportamiento del circuito de protección. Los transistores superiores son de polarización inversa y por ello no conducen. Los transistores inferiores son de polarización directa, por lo que se encuentran en modo activo directo y saturado. La caída total de tensión provocada por los tres transistores es, por tanto, muy baja a cualquier valor de temperatura. Como los transistores están saturados, la intensidad de base necesaria es mucho mayor que para el modo normal de avance activo. Esto significa que una cantidad no insignificante de corriente del emisor entra en la base del transistor.

El circuito electrónico se diseñó utilizando un método iterativo para distribuir de manera óptima el consumo en función de los diferentes modos de funcionamiento y la estructura del dispositivo.



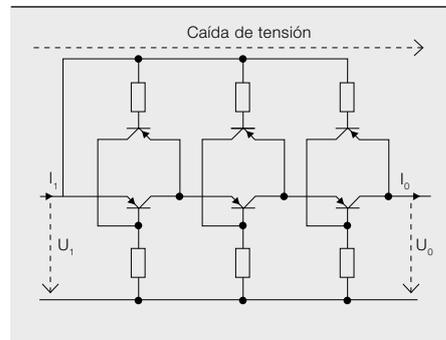
Un equipo de ingenieros y científicos de investigación del grupo creó wirelessHART, el adaptador con la menor caída de tensión del mercado.

En modo inverso ( $V_o > V_i$  y  $V_o > 0,6$  V), los transistores superiores son de polarización directa y por tanto conductores. Su objetivo es convertir el grupo de transistores inferiores en no conductores mediante polarización inversa. Esto es necesario porque los transistores bipolares son relativamente simétricos. De hecho, el colector y el emisor pueden invertirse, y el transistor sigue funcionando como un transistor, aunque con peores características. Esto implica que un circuito de protección formado únicamente por los transistores inferiores no bloquearía totalmente la corriente.

Para  $V_i = 1,5$  V e  $I_i = 4$  mA, la pérdida de tensión del modo avance a  $-40^\circ\text{C}$  es de 0,78 V para tres diodos Schottky en serie, con una eficacia energética de aproximadamente un 48%. Para la solución propuesta de transistores en las mismas condiciones, la pérdida de tensión en modo avance es de unos 193 mV y la fuga de corriente es de 69 µA, con una eficacia energética de aproximadamente un 85%. Encontrará una explicación y un análisis más detallados de la barrera de bloqueo de transistores en [6].

El sistema electrónico se diseñó utilizando un método iterativo para distribuir de manera óptima el consumo en función de los diferentes modos de funcionamiento (espera, desmodulación y modulación) y la estructura del dispositivo (analógico, digital). Utilizando las técnicas descritas en este artículo, un equipo de ingenieros y científicos de investigación del grupo desarrolló el adaptador

### 8 Nueva barrera de bloqueo de corrientes inversas propuesta por ABB



wirelessHART con la menor caída de tensión del mercado.

Para más información, consulte [www.abb.com/fieldbus](http://www.abb.com/fieldbus)

#### Yannick Maret

ABB Corporate Research  
Baden-Dättwil, Suiza  
yannick.maret@ch.abb.com

#### Stefan U Svensson

ABB Corporate Research  
Ludvika, Suecia  
stefan.u.svensson@se.abb.com

#### Tilo Merlin

ABB Measurement Products  
Alemania  
tilo.merlin@de.abb.com

#### Bibliografía

- [1] FSK Physical Layer Specification, HART Communication Foundation, agosto de 1999.
- [2] Johnston, G. "Liberación de la información inutilizada: Adaptador de ABB actualizado para WirelessHART™". *Revista ABB* 4/2009, pp. 27-32.
- [3] IEC standard 60079/11. *Explosive atmospheres - Part 11: Equipment protection by intrinsic safety 'i'*. IEC 2006-2007.
- [4] Zednicek, T. y cols. (2009). *Tire pressure monitoring system life time improvement by low leakage tantalum and NbO*. AVX Corporation.
- [5] Gaunt, D. (noviembre de 1988). *Intrinsic safety-simplicity itself. International conference on Electrical Safety in Hazardous Areas* (103-105).
- [6] Maret, Y., Schrag, D., Bloch, R. (2011). *On increasing the power available to an intrinsically safe wireless HART FieldKey*. IEEE International Symposium on Industrial Electronics.

## Consejo de redacción

### Claes Ryttoft

Director de Tecnología  
I+D y tecnología del Grupo

### Clarissa Haller

Responsable de comunicaciones corporativas

### Ron Popper

Jefe de responsabilidad empresarial

### Eero Jaaskela

Jefe de gestión de cuentas del grupo

### Andreas Moglestue

Jefe de redacción de la Revista ABB  
andreas.moglestue@ch.abb.com

### Editorial

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

ABB Technology Ltd.

*Revista ABB*

Affolternstrasse 44

CH-8050 Zürich

Suiza

La *Revista ABB* se publica cuatro veces al año en inglés, francés, alemán, español, chino y ruso.

La *Revista ABB* 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 © 2011

ABB Technology Ltd.

Zurich, Suiza

### Impresión

Vorarlberger Verlagsanstalt GmbH  
AT-6850 Dornbirn/Austria

### Diseño

DAVILLA AG

Zurich, Suiza

### Cláusula de exención de responsabilidad

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

ISSN: 1013-3119

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



Avance 4|11

# Agua

El agua es un elemento fundamental para la vida. Pero no está distribuida por igual. De hecho, una sexta parte de la humanidad no tiene acceso a agua potable segura, y el abastecimiento de agua contaminada sigue siendo una de las principales causas de enfermedades.

No solo tratan de abordar el problema del suministro de agua los países en desarrollo. Muchas ciudades de naciones industrializadas cuentan con una infraestructura anticuada de abastecimiento de agua que tiene que modernizarse para responder a la creciente demanda, reducir las pérdidas por fugas y resolver problemas energéticos y medioambientales.

El número 4/2011 de la *Revista ABB* estará dedicado a la tecnología del agua y a la contribución de ABB en este campo. En artículos relacionados con la productividad se hablará sobre tecnologías de medición, accionamientos y bombeo, así como de los sistemas de gestión y control de redes. Además, se examinarán las formas de aumentar la eficiencia energética del suministro de agua. En cuanto a las fuentes de agua no convencionales, la revista analizará las plantas de desalinización. De éstos y otros temas se hablará en la *Revista ABB* 4/2011.



## ¿Aumentar la eficiencia energética un 25%?

Una solución completa de sistemas eléctricos y de automatización de ABB ha permitido a la mayor planta de aluminio de Europa aumentar su eficiencia energética un 25% y al mismo tiempo incrementar su productividad. Enfocando nuestra investigación y desarrollo en mejorar el rendimiento y en la conservación de los recursos, trabajamos de forma continua para ahorrar energía y dinero. Y conservar el medioambiente. [www.abb.com/betterworld](http://www.abb.com/betterworld)

Por supuesto.