

Revista ABB

La revista técnica corporativa del
Grupo ABB

www.abb.com/abbreview

3 / 2007

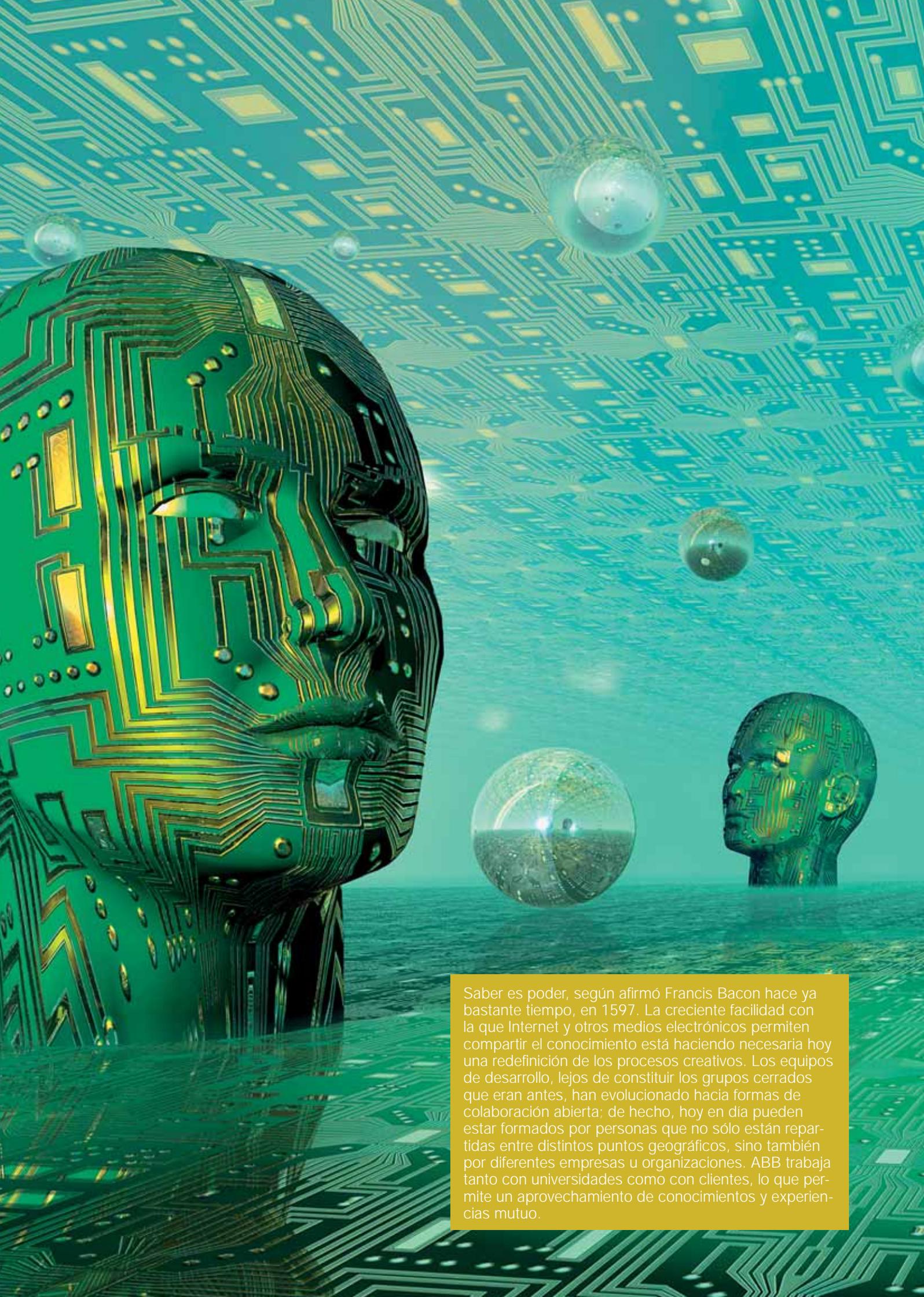
Pioneros de la colaboración

El mejor modo de cooperar
página 6

Una parada suave
página 31

Aunar fuerzas para proporcionar estabilidad
página 34

ABB



Saber es poder, según afirmó Francis Bacon hace ya bastante tiempo, en 1597. La creciente facilidad con la que Internet y otros medios electrónicos permiten compartir el conocimiento está haciendo necesaria hoy una redefinición de los procesos creativos. Los equipos de desarrollo, lejos de constituir los grupos cerrados que eran antes, han evolucionado hacia formas de colaboración abierta; de hecho, hoy en día pueden estar formados por personas que no sólo están repartidas entre distintos puntos geográficos, sino también por diferentes empresas u organizaciones. ABB trabaja tanto con universidades como con clientes, lo que permite un aprovechamiento de conocimientos y experiencias mutuo.



Peter Terwiesch: "Mantenerse en vanguardia exige la conjunción de saber lo que se va a poder hacer, y poner todos los medios para hacerlo, con saber lo que va a necesitarse".



Frank Duggan: "ABB es el líder indiscutible del mercado en la mayoría de nuestras actividades principales. La receta para que nuestros productos logren un éxito aún mayor es que nos centremos en conocer más a fondo las necesidades de nuestros clientes".

Colaborar para obtener resultados

El presente número de la *Revista ABB* está dedicado a un principio empresarial muy importante: la colaboración. Según la definición que ofrece el diccionario, el término significa "trabajar con otra u otras personas en la realización de una obra". Pues bien, en ABB lo asociamos además con el aprendizaje, la puesta en común... y el éxito. Muchas de las mayores innovaciones de ABB se han logrado en estrecha colaboración con los clientes. Desde los primeros pasos de un nuevo producto, esa colaboración permite que los socios compartan sus deseos e ideas. En fases posteriores, les permite "poner a prueba" las soluciones propuestas, con lo que éstas pueden perfeccionarse mucho antes de su introducción en el mercado. La posibilidad de que los desarrolladores de productos vean éstos desde la perspectiva del cliente ayuda a acompañar mejor los procesos de desarrollo y las necesidades reales. Es una medida que ha abierto aún más los ojos y los oídos de la empresa a lo que buscan los clientes de nuestros clientes. Los resultados de tales proyectos han solido abrirse camino hasta llegar a la amplia paleta de productos de ABB, beneficiando con ello a otros clientes.

Al igual que ABB une sus fuerzas a las de sus clientes, estamos estableciendo alianzas con nuestros proveedores. Los acuerdos de cooperación parten de la base de que las empresas de éxito se centran en sus principales puntos fuertes tecnológicos y permiten que otros rellenen los huecos, con lo que se completa la oferta global en lo que respecta a productos y servicios. Y esto se logra gracias a la confianza que depositan en nosotros nuestros clientes, por lo que les estamos muy agradecidos.

En el campo de la investigación, ABB ha establecido también un número significativo de asociaciones. La compañía trabaja con más de setenta instituciones académicas destacadas, como el Instituto Tecnológico de Massachusetts, la Universidad Carnegie Mellon, el Imperial College de Londres y la Universidad Tsinghua de China.

Tal cooperación no sólo amplía el ámbito y la capacidad de los propios equipos de investigación de ABB, sino que además reúne a algunas de las mentes más privilegiadas del mundo en importantes proyectos de investigación.

Mientras que la cooperación ha solido ayudar a ABB a exhibir nuevos diseños y conceptos, también ha contribuido a identificar otras áreas que pueden desarrollarse en ulteriores proyectos conjuntos. Ahora bien, la cooperación por sí misma no es garantía de avance. Nuestra experiencia nos dice que la receta para el éxito puede dividirse en tres principios fundamentales: buscar, innovar y compartir.

El primero de estos principios, buscar, se refiere a la necesidad de formular las preguntas correctas. Si las partes dedican tiempo a informarse sobre la empresa del socio y a averiguar cuáles son sus retos y limitaciones, estarán mejor equipadas para encontrar soluciones con las que superar estas limitaciones. La cooperación y la colaboración son en esencia procesos bilaterales en los que ambas partes deben estar igualmente preparadas para preguntar y responder. Deben desarrollar una habilidad para detectar el "pulso" de la situación que les rodea. Esto exige no sólo hablar con los interlocutores directos que tenga uno en la otra empresa, sino intentar aprender de una amplia variedad de partes interesadas.

El segundo principio, innovar, exige estar preparado para pensar –y actuar– más allá de los límites de las prácticas convencionales. Esto es cierto no sólo por lo que respecta a los socios individualmente, sino también a la redefinición de su relación cliente-proveedor.

El último principio, compartir, se refiere a la necesidad de poner a disposición de las otras partes los resultados y las conclusiones. En ello se incluye la capacidad no sólo para aprender de los errores, sino también para averiguar cuáles son las causas reales de los avances importantes, en lugar de limitarse a cosechar las alabanzas y pasar al punto siguiente después de un éxito fortuito. Esto fortalece la posición conjunta de los socios de cara al futuro y garantiza que las lecciones aprendidas en un proyecto no tengan que volver a aprenderse en el siguiente.

En el presente número de la *Revista ABB* demostramos cómo han superado estos principios la prueba de la práctica. ABB tiene contratados a cerca de 6.000 científicos e ingenieros en el conjunto de la organización, en una amplia variedad de materias y aplicaciones. Y es posible que nuestros socios tengan contratados en conjunto un número muy superior a esa cifra.

Estamos agradecidos por el espíritu de innovación que les impulsa a todos ellos y que hace posible los éxitos que enriquecen las páginas de este número de la *Revista ABB*. ¡Qué disfruten de su lectura!

Peter Terwiesch
Director general
de tecnología,
ABB Ltd.

Frank Duggan
Jefe de gestión de cuentas,
ABB Ltd.

Revista ABB 3/2007

Pioneros de la colaboración

Puerta de acceso a la colaboración

6

El mejor modo de cooperar

El análisis científico subraya el concepto de éxito.

9

Dos puntos de apoyo, mejor que uno

Por qué deberían las empresas esforzarse por incluir la colaboración con la investigación universitaria en sus procesos de desarrollo de productos y servicios.

11

Ningún paso sin el cliente

La determinación de las "necesidades" del cliente frente a los "deseos" es un arte en sí mismo. ¿Cómo aborda ABB esta cuestión?

Colaboración en los procesos

15

Colaboración para el éxito

Cómo beneficia una relación innovadora no sólo a las dos partes integrantes, sino también a los clientes de todos los sectores de la industria.

18

Anticiparse al futuro

Aunque la calidad del combustible deje mucho que desear, aún es posible hacer cemento: compensando la variabilidad con el uso de Expert Optimizer.

22

Alquilación de ácido fluorhídrico

Dotar de mayor seguridad y eficiencia al proceso del refino.

27

La tecnología del agua corriente

¿Sedimento de conocimientos técnicos? La ciudad de Basilea aprovecha la capacidad de OPTIMAX® de ABB para que el agua siga corriendo.

31

Una parada suave

Para cerrar el grifo no es necesario ya enviar ondas de choque por las cañerías.

Colaboración en productos eléctricos

34

Aunar fuerzas para proporcionar estabilidad

Evitar la inestabilidad en redes que cubren enormes distancias.

39

Control y protección

Desarrollo del dispositivo de protección de líneas de media tensión: CEPA.

42

Detectado

Invisibles, peligrosos y desafiantes. Los fallos de alta impedancia ya llevan demasiado tiempo sin dejarse detectar.

46

Seguridad en la velocidad

Su labor es proteger. El Dispositivo de Protección Rápida de ABB juega su propio campeonato.

50

Socios tecnológicos

Los transformadores TPC responden a la demanda de mayor funcionalidad, seguridad y fiabilidad.

53

Engrasado y listo

Una innovadora solución que ha "transformado" el uso del aceite vegetal.

Colaboración en productos de automatización

58

El reto del prensado

Con la servotecnología DDC se puede hacer funcionar una línea de prensado con mayor rapidez sin someterla a una gran presión.

63

Operaciones especializadas de soldadura

Soldadores compactos, ágiles y especializados: el robot IRB 6620.

65

Especialistas en robótica

Un robot con múltiples habilidades hace bien muchas cosas, pero un robot especializado es el que mejor hace una cosa.

68

Orientado al cliente

Accionamientos extraordinarios para aplicaciones extraordinarias.

72

Operaciones integradas

Un consorcio liderado por ABB optimiza e integra las operaciones de Statoil ¡Y tienen muchas cosas que contar!

76

Lo que pueden decirnos los bucles

Un fallo en el funcionamiento de un bucle de control puede causar un efecto dominó en toda la central. Suele ser mejor prevenir que curar.

Eterno espíritu pionero

80

Transformar la historia

Más de un siglo de avances en los transformadores: algo que da que pensar.



El mejor modo de cooperar

El análisis científico subraya el concepto de éxito

Ellen Enkel

Una de las mayores oportunidades para compañías que deseen mejorar su capacidad general de innovación y reducir los riesgos de mercado que suponen las innovaciones discontinuas, es integrar a sus clientes en el proceso de innovación. Cuanto antes se pueda integrar el conocimiento y la experiencia de un cliente al proceso, más puede centrarse la empresa en sus actividades de

I+D para satisfacer las necesidades del cliente. La integración de los clientes en el proceso de I+D permite identificar las necesidades de los clientes, difundir la información a través de las áreas funcionales críticas de una compañía y traducir esta información en nuevos productos y servicios con un futuro prometedor.



Diferentes estudios empíricos muestran que la integración de los clientes en el proceso de innovación es un método que se aplica cada vez más con el cual se intenta reducir el riesgo de fracaso en la inversión. El enfoque de usuario modelo, las comunidades de consumidores y la integración a ultranza de los clientes son algunos de los términos discutidos a fondo en los documentos actuales de investigación y de gestión.

Pero ¿qué conocimiento puede aportar el cliente? Y, en su caso, ¿este conocimiento puede llevar a innovación discontinua? En lugar prioritario de la agenda de todos los directivos, las innovaciones discontinuas suponen un riesgo específico porque también conllevan una mayor incertidumbre en términos de la naturaleza del producto en sí, de la capacidad de la empresa para fabricar el producto de forma eficiente, de su aceptación en el mercado y, en último término, de la rentabilidad. Las mejores prácticas del desarrollo tradicional de productos asociadas con la innovación también son interesantes, dado que no se conocen aún los atributos del producto y los futuros entor-

nos de las innovaciones radicales. En comparación, los resultados de los enfoques tradicionales para la previsión de las necesidades del cliente y el potencial del mercado, tanto si se emplean técnicas cuantitativas como métodos cualitativos, se limitan a meras propuestas con respecto a las mejoras del producto. Una integración de los clientes en la fase inicial, incluyendo a futuros clientes analógicos y potenciales, ofrece pistas sobre demandas desconocidas de los mercados objetivo y las futuras necesidades de los clientes y, por lo tanto, pueden llevar a crear innovaciones disruptivas.

De hecho, es una práctica frecuente que las empresas aprovechen las ventajas de la integración de los clientes en sus procesos de desarrollo de nuevos productos. Hay diversas maneras de integrar a los clientes en el entorno de I+D, con una aportación variable en función de la fase de participación. La figura 1 ofrece un resumen de cómo puede variar la integración del cliente en cada fase del proceso de innovación, y qué clientes son los más apropiados para lograr la información esperada (ver 3).

Los *clientes solicitantes*, como se les conoce, facilitan ideas para nuevos productos que responden a sus necesidades. La aportación de un cliente que solicita algo depende de la capacidad de la empresa para captar el conocimiento que puede extraerse de ese cliente, que suele estar expresado en forma de quejas o sugerencias. Puesto

que las quejas suelen ir ligadas a los usos y características del producto en un momento determinado, constituyen una fuente bastante limitada de información sobre un producto nuevo.

Por el contrario, los *clientes de lanzamiento* se integran desde la fase de desarrollo para simular, diseñar o participar en las actividades de desarrollo.

Por su parte, los *clientes de referencia* facilitan la experiencia de la aplicación del producto. La función, sumamente productiva, que pueden desempeñar este tipo de clientes en las pruebas de productos y prototipos ha quedado demostrada en distintos estudios empíricos.

Sin embargo, el *primer comprador* desempeña un papel más pasivo en el desarrollo. Como se explica en los modelos de difusión, un precursor con gran influencia en la penetración en el mercado puede contribuir al éxito en el mercado.

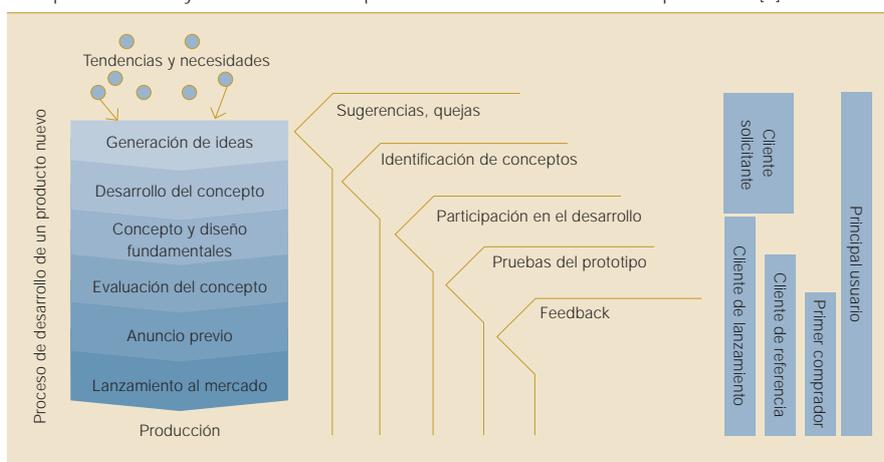
Los clientes que puedan cubrir todas las fases del proceso de I+D son sin duda la opción más favorable para la cooperación: son los *usuarios modelo*.

Algunos estudios empíricos han insistido, en primer lugar, en que la novedad de la innovación, la cifra de negocio esperada, la cuota de mercado y la importancia estratégica, son significativamente mayores para los proyectos de innovación basados en los métodos del usuario modelo que para los que se basan en enfoques tradicionales.

En segundo lugar, el enfoque de varias fases del método basado en usuarios modelo no sólo busca generar conceptos de producto nuevos e innovadores, sino también mejorar y potenciar la eficacia de los equipos de desarrollo de producto interfuncionales.

Además, los usuarios modelo se diferencian de los usuarios comunes. Los primeros se enfrentan a necesidades nuevas mucho antes que la mayoría de

1 Tipos de cliente y su contribución al proceso de desarrollo de nuevos productos [1]



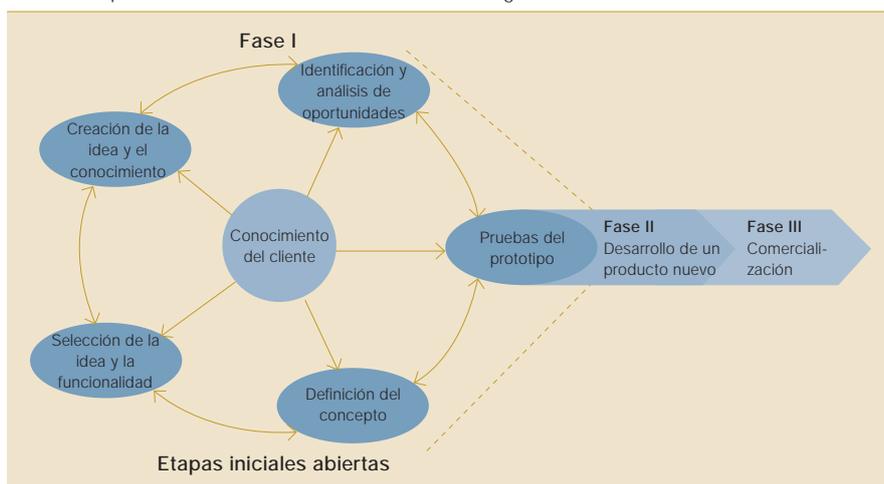
Cuadro Glosario sobre innovación

Innovación discontinua o de ruptura: producto o sistema tecnológico que deja atrás la tecnología o status quo dominante en ese momento y crea un mercado nuevo.

Innovación incremental: pequeña mejora en una tecnología existente, que satisface los objetivos a corto plazo y respalda el crecimiento de una empresa.

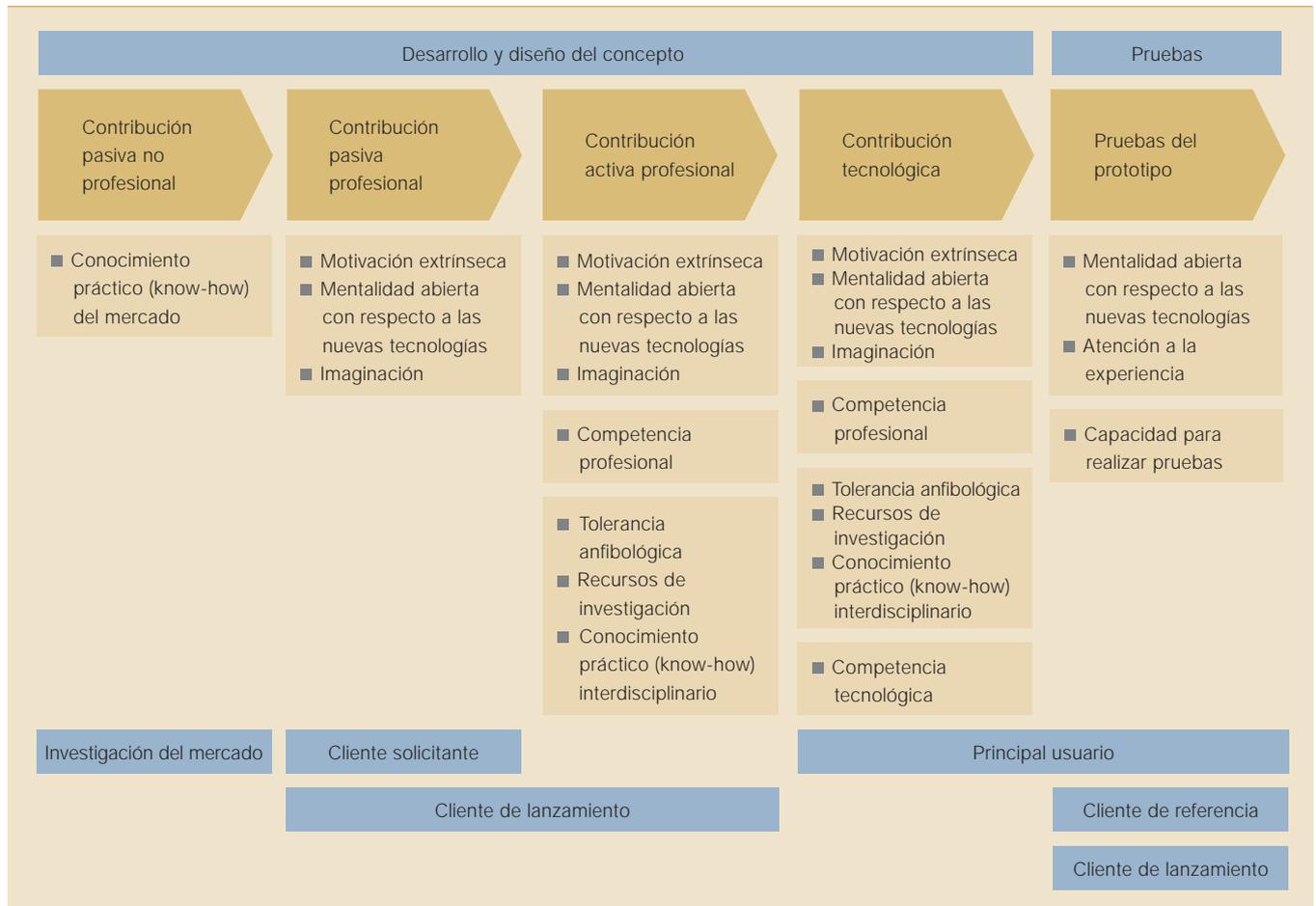
Innovación abierta: compra (o concesión de licencia para su utilización) de productos o tecnologías de otras empresas; los métodos y procedimientos para el campo de la innovación abierta se han desarrollado en los últimos cinco años [5].

2 Las "etapas iniciales abiertas" en relación con la integración del conocimiento del cliente



Puerta de acceso a la colaboración

3 Perfiles de cliente necesarios para la participación en el proceso de desarrollo de un producto nuevo [1]



los clientes del mercado, y se benefician de las innovaciones que satisfacen aquellas necesidades. Los usuarios modelo pueden contribuir en distintas subfases de las primeras etapas del proceso de innovación, denominadas a veces “etapas iniciales abiertas”. Como se ilustra en la figura 2, los conocimientos de los clientes pueden ayudar notablemente a generar ideas, identificar oportunidades y definir conceptos para futuros productos, procesos o servicios.

Cuando nos referimos a la cooperación entre investigadores en la industria y sus clientes, un concepto similar es también válido para la colaboración con proveedores del sector en cuestión. En este caso, la relación cliente – proveedor se desarrolla en un nuevo escenario.

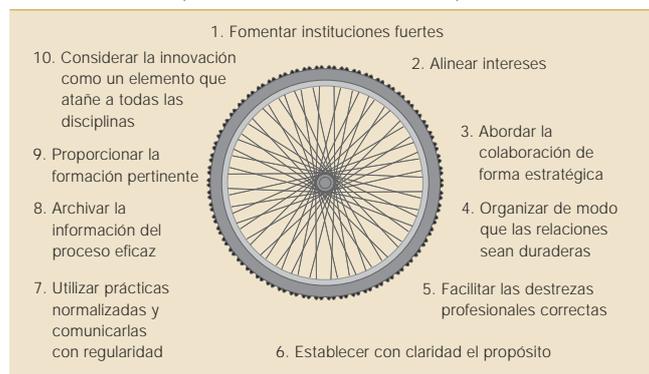
En los últimos cinco años se ha desarrollado un nuevo y prometedor campo (“innovación abierta”) que permite la

integración de los conocimientos de investigación de fuentes externas [5] y que tiene aplicaciones en las relaciones con los clientes [2]. La incorrecta colaboración con los socios puede entrañar riesgos [3] 4; sin embargo, siguiendo los consejos anteriores de buena práctica, éstos se limitan considerablemente.

Ellen Enkel

Directora del Centro de Competencia de Innovación Abierta de la Universidad de St. Gallen, Suiza. ellen.enkel@unisg.ch

4 Diez directrices para maximizar el éxito de cooperar en I + D



Referencias

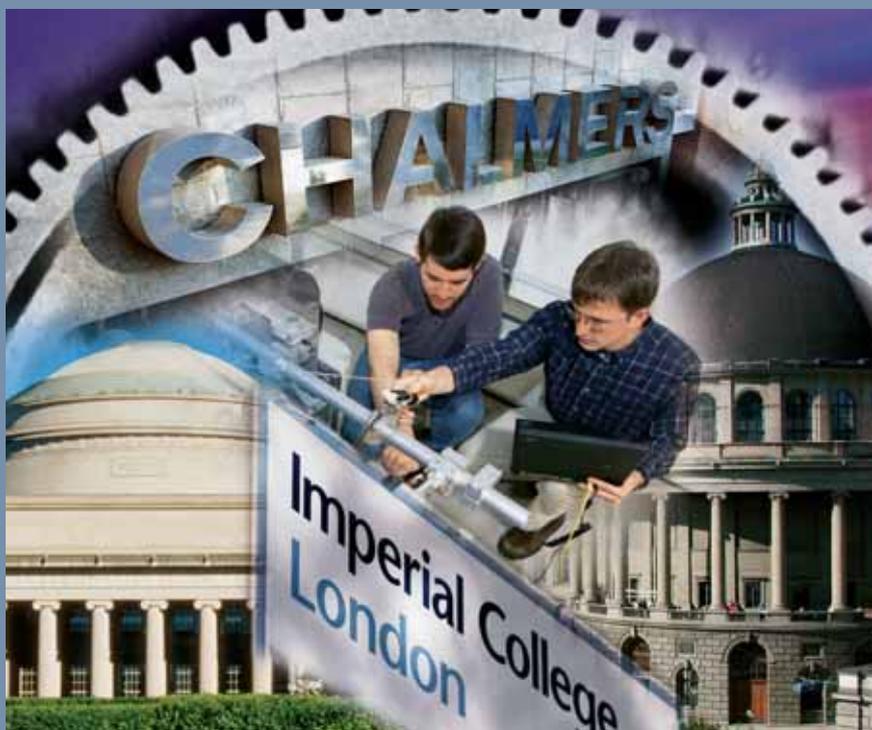
- [1] Ellen Enkel, Javier Prez-Freije, Oliver Gassmann: Minimizing Market Risks through Customer Integration in NPD. Learnings from a bad practice. Creativity and Innovation Management, volumen 14 (4), páginas 425–437 (2005).
- [2] Oliver Gassmann, Christoph Kausch, Ellen Enkel: A study of negative side effects of customer integration. International Journal of Technology Management (2007, de próxima publicación).
- [3] Responsible Partnering: a handbook composed by EIRMA, EARTO, ProTon and EUA, www.eirma.asso.fr
- [4] Ellen Enkel, Christoph Kausch, Oliver Gassmann: Managing the risk of customer integration; European Management Journal, volumen 23,2, páginas 203–213 (abril de 2005).
- [5] Ellen Enkel, Oliver Gassmann: Driving Open Innovation in the Front End. The IBM Case. International Journal of Technology Management (2008, de próxima publicación).

Dos puntos de apoyo, mejor que uno

La investigación industrial como vínculo entre el mercado y la tecnología

Friedrich Pinnekamp

El número de científicos en activo que hay hoy en todo el mundo no tiene precedentes. Estos científicos están mejor informados y más actualizados, de modo que las nuevas ideas e innovaciones se generan de manera exponencial. El fomento de asociaciones de colaboración en la investigación científica se ha convertido en un imperativo crucial para mantener este proceso de innovación y para traducir las grandes ideas en grandes invenciones para el bien de la sociedad. Por ese motivo, las organizaciones de investigación industrial no deberían tener como punto de apoyo único las instalaciones de los clientes, sino también los campus universitarios, de igual importancia que aquéllas.



El propósito final de la cooperación entre universidad e industria es ampliar las fronteras del conocimiento e incluir éste en los nuevos productos, procesos y servicios. Los numerosos retos a los que se enfrenta la sociedad moderna hacen necesarias más innovaciones científicas y tecnológicas que puedan ofrecer las herramientas que permitan garantizar un mejor futuro para todos [1].

Sin embargo, recoger los beneficios del conocimiento y transformarlos en empleos y prosperidad no es una mera cuestión de investigación y política en materia de investigación. De lo que se trata es de las condiciones propicias para la creación de empresas y de có-

mo fomentar el contacto entre investigadores y empresarios.

A la larga, sólo las innovaciones con mayor base científica y tecnológica permitirán a las empresas competir con éxito en los mercados internacionales. En consecuencia, las empresas deberían esforzarse por incluir la colaboración con la investigación universitaria en sus procesos de desarrollo de productos y servicios.

Durante la última década, este principio ha ganado atractivo para los investigadores industriales, y ABB está orgullosa de estar entre los precursores en este campo.

De hecho, la cooperación de ABB con universidades del todo el mundo tiene

una larga tradición. La empresa tiene contratos de trabajo con más de 50 universidades de Estados Unidos, Europa y Asia, muchas de las cuales gozan del reconocimiento internacional como las mejores en su campo de investigación. En el recuadro informativo se ofrece un breve resumen de seis de estas universidades [Cuadro](#).

Al fomentar activamente el camino hacia la "innovación abierta", ABB no sólo añade tecnología punta a sus productos, sino que también atrae a las personas con mayor talento de las universidades hacia su organización de I+D. Al mismo tiempo, esto ayuda a las universidades a encontrar campos de

Puerta de acceso a la colaboración



Cuadro Algunas de las universidades con las que ABB tiene contratos de trabajo

Universidad Carnegie Mellon, Pittsburgh

Carnegie Mellon es una institución célebre por sus programas informáticos. En colaboración con IBM, fue una pionera en el famoso "sistema de archivos Andrew". Michael "Fuzzy" Mauldin desarrolló el revolucionario motor de búsqueda "Lycos". Además, Carnegie Mellon y Sony colaboran en los robots AIBO de la empresa y en otras iniciativas para incorporar a los robots en la vida humana como compañeros, ayudantes y asistentes. El Instituto de Ingeniería y, en particular, el Departamento de Ingeniería Eléctrica e Informática, es uno de los mejores del mundo.

Universidad RWTH de Aquisgrán

La universidad RWTH de Aquisgrán es una de las más importantes en investigación de la energía, tratamiento de sistemas e ingeniería eléctrica, investigación de materiales y tecnología de producción, entre otras muchas áreas. Por las competencias a las que está dedicada, la RWTH trabaja junto con la industria en el desarrollo de modelos físicos y herramientas de simulación, y también realiza estudios a largo plazo relacionados con la estructura futura de la red de energía eléctrica en Alemania.

Universidad de Tecnología de Chalmers

Chalmers cuenta con una amplia experiencia y profundos conocimientos sobre combustión y catálisis, electrónica, seguridad, diseño y dinámica en el campo de la automoción. La Alianza para la Sostenibilidad Mundial (AGS) es una asociación internacional entre la industria y cuatro de las principales universidades científicas y tecnológicas del mundo. Sus equipos de investigación han estudiado nuevos aspectos esenciales sobre sostenibilidad en los campos de la energía y el clima, la movilidad, los sistemas urbanísticos, el agua y la agricultura, las tecnologías limpias y las comunicaciones.

ETH, Zúrich

La ETH realiza investigaciones sobre materiales junto con importantes empresas suizas e internacionales de los siguientes sectores: farmacéutico, ingeniería, hardware e informática, energía, materiales, productos químicos especiales, alimentación, implantes biomédicos y sectores de diagnóstico. También se dedica a la investigación de cuestiones relacionadas con la energía y las tecnologías de automatización.

Imperial College (IC), Londres

Es un centro famoso por su especialidad en procesos y en gestión de la información, investigación de sistemas, aeronáutica, estructuras y materiales. Algunos investigadores en el campo de la energía colaboran con diversas compañías, como Shell, en la exploración, la producción y el tratamiento de petróleo y gas, teniendo presente en todo momento el aspecto de la sostenibilidad.

Universidad de Tsinghua, Beijing

Tsinghua desempeña una función importante para la ambición china de la innovación tecnológica. Durante los últimos años, la universidad ha trabajado intensamente para participar en proyectos internacionales de I+D con muchas grandes empresas mundiales, y ha optimizado el uso de sus escasos recursos para elevar su I+D hasta un nivel puntero, por ejemplo, en los ámbitos de la generación, las transmisiones y la distribución. Tsinghua trabaja con ABB en temas de interconectividad relativos a las redes regionales de China.

investigación que benefician a la sociedad. Una cooperación tan intensa entre la industria y el ámbito académico lo que hace es acelerar el proceso de innovación y contribuir al crecimiento en todas las partes del mundo.

Las universidades asociadas de Estados Unidos, Europa y Asia trabajan en estrecha colaboración con los centros de investigación de ABB en todo el mundo para desarrollar, por ejemplo, nuevos procesos de fabricación, y para lle-

var a cabo investigaciones sobre sistemas eléctricos y materiales avanzados. Tales colaboraciones cubren también las redes inalámbricas, los sistemas de control, las interfaces hombre-máquina y otros muchos aspectos. Para ABB, el establecimiento de relaciones con las principales universidades es un elemento clave de su estrategia de I+D global. Este intercambio mutuo de ideas e información le permite a ABB el acceso a los últimos avances de las tecnologías punteras y le

ayuda a desarrollar soluciones competitivas que benefician a sus clientes y a la sociedad en general.

Friedrich Pinnekamp

ABB Ltd
Zúrich, Suiza
friedrich.pinnekamp@ch.abb.com

Referencia

[1] Leffler, Nils; Körbacher, Catherine; *Cooperación con la Universidad*, Revista ABB 2/2005, páginas 22-28.

Ningún paso sin el cliente

Intervención instrumental de los clientes en el desarrollo de productos
Peter Lindgren, Jari Sunttila, Ilpo Ruohonen

El desarrollo de nuevos productos es un proceso bien estructurado en ABB. Por ejemplo, para un accionamiento de velocidad variable pueden necesitarse hasta dos años y medio desde la definición del concepto inicial hasta la introducción en el mercado.

Durante todo ese tiempo, lo más importante para los proyectistas es descubrir lo que realmente esperan los clientes del nuevo accionamiento.

Esta investigación es un arte en sí misma, ya que los clientes se inclinan por detalles referentes a su aplicación concreta y desearían el equipo perfecto diseñado específicamente para satisfacer sus necesidades individuales.

Puerta de acceso a la colaboración

El desarrollo de productos, al igual que el desarrollo tecnológico y la investigación en ABB, sigue un proceso estructurado, basado en una secuencia de "puertas" bien definidas. Está prohibido pasar a la puerta siguiente hasta haber completado todas las actividades correspondientes a la adelante:

Hay ocho puertas o fases de un proyecto **1** a las que se hace referencia como puntos de decisión "adelante" o "no adelante".

- Puerta 0: Comienzo del proyecto
- Puerta 1: Terminación de la planificación del proyecto
- Puerta 2: Arranque de la ejecución del proyecto
- Puerta 3: Confirmación de la ejecución
- Puerta 4: Comienzo de la introducción del producto
- Puerta 5: Lanzamiento del producto al mercado
- Puerta 6: Cierre del proyecto
- Puerta 7: Investigación retrospectiva del proyecto

Cada punto de decisión de carácter empresarial determina si hay que continuar o interrumpir un proyecto a la vista de sus ventajas, de su situación, de los recursos, de la tecnología y de los riesgos. En cada paso se necesita la intervención del cliente, que es instrumental para garantizar el éxito en el lanzamiento del producto.

En algunos pasos se recurre especialmente a los clientes para que respondan a preguntas fundamentales en relación con esa puerta. Por ejemplo:

- **Puerta 1:** ¿Está claro qué clase de producto deseamos crear desde el punto de vista del cliente y de la competencia, y está claro el alcance del proyecto?

- **Puerta 4:** ¿Queremos emprender a escala completa las actividades de introducción del producto? ¿Qué retroinformación hemos recibido de los clientes en relación con los prototipos piloto alfa¹⁾ y con las aplicaciones seleccionadas?

- **Puerta 5:** ¿Está listo el producto para su lanzamiento general? ¿Qué información hemos recibido de los centros en que se han elaborado prototipos piloto beta²⁾?

¿"Necesitan" realmente los clientes lo que "desean"?

En las distintas etapas del modelo de "puertas" comentado, ABB trata de obtener retroinformación procedente de una amplia variedad de tipos de cliente, desde usuarios finales hasta fabricantes de equipos originales (OEM), integradores de sistemas y socios de canal. No obstante, lo que más directamente influye en el desarrollo general es la retroinformación recibida entre las puertas 0 y 1. Es aquí donde es esencial distinguir claramente entre las "necesidades" y los "deseos" de un cliente.

Es posible que los proyectistas puedan así satisfacer esas necesidades de un modo innovador.

Por ejemplo: la demanda de un cliente se refería a una unidad de accionamiento ABB de pequeño tamaño. Los recientes desarrollos tecnológicos han dado lugar a una espectacular disminución del tamaño de los módulos de los inversores, habiéndose reducido la longitud media del MultiDrive a la mitad que en el modelo anterior. No obstante, para ahorrar aún más espacio, los ingenieros han proyectado estos pequeños módulos de forma que se puedan introducir mediante un giro dentro del armario del accionamiento.

En otro desarrollo, era imposible hacer más pequeños los cables de cobre portadores de corriente, por lo que los proyectistas de ABB crearon un innovador pedestal que permite a la unidad de potencia deslizarse fuera del accionamiento para acceder al cableado.

Desarrollo de un accionamiento de altas prestaciones

ABB ha lanzado recientemente una nueva generación de accionamientos de altas prestaciones para maquinaria, identificados en ABB con el código ACSM1, dirigidos a aplicaciones exigentes de control de movimiento **2**.

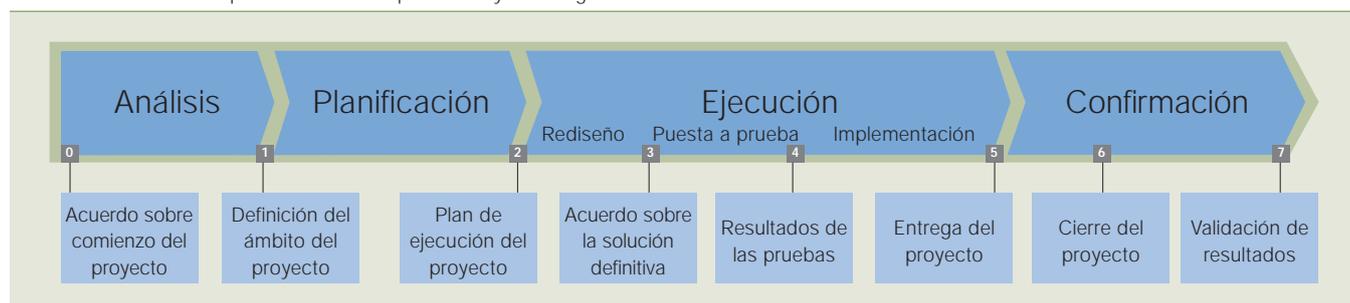
Este concepto debe abrir una nueva era en la tecnología de accionadores, debido a su capacidad para controlar varios tipos diferentes de motor. En lugar de limitarse a ser un accionamiento para servomotores especiales, el accionamiento puede controlar motores de inducción normales, servos sincrónicos y asíncronos y motores de gran par con distintos dispositivos de realimentación.

Ahora bien, pretender conseguir una plataforma tan potente entraña también el riesgo de ofrecer al cliente demasiadas funciones. Después de todo, si un accionamiento con prestaciones del tipo servo controla todo tipo de moto-

Cuadro 1 UniLift Control Technologies Ltd

UniLift Control Technologies Ltd es una compañía del grupo Pickering's Lifts, una organización de capital propio especializada en el proyecto, fabricación, instalación y mantenimiento de ascensores en el Reino Unido y el resto de Europa. El grupo tiene más de 500 empleados, incluidos los 150 de su centro de producción en el Reino Unido.

1 El modelo ABB Gate para desarrollo de productos y tecnología



res, puede satisfacer prácticamente todas las aplicaciones, lo que supone un riesgo en sí mismo, ya que es fácil que se pierda el enfoque del desarrollo. En cualquier caso, ningún cliente desea pagar por funciones que nunca va a utilizar.

Para evitar esta trampa en el desarrollo del producto, ABB utiliza dos enfoques diferentes: selecciona clientes líderes y consulta a grupos de referencia.

Trabajar con clientes líderes

Una de las aplicaciones del sistema de accionamiento de altas prestaciones es la correspondiente a ascensores. Para garantizar el desarrollo de las funciones adecuadas, ABB recurrió a la ayuda de uno de los líderes mundiales en la fabricación de ascensores, la compañía italiana UniLift Control Technologies Ltd, con sede en Milán **Cuadro 1**, y de su integrador de sistemas Starlift.

Al iniciar la ayuda ya desde la puerta 1, ABB necesitaba saber con exactitud qué funciones buscaba UniLift, cuáles eran sus prioridades y qué era lo que hasta entonces no había encontrado en el mercado. Para ABB, era asimismo importante comprender realmente la tecnología propia de la fabricación de ascensores y la cultura y procesos propios del sector.

Antes de entrar en detalles del accionamiento y el eje, es importante tener una imagen clara de todo el sistema y de cómo se relaciona con la aplicación de ascensores. Por ejemplo, a nivel de sistema existen muchas combinaciones de soluciones posibles y todas ellas pueden influir en las prestaciones del sistema de ascensores.

Lo que quedó claro en las primeras etapas de las conversaciones fue que muchas de las funciones básicas del accionamiento de altas prestaciones de ABB ya eran adecuadas para los ascensores. En concreto, las siguientes:

- La posibilidad de controlar motores síncronos, de uso cada vez más generalizado en los ascensores
- Dos variantes de control: de velocidad y par, o de movimiento, para distintas filosofías de control
- Amplia variedad de interfaces de retroalimentación, que proporcionan la libertad de elegir la mejor configuración de control de velocidad o de posición
- Distintas opciones de comunicación
- Seccionador de freno integrado

También se identificaron funciones adicionales:

- *Soporte de alimentación por baterías*, necesario en caso de falta de corriente de red, para que la cabina del ascensor pueda llegar al nivel más próximo
- *Funciones de desconexión segura de par*, que constituyen una forma económica de parar la cabina del ascensor conforme a la norma EN 81-1 del sector.

Además de una mejor relación con el cliente, la asociación entre ABB y UniLift ha establecido un terreno abonado para futuras ideas abiertas e innovaciones imaginativas. Se incluyen en este concepto el desarrollo de cuatro a seis puntos de consigna diferentes para la velocidad, el control específico de la curva en s (tirón) para algunas configura-

raciones de velocidad y el manejo de las relaciones de transmisión y cableado con la posibilidad de configuración directa de los parámetros de movimiento de la cabina.

Valor de los grupos de referencia

Además de a clientes externos, ABB acude también a grupos de referencia, constituidos por secciones transversales de representantes internos que conocen a fondo las actividades cotidianas de los clientes de varios sectores. Estos grupos de referencia ofrecen, por lo tanto, una excelente variedad de retroinformación directa de los clientes para el proceso de desarrollo de productos.

Se utilizó un grupo de este tipo, compuesto por personal de ABB de ocho países, durante el desarrollo del accionador industrial de ABB refrigerado por líquido. Cada miembro del equipo representaba a un sector en el que se podrían aplicar estos accionadores. Los sectores representados eran los de motores marinos, energía eólica, plataformas petrolíferas offshore, y papel y pasta de papel.

Una de las conclusiones del grupo fue que se necesitaba un accionador de dimensiones mucho más reducidas. Esta demanda provenía de diversos sectores en los que el espacio es un aspecto importante. Las aplicaciones

2 La nueva unidad de accionamiento de ABB, ACSM1



Notas a pie de página

¹⁾ Los prototipos piloto alfa son prototipos funcionales preparados con herramientas rápidas para la construcción de prototipos

²⁾ Los prototipos piloto beta son prototipos funcionales preparados con las herramientas mecánicas definitivas y fabricados en una línea de producción real

Puerta de acceso a la colaboración

offshore, las actividades a bordo de barcos, las grúas y la góndola de las turbinas eólicas se beneficiarían ciertamente de la disponibilidad de unos dispositivos más pequeños.

Junto a este requisito figuraba la necesidad de un seccionador de freno más pequeño, pero muy potente³⁾. Las anteriores generaciones de accionadores tenían un seccionador de freno demasiado grande para encajar en un espacio reducido. Al mismo tiempo, el mercado esperaba una gama más alta de potencia, hasta los 5.600 kW.

Los clientes desempeñan su papel
Las prestaciones básicas y las características prometidas de los nuevos productos se deben someter a pruebas exhaustivas: se produce así una situación en la que tanto el cliente como ABB salen ganando.

En relación con el accionador de altas prestaciones para maquinaria de ABB, UniLift salió ganando porque pudo influir en las especificaciones del producto y conseguir una experiencia directa y real del funcionamiento de los ascensores.

En el caso del accionador industrial de ABB refrigerado por líquido, de mayor tamaño, el fabricante alemán de maquinaria de perforación vertical Herrenknecht Vertical GmbH **Cuadro 2** aceptó participar como cliente piloto. Consideró que las posibilidades de que el accionador refrigerado por líquido satisficiera las inusuales necesidades de su máquina de perforación vertical "Terra Invader 350" (diseñada para perforaciones geotermales hasta profundidades de 6.000 metros) eran buenas. Lo que le interesó especialmente era el pequeño tamaño del accionador, junto a su gran potencia

Cuadro 2 Herrenknecht Vertical

Fundada en 2005, Herrenknecht Vertical es una compañía del grupo Herrenknecht especializada en plataformas de perforación profunda y certificada según la norma ISO 9001. Sus plataformas, construidas para cada caso concreto, son silenciosas, seguras y especialmente eficientes, y permiten la explotación de fuentes de energía geotérmica y de petróleo, gas o agua a profundidades entre 3.500 y 6.000 m. El personal especializado de Herrenknecht Vertical cuenta con el apoyo de socios de la industria y de la ciencia, de consultores independientes y del grupo Herrenknecht, que es líder mundial en soluciones en el campo de los sistemas y servicios de tuneado mecanizado.

www.herrenknecht-vertical.de
(Junio de 2007)

de salida, ya que Herrenknecht Vertical GmbH necesitaba un sistema de accionamiento de 1 MW de potencia con un volumen de menos de 1 metro cúbico.

Los "beneficios marginales" de la colaboración con el cliente

Al utilizar grupos de referencia y clientes líderes a lo largo de todo el proceso de desarrollo, es posible enfocar mejor y ampliar la base de las aplicaciones. La participación de los clientes no sólo aporta puntos de vista valiosos, sino que también ayuda a introducir una mayor disciplina en el proceso interno. Los ingenieros y los investigadores se ven enfrentados siempre a las necesidades del cliente y consiguen así un mayor control del desarrollo. El hecho de que ABB sea el líder mundial en suministro de accionadores refleja sus estrechas relaciones con los clientes ya desde la fase de I+D.

Peter Lindgren
Jari Sunttila
Ilpo Ruohonen
ABB Drives Oy
Helsinki, Finlandia
peter.lindgren@fi.abb.com
jari.sunttila@fi.abb.com
ilpo.ruohonen@fi.abb.com

Nota a pie de página

³⁾ El seccionador de frenos se utiliza para disipar potencia de frenado desde los rielles de corriente continua de un sistema de corriente alterna.



Colaboración para el éxito

La innovadora relación entre Dow y ABB ofrece ventajas a ambas empresas y a los fabricantes de todos los sectores

Laura M. Patrick

De acuerdo con ARC Advisory Group, cerca del cinco por ciento de la producción en las empresas de transformación – que facturan al año nada menos que 20.000 millones de dólares– se pierde a consecuencia de los tiempos de inactividad imprevistos. Como parte de la colaboración que mantiene ABB con The Dow Chemical Company, aquella ha introducido diversas características y capacidades que incluyen algunas de las buenas prácticas de Dow, de modo que otros fabricantes pueden hacer funcionar sus instalaciones con más seguridad y productividad, además de reducir al mínimo los tiempos de inactividad.

The Dow Chemical Company Cuadro es líder en el campo de la ciencia y la tecnología, y ofrece productos y servicios químicos, plásticos y agrícolas a numerosos mercados de consumo esenciales. La coherencia y la sostenibilidad han sido clave en su disciplina de funcionamiento. Como empresa internacional, es importante poder hacer funcionar diversas instalaciones del mismo modo y en todo momento para conseguir una calidad alta, así como fiabilidad de los procesos y capacidad de repetición de las buenas prácticas [1]. En los sesenta, diversas actividades de desarrollo tecnológico en Dow convergieron en una estrategia de control de procesos normalizada y susceptible de reutilización, que respaldaba sus objetivos de coherencia, mejora de la productividad, disciplina operativa mundial e innovación, manteniendo unos niveles de seguridad elevados: Dow intentaba alcanzar una auténtica “excelencia operativa” muchos años antes de que los analistas del sector acuñaran el término. “La excelencia operativa comprende el rendimiento en materia de seguridad, un elemento que siempre ha sido fundamental para Dow. Somos inquebrantables en este sentido. La protección de las personas, de las comunidades en las que estamos asentados y del medio ambiente son prioridades innegociables en la cultura de la empresa. Debemos velar por que nuestras plantas funcionen siempre de forma segura y uniforme” [1].

Colaboración en los procesos

Ahora bien, en aquella época no se comercializaba ninguna solución que ayudara a Dow a poner en práctica su disciplina operativa, por lo que el equipo empresarial desarrolló varias soluciones con marca registrada, incluido un sistema de control del proceso que se conocería como “disciplina operativa de fabricación” (MOD).

En busca de un nuevo enfoque de desarrollo

Con los años, el sistema MOD representó enormes beneficios de productividad para la empresa. A comienzos de 2000, Dow se dio cuenta de que ya no resultaba rentable invertir en equipos y sistemas informáticos con registro de marca, sino que tenía que centrarse en su actividad principal de fabricación y, por eso, decidió buscar una solución que pudiera adquirirse en el mercado. El nuevo sistema debía satisfacer unos requisitos que respondieran a las necesidades de la empresa en materia de mejora de la sostenibilidad, entre otros: disponibilidad comercial a largo plazo, tecnología de vanguardia y soluciones de futuro. Dow necesitaba un sistema de control del proceso con el que avanzar con éxito, que pudiera aplicarse a escala mundial, que hiciera uso de las normas comerciales a medida que se dispusiera de ellas y que estuviera en una plataforma que pudiera usarse en cualquier planta. Además, el sistema tenía que ser tan sostenible como otros bienes de la planta de los que se espera una vida útil de 40 a 50 años, y el sistema comercial tendría que responder a la cada vez mayor demanda de Dow en relación con la gestión del conocimiento, sin dejar de mantenerse fiel a su cultura de ingeniería del proceso [2]. De una lista de 400 requisitos, se identificaron 32 criterios de alto nivel, a los que se denominó “las joyas de la corona”. Se propuso una lista con los candidatos que podrían ayudar a cumplir tales requisitos, y ABB estaba entre ellos.

“Tras muchas presentaciones y debates, ABB nos mostró su tecnología Industrial IT –el corazón de su sistema de au-

tomatización ampliada 800xA–, y nos dimos cuenta de que habíamos encontrado la solución comercial adecuada. Nuestra dirección y la de ABB se acomodaban a la perfección. Habíamos encontrado la tecnología comercial que podría lograr que nuestros objetivos se consiguieran antes y que se cumplieran los criterios que formaban nuestras “joyas de la corona”. Podíamos usar esta plataforma para aprovechar nuestras experiencias y lecciones con los servicios del sistema MOD y desarrollarlas. Ahora bien, aunque la tecnología es necesaria para entablar un diálogo, se necesitaba mucho más para que las relaciones progesaran” [2].

“En las reuniones posteriores que mantuvimos con ABB, descubrimos que compartíamos la idea de la automatización: ellos tenían una visión completamente compatible con nuestro intento de aplicación continua de la disciplina operativa. ABB nos mostró una actitud muy abierta en relación con la estrategia del sistema, así como una gran disposición para captar nuestra filosofía de control de la seguridad e incorporarla en su oferta comercial. Disponían también de recursos específicos para el desarrollo de la tecnología y los sistemas de los que nosotros, como fabricantes, no disponíamos, además de

centros de excelencia para la seguridad, reservas en materia de ingeniería de sistemas y el deseo de adaptar su programa de desarrollo a las capacidades que deseábamos” [3]. ABB y Dow entablaron una relación de auténtica colaboración y ofrecieron el entorno innovador necesario para desarrollar con éxito la solución.

Establecimiento de una relación de colaboración

Aparte del acuerdo formal de desarrollo que firmaron Dow y ABB en 2001, ambas empresas forjaron una relación de colaboración que alimentó las actividades continuas de desarrollo. La relación comprendía cuatro elementos clave:

- visión compartida,
- confianza mutua,
- comunicación abierta y
- disposición para enfrentarse al otro y utilización de los conflictos de forma constructiva.

“La relación se ha ido fortaleciendo con el tiempo. Al principio, cada empresa tenía su visión propia e independiente del mundo de la automatización: el MOD 5 de Dow con su lenguaje de tipo FORTRAN, y ABB con sus programas orientados al objeto representaban el enfrentamiento de las filosofías dife-

rentes de dos proveedores de soluciones de automatización. Éste fue el principio de un largo proceso de integración real y normalizada del sistema 800xA de ABB en The Dow Chemical Company. Esto exigió un alto nivel de confianza y colaboración, que evolucionaron a medida que cada empresa iba conociendo las capacidades de la otra: así empezó el proceso de escuchar y tener en cuenta las posibilidades de las ideas del socio. En la actualidad, nuestra relación va mucho más allá de la que hay entre proveedor y cliente. A veces es difícil determinar quién es el cliente y quién el proveedor: tal vez sea ésta la definición de colaboración” [4].

El fruto de su trabajo

La última versión del Industrial IT Extended Automation System 800xA de ABB se lanzó en



noviembre de 2006. La versión 5.0 del sistema 800xA incluye nuevas funciones de ingeniería que permiten a los clientes modificar la aplicación sin interrumpir la producción y sin tiempos de inactividad, un problema frecuente y costoso que acompaña siempre a las modificaciones en los sistemas. Estas nuevas funciones incluyen ingeniería distribuida y multiusuario, y herramientas como Load-Evaluate-GO. De acuerdo con ARC, casi todos los tiempos de inactividad imprevistos podrían evitarse si se utilizaran mejores funciones de automatización, como las mencionadas [5].

Load-Evaluate-GO se desarrolló en colaboración con Dow. Es una herramienta que permite a los clientes añadir programas, modificar configuraciones e instalar versiones más actualizadas de las aplicaciones sin detener la producción. Después, la herramienta simula y evalúa la repercusión de los cambios en el proceso productivo, y el cliente puede ejecutarlos, modificarlos o rechazarlos. Esta solución reduce notablemente los riesgos asociados a la realización de cambios en procesos que están en marcha y mejora la eficiencia general, ya que evita que se interrumpa la producción, que se retrasen o no se realicen las entregas y los costosos tiempos de inactividad. Dow había seleccionado específicamente esta solución como uno de los criterios de alto nivel esenciales cuando se decidió hacer el cambio del sistema de control de proceso básico MOD 5 a otro disponible en el mercado. Andre Schepens, arquitecto de sistemas

de control de Engineering Solutions en Dow Benelux BV, explica un caso que demuestra el valor de este recurso: "LEG (Load, Evaluate and GO) permite efectuar modificaciones en línea en un sistema de control de la planta y hacer una comprobación de última hora de todo el sistema y cotejarla con la versión activa de la aplicación de control. Puesto que el sistema advierte de cualquier cambio repentino que pueda afectar a los equipos de la planta en el momento en que se active la nueva versión de la aplicación de control, permite detectar cualquier problema oculto que aparezca sólo durante la fracción de segundo que dura la transición de la versión antigua a la nueva. Ni las mejores simulaciones dinámicas de proceso ofrecen datos exactos de la dinámica de una transición de un programa de control antiguo a uno nuevo. Puesto que la opción "Evaluar" ofrece esta información mientras que la producción está en un estado pasivo (sin controlar los equipos de la planta), el usuario tiene la posibilidad de dar marcha atrás o efectuar una corrección de última hora para resolver el delta antes de la activación. El valor añadido se traduce en la reducción del riesgo (daños a los equipos, pérdida de producción, etc.) y en la aceleración de los tiempos de respuesta y la amortización de los cambios en la aplicación".

Load-Evaluate-GO es uno de los elementos del sistema 800xA desarrollados conjuntamente, como la innovadora opción de seguridad y control combinados del sistema 800xA High Integrity.

Al incorporar la seguridad y el control en una misma arquitectura flexible, los clientes pueden escoger entre combinar las funciones de control y las de seguridad en el mismo controlador, o mantenerlas aparte dentro del mismo sistema. Esto mejora la disponibilidad del proceso y disminuye el riesgo para el funcionamiento de toda la planta, al ofrecer un entorno común del sistema de integridad elevada para el control de la producción, la supervisión de la seguridad y la vigilancia de la producción.

A medida que la relación de colaboración entre ABB y Dow prospera, las empresas de transformación esperan poder beneficiarse de la disponibilidad en el mercado de otras soluciones. Los principales elementos de la disciplina operativa de Dow se han "hecho productos" y están disponibles para que otros fabricantes puedan hacer funcionar sus instalaciones con mayor seguridad y productividad. Esta innovadora relación y las iniciativas de colaboración y desarrollo son ventajosas no sólo para Dow y ABB, sino también para los clientes de todas las empresas de transformación.

En este artículo se incluyen referencias a la serie de artículos de Dow/ABB, publicados en la revista Control Magazine, disponibles en www.controlglobal.com

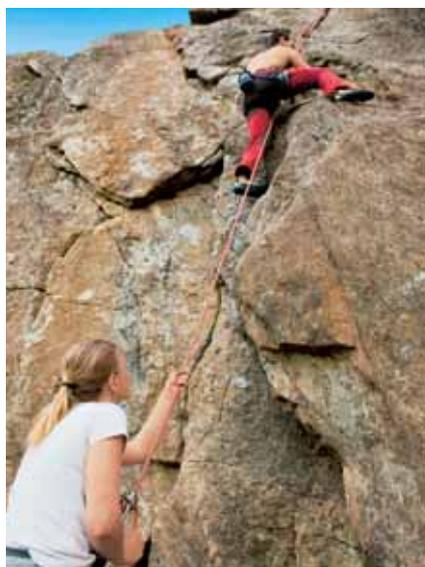
Laura M. Patrick
Process Automation
Rochester, NY, USA
laura.m.patrick@us.abb.com

Referencias

- [1] Walker, Margaret; Sederlund, Ed; Gipson, Jerry; Cosman, Eric; Dow Chemical Company: "The MOD Squad: Process Automation at Dow," Control Magazine, febrero de 2006.
- [2] Walker, Margaret; Sederlund, Ed; Gipson, Jerry; Cosman, Eric; Dow Chemical Company: "At the Crossroads: Process Automation at Dow, Part 2," Control Magazine, mayo de 2006.
- [3] Walker, Margaret; Sederlund, Ed; Gipson, Jerry; Cosman, Eric; Dow Chemical Company: "Collaborative Process Control: The Dow/ABB Story," Control Magazine, noviembre de 2006.
- [4] Walker, Margaret; Sederlund, Ed; Gipson, Jerry; Cosman, Eric; Dow Chemical Company: "Process Control at Dow: Results of the Collaborative Development with ABB," Control Magazine, julio de 2007.
- [5] ARCwire Industry News, 10 de noviembre de 2006.
- [6] www.dow.com (mayo de 2007).

Cuadro The Dow Chemical Company

The Dow Chemical Company es una empresa química diversificada, fundada en 1897 en Midland, Michigan (Estados Unidos) y dedicada a la fabricación y venta de lejía. La compañía tiene unas ventas anuales de 49.000 millones de dólares y tiene una plantilla de 43.000 empleados repartidos por todo el mundo. Funciona con un "planteamiento cero": cero incidentes, lesiones, enfermedades, accidentes y daños al medio ambiente. Dow ofrece una amplia gama de productos y servicios a clientes en más de 175 países, y les ayuda a ofrecer desde agua potable, alimentos y medicamentos a pinturas, material de embalaje y productos para la higiene. [6]



Anticiparse al futuro

En una fábrica de cemento, Expert Optimizer garantiza un funcionamiento estable y más rentable

Konrad S. Stadler, Eduardo Gallestey

La industria del cemento es una actividad regional en la que las fábricas son propiedad de compañías multinacionales. El carácter regional de los mercados y las diferencias en la legislación aplicable determinan la existencia de distintos requisitos en el proceso de producción: los costes de producción del cemento dependen en gran medida de los del combustible usado. Para reducir estos costes, se emplean combustibles alternativos o procedentes de residuos.

Estos combustibles van desde neumáticos usados y harinas obtenidas a partir de cadáveres de animales hasta los residuos diarios que todos producimos. En todo caso, al sustituir los combustibles fósiles por los obtenidos a partir de a partir de residuos, se reducen significativamente los costes de producción. Pero no todo son ventajas en esta sustitución. La variabilidad de los combustibles de residuos desestabiliza el proceso de combustión. Además, la legislación sobre emisiones cuando se queman residuos en lugar de carbón es mucho más estricta. Surgen así nuevos retos para el sistema de automatización en orden a mantener la calidad del cemento y garantizar los límites legales de funcionamiento.



ABB aunó esfuerzos con un cliente líder, la fábrica de Holcim Alemania en Lägerdorf, para atenuar los efectos negativos de los combustibles y materias primas alternativos (AFR) en su horno de calcinación con la ayuda de la tecnología. Los resultados fueron muy satisfactorios y constituyen un ejemplo de competencia técnica y de orientación hacia el cliente.

El proceso

En 1 se representa esquemáticamente el proceso del horno. Muchas fábricas tienen una configuración común. Las más modernas y más eficientes desde el punto de vista energético tienen una torre de precalentamiento [1a] con varias etapas de ciclones [1c-f]. Esta torre extrae calor de los gases de escape de la combustión en una fase posterior del proceso. En el horno de precalcinación [1m] tiene lugar la descarbonatación de la harina cruda ($\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$). El calor utilizado para hacer posible la reacción endotérmica se obtiene de los gases de escape del horno rotatorio [1n] y de los combustibles quemados en el horno de precalcinación. Desde allí, la harina caliente descarbonatada se introduce en el horno rotatorio [1a], en el que tiene lugar la sinterización del clinker. La alta variabilidad de los combustibles alternativos utilizados en la fábrica de Holcim en Lägerdorf produce inestabilidades en el proceso de combustión del clinker [1]. En Lägerdorf, cualquier cambio en el grado de descarbonatación de la harina que entra en el horno

afecta a la calidad del clinker. Especialmente, no es posible compensar en el horno una eventual disminución de la descarbonatación. La descarbonatación de la harina caliente depende en gran medida de la temperatura en el horno de precalcinación. La relación entre la temperatura de la harina y el grado de descarbonatación se muestra en 2. En esta fábrica, la quema de combustibles en el horno de calcinación genera hasta el 70% del calor utilizado en el proceso de producción de clinker. Las características no lineales de la temperatura frente al grado de descarbonatación muestran que, al aumentar aquella, se reducen las ventajas de ésta y, en consecuencia, también la eficiencia energética. En Lägerdorf, los operadores del horno intentan esencialmente mantener alta la temperatura para garantizar la calidad requerida y estabilizar el proceso [1]. Con temperaturas elevadas, el horno de precalcinación presenta muchos problemas adicionales. Por ejemplo, se acelera el desgaste del revestimiento refractario de los ciclones, con el efecto consiguiente en las labores de mantenimiento y reparación. Además, la harina se vuelve más “pegajosa” y aumenta en consecuencia el riesgo de bloqueos importantes en los ciclones.

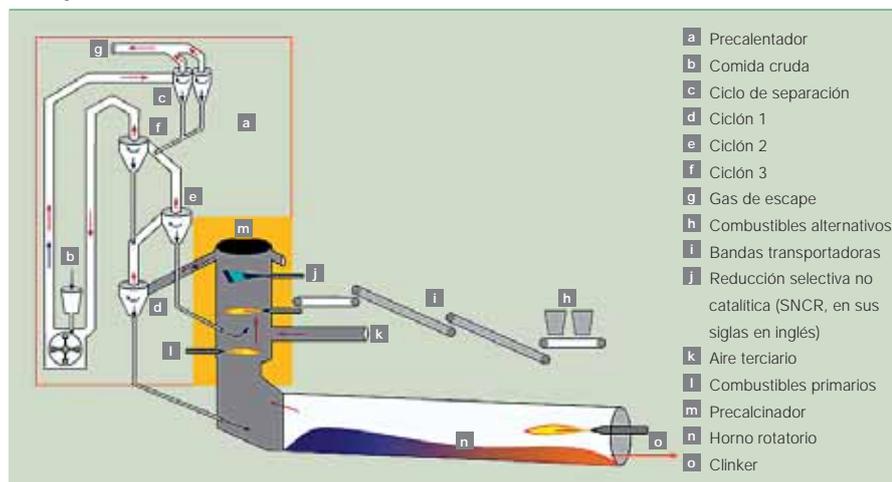
El proyecto de I+D

En los dos últimos años, ABB ha diseñado y puesto en marcha soluciones y aplicaciones avanzadas de automatización del proceso en distintas fábricas de todo el mundo. ABB se mantiene en

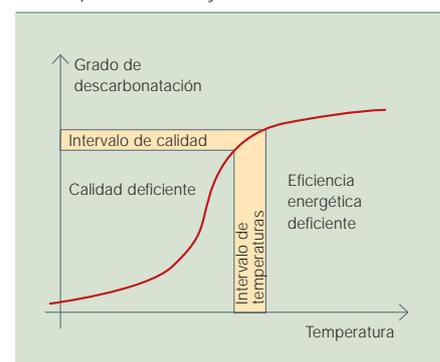
contacto permanente con los clientes, tratando de mejorar los productos actuales para satisfacer mejor las necesidades de éstos. Los sistemas de automatización utilizan el avanzado sistema de control de proceso *Expert Optimizer* de ABB, una completa herramienta de ingeniería [3] que facilita el desarrollo de soluciones generales de control para resolver problemas de gran complejidad en el sector de la automatización de procesos [2]. La mayor parte de estos sistemas se han instalado en equipos de mezclado, hornos y molinos. Concretamente, en los diez últimos años el equipo de ABB ha puesto en marcha 45 equipos de mezclado, 195 hornos rotatorios y 90 molinos. El problema de control del horno de precalcinación formaba parte desde hacía mucho tiempo de la deseada ampliación de la cartera de sistemas de control de ABB, tanto en lo que respecta a la propia ABB como a Holcim. Así pues, se pudo poner en práctica rápidamente la tan necesaria colaboración.

El Control Predictivo basado en un Modelo (MPC) como tecnología positiva
El MPC (Control Predictivo basado en un Modelo) se basa en el principio del “horizonte móvil”. Se calcula una secuencia óptima de acciones que se proyectan hacia el futuro al mismo tiempo que se incorpora la dinámica del proceso [5]. El primer elemento de esa secuencia se transfiere al sistema de control como nuevo punto de consigna del actuador. Si se dispone de nuevas mediciones, se repite el algoritmo y se calcula una nueva secuencia. Este enfoque es comparable a la estrategia de un jugador de ajedrez:

1 Representación esquemática del proceso de producción de clinker en la planta de Holcim en Lägerdorf, Alemania



2 Relación entre temperatura y grado de descarbonatación; están resaltadas la temperatura ideal y el intervalo de calidad



Colaboración en los procesos

- (i) Se evalúa la situación en el tablero; es decir, se mide y evalúa el estado del proceso
- (ii) Se consideran los futuros movimientos; es decir, un algoritmo matemático calcula la secuencia óptima de acciones
- (iii) Se hace el primer movimiento de la secuencia elegida; es decir, se envía a los actuadores un nuevo punto de consigna

Esta secuencia se repite una vez que el oponente ha hecho su movimiento.

Una importante ventaja de un sistema de este tipo es que el algoritmo matemático puede tener en cuenta límites y restricciones al establecer la secuencia óptima de control. De forma análoga, el jugador de ajedrez tiene una zona limitada en la que hacer sus movimientos (el tablero) y una variedad limitada de movimientos (dependiendo de los jugadores).

Expert Optimizer soporta muchas tecnologías de control, entre ellas el MPC. Sin embargo, hasta ahora no se utiliza-

ba en la industria del cemento para controlar el proceso de combustión en un horno de calcinación.

El problema del control

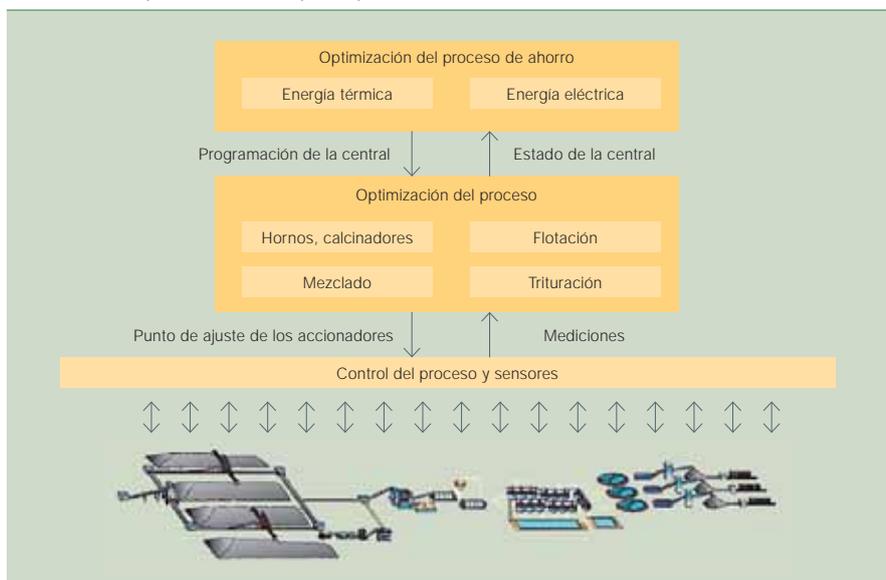
La temperatura en el horno de precalcinación es el principal indicador continuo para la calidad. Por lo tanto, se utiliza como la principal variable a controlar. Además, debe garantizarse el proceso de combustión, por lo que hay que mantener los niveles de oxígeno por encima de unos límites preestablecidos. La liberación de monóxido de carbono está legalmente regulada y puede dar lugar a la activación del sistema si se superan los límites fijados. Como variables a manipular se utilizan los combustibles primarios. Por lo general se trata de carbón y, en el caso concreto que se muestra aquí, de un combustible de residuos de alta calidad. Ambos se transportan por medios neumáticos al horno de precalcinación y son los actuadores más rápidos del sistema. Se utilizan hasta otros cinco combustibles alternativos, que se transportan al horno mediante cintas transportadoras. No obstante, tardan bastantes minutos en llegar al mismo, por lo que no son adecuados como variables a manipular.

El modelo matemático

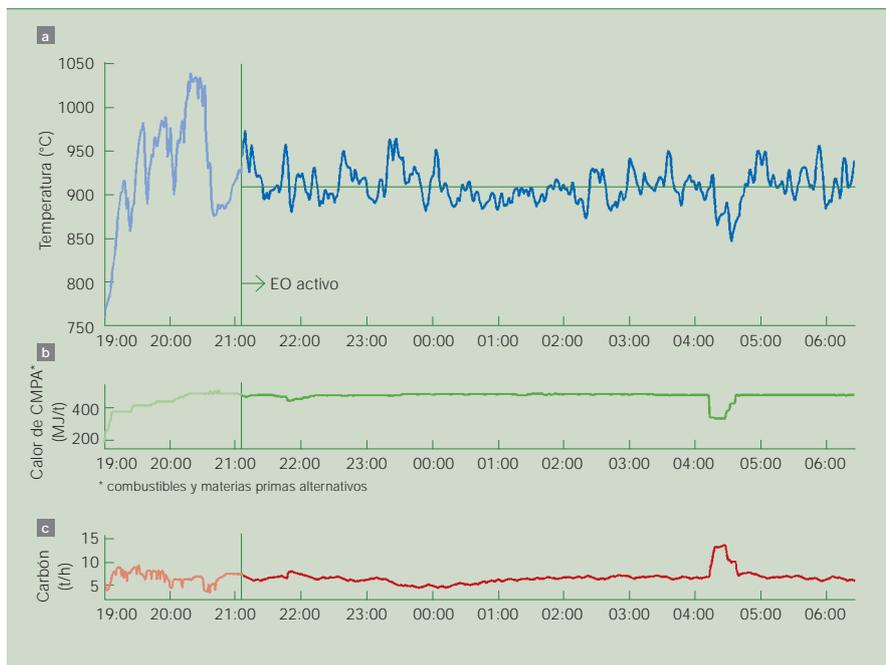
Parte del éxito que tiene el Control Predictivo basado en un Modelo en las industrias de proceso se debe al modelo matemático empleado, que forma parte directa de la estrategia de control general. En general, cuanto mejor describa este modelo el proceso real, mejores serán las expectativas referentes al rendimiento del sistema de control. Por lo demás, a menudo también es verdad que cuanto más exacto sea el modelo, más sensible será el sistema de control al reaccionar ante las incertidumbres en el proceso. En este caso concreto, la incertidumbre y la variabilidad del proceso son significativas. Por ejemplo, los valores caloríficos de los combustibles alternativos varían constantemente, dependiendo de la composición de los residuos que los forman, pero los parámetros del modelo asociado se actualizan sólo una vez al mes.

El modelo comprende esencialmente dos partes: el modelo de transporte y el de combustión. El modelo de transporte es una serie de tiempos unitarios que corresponden a la distinta duración

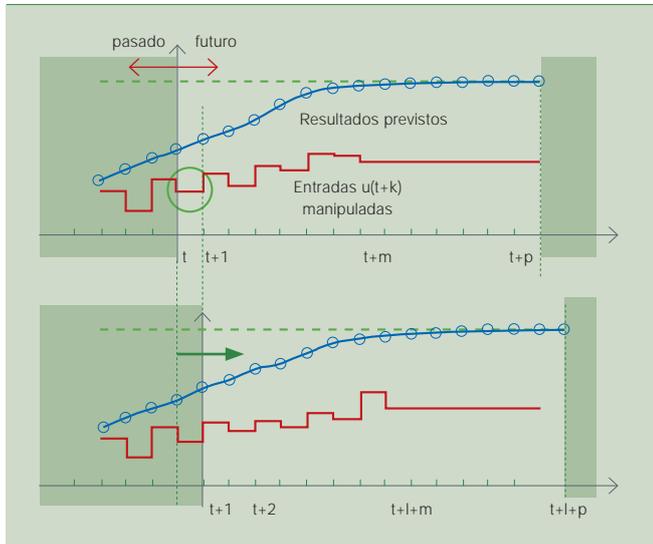
3. Ámbito de aplicaciones de *Expert Optimizer*



4. Registros de las operaciones de la central; temperatura y temperatura objetivo **a**, flujo de calor de entrada procedente de la combustión de combustibles alternativos **b**, velocidad de alimentación con carbón **c**



5 El principio fundamental de un modelo de control predictivo (MPC) se basa en el horizonte descendente. Después de cada caso de muestreo, el futuro contemplado en el algoritmo de optimización se modifica en consecuencia



del transporte de cada combustible. El modelo de combustión consta de dos partes:

- i) un balance térmico y
- ii) un balance de oxígeno.

El balance térmico considera todo calor que se añade o retira del horno de precalcinación. Por tanto tanto, se incluyen en él la entrada de combustible, los caudales de gas y de aire, las tasas de alimentación de harina y la reacción de descarbonatación (que consume una cantidad considerable de carbón). Una eventual variación de la composición de la harina introduce también una variación significativa del calor que se utiliza para la descarbonatación. Normalmente, estas variaciones en la composición son bastante más lentas que la reacción térmica, por lo que pueden ser tenidas en cuenta desde una perspectiva adaptativa.

Para formular el balance de oxígeno se utilizan ideas similares.

Resultados

En 4 se muestra un registro de operaciones de fábrica. La parte 4a muestra la temperatura y la temperatura objetivo. La parte 4b muestra el caudal de calor que entra en el modelo de combustión en función de los distintos combustibles alternativos. La parte 4c muestra la principal variable a manipular: la tasa de alimentación de carbón. Para comparar el rendimiento del controlador con el de los operadores, se

evaluaron varios períodos en los que se daban condiciones comparables. 6 muestra la distribución del error de temperatura.

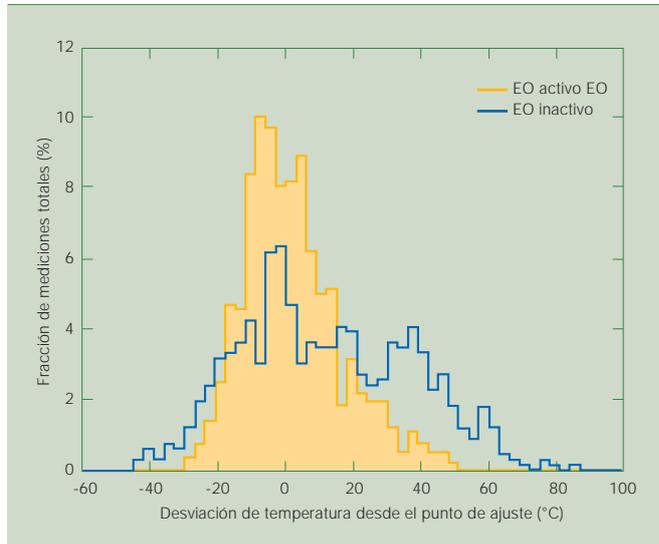
El rendimiento del sistema de control es muy superior al de los operadores. Las temperaturas objetivo se mantienen mejor y las variaciones respecto al punto de consigna son menores. Esto no implica, lógicamente, que el operador esté de más; antes bien, se puede ocupar de otras tareas más importantes. Se demuestra así que un sistema de control puede ayudar al operador a la realización del conjunto de sus tareas.

Conclusión

El controlador estabiliza con éxito la temperatura en un valor objetivo y reduce la variabilidad de las desviaciones respecto a ese valor. Con ello, el sistema funciona más cerca del límite de calidad, presenta una mayor eficiencia energética y reduce los riesgos de puntos muertos. Utilizando el sistema de control, pueden conseguirse puntos de explotación menos estables con temperaturas objetivo más bajas sin arriesgarse a una calidad del producto insuficiente. La temperatura, más baja en general, reduce el riesgo de bloqueos importantes de los ciclones. Por lo tanto, el controlador protege los equipos y aumenta su tiempo útil.

El éxito de este proyecto se vio enormemente favorecido por la estrecha colaboración entre el personal de ABB

6 Distribución de error de temperatura para períodos con control automático (Expert Optimizer, EO, activo) y manual (EO inactivo)



y del cliente. Uno y otro aportaron su competencia técnica y su actitud positiva, garantizando así el éxito del proyecto.

Konrad S. Stadler

ABB Corporate Research
Baden-Dättwil, Suiza
konrad.stadler@ch.abb.com

Eduardo Gallestey

ABB Process Automation, Minerals & Printing
Baden-Dättwil, Suiza
eduardo.gallestey@ch.abb.com

Referencias

- [1] Stadler, K. S.; Wolf, B.; Gallestey, E.; Model predictive control of the calciner at Holcim's Lägerdorf plant, ZKG International, volumen 60, nº 03-2007, páginas 60-67, marzo de 2007.
- [2] Castagnoli, D.; Kiener, M.; Gallestey, E.; Cementing profitability, ABB Review 4/2006, páginas 59-62.

Ver también

Bolliger, M.; Gallestey, E.; Crosley, G.; Kiener, M.; The energy optimizers – Energy management in cement manufacturing, ABB Review 2/2007, páginas 53-57.
Peray, K. E.; The Rotary Cement Kiln, segunda edición, Nueva York, Chemical Publishing Co. Inc., 1986.
Gallestey, E.; Stothert, A.; Castagnoli, D.; Ferrari-Trecate, G.; Morari, M.; Using model predictive control and hybrid systems for optimal scheduling of industrial processes, Automatisierungstechnik, volumen 51, nº 6, páginas 285-294, junio de 2003.

Alquilación de ácido fluorhídrico

ABB y ConocoPhillips desarrollan una nueva herramienta crítica de análisis de procesos

Michael B. Simpson, Michael Kester

El analizador de procesos de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR) de ABB para la optimización de la unidad de proceso de la refinería de alquilación de ácido fluorhídrico (HF) desarrollado conjuntamente con ConocoPhillips, ayuda a las refinerías petrolíferas a explotar sus unidades de alquilación de forma más eficiente y segura, al mismo tiempo que contribuye de manera importante a la mitigación de riesgos operativos y medioambientales.



En los primeros tiempos del refinado del petróleo, en los años 20 y 30 del siglo pasado, la mayoría de los componentes de mezcla de gasolinas estaban compuestos por materiales obtenidos directamente de la unidad de destilación de crudo. Las refinerías eran esencialmente calderas de petróleo bastante sencillas. Las primeras unidades de conversión eran poco complicadas y estaban orientadas al cambio térmico de naftas obtenidas directamente para producir componentes de mezcla de mayor octanaje para una mayor calidad del producto.

La situación cambió de forma significativa durante la Segunda Guerra Mundial cuando surgió, por razones obvias, una enorme necesidad de gasolina de aviación de alto octanaje (los aviones militares de la época estaban en su mayor parte equipados con motores de pistones recíprocos que utilizaban gasolina de alto octanaje, en lugar de motores a reacción que utilizan queroseno).

Una de las respuestas a esta necesidad de gasolina de alto octanaje fue el desarrollo de una unidad de conversión de la refinería: la unidad de alquilación de ácido fluorhídrico (HF).

La unidad de alquilación de HF (HFU) sigue siendo de importancia clave en nuestros días. Desempeña un papel crítico al proporcionar uno de los principales materiales de aportación al producto final del conjunto de mezcla de gasolinas. Su importancia ha crecido conjuntamente con las cada vez más numerosas unidades de cracking catalítico en lecho fluido (FCC) en las refinerías. El FCC añade valor a los productos finales pesados de la destilación de crudo al romper catalíticamente los materiales pesados en productos más ligeros tales como petróleo de ciclo ligero y gasolina FCC, que se pueden utilizar directamente o después de un hidrot ratamiento en operaciones de mezcla del producto final. El inconveniente de este proceso es que en las operaciones de FCC también se producen olefinas ligeras, especialmente buteno y propeno.

Éstas, por sus características intrínsecas, no sirven como materia prima. De modo similar, en cualquier proceso de destilación de crudo se tiende a producir un exceso de productos finales ligeros, como el butano, que son de uso limitado. El n-butano se puede convertir fácilmente en isobuta-

no, y en esta forma se une a las olefinas c3 ó c4 de FCC (buteno o propeno) como materias primas combinadas para la unidad de alquilación de HF.

La unidad de alquilación de HF cumple la importante función de convertir estos subproductos en alquilato de alto valor, que se utiliza como componente de mezcla de la gasolina. Esta operación, valiosísima desde el punto de vista económico, de eliminar las olefinas c4 del FCC y los isoalcanos c4 de la unidad de destilación de crudo de petróleo y convertirlos, mediante el proceso catalítico de alquilación del HF (una reacción Friedel-Crafts modificada) en iso-octanos, sigue siendo de enorme importancia en el refinado de petróleo.

Los iso-octanos (alquilatos) son el componente más valioso de los que intervinen en la mezcla de la gasolina en el contexto actual de combustibles limpios y preocupación por el medio ambiente. Tienen altos RON y MON (octanaje medido en laboratorio y octanaje probado en un motor estático, respectivamente), bajo contenido de azufre, baja presión de vapor Reid (RVP) y un contenido de aromáticos prácticamente nulo. Son los componentes perfectos de las gasolinas.

En los últimos quince años, los requisitos de formulación de las gasolinas, estipulados por los organismos medioambientales de las administraciones de casi todo el mundo (pero lideradas por la Unión Europea y los Estados Uni-

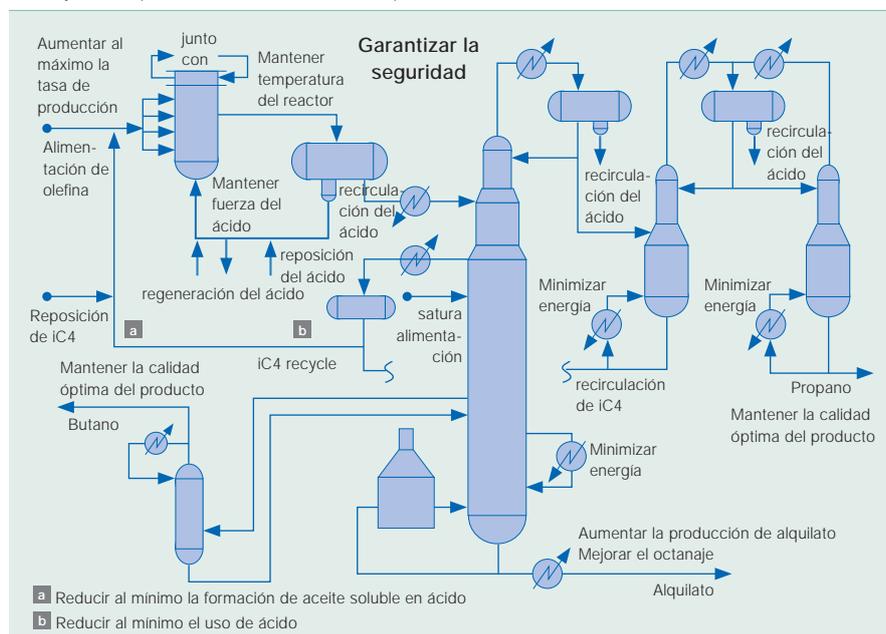
dos), se han hecho considerablemente más severos. La exigencia de menor contenido de azufre, de benceno, de aromáticos, menor RVP y menor índice de manejabilidad (una combinación de propiedades de destilación del combustible), limita seriamente las opciones de las compañías de refinado en sus operaciones de mezcla del producto final, la gasolina.

Los dos cambios más recientes y que probablemente hayan tenido un mayor impacto en el conjunto de las gasolinas han sido la eliminación del MTBE (metil terciario-butil éter) a causa de su efecto contaminador de las aguas subterráneas, y la adición de bioetanol por sus propiedades neutras en carbono. El MTBE es un componente de alto octanaje de mezcla de gasolina con una menor presión de vapor. Aunque el etanol es también de alto octanaje, realiza una aportación sustancial a la RVP, que esencialmente evita que el butano puro se utilice en gran cantidad en la misma combinación de mezcla. Así pues, el alquilato producido por la HFU es de excepcional valor para las refinerías en su intento por cumplir con las limitaciones medioambientales y otras medidas legales en sus operaciones. 1

Aspectos operativos de la alquilación de HF

Así pues, las refinerías que explotan unidades de alquilación de HF están

1 Objetivos operativos de la unidad de alquilación fluorhídrica



Colaboración en los procesos

sometidas a una presión creciente para maximizar su producción, mejorar la calidad del producto y su rentabilidad, funcionando de forma segura y con un bajo impacto medioambiental. Una legislación cada vez más estricta sobre la calidad de las gasolinas y una creciente vigilancia pública y reglamentaria sobre el uso del ácido fluorhídrico se combinan para que el funcionamiento fiable y eficiente de las HFU sea de importancia crítica para la reputación general y la rentabilidad de las refinerías de petróleo.

El funcionamiento eficiente de una HFU es una tarea difícil, sometida al régimen de explotación más duro. Esto se debe a diversas limitaciones y cuestiones operativas específicas del sector que exigen el máximo esfuerzo a la capacidad de proceso de la planta.

Aspectos operativos

- Las HFU deben ser capaces de tratar materias primas cuyos niveles de contaminación, composición de hidrocarburos y volumen varían constantemente debido a aspectos complejos del funcionamiento en etapas previas del proceso.
- Los operadores se enfrentan al difícil reto de minimizar el reciclado de iC4 y los costes de la instalación asociados, mientras producen alquilato de la calidad deseada con un consumo mínimo de ácido.
- Las unidades se deben explotar de manera segura, a pesar del riesgo siempre presente de escape de ácido, corrosión acelerada de los equipos y la consiguiente emisión de HF. Las exigencias que pesan sobre las unidades de alquilación de HF son mayores debido a las constantes tendencias en la industria petrolífera.

Tendencias de la industria

- La continua expansión de unidades de FCC y la introducción de nuevos catalizadores de cracking para satisfacer la creciente demanda de gasolina contribuyen también a una mayor producción de la materia prima de alquilación.
- La tendencia continua de mayor cracking de residuos y de una mayor capacidad produce una materia prima de alquilación más compleja y problemática.
- Hay un creciente interés en el procesamiento de olefinas C5 como medio de

devolver componentes volátiles al conjunto de gasolinas, al tiempo que aumentan los volúmenes de producto.

- La cada vez más estricta legislación sobre la calidad de gasolina limita aún más el uso de algunos componentes actuales de mezcla.

Cada uno de éstos requiere que la unidad de alquilación de HF sea más flexible al tratar más materias primas diferentes, al tiempo que mantiene la eficiencia de la unidad y la calidad del alquilato. Las características ideales de mezcla del alquilato le convierten en un elemento esencial para alcanzar los objetivos de beneficio de la refinería y para cumplir con la legislación de calidad del combustible.

Objetivos operativos

- **Optimización de la calidad del alquilato:** el RON, la RVP y las propiedades de destilación del producto de alquilato de la HFU son fundamentales para su utilización en la subsiguiente mezcla de gasolinas. Estos parámetros están influenciados por la pureza catalítica del HF, y en concreto por el contenido de agua, que se debe optimizar dentro de una ventana de operación adecuada. El contenido de agua de la corriente de reciclado del HF puede provocar contaminación, por lo que se debe identificar y actuar inmediatamente sobre dicha corriente.
- **Mitigación de la corrosión:** la mitigación de la corrosión impone unos límites inferiores muy estrictos en la pureza del ácido HF y unos límites superiores también muy severos en el contenido de agua. Manteniendo estos límites dentro de unas ventanas operativas se amplía el tiempo de respuesta de la HFU, se reducen de forma significativa los costes de mantenimiento y se limita el riesgo de liberación de HF al medio ambiente.
- **Consumo de ácido HF:** la correcta operación de la HFU depende de haber separado con éxito los productos de hidrocarburos del ácido catalítico en el tanque de ácido. Si existe un incremento de subproducto de petróleo soluble en ácido (ASO) y se consume ácido HF (reduciendo así la fuerza del ácido), el proceso puede fallar, con el consiguiente consumo rápido del ácido

restante, lo que se conoce como fuga de ácido. Un hecho así es sumamente costoso, aunque es un riesgo inevitable en la explotación de una HFU. Una cuidadosa observación de la fuerza del ácido y del porcentaje del subproducto ASO puede reducir significativamente la probabilidad de un hecho de este tipo.

La asociación ABB-ConocoPhillips

A mediados de los años 90, y reconociendo la necesidad de mejorar la vigilancia y el control en línea del proceso de la HFU, Phillips Petroleum (ahora ConocoPhillips), buscó un socio experto en instrumentación analítica de proceso para desarrollar conjuntamente una solución que mejorara la vigilancia y la optimización de estas complejas unidades de proceso. ABB era un proveedor acreditado de soluciones analíticas de procesos FTIR en línea en mezcla de gasolinas y aplicaciones petroquímicas en etapas posteriores del proceso, y se estableció una productiva asociación entre ABB y ConocoPhillips para desarrollar conjuntamente una solución analítica.

En ese momento la vigilancia de los principales parámetros de proceso de las unidades de alquilación de HF no era tarea fácil. Se basaba en un muestreo manual caro, lento y potencialmente peligroso del catalizador de ácido fluorhídrico recirculado para la evaluación en laboratorio de su fuerza y del nivel de contaminantes críticos como agua y subproductos de fluorización (conocidos como petróleos solubles en ácido).

La determinación de la pureza del ácido HF es el parámetro clave para el control y optimización de la HFU, siempre que se pueda disponer de ella con la suficiente prontitud para poder detectar alteraciones de la unidad, como alteraciones transitorias de la fuerza del ácido y episodios de contaminación causados por alteraciones en fases anteriores del proceso en, por ejemplo, la operación del FCC. ABB comenzó a trabajar en 1996 con el laboratorio de I+D de ConocoPhillips en Bartlesville, Oklahoma, para desarrollar un sistema en línea de análisis del ácido. Durante dos años se realizaron pruebas y se desarrollaron unidades a escala reducida de alquilación de HF. Esto incluía un diseño de un siste-

ma de muestreo, consideraciones metalúrgicas y el desarrollo de un modelo. A continuación, en mayo de 1998, se instaló el analizador en la refinería de Phillips Petroleum en Sweeny, Texas. Dos años más de pruebas de campo con buenos resultados garantizaron que la tecnología estaba lista para su implantación a escala industrial. El analizador de ácido en línea se presentó al mercado de alquilación de HF en el simposio de licenciarios de Phillips del año 2000.

En diciembre de 2006, el sistema de análisis en línea de ácido está instalado en casi 20 unidades de alquilación de HF en todo el mundo, y cuenta con un historial conjunto de operación de más de 40 años. Los sistemas están instalados en unidades licenciadas de ConocoPhillips y UOP en Norteamérica y América del Sur, Europa y Oriente Medio, y en emplazamientos explotados por otras importantes refinerías.

La solución ABB-ConocoPhillips

La principal innovación en la creación de una solución analítica FTIR de proceso robusta y útil para la vigilancia y

la optimización de las HFU vino con el desarrollo de un modelo químico-métrico precalibrado exacto y preciso para las variables de proceso requeridas (fuerza del ácido HF, % de agua y % de ASO). [2]

Las técnicas de referencia tradicionales de laboratorio para estas mediciones son deficientes y, a diferencia de los métodos usuales de calibración del analizador, no proporcionan una base fiable para el desarrollo de un modelo de calibración preciso. Por suerte, la corriente reciclada de ácido HF tiene una composición relativamente sencilla. Esto permitió a ConocoPhillips desarrollar el modelo universal de calibración necesario sobre la base de un patrón de calibración preparado gravimétricamente y probado en un reactor de alquilación piloto a escala de laboratorio bajo condiciones reales de proceso, pero sin aportación de olefinas, con objeto de mantener la composición exacta del ácido durante la prueba.

Los datos obtenidos fueron esenciales y constituyeron la base del éxito de un registro de patente bajo el cual ABB ofrece bajo licencia la solución del ana-

lizador de alquilación FTIR en el proceso de HF.

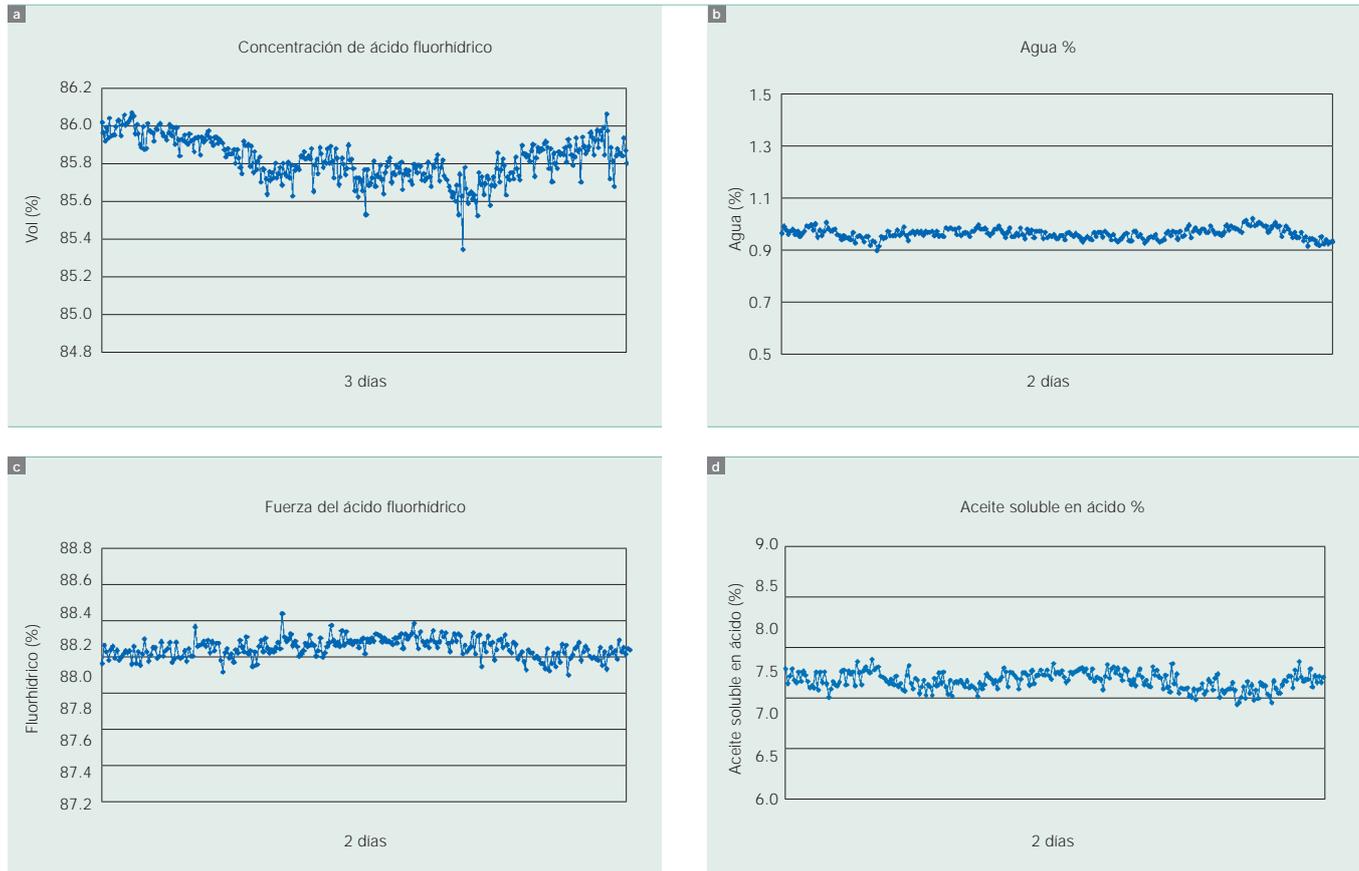
Una parte importante de la aportación de ABB al proyecto fue el desarrollo de un panel de muestras de campo, diseñado teniendo en cuenta la seguridad, de bajo mantenimiento, y que requiere una intervención mínima dentro de la zona de ácido (que en una HFU requiere un equipo completo de seguridad personal de nivel C).

Tecnología del analizador FTIR

El analizador FTIR multicanal de proceso de ABB basado en fibra óptica es ideal para este tipo de aplicación. Permite que una celda de flujo de muestra de zona ácida in situ y el sistema de seguridad y muestreo asociado estén físicamente separados de la estación óptica del analizador, que normalmente está situada en una sala de control o en una zona segura similar. Esta disposición es esencial cuando se trata de analizar en línea una corriente de proceso excepcionalmente peligrosa como el ácido HF.

Una ventaja adicional de la tecnología FTIR de ABB es su capacidad para vigi-

2 Datos de tiempo de ejecución facilitados por el analizador de ácido fluorhídrico FTIR de ABB



Colaboración en los procesos

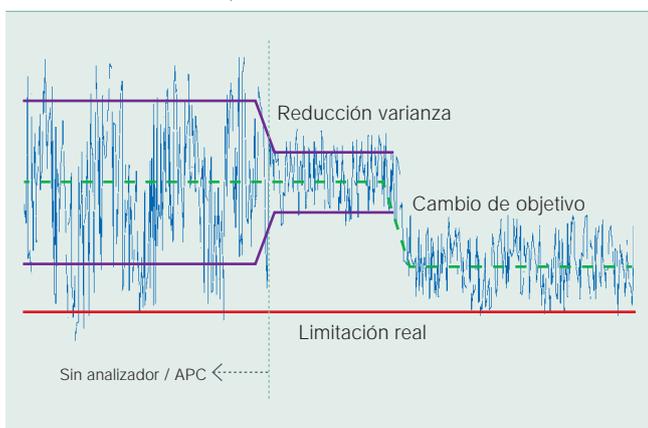
lar muchas corrientes de proceso en un único analizador. En las HFU esto permite vigilar dos corrientes ácidas (por ejemplo, el reciclado principal de ácido y la corriente superior de regeneración de ácido) en tiempo real, lo que mejora de forma significativa el control de la pureza y la eficiencia de la regeneración del ácido HF. ■

Además de estas ventajas, hay otras interesantes opciones de control de proceso para el analizador FTIR de proceso de la HFU. Además de la función de vigilancia catalítica del ácido HF, existen muchas corrientes importantes de hidrocarburos en la HFU que se benefician de un análisis de composición fiable, de bajo mantenimiento y rápido. Los más importantes son la corriente de alimentación de olefinas y la corriente de reciclado iC4 procedente del dispositivo de sellado. Estas dos corrientes influyen en su conjunto en la pureza de alimentación a la HFU, que a su vez influye directamente en el consumo de ácido HF. El proceso de datos en tiempo real en estas corrientes, junto con la medición de la pureza del ácido HF, proporcionan una mejora significativa en la estabilidad operativa de la unidad.

En resumen, la solución ABB-ConocoPhillips para la optimización del reactor de la HFU ofrece una tecnología multivariable de control de ABB sustentada por una capacidad única para la caracterización rápida en línea del ácido HF, iC4 reciclado, alimentación de olefinas/iC4 y alquilato. Esta solución proporciona las siguientes mejoras significativas de los reactores de alquilación HF:

- las tasas de alimentación, la producción y el octanaje de los alquilatos se maximizan hasta un punto económico óptimo, sometido a limitaciones operativas
- la relación isobutano:olefina (I:O) y el consumo de energía se pueden reducir cumpliendo los objetivos de calidad y producción de alquilato con un consumo mínimo de ácido
- la tasa de alimentación de isobutano se puede optimizar respetando las limitaciones de inventario de iC4
- se mantiene la calidad del ácido en el intervalo operativo óptimo para el

3 Supervisión del proceso en tiempo real con APC (control avanzado de procesos)



HF, ASO y contenido de agua. Esto conlleva:

- menos ocasiones de condiciones de escape
- menor cantidad de ácido, ya que las necesidades de añadir ácido son menores
- es posible aumentar el octanaje del alquilato, ya que el contenido de agua del catalizador se puede aumentar de forma controlada. Uno de los principales concedentes de licencias informa de que un aumento del contenido de agua del 1 al 2% puede proporcionar más de un millón de dólares en beneficios para una unidad de 10.000 barriles diarios operando a la tasa normal I/O de 10.
- un funcionamiento del regenerador menos agresivo y menores pérdidas de ácido

Cuadro ConocoPhillips

ConocoPhillips, con sede en Houston, Texas, es la tercera compañía energética integrada de los Estados Unidos en base a su capitalización bursátil, reservas y producción probadas de petróleo y gas, y la segunda refinería de Estados Unidos. La compañía opera en más de 40 países, tiene una plantilla de 38.700 empleados y es conocida mundialmente por su experiencia tecnológica en exploración y producción en aguas profundas, su tecnología sísmica en 3-D, la mejora del coque de petróleo de alto grado y la eliminación de azufre. Para más información, pónganse en contacto con: www.conocophillips.com

- alquilato y producción de mayor calidad
- las relaciones ácido/hidrocarburos y la temperatura del reactor están controladas para mejorar la calidad del producto y suprimir la producción de ASO
- se optimizan las condiciones del reactor para gestionar las variaciones de las composiciones de las nuevas alimentaciones.

Una cartera más amplia
El desarrollo y la introducción en el mercado, ambos con éxito, del analizador de

ácido HF de proceso FTIR, son el resultado de una colaboración muy fructífera entre ABB y ConocoPhillips.

Como uno de los principales licenciarios de proceso de ácido HF, ConocoPhillips aportó a la asociación una comprensión fundamental de los requisitos de vigilancia de proceso y de las variables críticas de proceso en términos reales. A través de su departamento de I+D aportaron también la capacidad de desarrollar la importantísima precalibración universal del analizador, necesaria para poder explotarlo con éxito.

ABB pudo aportar tecnología de proceso FTIR de vanguardia y una ingeniería de diseño de sistema experto de muestreo en las instalaciones. Juntas, estas aportaciones han producido beneficios significativos a ambas partes. ConocoPhillips puede ofrecer una herramienta clave de análisis de procesos a sus muchos licenciarios de proceso de ácido HF, así como beneficiarse de la implantación directa de la tecnología en sus propias operaciones de refino. ABB ha podido añadir un producto significativo y exclusivo a su cartera de soluciones de análisis del proceso FTIR.

Michael B. Simpson
ABB Analytical
Québec, Canada
mike.b.simpson@gb.abb.com

Michael Kester
ABB Inc.,
Houston, Texas
michael.kester@us.abb.com

La tecnología del agua corriente

Optimización del abastecimiento de agua en la ciudad de Basilea
Daniel Moll, Thomas von Hoff, Marc Antoine

El agua corriente no está garantizada a todos los habitantes del planeta. Sin embargo, en los lugares en los que está garantizada, es un elemento normal de los hogares. Su consumo medio es de unos 120–160 litros por persona y día (tendencia en descenso).

En el mundo occidental, el agua corriente ha de ser potable y estar disponible en todo momento. Sin embargo, el agua de las fuentes o subterránea no suele cumplir los estrictos requisitos de las autoridades responsables.

Para que la producción y el abastecimiento de agua de alta calidad resulte rentable hay que seguir un proceso de producción y distribución bien controlado y supervisado.

En este sentido, la automatización permite reducir los costes de explotación y de mantenimiento y simplifica la cooperación entre los distintos sistemas de suministro de agua en áreas extensas.



Colaboración en los procesos

El agua potable natural procede de los manantiales y de la capa freática. En la mayoría de los casos, la cantidad de agua potable natural es insuficiente, por lo que hay que obtenerla además de otras fuentes. Durante su producción, el agua pasa por varias etapas de tratamiento que mejoran sucesivamente su calidad para convertirla en potable. Después de hacerla pasar por filtros para eliminar las partículas más gruesas, el agua subterránea se drena a través de zonas boscosas para enriquecerla. Durante este proceso de drenaje, se trata biológica y físicamente. Luego se extrae con cuidado del subsuelo mediante bombas de baja presión. Si es necesario, se somete a ciertos procesos posteriores de carácter químico antes de bombearla al sistema de distribución por cañerías. La topología del sistema de cañerías y la zona de abastecimiento determinan la estrategia de bombeo.

Soluciones para la optimización de las plantas

Para garantizar la rentabilidad, las empresas de servicios públicos se esfuerzan continuamente por optimizar el funcionamiento de sus plantas y por reducir los costes del ciclo de vida. A este respecto, disponen de potentes herramientas de diagnóstico que les ayudan a identificar las desviaciones de rendimiento y les permiten adoptar medidas correctoras en las fases iniciales.

La serie OPTIMAX® de ABB para optimización de las plantas ofrece una amplia variedad de productos y soluciones para responder a estas necesidades de las empresas de producción de energía y de agua [1]. Ofrece así a estas empresas complejas soluciones para la optimización de costes y la producción de energía, ya se trate sólo de energía eléctrica o de ésta en combinación con energía de otros tipos (calor, agua, residuos, etc.).

Modernización de la automatización del abastecimiento de agua en IWB

La empresa municipal de aguas de Basilea (IWB) **Cuadro** gestiona actualmente un sistema de abastecimiento de agua que consta de los siguientes elementos:

- 12 bombas de alta presión
- Un área de drenaje y recogida de agua subterránea, que comprende 12 pozos (con bombas de baja presión)
- Un proveedor externo
- Tres depósitos de doble cámara
- Un suministro anual de unos 26 millones de m³

Aparte de su deseo de modernizar el sistema de automatización, IWB necesitaba una solución que optimizara las actividades de explotación y de mantenimiento. El concepto adoptado por IWB es el de "funcionamiento sin operadores optimizado" y se caracteriza porque no exige la presencia de operadores en las estaciones de bombeo (o depósitos) distantes, lo que permite a éstos dedicarse a otras tareas impor-

tantes dentro de las actividades generales de explotación y mantenimiento.

Dentro de ese concepto, IWB deseaba una solución optimizada que, a partir de una determinada demanda de carga (consumo de agua), determinase el mejor programa de funcionamiento de las bombas y los pozos, teniendo en cuenta un conjunto de limitaciones relativas a la infraestructura. Una tarea así puede formularse como un problema de programación de cargas. El personal de explotación y mantenimiento esperaba que la nueva solución fuera al menos tan buena como la anterior.

En un sistema de funcionamiento sin operadores, debe haber un controlador inteligente que programe los puntos de consigna de las bombas y los pozos previamente definidos por los operadores. Los criterios de optimización son los siguientes:

- el propio suministro de agua
- la obtención de la necesaria calidad del agua
- la reducción al mínimo de los costes de explotación y mantenimiento

En otras palabras, y esta vez en términos matemáticos, el optimizador resuelve un problema híbrido caracterizado por la existencia de variables continuas (p. ej., niveles, energía, etc.) y de variables discretas (p. ej., encendido y apagado de los equipos de la planta). Al utilizar un Control predictivo del modelo (MPC por sus siglas en inglés) y desarrollos más recientes, como los sistemas mixtos dinámicos-lógicos (MLD) [2], esta solución puede implantarse como parte de las aplicaciones de software de ABB OPTIMAX®.

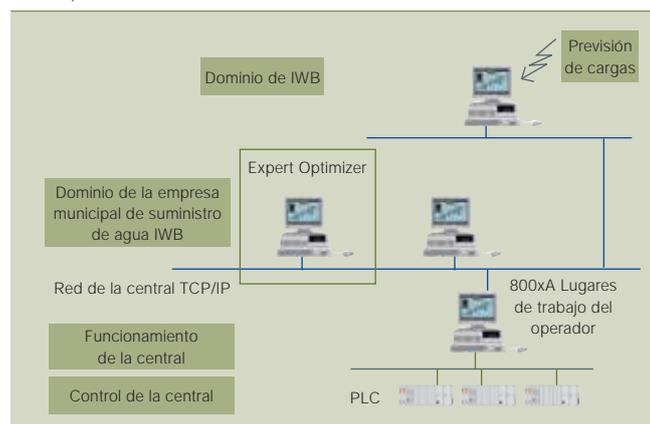
Cuadro IWB

IWB (Industrielle Werke Basel) suministra agua potable de alta calidad al cantón de Basilea y la localidad de Binningen. Desde el 1 de enero de 2007, el agua potable de IWB tiene su propia designación: bälAqua.

Un rasgo específico del sistema de Basilea es el denominado tratamiento biológico, posterior al filtrado rápido. Consiste en inundar periódicamente las zonas boscosas con agua del Rin para conseguir una purificación mecánica y biológica. Este proceso de purificación biológica es único en el mundo y puede adaptarse a las necesidades de otros lugares.

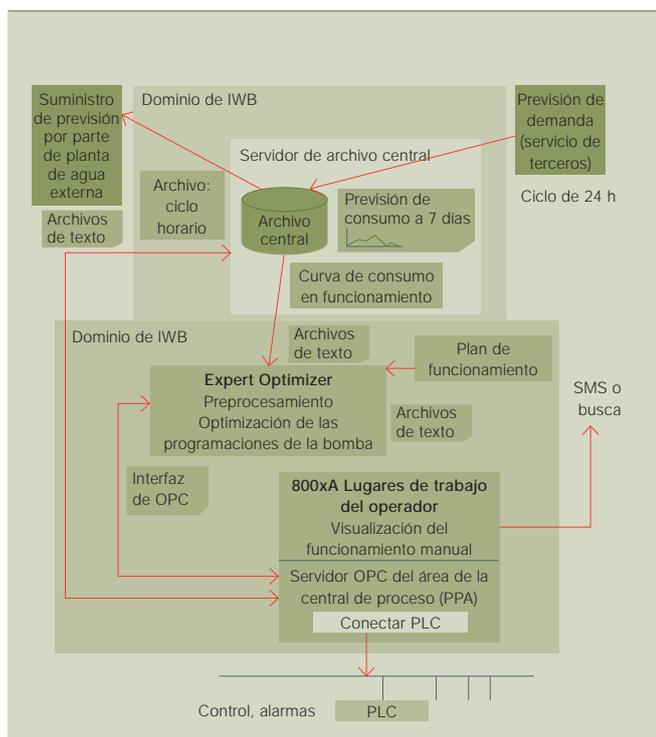
Para más información, sírvase consultar el sitio www.iwb.ch

Esquema del sistema



Estrecha cooperación entre IWB y ABB

Cuando la planta está funcionando sin operadores, debe cumplir los mismos criterios que si estuviera atendida por operadores. Para definir los conceptos de diseño y garantizar la aplicación de información relevante en el software de optimización, IWB y ABB colaboraron estrechamente desde el lanzamiento del proyecto. Mientras que ABB aportó sobre todo conocimientos técnicos especializa-



dos de automatización y optimización, IWB ofreció el conocimiento específico de la planta y su experiencia operativa.

Una solución personalizada

El sistema de automatización subyacente

El sistema 800xA de ABB incluye funciones comunes de las consolas de operador y ofrece acceso a cualquier hardware del que disponga el cliente, lo que permite la integración de todos los equipos ya instalados en una planta típica.

Los sistemas de control de las grandes empresas municipales de servicios públicos o de las centrales eléctricas requieren una inversión de varios millones de dólares en hardware e ingeniería. En lugar de exigir la sustitución completa de los equipos en los que ya se ha invertido, ABB opta por mantenerlos. Al seleccionar el sistema 800xA de ABB, IWB optó por un sistema de control del proceso con una amplia gama de funciones nuevas, al tiempo que se mantenía una interfaz de usuario uniforme en distintas familias de controladores subyacentes **1**.

La solución desarrollada: el optimizador. La solución se basa en 800xA y el Optimizador experto de ABB. **1** Desde el

lugar de trabajo del operador pueden supervisarse las tendencias anteriores y previstas de la planta. Si se desea, el operador puede conmutar el optimizador de bucle cerrado a bucle abierto, es decir, al modo de control manual.

En el modo de funcionamiento sin operadores, lo decisivo es el plan de funcionamiento, que puede incluir algunos puntos de consigna o determinadas restricciones de las bombas (por ejemplo, restricciones relativas a la indisponibilidad de éstas o de los depósitos durante los trabajos de mantenimiento). Se parte de una predicción diaria, especificada por horas, de la demanda de agua. Esa predicción se establece mediante un software de pronóstico que tiene en cuenta las previsiones meteorológicas del servicio meteorológico suizo para los siete días siguientes. IWB facilita estos datos a ABB por correo electrónico. A partir de estos datos y restricciones, el Optimizador experto calcula los programas óptimos de funcionamiento de las bombas y los pozos.

La comunicación del archivo de datos y el plan de funcionamiento al Optimizador experto se hace a través de archivos de texto, y el intercambio de datos entre el Optimizador experto y el lugar del trabajo del sistema 800xA se realiza

mediante OPC¹). Por motivos de seguridad, los programas de los puntos de consigna de las bombas y los pozos se envían al PLC²) con la suficiente antelación.

Puesto que la previsión de la demanda de agua es un dato sujeto a cierta incertidumbre (y cabe la posibilidad de que los pozos y bombas se desconecten), se supervisan los niveles de los depósitos y pozos y se comprueban contrastándolos con los límites de alarma del PLC. Una alarma lanza nuevos cálculos de la optimización y genera nuevos puntos de consigna programados, que tienen en cuenta el cambio en las condiciones. A su vez, se informa a los operarios por SMS o se les avisa por busca si es necesaria su intervención o aprobación.

Después de elaborar unas detalladas especificaciones de diseño, acordadas conjuntamente por IWB y ABB durante las reuniones periódicas de revisión, se comprobaron en ABB las funciones básicas del software durante la prueba de verificación en fábrica, tras lo cual se instalaron en la planta. El sistema se

Nota a pie de página

¹) OLE para control de procesos

²) PLC: Controlador lógico programable

Colaboración en los procesos

2 Estado de los pozos. En este ejemplo, los caudales de los distintos pozos (azul, verde y amarillo) son iguales.



3 Llenado del depósito virtual: el nivel real (verde) sigue al punto de consigna óptimo (amarillo) entre los límites de tolerancia (naranja).



sometió después a una minuciosa verificación por el cliente en el modo de bucle abierto, haciéndose en caso necesario las adaptaciones precisas. Una

vez superado el periodo de prueba, el optimizador se conmuta al modo de funcionamiento en bucle cerrado.

Resumen

La empresa municipal de aguas de Basilea (IWB) necesitaba una solución que aumentase notablemente el grado de automatización y optimización de la producción de agua: es decir, un “funcionamiento sin operadores” optimizado. A partir de una predicción en línea del consumo de agua, la solución de ABB determina los programas y los puntos de consigna óptimos para las estaciones de bombeo y los pozos subterráneos. Después se supervisan continuamente las desviaciones de los programas, haciéndose en éstos, en caso necesario, los correspondientes ajustes. El sistema funciona en bucle cerrado y avisa de forma automática al personal de servicio en caso de que se requiera temporalmente su intervención. Los conceptos de la solución adoptada se desarrollaron conjuntamente con el cliente. La ventaja principal que el sistema ofrece al cliente es la reducción de los costes de explotación y mantenimiento, al tiempo que se conserva la calidad del agua y se garantiza el abastecimiento.

El éxito de la colaboración entre IWB y ABB en el proyecto de optimización del suministro de agua constituye un buen ejemplo de proyecto experimental en relación con un nuevo concepto operativo introducido por el cliente.



Daniel Moll
IWB
Basilea, Suiza
daniel.moll@iwb.com

Marc Antoine
ABB Schweiz AG, Power Systems
Baden, Suiza
marc.antoine@ch.abb.com

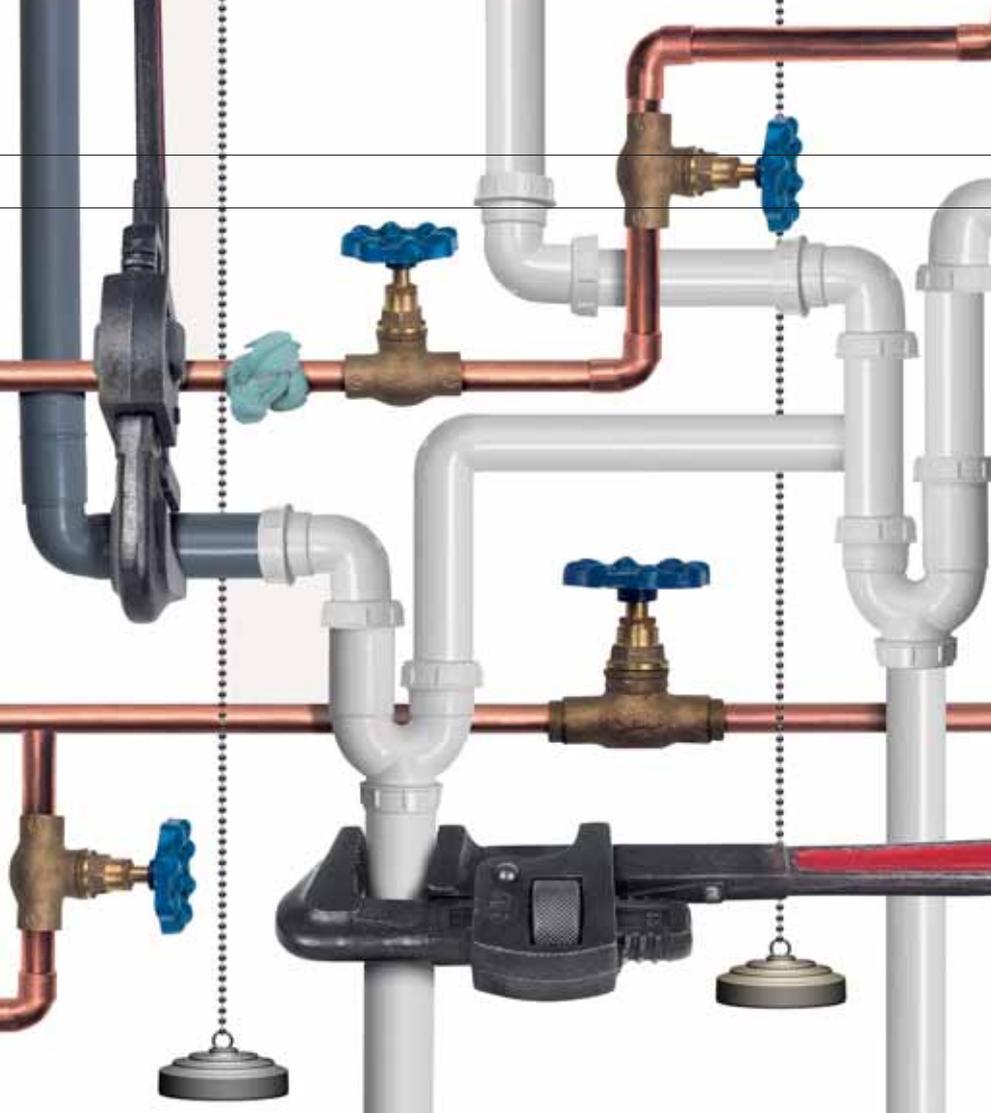
Thomas von Hoff
ABB Corporate Research,
Automation and Control
Baden-Dättwil, Suiza
thomas.von.hoff@ch.abb.com

Referencias:

- [1] OPTIMAX® Plant Optimization solutions for power generation, DEABB-1291-06-E.
- [2] Gallestey, E, y cols., Using Model Predictive Control and Hybrid Systems for Optimal Scheduling of Industrial Processes, Automatisierungstechnik, vol. 51, núm. 6, 2003.

Véase también

Antoine, M., OPTIMAX®, Mejora del rendimiento operacional y medioambiental, Revista ABB 2/2007, página 44



Una parada suave

Los arrancadores suaves de ABB están equipados ahora con un nuevo algoritmo de control de par para evitar el golpe de ariete en tuberías de agua.

Jesper Kristensson, Sören Kling

Si el motor de una bomba se para bruscamente, la brusca variación de caudal de agua que se produce provocará ondas de presión y golpe de ariete en válvulas y tuberías. El golpe de ariete está presente a menudo en sistemas de bombeo con tuberías de gran longitud y en sistemas con presión hidrostática alta y, con el tiempo, provocará desgastes y averías en los equipos. La utilización de arrancadores suaves reduce por lo general los efectos del golpe de ariete al producir una deceleración suave del motor. Ahora, gracias a una excelente colaboración con ITT Flygt, ABB ha desarrollado su prototipo de arrancadores suaves proyectando una solución innovadora que elimina completamente el golpe de ariete controlando el par óptimo del motor en función del tiempo.

La mayoría de las bombas se siguen arrancando con métodos de arranque electromecánicos convencionales, tales como arranque directo en línea y estrella-delta, y ello significa que el riesgo de golpe de ariete siempre está presente. Hoy día se dispone de diversas soluciones mecánicas, como válvulas hidráulicas y tanques de presión para evitar dicho efecto. Aunque bien conocidas, estas soluciones son costosas, requieren un mantenimiento importante y, en el caso de los tanques de presión, necesitan mucho espacio.

El golpe de ariete en un sistema de abastecimiento de agua reduce de forma considerable la vida útil de las tuberías, válvulas y juntas, provocando interrupciones del servicio no deseadas y unos altos costes de mantenimiento. El uso de arrancadores suaves **Cuadro 1** reduce por lo general la magnitud de los efectos del golpe de ariete, aunque no los pueden evitar en todas las circunstancias.

Los arrancadores suaves se usan normalmente para arrancar y detener motores en casi todas las aplicaciones de motores en corriente alterna [1] porque contribuyen a minimizar el desgaste y las averías mecánicas. ABB, por ejemplo, ha desarrollado arrancadores suaves que pueden controlar motores y bombas de hasta 1.000 kW, y más del 40% de los arrancadores suaves de ABB se utilizan para arrancar y parar motores de corriente alterna en aplicaciones de bombeo. Además de sus aplicaciones en sistemas de bombeo, los arrancadores suaves se pueden encontrar en algunas otras aplicaciones, desde impulsores de proa en barcos hasta compresores en estaciones de llenado de gas natural o máquinas fabricantes de nieve, así como en aplicaciones industriales más comunes, como ventiladores, compresores y cintas transportadoras. Sin embargo, el diseño anterior, con sus incrementos lineales de tensión para arrancar el motor, no es el más adecuado y es necesario mejorarlo si se pretende eliminar completamente el golpe de ariete.

En busca de una solución inteligente En los arrancadores suaves convencionales, la tensión suministrada al motor se incrementa linealmente durante la fase de arranque (lo que significa que

Colaboración en los procesos

la intensidad de arranque es baja), o se disminuye durante la fase de parada. Para la mayoría de motores, de esta forma se consigue una buena aceleración y deceleración del motor.

Aunque el golpe de ariete no es un problema durante la fase de arranque, la situación es bastante diferente durante la fase de parada. En un sistema de abastecimiento y distribución de agua, con muchas válvulas y los motores correspondientes, el efecto de cerrar una

de dichas válvulas depende de la configuración del sistema. La dinámica del sistema puede variar de un arranque y parada a otro, dado que el caudal de agua o el número de bombas que estén funcionando en el sistema pueden variar. Por ello, aunque la modificación de la configuración de los parámetros pueda evitar en un caso determinado el golpe de ariete, esto no significa que suceda lo mismo con otros parámetros del sistema.

Una solución más adecuada es tener en cuenta la dinámica del sistema hidráulico cuando se utilizan tiristores en el arrancador suave para controlar la entrada de tensión al motor **1**. Si se dispone de más mediciones dentro del arrancador suave, es posible controlar mejor el caudal de agua. Al mismo tiempo, es posible determinar en qué medida la tensión de entrada al motor afecta al caudal de agua. Controlando la tensión se puede controlar el par, que a su vez controla la velocidad del motor y, en consecuencia, el caudal de agua **2**.

Distintas mediciones permitirán establecer un algoritmo de bucle para controlar el par, cuya función es controlar la deceleración del agua en las tuberías para evitar el golpe de ariete cuando se paran las bombas.

Éste es un ejemplo típico de tecnología de bucles de control, pero con la necesidad añadida de que la misma solución debe poderse aplicar para todo tipo de bombas y para toda configuración de tuberías, así como para todos los motores entre 15 y 1.000 kW. Un

escenario ideal sería una solución que no requiera el ajuste de los parámetros. Con objeto de comprender mejor las distintas necesidades, ABB se puso en contacto con la compañía sueca ITT Flygt **Cuadro 2**.

Colaboración con ITT Flygt

ITT Flygt y ABB habían colaborado anteriormente en accionamientos de velocidad variable y otros equipos de arranque. La experiencia de ITT Flygt en sistemas de abastecimiento de agua, además de sus sofisticadas herramientas de simulación, convenció a ABB de que esta empresa era el socio ideal con el que se podría resolver el problema del golpe de ariete.

Desde el punto de vista de ABB, el llegar a dominar las herramientas de simulación proporcionaba un conocimiento muy valioso sobre la mejor manera de disminuir el par del motor y por consiguiente el caudal de agua en

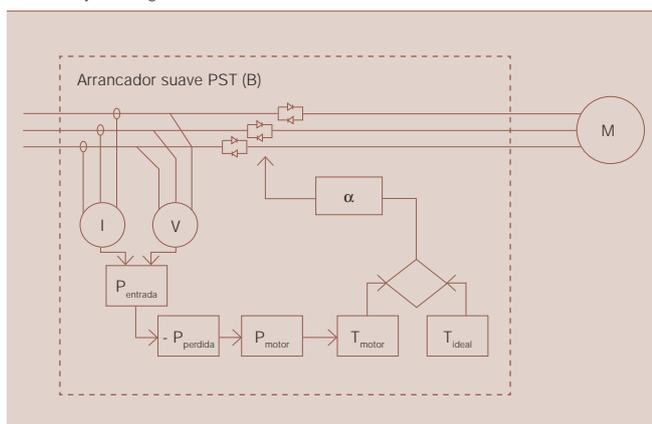
Cuadro 1 Arrancadores suaves

- Un arrancador suave utiliza tiristores (SCR = rectificadores controlados de silicio) para controlar la tensión de entrada al motor durante el arranque y la parada. Así se reduce la intensidad y el esfuerzo mecánico del motor en comparación con el arranque a plena tensión o con otros métodos electromecánicos de arranque. Sin la utilización de arrancadores suaves, es de esperar la aparición de problemas eléctricos, mecánicos y de operación:
- las perturbaciones transitorias de tensión e intensidad pueden sobrecargar la red local de alimentación y provocar variaciones de tensión que tengan como consecuencia oscilaciones de luces e interferencias con otros equipos eléctricos.
 - se pueden producir roturas de cintas, grietas en los acoplamientos, chirridos en los rodamientos y desgaste de los motores.
 - también se pueden producir incrementos de presión en las tuberías, daños a los productos en las cintas transportadoras e incomodidades en la utilización de escaleras mecánicas.

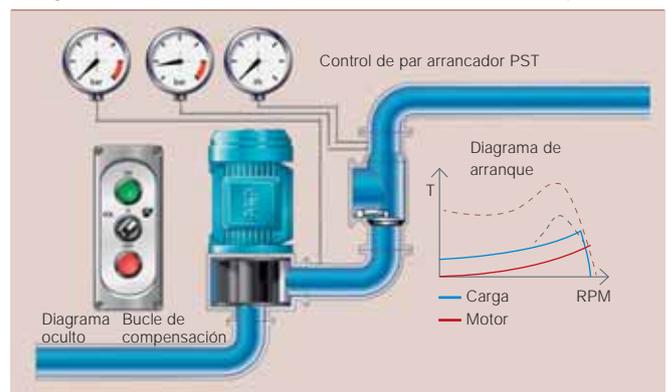
Cuadro 2 ITT Flygt

ITT Flygt fue fundada en 1901. Su sede central está situada a las afueras de Estocolmo (Suecia), y es líder mundial en bombas sumergibles y agitadores. ITT Flygt participa en un amplio espectro de actividades dirigidas a colaborar con administraciones, municipios y compañías para mejorar el manejo de las redes de saneamiento, control de inundaciones, conservación de energía, recuperación de tierras y construcción de túneles. Sus productos se utilizan también en minería, procesos industriales, agricultura y acuicultura.

1 Control del motor a partir del feedback proporcionado por un sistema de flujo de agua



2 Arrancadores suaves para controlar las bombas: una demostración de los efectos positivos sobre la intensidad, el par y el caudal de agua cuando se usa el arrancador PST de ABB control de par



la bomba durante la fase de parada, con objeto de evitar el golpe de ariete.

El que se produzca o no golpe de ariete depende de varios parámetros, que incluyen el sistema principal de tuberías y sus componentes, el tipo de tuberías utilizadas, la presión hidrostática, la longitud y el caudal de agua. También hay que tener en cuenta algunos otros parámetros, como el sistema interno de tuberías de la estación de bombeo. El cierre brusco de las válvulas de control es muy común, dado que el comportamiento dinámico de las válvulas es demasiado lento.

En la fase de parada, el problema es mucho más importante. El parámetro más crítico durante esta fase es la variación de la velocidad del agua. Esto,

3 Arrancador suave mejorado de ABB con control de par (add torque control symbol)



Los arrancadores suaves tienen que cubrir una amplia variedad de aplicaciones, desde compresores, ventiladores y cintas transportadoras hasta grandes bombas en oleoductos y gasoductos.



además del número real de bombas en servicio, afectará a la disminución de la demanda de cada bomba. Para tratar estas variaciones, ITT Flygt ya tiene en servicio una herramienta/método de análisis. Para casos difíciles se utiliza esta herramienta, que puede llevar a cabo un análisis transitorio del sistema, para diseñar configuraciones concretas de tuberías. Durante el proyecto proporcionó a ABB una valiosa información sobre parámetros críticos de caudal de agua durante la parada de las bombas.

A partir de una clara especificación de ITT Flygt sobre cómo debe funcionar una solución de control de par para evitar el golpe de ariete y aumentar la vida útil y el tiempo de servicio de sus bombas, el equipo de investigadores de ABB se concentró en diseñar la solución deseada. ITT Flygt demostró ser un excelente socio al adoptar un enfoque más amplio de la cuestión de cómo el uso de arrancadores suaves puede aumentar la fiabilidad de las estaciones de bombeo, o de qué funciones inteligentes se necesitan en el dispositivo de arranque para facilitar la utilización de arrancadores suaves en aplicaciones de bombeo.

La solución diseñada por ABB para eliminar el golpe de ariete se centra en controlar el par óptimo del motor en función del tiempo. Para determinar el par necesario es preciso efectuar mediciones y cálculos avanzados. El par calculado se compara con una curva ideal de par tanto durante el arranque como durante la parada. Si el par es demasiado bajo se aumenta mediante los tiristores la tensión de entrada al motor. De la misma forma, cuando el par medido es demasiado alto, se disminuye la tensión de entrada. Durante las secuencias de arranque y parada, tanto las mediciones como el control se realizan en tiempo real, y son lo suficientemente rápidos y precisos para controlar el par para todas las bombas y motores posibles en todas las configuraciones de tuberías.

Los prototipos disponibles se sometieron en primer lugar a las pruebas internas de ABB y a continuación a pruebas en las instalaciones de investigación de ITT Flygt en Estocolmo. Las pruebas de campo se realizaron en distintas esta-

ciones de bombeo en las que ITT Flygt ya estaba llevando a cabo pruebas sobre nuevos modelos y prototipos de bombas. Las pruebas en sistemas reales contribuyeron a validar tanto los resultados de las simulaciones como el algoritmo de control de par. Las estaciones de bombeo donde se realizaron las pruebas se utilizaron también para hacer demostraciones a los clientes finales, permitiéndoles así observar los efectos positivos del control de par al detener las bombas.

La estrecha colaboración entre ABB y ITT Flygt durante el período de diseño inicial permitió efectuar modificaciones en el algoritmo de control en una fase inicial, reduciendo así de forma significativa la fase de desarrollo del producto. Partiendo de esta provechosa colaboración, ambas compañías van a efectuar demostraciones de un sistema conjunto de bombeo en distintas ferias para mostrar las ventajas de utilizar una bomba sumergible de ITT Flygt con un arrancador suave PST de ABB equipado con el nuevo algoritmo de control de par 3.

Hacia aplicaciones más ambiciosas

La selección de un cliente líder como socio en colaboración para satisfacer las necesidades generales del mercado ha demostrado sus ventajas para ambas partes. Entre otras, el intercambio abierto de datos e ideas fundamentales de diseño no sólo lograron una solución innovadora para eliminar el golpe de ariete, también proporcionó unos conocimientos de valor incalculable que se pueden utilizar para afrontar retos similares en otras aplicaciones en las que haya que reducir al mínimo la intensidad de arranque y los esfuerzos mecánicos en, por ejemplo, compresores, ventiladores, impulsores de proa o cintas transportadoras.

Jesper Kristensson
Sören Kling
ABB AB, Cewe-Control
Västerås, Suecia
jesper.kristensson@se.abb.com
soren.kling@se.abb.com

Referencias

[1] Johansson, Helena M.; Kling, Sören; Funcionamiento suave desde el principio, Revista de ABB, número 3, 2004, páginas 22-26.

Aunar fuerzas para proporcionar estabilidad

Statnett, Sintef y ABB actúan conjuntamente para dominar la gran red eléctrica noruega

Petr Korba, Ernst Scholtz, Albert Leirbukt, Kjetil Uhlen, SINTEF, Noruega

Las redes eléctricas como la de Noruega se pueden extender a lo largo de miles de kilómetros, conectando centros de generación y usuarios finales de energía eléctrica a través de innumerables subestaciones y de una densa red de cables y líneas aéreas de transmisión. En una red bien gestionada, las anomalías se resuelven de una forma suave, evitando así la caída del sistema. Con la creciente utilización de las redes, debido a la necesidad cada vez mayor de energía eléctrica en todas partes, está a punto de alcanzarse el límite de una operación estable.

En este régimen de operación la red como conjunto debe estar equilibrada y se precisa control y vigilancia en una gran superficie. Esto parece fácil, pero debido a la naturaleza de un sistema complejo y oscilante como la red eléctrica, en realidad es un reto técnico de gran envergadura.

Statnett, operador del sistema noruego, SINTEF, grupo noruego de investigación científica e industrial y ABB, proveedor de soluciones técnicas al problema, han unido sus fuerzas para controlar más firmemente la red.

Noruega es un caso típico de red con una gran extensión geográfica. El sistema noruego se caracteriza por una gran cantidad de energía transportada por su red de transmisión, ya que las centrales hidroeléctricas de gran capacidad están situadas en la parte occidental del país, mientras que la mayor parte de los consumidores están situados en el este [1]. Las grandes distancias entre los centros de generación y de consumo es una de las razones por las que la red está sometida a esfuerzos [1]. Para el operador del sistema de transmisión noruego, Statnett, es vital identificar las condiciones operativas críticas y adoptar medidas correctoras antes de que las anomalías y las inestabilidades locales se conviertan en apagones generalizados. Además, es necesario disponer de dispositivos de medida, algoritmos para determinar situaciones de inestabilidad, estrategias de mitigación y ayuda a la decisión para los operadores.

Qué es posible en teoría

Una red extensa con miles de nudos de subestaciones y unidades generadoras y de consumidores muy repartidos es un sistema enormemente complejo que requiere de una visión en perspectiva de las múltiples oscilaciones. Se han propuesto y descrito en la bibliografía diversas soluciones para el problema de la estabilidad y se han estudiado distintas funciones relacionadas con el control, la vigilancia y la protección.

Hasta ahora, estas investigaciones sobre control automático han sido de naturaleza académica. No obstante, ABB Corporate Research (*Investigación corporativa de ABB*) y SINTEF, la Fundación para la Investigación Científica e Industrial de Noruega, han adquirido unos profundos conocimientos en esta área.

Conexión entre necesidades y opciones tecnológicas

La colaboración en investigación entre ABB, Statnett [Cuadro 1] y SINTEF [Cuadro 2], se remonta a muchas décadas. Existen muchos ejemplos en los cuales, como resultado de una tal colaboración, se han introducido con éxito nuevas tecnologías en el sistema noruego. Probablemente una de las más conocidas son las instalaciones de HVDC (corriente continua de alta tensión) a partir de los años 70.

Cuadro 1 Statnett

Statnett es el operador nacional del sistema de transmisión (TSO) de Noruega, responsable del equilibrio de la generación y consumo de energía en Noruega. Statnett tiene también la responsabilidad nacional de crear las condiciones para un mercado eficiente de electricidad, proporcionando un transporte fiable de energía mediante un desarrollo eficiente de la infraestructura de la red eléctrica. Statnett es propietaria de un 85% aproximadamente de las instalaciones de la red principal. En 2005, el número de empleados era de 630, con unos ingresos de explotación de 5.244 millones de coronas noruegas.

www.statnett.no (mayo de 2007)

Cuadro 2 El grupo SINTEF

El grupo SINTEF es la mayor organización independiente de investigación en Escandinavia. Las siglas significan Fundación para el desarrollo científico e industrial y emplea a 1.800 investigadores ubicados principalmente en Trondheim y Oslo. El socio para este proyecto ha sido SINTEF Energy Research Ltd., una división de SINTEF basada en Trondheim que actúa como una acreditada empresa consultora que tiene los profundos conocimientos necesarios del sistema eléctrico escandinavo y de los retos y limitaciones relacionadas con grandes exportaciones de energía eléctrica.

www.sintef.no (mayo de 2007)

1 La red nórdica de transmisión y las PMU instaladas, indicadas con círculos rojos



Colaboración en productos eléctricos

Desde 1999, ABB ha estado colaborando con Statnett y SINTEF en varios proyectos de I+D centrados en la utilización de sistemas de vigilancia de grandes superficies (WAMS) y control para incrementar los límites de transporte de energía de la red de transmisión noruega de 420 kV.

Este trabajo se estructuró en dos fases principales:

Desde 1999 hasta 2004

Proyecto "Electricidad noruega inteligente" con la misión de aumentar la utilización del sistema de transmisión y la seguridad de explotación mediante aplicaciones de vigilancia inteligente y conceptos de control basados en nuevas tecnologías de medición y comunicación.

2005 hasta la actualidad

proyecto "Transmisión segura" para poner en marcha un WAMS en la red de 420 kV y demostrar nuevos conceptos para la explotación segura de la red de energía.

El predictor de inestabilidad de tensión (VIP) de ABB, que proporciona al explotador de un sistema de transmisión una medición local del margen de potencia antes de que se produzca una caída de tensión en una subestación dada, fue uno de los primeros conceptos de vigilancia basados en las nuevas tecnologías de medición a

probar [2]. Más adelante se desarrolló la medición de fasores. Las unidades de medición de fasores (PMU) proporcionan valores sincronizados en el tiempo de las magnitudes y ángulos de las señales sinusoidales locales con alta resolución respecto al tiempo [3]. Las señales PMU se evalúan mediante un algoritmo de proceso adecuado, mejorando así la funcionalidad del sistema de gestión de energía del explotador.

Así se puede evaluar una inestabilidad peligrosa mediante conexión directa a FACTS (sistemas flexibles de transmisión en corriente alterna).

Colaboración ulterior

Toda gran red tiene sus oscilaciones características entre áreas. En el sistema eléctrico escandinavo, los principales modos de oscilación están entre 0,3 y 0,5 Hz.

Los departamentos de planificación de los operadores del sistema conocen dichas oscilaciones mediante estudios fuera de línea. Las oscilaciones se pueden caracterizar cuantitativamente por diversos parámetros en el campo de la frecuencia y del tiempo, tales como la frecuencia modal, la amortiguación, la amplitud y la fase. Una de las ventajas más importantes de WAMS es la posibilidad de detectar fenómenos dinámicos de gran extensión tales como oscilaciones electromecánicas en

tiempo real, permitiendo así adoptar medidas para contrarrestarlas.

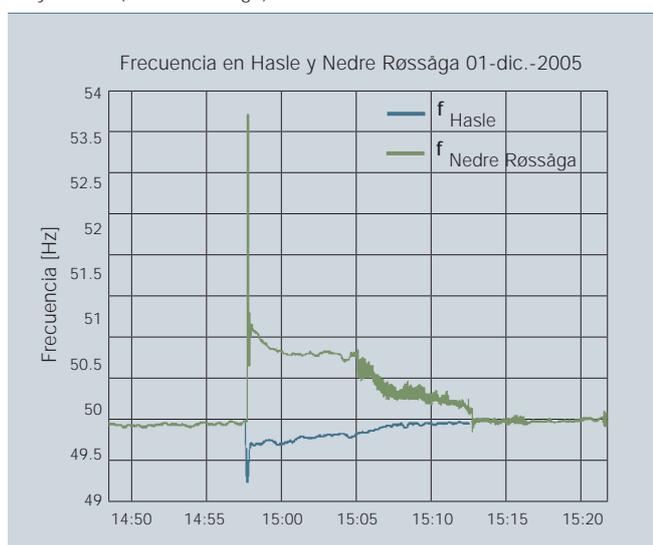
Para obtener una visión general completa de las oscilaciones con los menores puntos de medición posibles, el primer paso fue la selección de lugares adecuados para esas pocas instalaciones de PMU. Para poder llevar a cabo esta selección con éxito, hubo que tener en cuenta lo siguiente:

- La posibilidad de detectar los modos de oscilación característicos
- Acceso a mediciones de tensión e intensidad en la línea a partir de dispositivos de medición
- Acceso a enlaces existentes de comunicación Ethernet para difundir rápidamente la valiosa información desde una PMU a una unidad de proceso de datos

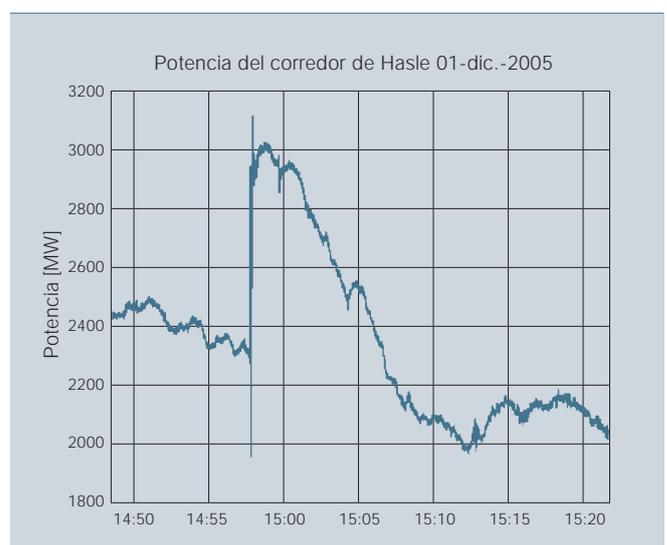
Un detallado análisis realizado conjuntamente cliente y en base a su profundo conocimiento del sistema llevó a seleccionar cuatro emplazamientos: las subestaciones de de Hasle, Fardal, Kristiansand y Nedre Røssåga [1].

En estas cuatro estaciones PMU se recopilaban innumerables mediciones que se analizaron para mostrar la información del sistema en condiciones normales de funcionamiento y la respuesta dinámica durante más anomalías críticas del sistema.

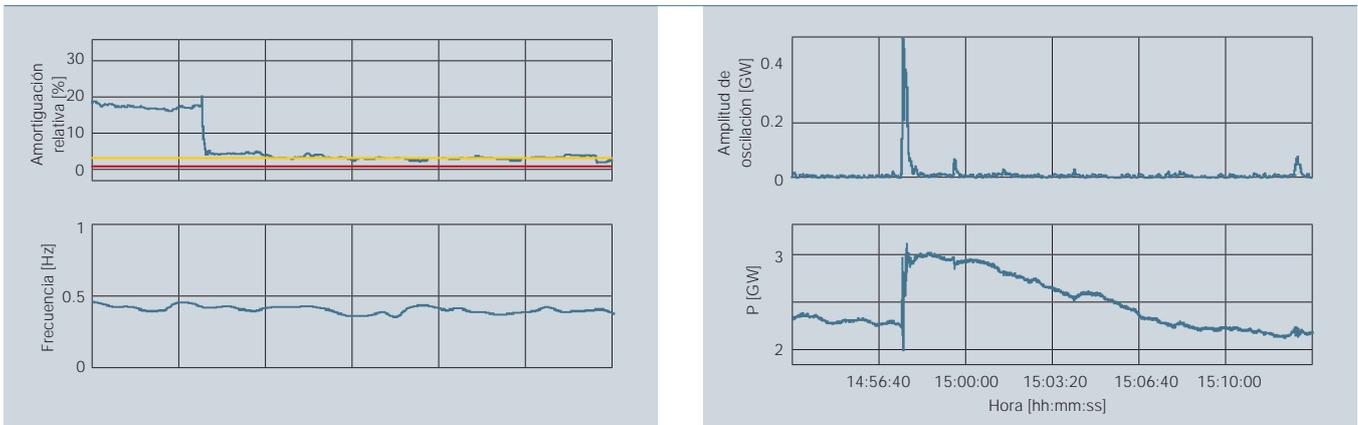
2 Frecuencias del sistema capturadas en Noruega meridional (Hasle) y central (Nedre Røssåga)



3 Flujo de energía en líneas de 420 kV desde Hasle hacia Suecia



4 Resultados de la supervisión: la amortiguación relativa, frecuencia y amplitud de oscilación son las estimaciones en tiempo real del modo de oscilación más dominante contenido en la respuesta medida P



Por ejemplo, el 1 de diciembre de 2005 se produjo una importante anomalía en el sistema eléctrico nórdico.

La anomalía se produjo por un fallo en el norte de Suecia. Los esquemas de disparo del transporte, que deberían haber hecho que se detuviera la generación en Noruega, fallaron, con lo que se produjo un exceso de generación y la consiguiente sobrecarga de las restantes líneas de transmisión de energía en el norte de Noruega. Esto llevó a una caída incontrolada y a la formación de varias islas en el norte de Noruega.

Este amplio y extendido impacto de esta anomalía local puede verse claramente, en tiempo real gracias al registro sincronizado en el tiempo, en las mediciones de PMU en 2 y 3

2 muestra la frecuencia del sistema deducida de las mediciones del fasor de tensión en Hasle (sur de Noruega) y Nedre Rössåga (norte de Noruega), respectivamente. Los tiempos de separación de la red y de resincronización se detectaron con facilidad. El desequilibrio del sistema debido al corte de una importante zona de exceso de generación en el norte de Escandinavia llevó a activar las reservas primarias en el resto del sistema. El súbito incremen-

to de circulación de energía en el corredor de Hasle (circulación de energía hacia Suecia) indica que una gran parte del déficit energético se compensó mediante generación en el sur de Noruega.

Para estimar en tiempo real la estabilidad de la completa y amplia red se utilizan señales PMU cuidadosamente seleccionadas mediante un análisis que emplea un método basado en modelo²⁾: un modelo autorregresivo con coefi-

5 Ajuste del controlador para un modo de 0,33 Hz que regula la SVC en Sylling utilizando mediciones de ángulo desde Nedre Rössåga y Kristiansand



Notes
 1) En el pasado, una tal visión dinámica de una superficie tan grande habría sido difícil y larga de establecer y sólo habría sido posible después de que se produjera el evento.
 2) Su ampliación a un diseño de controlador basado en modelo es posible en el futuro.

Colaboración en productos eléctricos

cientes variables en el tiempo y técnicas de filtrado Kalman identifica de forma óptima los parámetros más convenientes del modelo [4].

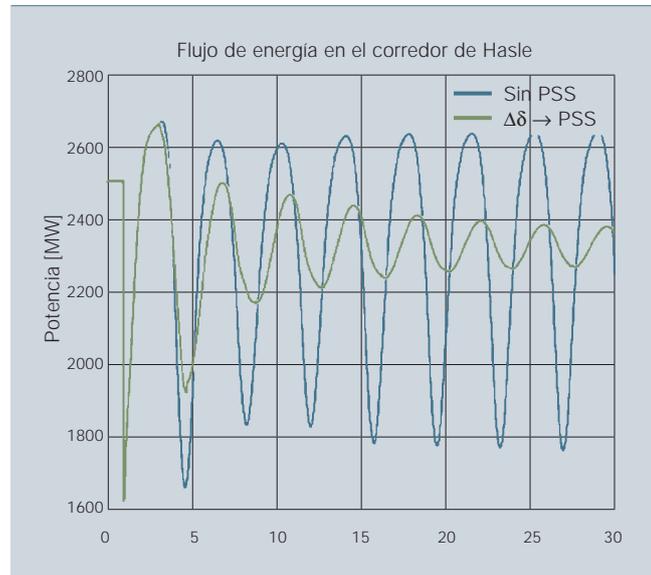
Este método para la detección en línea de oscilaciones se aplicó a la respuesta medida de transporte de energía a través de la interfaz de Hasle [3] durante la anomalía de diciembre de 2005.

La estimación resultante del modo oscilatorio dominante se muestra en [4]. Se puede ver claramente el cambio en forma de escalón en la amortiguación relativa desde aproximadamente el 15% antes del hecho hasta entre el 4 y el 7% durante el período después de la anomalía. La frecuencia modal, que es función de la topología de la red y de los elementos conectados, permanece más o menos sin cambio: ronda alrededor de su valor medio, cambiando ligeramente después de la anomalía, desde 0,39 a 0,42 Hz. De forma similar, la amplitud estimada de oscilación aumentó temporalmente en los 15 primeros segundos posteriores al hecho. Eligiendo adecuadamente los umbrales de alarma, se puede utilizar fácilmente este tipo de información para disparar automáticamente avisos al explotador de la red.

Una vez recibidos estos avisos, los operadores tienen que adoptar medidas correctoras para estabilizar el sistema. Actualmente, varias unidades SVC (compensador estático de variaciones, un dispositivo FACTS) del sistema noruego están equipadas con una función de amortiguación de oscilaciones de energía (POD) utilizando como entrada mediciones locales (por ejemplo, tensión de bus o potencia) lo que contribuye a amortiguar las oscilaciones electromecánicas entre zonas. Aunque esto funciona bien, las mediciones locales pueden no proporcionar en todos los casos una mitigación adecuada de los modos críticos entre zonas.

El objetivo del actual proyecto en común entre Statnett, SINTEF y ABB es, por lo tanto, investigar la mejor manera de que las mediciones a distancia des-

6 Flujo de energía en el corredor de Hasle con y sin controlador de amortiguación



de las PMU puedan proporcionar señales de entrada para amortiguar los modos críticos en la extensa red utilizando los accionadores SVC actuales.

Como primer paso hacia este objetivo, se llevó a cabo un estudio de simulación en ordenador sobre las mediciones de las PMU de Hasle, Kristiansand, Nedre Røssåga y Fardal. Para obtener los parámetros óptimos de amortiguación del controlador, se probaron varios métodos automáticos de control existentes (lead-lags [adelanto-retraso], diseño robusto H_{∞} y métodos adaptativos). En [5] y [6] se muestra cómo se puede ajustar la unidad SVC de Sylling, cerca de Oslo, para amortiguar las oscilaciones alrededor de 0,33 Hz utilizando ángulos de tensión procedentes de las PMU de Kristiansand y Nedre Røssåga.

La amortiguación resultante del modo de baja frecuencia demuestra claramente las ventajas de la tecnología WAMS, en cuanto es posible emprender acciones de control y protección fundamen-

tadas y a tiempo en base a mediciones de alta resolución de las PMU.

Lecciones aprendidas

La estrecha colaboración de los proveedores de tecnología como ABB y de los usuarios de la misma como Statnett, es la única forma viable de desarrollar soluciones para los desafíos de un sistema complejo como una red eléctrica. Los problemas técnicos afrontados aquí son muy similares a otros sistemas y operadores energéticos. La fundamental experiencia que ABB ha adquirido en esta colaboración conjunta de I+D proporciona retroinformación y directrices críticas para el desarrollo de nuevos produc-

tos, que a su vez conlleva una mejor utilización fiable de las redes existentes.

Petr Korba

ABB Corporate Research
(Investigación Corporativa de ABB)
Baden-Dättwil, Suiza
petr.korba@ch.abb.com

Ernst Scholtz

ABB Inc USA, Corporate Research
(Investigación Corporativa)
Raleigh, Carolina del Norte, EE.UU.
ernst.scholtz@us.abb.com

Albert Leirbukt

ABB Noruega, Power systems
(Sistemas Eléctricos)
Oslo, Noruega
albert.leirbukt@no.abb.com

Kjetil Uhlen

SINTEF, Noruega

Referencias

- [1] Korba, P., Larsson, M., Oudalov, A., Preiss, O., Towards the Future of Power System Control, *ABB Review* 2/2005, páginas 35–38.
- [2] Leirbukt, A., Uhlen, K., Palsson, M. T., Gjerde, J. O., Vu, K., Kirkeluten, Ø., Voltage Monitoring and Control for Enhanced Utilization of Power Grids, IEEE PSCE 2004, Nueva York.
- [3] Leirbukt, A., Gjerde, J.O., Korba, P., Uhlen, K., Vormedal, L. K., Warland, L., Wide Area Monitoring Experiences in Norway, Conferencia y Exposición de Sistemas Energéticos (PCSE), Atlanta, octubre – 1 de noviembre, 2006.
- [4] Korba, P., Real-Time Monitoring of Electromechanical Oscillations in Power Systems, *IEE Proceedings of Generation Transmission and Distribution*, volumen 1, páginas 80–88, enero de 2007.

Control y protección

Creación de un relé de control y protección para líneas eléctricas de distribución de media tensión

Mohamed Y. Haj-Maharsi, Deia Bayoumi, Thomas G. Sosinski, Doug Voda

Para poder proporcionar un nivel de seguridad y productividad superior al normal, una compañía puede requerir a menudo instalaciones cuyas especificaciones vayan más allá de las que se encuentran disponibles comercialmente. Éste fue el reto al que se enfrentó Hydro Quebec para adquirir unidades de protección de líneas a media tensión, reto que se afrontó en estrecha colaboración entre dicha compañía y ABB.

Como líder en los campos de protección de sistemas energéticos y de aparatos, Hydro-Québec sigue desarrollando aplicaciones de protección que conceden una enorme importancia a la seguridad de sus empleados. Para aumentar la protección y la fiabilidad de sus líneas de media tensión, Hydro-Québec desarrolló especificaciones para la mejora de sus unidades de protección de líneas de alimentación utilizando la última generación de relés de protección controlados por microprocesadores. En comparación con los productos estándar de protección, esta solución permite múltiples ventajas que se consiguen en términos de protección, facilidad de mantenimiento y rendimiento. La clave radica en una solución que utiliza un único recinto con alimentación eléctrica redundante y que combina elementos de protección primarios y de reserva.

Las ventajas incluyen mejoras en el rendimiento del producto, en la fiabilidad del funcionamiento de los dispositivos electrónicos y en la vida útil de la unidad instalada, al tiempo que se reducen los costes de instalación, formación y mantenimiento. La importancia concedida por Hydro-Québec al diseño de la aplicación y del producto facilita de

Colaboración en productos eléctricos

forma significativa la sustitución de los equipos antiguos por sistemas de protección de última generación.

Las referencias de ABB en proporcionar soluciones que integran capacidades multifuncionales dentro de una única unidad y con capacidad versátil de comunicación y soluciones innovadoras para funcionalidades de protección –“Engineered for Safety™” (Diseñado para la seguridad)–, convencieron a Hydro-Québec para elegir a ABB como proveedor principal para su solución de protección, control y automatización para líneas eléctricas de media tensión.

Las especificaciones de Hydro-Québec combinaban unos requisitos avanzados de aplicación y análisis con la necesidad de una gran fiabilidad y de una interfaz de fácil manejo. Para cumplir estas especificaciones fue necesaria una colaboración y comunicación significativas entre el personal de ambas compañías a lo largo de todas las fases de planificación del producto, desarrollo, selección de materiales y validación del producto y certificación de fabricación. Estas interacciones establecieron una nueva dimensión en las técnicas de desarrollo, selección de materiales y el proceso de pruebas del producto final. El resultado refleja una funcionalidad y unas prestaciones del producto de nivel mundial.

Una protección más allá de lo normal Hydro-Québec, la mayor productora mundial de energía hidroeléctrica, suministra a Quebec, Canadá y a algunas zonas del nordeste de los Estados Uni-

dos. Su división de distribución es responsable de mantener la fiabilidad de los equipos de la red de distribución, así como de un suministro continuo de electricidad a sus clientes.

Para fortalecer su sistema de protección de líneas eléctricas, Hydro-Québec convocó un concurso en abril de 2005 para construir una unidad de protección que agrupe a los sistemas de protección primario y de reserva en una única unidad. El relé debía poder reformar instalaciones existentes, y el diseño se debía centrar en la protección avanzada, el control, la fiabilidad del sistema y el poco mantenimiento. El nuevo relé permite la transferencia automática desde la protección principal a la de reserva, así como servir como mecanismo a prueba de fallos para protección de los equipos en situaciones críticas de fallo.

En julio de 2005 ABB resultó elegida para fabricar el nuevo relé de protección. Una serie de reuniones entre ABB e Hydro-Québec estableció el marco de un valioso proceso de colaboración y condujo a la creación de un relé de protección a la medida de las necesidades de Hydro-Québec.

El nombre del producto que eligió Hydro-Québec fue CEPA, “Control Et Protection des Artères” (Control y protección de líneas eléctricas de distribución, en francés).

La unidad de protección CEPA es un sistema avanzado de protección de líneas eléctricas basado en

microprocesadores, que incorpora las últimas innovaciones en funciones de protección, control y automatización. Debido a su funcionalidad redundante de protección, es la solución ideal para proporcionar una protección y un control altamente fiables de aplicaciones de líneas de distribución y subtransporte. CEPA ofrece un paquete completo de funciones de protección, incluyendo las relacionadas en el Cuadro 1. Esta protección permite utilizar el relé en la mayoría de aplicaciones de distribución y subtransporte.

Todos los esquemas de protección proporcionan detección paralela de fallos y son autónomos en términos de suministro de energía, medición y procesamiento de señales analógicas, convertidores A/D, entradas y salidas binarias, conforme a las especificaciones y descripciones definidas en las prescripciones técnicas generales de Hydro-Québec.

La interfaz de usuario de CEPA combina luces de señal, botones de control, una interfaz de control de ordenador (OCI) en la parte frontal con dobles pantallas y teclados, dobles puertos frontales EIA232 para comunicación con un microprocesador conectado localmente al relé, un puerto trasero EIA232 y un puerto Ethernet para comunicaciones en red Cuadro 2.

Interfaz de usuario

A través de la OCI y de un programa externo basado en un ordenador personal (WinECP) se puede acceder a las configuraciones, las mediciones, los eventos y el control de los relés.

Interfaz de control de operador (OCI)

El diseño de OCI incluye compensación de temperaturas, permitiendo ver la pantalla claramente en todo el intervalo de temperaturas de trabajo de la unidad CEPA (–40° a +85° C). La OCI muestra continuamente las magnitudes para valores de intensidad y tensión. Además, también muestra el número de disparos rápidos permitido, el contador de cierres y el número total de cierres permitido.

Programa de comunicaciones externas de Windows (WinECP)

El WinECP proporciona a los usuarios un método sencillo de comunicarse con el relé.

Unidad CEPA



Cuadro 1 Funcionalidad de protección de CEPA

Las características de la funcionalidad de protección de CEPA incluyen:

- Protección instantánea y en el tiempo contra sobreintensidad en fases y tierra
- Cierre multidisparo
- Comprobación de fallo de disyuntores

Cuadro 2 Características generales de CEPA

CEPA proporciona estas principales prestaciones:

- Tecnología avanzada de microprocesadores de 32 bits y procesador digital de señal (DSP)
- Interfaz de control de operador (OCI) mejorada con doble pantalla de LCD: una para protección primaria y la otra para protección de reserva
- Puertos aislados de comunicación para unas mejores comunicaciones a distancia
- Puertos delantero y trasero de comunicaciones para acceso local y a distancia simultáneo
- Múltiples protocolos de comunicaciones:
 - DNP 3.0 Level 2+ (Estándar)
 - Modbus, Modbus TCP/IP
 - Sincronización de tiempo IRIG-B; un reloj que funciona por batería registra el tiempo incluso cuando se produce corte de corriente

Las funciones estándar incluyen:

- Registros digitales de fallos (DFR)
- Protección multifunción completa
 - sobreintensidad fase/tierra
 - sobretensión/subtensión
 - fallo de disyuntor
- Medición y control completos
- Software WinECP de interfaz de usuario

Una aplicación fácil de utilizar y guiada por menús permite a los usuarios:

- Mostrar o modificar configuraciones
- Guardar configuraciones en un archivo
- Mostrar distintos registros almacenados en el relé CEPA (informe resumen de fallos y secuencia de eventos)
- Vigilar valores de medición, entradas/salidas físicas y puntos de situación
- Almacenar registros digitales de fallos y datos de secuencias de tiempos
- Controlar los disyuntores y las señales de entrada y salida

Se puede utilizar WinECP fuera de línea para explorar las capacidades y la funcionalidad del relé. Durante el funcionamiento fuera de línea, las configuraciones y los valores que se muestran son los valores por defecto de fábrica. La configuración de los relés se puede modificar, guardar en un archivo y recuperar para descargarla posteriormente a una unidad CEPA.

Registrador digital de fallos

El relé CEPA incluye un registrador digital de fallos opcional para analizar las condiciones de los fallos y de las anomalías. En la unidad se almacenan configuraciones de fuentes de disparo y ciclos seleccionables de datos registrados antes del disparo. Los datos recopilados se guardan en una memoria no volátil y se pueden descargar en un ordenador. Un programa separado muestra los registros de los análisis post-mortem y de la planificación del sistema.

Trabajo con el cliente

ABB tuvo que asegurarse de que se cumplieran plenamente los requisitos del cliente al desarrollar la CEPA. Algunos de los requisitos de Hydro-Québec constituyen características estándar de protección, mientras que otros están personalizados para unas necesidades medioambientales y de funcionamiento. ABB e Hydro-Québec mantuvieron un diálogo constante a lo largo de las fases de desarrollo de las especificaciones, de creación del producto, de elección de los componentes, de verificación del sistema y de producción.

Aunque las normas de seguridad eléctrica especifican los requisitos mínimos para el funcionamiento de la aplicación, las expectativas funcionales de Hydro-Québec iban más allá de las recomendaciones normativas generales. Para cumplir estos requisitos, ABB definió y probó su producto para condiciones y esfuerzos más exigentes que los requisitos normales de una aplicación para una instalación. ABB utilizará los conocimientos adquiridos a través de este proceso para mejorar sus productos de serie mientras sigue proporcionando a Hydro-Québec aplicaciones y conocimientos de ingeniería para equipos y productos de protección existentes y futuros.

Mohamed Y. Haj-Maharsi

ABB Inc USA, Corporate Research
(Investigación Corporativa)
Raleigh, Carolina del Norte, EE.UU.
mohamed.maharsi@us.abb.com

Deia Bayoumi

ABB Inc USA, Corporate Research
(Investigación Corporativa)
Allentown, Pennsylvania, EE.UU.
deia.bayoumi@us.abb.com

Thomas G. Sosinski

ABB Inc USA, Medium Voltage Products
(Productos de media tensión)
Allentown, PA, USA
thomas.g.sosinski@us.abb.com

Doug Voda

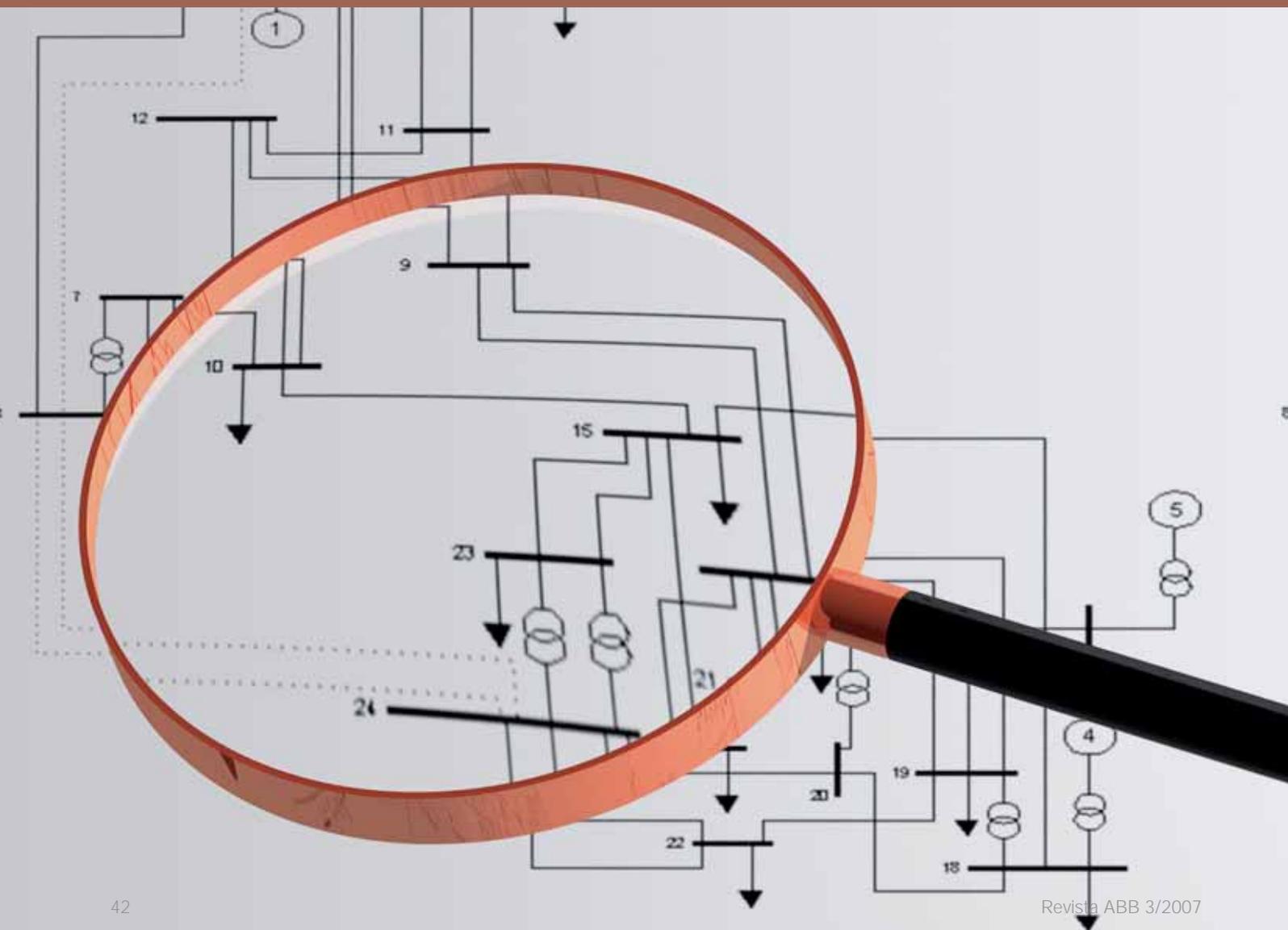
ABB Inc USA, Medium Voltage Products
(Productos de media tensión)
Lake Mary, Florida, EE.UU.
doug.voda@us.abb.com



Detectado

Un voto de confianza para el sistema de detección de fallos de alta impedancia de ABB
Ratan Das, Deia Bayoumi, Mohamed Y. Haj-Maharsi

Son prácticamente invisibles por los métodos convencionales de detección de fallos, son peligrosos para la población confiada y han constituido retos muy difíciles para muchos ingenieros de protección. Sin embargo, gracias a un innovador sistema de detección de fallos de alta impedancia creado por ABB, los días en los que este tipo de fallos podían eludir una detección completa están contados, o ya son historia. Conocido como *HIF Detect™*, utiliza un enfoque basado en una pluralidad de algoritmos para identificar caídas en conductores en suelos, grava, hormigón, arena y otras superficies. No sólo aumenta la seguridad global del sistema eléctrico, sino también su fiabilidad mediante un mejor control de gestión de los cortes en el servicio.



La mayoría de los fallos en los sistemas energéticos producen un aumento sustancial de la intensidad hacia el punto en el que se ha producido el fallo, y se utilizan esquemas convencionales de protección contra la sobreintensidad para detectar y proteger contra fallos de “baja impedancia”. Por otra parte, los fallos de alta impedancia (HIF) no producen una corriente de fallo detectable que pueda disparar los relés o fusibles convencionales de sobreintensidad [1]. Hay un fallo de tierra de alta impedancia cuando un conductor primario hace contacto eléctrico no deseado con un objeto extraño no conductor, tal como una vegetación demasiado crecida, una calzada o una acera, por mencionar sólo unos pocos. En general, los HIF no ponen en peligro los equipos del sistema energético, pero un conductor con corriente en el suelo es un serio peligro para la seguridad pública. Los objetos no conductores presentan altas impedancias, por lo que sólo permiten el paso de pequeñas intensidades. Así pues, no suponen un problema desde el punto de vista de los sistemas convencionales de protección.

Dos características de los HIF son la pequeña magnitud de las corrientes y arcos en el fallo. Las intensidades típicas de HIF en un sistema de distribución pueden variar desde 0 A en caso de contacto con asfalto o arena seca hasta 50 A en caso de contacto con hierba húmeda o 75 A cuando el contacto es con hormigón armado [1].



Los arcos pueden provocar incendios y son el resultado de espacios de aire debidos a un contacto defectuoso con el suelo o con un objeto en contacto con tierra. Puede haber también espacios de aire en el suelo o en un objeto en contacto con tierra (hormigón, árbol, etc.). Estos espacios de aire crean un alto potencial en una distancia corta, y se produce el arco cuando se rompe el aislamiento del aire. El nivel sostenible de intensidad en el arco no es suficiente para ser detectado de forma fiable por unos medios convencionales [2].

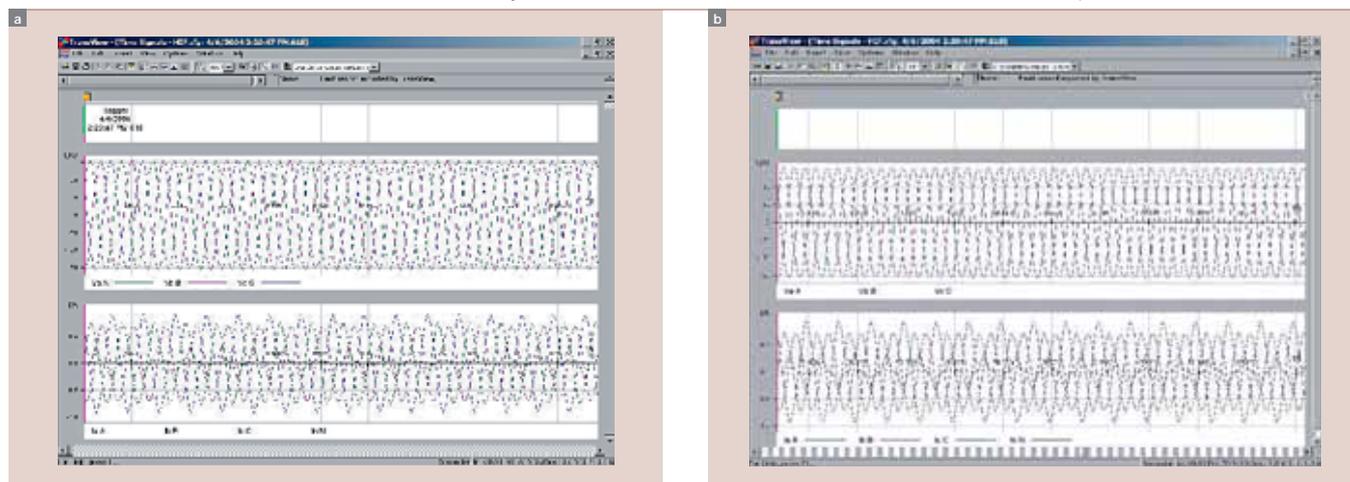
En el marco del programa *Engineered for Safety™* (Diseñado para la seguridad), ABB ha descubierto una solución para detectar los HIF, que es ahora parte integral de sus dispositivos de protección energética, un ejemplo de lo cual se muestra en [2].

Esta económica y fiable innovación, conocida como *HIF Detect™*, es el resultado de años de investigación y desarrollo. Empresas eléctricas de todo el mundo están muy interesadas en esta solución, y algunas ya se han asociado con ABB para probarla en una red del sistema eléctrico.

Sistema *HIF Detect™*: visión general
En [3] se muestra un diagrama esquemático de un sistema de energía eléctrica equipado con el sistema *HIF Detect™* de ABB.

HIF Detect™ está basado en técnicas patentadas avanzadas de procesamiento de señal y adopta un enfoque fundado en una pluralidad de algoritmos. Cada algoritmo utiliza diversas características de corrientes de tierra para detectar un fallo de alta impedancia. En otras palabras, el tipo de la co-

1 a Formas de onda de tensión e intensidad sin fallos y b formas de onda de tensión e intensidad con fallo de alta impedancia (HIF)



Colaboración en productos eléctricos

riente de tierra puede ser no estacionaria, volátil temporalmente y de distintas duraciones de pulsación.

Las señales del sistema eléctrico se captan, filtran y procesan por distintos algoritmos independientes de detección de fallos de alta impedancia ⁴. Los resultados de cada algoritmo se procesan

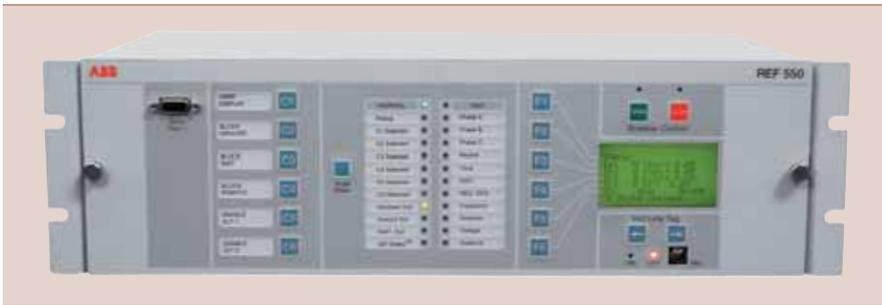
a continuación mediante una lógica de decisión¹⁾ para elaborar una decisión de detección, es decir, para determinar si se ha producido o no un HIF.

Todos los componentes armónicos y no armónicos de la ventana disponible de datos de filtro pueden desempeñar un papel esencial en la detec-

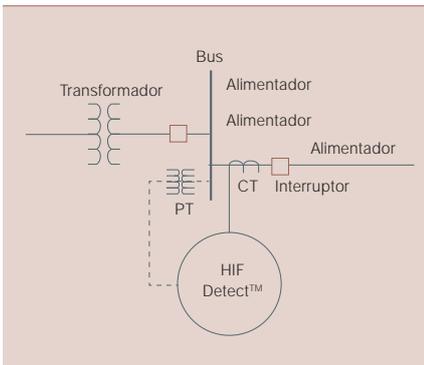
ción de HIF. Un reto importante es el desarrollo de un modelo de datos que reconozca que se puede producir un HIF en cualquier momento dentro de la ventana de observación de la señal, y que se puede retrasar aleatoriamente y atenuar de forma sustancial. Un modelo de este tipo es fruto de una investigación intensa, de observaciones experimentales reales en laboratorio, de pruebas de campo y de lo que tradicionalmente describe una representación exacta de una señal no estacionaria con un espectro dependiente del tiempo.

Los HIF, además de ser peligrosos para el público, provocan interrupciones del servicio que reducen su fiabilidad, seguridad y continuidad.

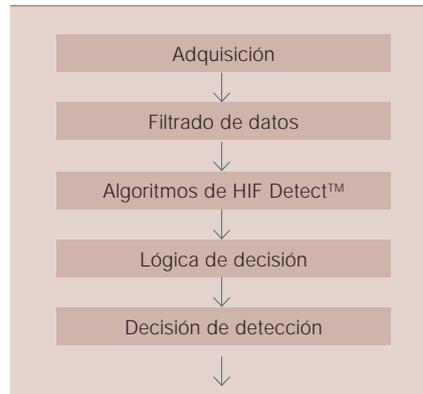
2 Dispositivo de protección de alimentador REF550 de ABB.



3 Sistema de energía eléctrica equipado con el sistema *HIF Detect™* de ABB.



4 Procesado de señal en *HIF Detect™*



5 IED equipados con *HIF Detect™* y sistema de recopilación de datos.



La prueba está en la práctica

El sistema *HIF Detect™* de ABB fue sometido con éxito a intensas pruebas de laboratorio (entre 1998 y 2000), obteniéndose tasas de detecciones correctas de aproximadamente el 80 %, con tasas de falsas detecciones cercanas al 0%. Una vez realizados estos ensayos, la tecnología se implantó en una plataforma integrada, de forma que la detección de HIF se pudiera integrar dentro de los dispositivos electrónicos inteligentes (IED) utilizados para la protección y control de los alimentadores. En 2002 se obtuvieron datos de campo adicionales de HIF procedentes de un laboratorio independiente de investigación, después de que éste llevara a cabo su propio conjunto de pruebas en un sistema de distribución. Para trabajar de forma satisfactoria con el laboratorio y los datos de campo adquiridos, el sistema *HIF Detect™* implantado se adaptó y se modificó con éxito.

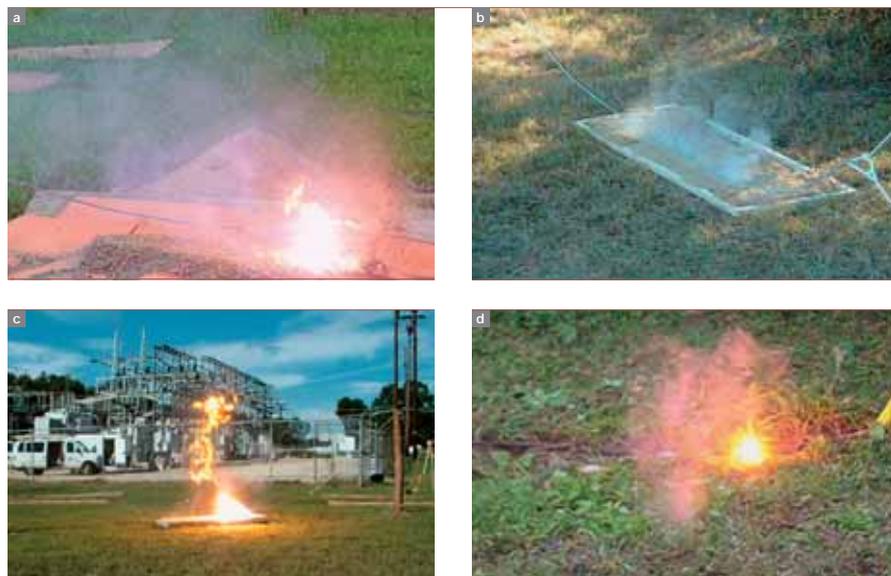
Además de los IED equipados con el *HIF Detect™* de ABB, se desarrolló

Notas de pie

¹⁾ La lógica de decisión se puede modificar dependiendo de los requisitos de la aplicación.

²⁾ Las unidades de detección de HIF están sometidas a desarrollo continuo y a mejoras posteriores.

6 Validación de *HIF Detect*TM en grava a, en arena b, y en hormigón c y en hierba d



un sistema de obtención de datos (DAS) para las pruebas de campo de HIF 5. Este DAS es independiente de las unidades de detección de HIF²⁾ y está basado en el software LabVIEW de National Instruments. ABB llevó a cabo la instalación y el desarrollo del software del sistema DAS.

Las pruebas de campo de los IED se llevaron a cabo mientras se recopilaban datos de las pruebas HIF in situ, y se realizaron conjuntamente con centrales eléctricas de Norteamérica, América Latina y Oriente Medio. Se llevaron a cabo utilizando alimentadores activos sin interrupción alguna de servicio para la compañía eléctrica ni para sus clientes. En 6 se muestran las pruebas en distintas superficies. *HIF Detect*TM detectó con éxito HIF en grava, arena, hormigón, tierra y hierba, y ha demostrado ser muy seguro en distintas condiciones de carga similares a las situaciones de HIF. Desde el punto de vista de la compañía eléctrica, estas pruebas de campo suponen una excelente oportunidad de participar en la comprobación de una tecnología nueva e innovadora destinada a convertirse en el método de detección de HIF disponible de mayor fiabilidad.

ABB ha puesto en marcha *HIF Detect*TM de serie en uno de sus dispositivos de protección de alimentadores, el REF550³⁾. Una de las características

distintivas de la solución de ABB es su cómodo diseño para el usuario. Sólo hay dos configuraciones. La primera de ellas es la relativa al nivel de seguridad del sistema de detección de HIF. Este nivel, que es muy intuitivo, se puede configurar en cualquier punto comprendido entre 1 (el menos seguro) y 10 (el más seguro), con una configuración por defecto de 5. La segunda configuración está relacionada con el sistema de tierra. El usuario puede elegir entre un sistema con tierra y sin tierra, con la posibilidad de desactivar esta función.

Actualmente prosiguen las pruebas de campo de la unidad que se comercializa.

La razón es la seguridad

Para las compañías eléctricas, la primera prioridad debe ser siempre la seguridad pública. No obstante, los HIF, además de ser peligrosos para el público, provocan interrupciones del

servicio que reducen su fiabilidad, seguridad y continuidad. Los fallos de arco provocan pérdidas de energía y pueden producir daños materiales. Al haberse mostrado difíciles de detectar esos fallos en el pasado, las compañías necesitan una solución económica que no sólo los detecte, sino que garantice que no se producen falsas detecciones. Una detección fiable puede además evitar incendios y reducir al mínimo los daños materiales.

ABB ha desarrollado y probado una tecnología innovadora para detección de HIF con su sistema *HIF Detect*TM, avalado por resultados espectaculares en muchas pruebas de campo.

La detección de HIF requiere un enfoque distinto que el utilizado para los fallos convencionales de baja impedancia. ABB ha desarrollado y probado una tecnología innovadora para detección de HIF con su sistema *HIF Detect*TM, avalado por resultados espectaculares en muchas pruebas de campo.

Ratan Das

Deia Bayoumi

ABB Inc. EE.UU.

Allentown, PA, EE.UU.

ratan.das@us.abb.com

deia.bayoumi@us.abb.com

Mohamed Y. Haj-Maharsi

ABB Inc. Investigación Corporativa, EE.UU.

Raleigh, Carolina del Norte, EE.UU.

mohamed.maharsi@us.abb.com

Nota de pie

³⁾ REF550 se lanzó al mercado en enero de 2005. En www.abb.com se puede encontrar más información sobre este dispositivo (mayo de 2007).

Referencias

- [1] Stoupis, James; Maharsi, Mohamed; Nuqui, Reynaldo; Kunsman, Steven A.; Das, Ratan, "Ground Alert – reliable detection of high-impedance faults caused by downed conductors", Revista de ABB, número 1/2004, páginas 28–31.
- [2] Russell, B.D.; Benner, C.L., "Arcing Fault Detection for Distribution Feeders: Security Assessment in Long Term Field Trials", IEEE Transactions on Power Delivery Abril de 1995, volumen 10, número 2, páginas 676–683.



Seguridad en la velocidad

El esquema de dispositivo de protección rápida para condensadores en serie juega su propio campeonato

Rolf Grünbaum, Joacim Redlund, Louis P. Rollin

Muchos esquemas de protección contra sobretensiones para los condensadores en serie son limitados en términos de tamaño y prestaciones, y se ven fácilmente afectados por las condiciones ambientales. Aunque se reconoce la necesidad de equipos más compactos y resistentes a la climatología, también se detecta la necesidad de un nuevo tipo de esquema de protección de condensadores generales en serie que mejore el rendimiento, reduzca los costes totales, aumente la flexibilidad y mejore el concepto de condensador de serie.

Gracias a la moderna tecnología y a los últimos avances, ABB ha desarrollado un esquema de este tipo y lo ha denominado Dispositivo de Protección Rápida. Está diseñado para funcionar en combinación con un varistor primario de óxido de metal en aplicaciones de condensadores en serie a alta y muy alta tensión. El esquema ya ha sido probado en laboratorios de alta y muy alta tensión y en una instalación piloto de la red de 315 kV de Hydro-Québec en Canadá.

La compensación de energía reactiva por medio de condensadores en serie es una forma eficiente de mejorar el transporte de energía en sistemas a alta tensión con líneas de transmisión largas [1]. Los condensadores en serie consisten básicamente en baterías de condensadores conectados en serie con las líneas de transmisión, reduciendo así de forma eficaz la impedancia inductiva de las líneas. También aumentan la estabilidad del transporte de energía y del sistema dinámico. Debido a la naturaleza de esta conexión, una instalación de condensadores en serie debe poder proporcionar un aislamiento a tierra de todo el sistema. Esto se consigue situando los dispositivos del circuito principal en plataformas monofásicas que se aíslan al nivel de la tensión de la línea. Pero los equipos así situados están expuestos a diversas condiciones ambientales como nieve, hielo y contaminación. Además del aislamiento a tierra de todo el sistema, la batería de condensadores también tiene que soportar todas las intensidades de la línea. Sin embargo, por razones prácticas y económicas, esto no siempre es posible. La solución consiste en desviar las intensidades peligrosas (limitando así la tensión a través de la batería de condensadores). Para ello, el equipo tiene que soportar potencias muy altas y debe ser estable respecto a las funciones de protección en lo que respecta a la velocidad de control y el nivel de protección del condensador. También tiene que proporcionar unas excelentes prestaciones dinámicas para un restablecimiento rápido

del condensador después de solucionar un fallo de la línea. Los equipos de control y protección están normalmente situados al potencial de tierra y se necesita comunicación de señal desde el nivel de tierra al de tensión de la línea. Con tantas condiciones, no sorprende que el sector piense desde hace tiempo en la necesidad de un nuevo tipo de esquema de protección general con condensadores de serie. Y ABB ha satisfecho esta necesidad con su *Dispositivo de protección rápida (FPD)*.

Esquema del dispositivo de protección rápida

Muchas compañías eléctricas utilizan el esquema de *varistor de óxido de metal (MOV)*, que se presentó hacia 1980. Aunque su rendimiento básico es excelente, el número de elementos MOV que se necesitan en muchas aplicaciones prácticas hacen que el coste sea alto. Cuando se producen importantes fallos de intensidad, el MOV tiene que absorber grandes cantidades de energía durante el ciclo de fallo. Para reducir la cantidad de elementos MOV necesarios, el esquema se puede combinar con un *descargador de chispa de disparo forzado*. Desgraciadamente, las condiciones ambientales limitan las prestaciones y la fiabilidad de este dispositivo y, por consiguiente, la de todo el esquema. Además, un esquema de protección que combine el MOV y el dispositivo mencionado requiere mucho espacio de plataforma.

El esquema FPD es una nueva solución para la protección de los equipos de alta tensión. Ha sido especialmente

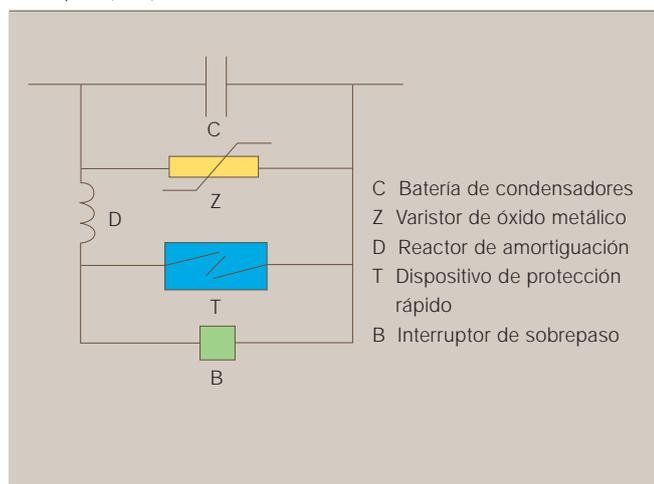
adaptado a las aplicaciones de condensadores en serie, aunque también puede utilizarse para la protección de otros tipos de equipos de alta tensión. Su diseño le permite mejorar el concepto de condensador en serie añadiendo nuevas prestaciones. En 1 se muestra un diagrama unifilar de un esquema FPD, y en 2 puede verse una visión general esquemática. En el esquema se incluyen dos componentes clave recientemente desarrollados: el conmutador de alta potencia herméticamente sellado y muy rápido que sustituye a los electrodos de vacío convencionales, *CapThor*, y la *Unidad de operación y supervisión (OSU)* para el control, supervisión y suministro de energía desde tierra a una línea de cualquier tensión. Ambos se describen detalladamente en este artículo.

El esquema FPD funciona en combinación con un MOV, y permite el desvío de forma muy controlada con objeto de reducir la disipación de energía en el MOV. CapThor puede funcionar varias veces durante un ciclo de fallo de forma que el condensador en serie puede ser puenteado sin problemas.

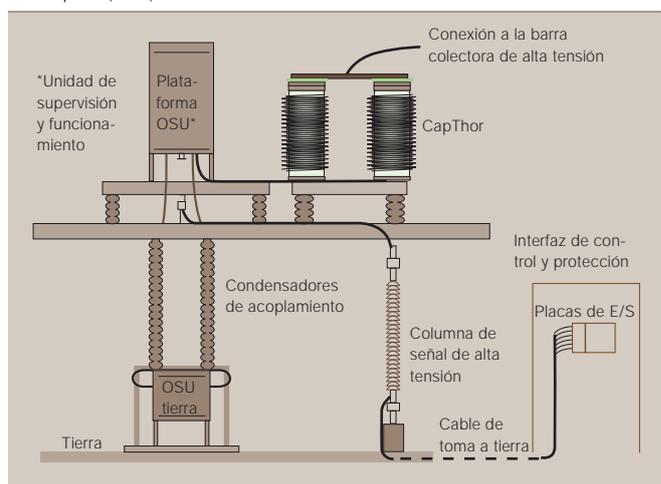
La OSU consiste en una unidad de suministro de energía a potencial de tierra; un enlace de transmisión de suministro de energía al potencial de la plataforma, un armario en la plataforma con condensadores de almacenamiento de energía, y control para activar y supervisar el interruptor.

El FPD trabaja en combinación con un reactor amortiguador que limita la intensidad de descarga del condensador y un interruptor rápido de desvío que se utiliza como interruptor general y como

1 Diagrama unifilar del esquema de Dispositivo de Protección Rápida (FPD)



2 Visión general esquemática de una fase del Dispositivo de Protección Rápida (FPD)



derivación del interruptor de serie. Según la práctica habitual, las señales de control del FPD se transmiten por medio de un enlace óptico de alta tensión. Es posible remodelar la mayoría de las instalaciones de condensadores en serie existentes (utilizando componentes normales), ya que los equipos suelen ser independientes de la intensidad de la línea y de las características concretas de la batería de condensadores. Además, el equipo es compacto, lo que simplifica su transporte e instalación. Se somete a pruebas previas antes de la entrega y no es necesario efectuar ajustes ni mantenimiento *in situ*, salvo presurización durante la instalación. Otras ventajas del esquema FPD de ABB sobre los que utilizan electrodos de vacío son, entre otras, que:

- es posible desviar el condensador a baja tensión
- no le afectan las condiciones ambientales
- el FPD es flexible para futuras actualizaciones de los condensadores en serie
- se autosupervisa

CapThor

En 3 se muestra una vista externa e interna de CapThor. Consiste en un interruptor de plasma de alta potencia y de acción muy rápida conectado en paralelo con un interruptor mecánico rápido 3b. Los dos interruptores están alojados en dos cámaras de aislamiento de alta presión construidas de materiales compuestos y llenas de gas a elevada presión, situadas una al lado de la otra en la plataforma. Estas cámaras o tubos son similares a las que se utilizan

para el alojamiento de la cabeza de disyuntores de los modernos interruptores automáticos de tanque vivo.

Interruptor de plasma

El interruptor de plasma consiste en una disposición de electrodos de alta potencia en la cual se puede inyectar un arco conductor de electricidad o plasma, salvando la distancia de aislamiento entre los electrodos principales. A diferencia de los electrodos disparados de vacío, la función del interruptor de plasma es esencialmente independiente de la tensión entre electrodos. El tiempo necesario antes de que el interruptor de plasma sea plenamente conductor después de la recepción de una señal externa "cerrada" está entre 0,3 y 1 milisegundo. El arco eléctrico inyectado es alimentado por una fuente externa de energía, es decir, un condensador de 820 µF y cargado a 2,4 kV. Una unidad de disparo a una tensión de cebado muy baja inicia el arco.

La intensidad del arco eléctrico inyectado tiene un ritmo de aumento de 100 A/µs, una amplitud de 10 kA y una duración de un milisegundo. Está dirigido hacia el vacío de electrodos por fuerzas magnéticas creadas por el bucle de intensidad en la unidad de disparo. El método de disparo de la inyección del arco de alta potencia se ha utilizado desde hace 10 años en aplicaciones de condensadores en serie de media tensión. El interruptor de plasma tiene una capacidad muy alta de producir intensidad y es estático, sin partes móviles.

Interruptor mecánico rápido

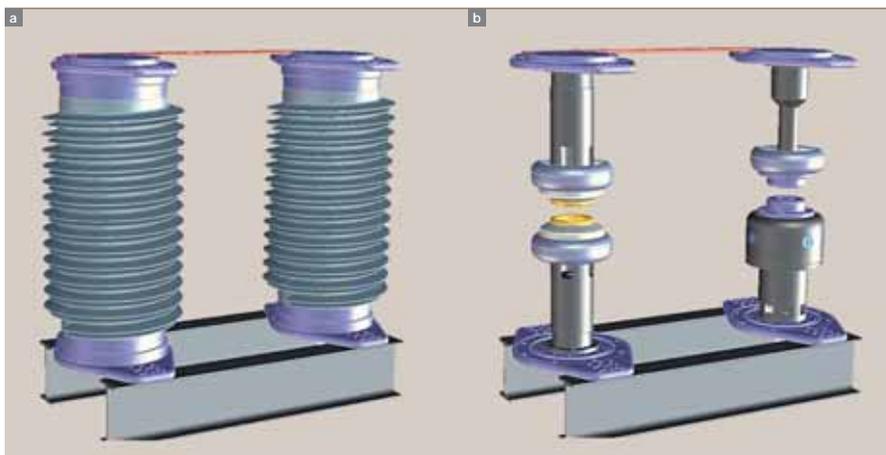
El interruptor mecánico consiste en un

contacto que puede moverse muy rápidamente entre las posiciones de abierto y cerrado, y se activa por medio del efecto Thompson de espejo de fuerzas que se repelen. Como la inyección de arco del interruptor de plasma, es alimentado por una fuente similar externa de energía, pero en este caso los condensadores son de 4.785 µF y cargados a 1,2 kV. El principio básico del interruptor es el mismo que el que se aplica a los interruptores de cierre utilizados en la apartada interior de media tensión para intensidades de fallo de tierra en paralelo para evitar daños personales y materiales serios. El interruptor mecánico rápido tiene una elevada capacidad para generar intensidad a baja tensión, correspondiendo a la caída de tensión en las impedancias del arco del interruptor de plasma y en el circuito local. Los tiempos de cierre y apertura son menores de cinco milisegundos. El interruptor tiene sólo una pequeña capacidad de interrupción, y en las aplicaciones de condensadores en serie FPD sólo se puede abrir cuando el interruptor de desviación de alta tensión está cerrado.

Unidad de operación y supervisión

La OSU consta de un módulo de control situado a potencial de tierra, un enlace de transporte de alta tensión y un módulo de control situado en la plataforma a la tensión de línea. En el modulo a tierra, una tensión en corriente continua, procedente de una fuente de corriente continua ininterrumpible, se convierte a una tensión de corriente alterna de alta frecuencia por medio de un oscilador. El oscilador está conectado a dos condensadores

3 Vista exterior a e interior b del CapThor. Interruptor de plasma a la izquierda en b e interruptor mecánico a la derecha



Cuadro La instalación Kamouraska

La instalación Kamouraska consiste en cuatro condensadores en serie, cada uno de 192 Mvar, y soporta el transporte de energía en cuatro líneas en paralelo de 315 kV. Los condensadores en serie, que compensan las reactividades de la línea en un 60 %, aumentan también la estabilidad transitoria del sistema. El corredor de transporte es un enlace importante para la exportación de energía a New Brunswick, Canadá. Los condensadores se instalaron en 1987 y están equipados con esquemas de protección que consisten en MOV en combinación con electrodos de vacío disparados.

de acoplamiento de alta tensión que salvan la diferencia de potencial entre tierra y la línea. Los condensadores son del mismo tipo que los que se utilizan para transformadores de tensión capacitivos y portadoras sobre líneas de energía. La capacitancia de los enlaces de transporte se compensa con dos inductores compensadores conectados para dar una impedancia de circuito igual a cero para la frecuencia real. En el módulo de control de la plataforma, la tensión de corriente alterna se convierte a tensiones locales de suministro en corriente continua de 1,2 y 2,4 kV que se utilizan para cargar continuamente las baterías de condensadores de energía que necesitan el interruptor CapThor de plasma y el interruptor mecánico. El número necesario de operaciones CapThor consecutivas determina el número de unidades de condensadores de energía.

Colaboración con el cliente

En octubre de 2003, como parte del proceso de verificación, se añadió un demostrador de campo de FPD al condensador en serie existente Kamouraska situado en la red de 315 kV de Hydro-Québec en Canadá [4]. Durante los primeros ocho meses en servicio el FPD no tuvo funciones de protección. En cambio fue activado y expuesto a condiciones ambientales reales mientras

4 Primer plano de la instalación piloto del FPD: enlace de transporte de suministro eléctrico en primer plano, enlace óptico de transporte a la derecha y armario OSU en la plataforma



ABB e Hydro-Québec conjuntamente probaban y controlaban repetidamente varias funciones FPD. En una fase posterior, el FPD sustituyó eléctricamente al esquema original de dispositivo de vacío, y desde entonces ha funcionado como protección de la batería una combinación de FPD y el MOV original. Para comunicar con el módulo de la plataforma OSU, se instaló un sistema de comunicación por fibra entre la plataforma y la sala de control²⁾. En la sala de control se instaló una interfaz de control y protección (CPI) acoplada con el sistema de protección existente y a la secuencia existente de registros de eventos con el módulo de la plataforma OSU. Durante una acción de protección, el sistema de protección emite una orden de "cierre" a la CPI, que se transmite a la plataforma OSU en la que, cuando se recibe dicha orden, entra en acción CapThor. Se espera que las pruebas de FPD terminen durante 2007.

Potencial del esquema FPD

El desarrollo de un nuevo esquema de protección, caracterizado por sus funciones rápidas y controlables, ha abierto a los ingenieros el camino para centrarse en nuevas estrategias de protección. Por ejemplo, el FPD tiene la posibilidad de derivar un condensador en serie en cuanto se detecta un fallo interno de la línea y antes de que se alcance el nivel de protección del condensador. Esto a su vez reducirá la amplitud de la intensidad de descarga, la disipación de la energía del MOV y las tensiones generales sobre los condensadores y otros equipos. Dada esta importante innovación, ahora es posible suavizar los criterios generales de diseño de los condensadores en serie, lo que a su vez reduce los costes. Otra estrategia se deriva de la función de cierre y apertura rápidos del FPD. Como consecuencia de esta función, puede desviar y reinsertar el condensador de serie para todo tipo de fallo de línea sin afectar a las condiciones del sistema. En otros términos, el FPD se convierte en la protección primaria y el MOV actúa como reserva. En este contexto se pueden relajar los requisitos de diseño del MOV.

Los fundamentos de la tercera estrategia provienen de la alta velocidad de cierre del FPD y de la posibilidad de dispararlo a bajas tensiones del condensador en

serie. Un condensador en serie en una línea de transmisión puede tener un efecto creciente en la amplitud de la tensión transitoria, que aparece cuando un disyuntor de un circuito de línea se abre para reparar un fallo. La tensión, que afecta a las prestaciones del disyuntor del circuito de línea, se conoce como Tensión de recuperación transitoria (TRV). Con la alta velocidad de cierre del FPD y su posibilidad de ser disparado a bajas tensiones del condensador en serie, es posible puentear el condensador en serie antes de la apertura del disyuntor del circuito de línea. Dada la velocidad del funcionamiento del FPD, las condiciones de la línea y la tensión de TRV a través del disyuntor serán similares si se conmuta la línea sin ningún condensador en serie.

Todo el mundo gana

Para Hydro-Québec, la oportunidad de trabajar con ABB en un proyecto de un nuevo producto le permite evaluar equipos innovadores al margen de las relaciones normales entre proveedor y comprador. Ambas partes se benefician del intercambio de conocimientos durante el proyecto al hacer partícipe al diseñador de las necesidades del cliente, mientras que el usuario de familiariza con el nuevo equipo.

En un mundo de demanda creciente de energía eléctrica, el esquema FPD de ABB permite a las redes aumentar el transporte de energía de forma eficaz en tiempo y costes. Es de esperar que este esquema se utilice cada vez más en condensadores en serie en todo el mundo.

Rolf Grünbaum

Joacim Redlund

ABB AB, FACTS

Västerås, Sweden

rolf.grunbaum@se.abb.com

joacim.redlund@se.abb.com

Louis P. Rollin

Hydro-Québec

Referencias

- [1] Grünbaum, R, Pinero, J L, "Series compensation goes the distance", Modern Power Systems, junio de 2001.

Notas a pie de página

¹⁾ Estos interruptores sólo pueden cerrarse, y deben ser abiertos manualmente.

²⁾ La sala de control está situada a unos 240 metros de la plataforma



Socios tecnológicos

Una compañía eléctrica gigante francesa y ABB trabajan conjuntamente para “transformar” la red de distribución

Pawel Klys, Marcin Blaszczyk, Alain Zagouri,
Peter Rehnstrom, Egil Stryken

Detrás de cada producto de éxito hay conocimiento, innovación y trabajo en equipo. Un ejemplo es el transformador de potencial capacitivo (TPC) de ABB, un transformador trifásico de distribución con protección incorporada. Fue diseñado en respuesta a las demandas de EDF (Electricité De France) de funcionalidades y seguridad adicionales, así como de una mayor fiabilidad de la red de distribución. El transformador cumple la estricta normativa medioambiental, en cuando que está sellado herméticamente. Constituye también un ejemplo de cómo una colaboración eficaz puede producir beneficios inesperados para ambas partes.

EDF (Electricité De France) Cuadro es propietaria y explotadora de una de las mayores redes de distribución de Europa. Sólo en Francia tiene instalados 700.000 transformadores de distribución rellenos de aceite, de potencias entre 50 y 1.000 kVA. Aunque el transformador está considerado uno de los componentes más fiables de una red, esta fiabilidad se ve amenazada si carece de la protección adecuada. En concreto, los transformadores relativamente pequeños (normalmente de 50 a 160 kVA) montados sobre poste, no suelen estar protegidos por fusibles y disyuntor de carga, lo que puede tener consecuencias significativas para el resto de la red local, especialmente durante fuertes tormentas, y la que tuvo lugar en Francia en diciembre de 1999¹⁾ sirve como excelente ejemplo de ello. Esta tormenta puso de manifiesto la vulnerabilidad de algunas partes de la red, por lo que EDF decidió enterrar parte de la red de distribución de media tensión. Algunas de las líneas ahora enterradas utilizan pequeñas subestaciones secundarias compactas no practicables (CSS) equipadas con pequeños transformadores (100 a 250 kVA). Estos transformadores se protegen con la aparatamenta adecua-

da. Esto influye de forma significativa en la inversión total necesaria. En cualquier caso, mucho antes de que se produjera la tormenta, EDF había percibido la necesidad de asegurar la red de distribución, y en los años 90 se inició un programa precisamente para eso. A partir de 1996, EDF presentó su propia especificación técnica para una gama de transformadores "autoprotegidos" desde 50 a 250 kVA. Conocido como transformador TPC, está relleno de aceite e incluye un disyuntor de carga, fusibles y protección térmica y del nivel de aceite en el depósito. Algunas de las primeras compañías que cumplieron con éxito estas especificaciones fueron Areva (antes Alstom), Schneider, Transfix y Pauwels. No obstante, ya en 1993, ABB fue una de las primeras compañías que participó en el desarrollo de la tecnología de transformadores autoprotegidos. EDF compra 17.000 transformadores al año, de los que el 75% son del tipo TPC. En efecto, el grupo cree que "en el futuro inmediato, todos los nuevos transformadores de distribución rellenos de aceite serán del tipo TPC para garantizar una mayor fiabilidad de la red de distribución". Desgraciadamente una parte significativa de estos transformadores rellenos de aceite están contaminados por PCB (policlorobifenilos) y, en cumplimiento de la normativa europea y francesa, el grupo ha lanzado una campaña de cambio para limpiar la red antes de 2010. Además, todas las subestaciones secundarias compactas (CSS) equipadas con transformadores de 400 y 630 kVA serán equipadas con un transformador del tipo TPC. Estas CSS, específicas del mercado de EDF, pasarán a ser conocidas como PUIE. Como proveedor establecido y reconocido de transformadores de categoría mundial, ABB quería tener su propio prototipo de TPC homologado por EDF. No sólo ha sido así, sino que la

compañía es ahora una parte concreta del contrato marco con EDF. Esto significa que los transformadores TPC de ABB tienen acceso a uno de los mayores mercados europeos de servicios y goza también de una fuerte posición comercial en los mercados de influencia de EDF. El concepto del transformador se trata con más detalle en los apartados siguientes.

Descripción del concepto de transformador TPC

El transformador TPC de ABB, **1** y **2**, se adapta a los principios y normas del transformador de intensidad (CT), pero amplía de forma importante la funcionalidad que proporcionan los transformadores de distribución. Este transformador trifásico está completamente relleno de aceite mineral y está herméticamente sellado²⁾. Con una protección adicional incorporada, el impacto medioambiental y sobre los clientes se reduce al mínimo en caso de desastres imprevistos. Este producto cumple los requisitos tecnológicos que se describen en la especificación de EDF³⁾. Además, el transformador TPC de ABB cumple también la nueva norma IEC 60076-13⁴⁾ sobre "transformadores autoprotegidos rellenos de líquido". La función de protección incorporada de los transformadores TPC se suele activar por fallos en los cables de alta tensión que provocan una "desconexión trifásica". Así pues, el objetivo general de la protección interna es:

- Eliminar todos los fallos internos sin que se manifiesten hacia el exterior
- Proteger la red existente hacia el origen
- Eliminar los fallos en sentido descendente (hacia el destino) sin que se manifiesten hacia el exterior
- Eliminar los fallos de aisladores y barra de baja tensión que a su vez causan disparos de fusibles de protección contra sobrepresiones

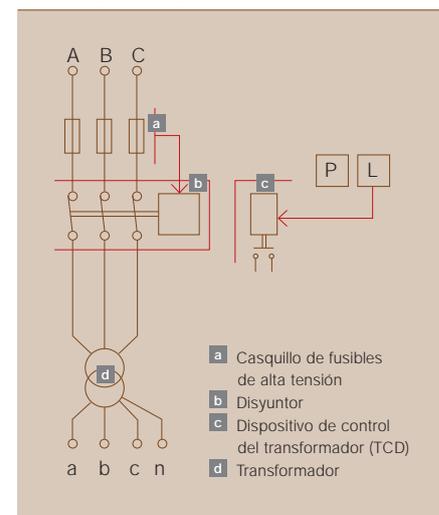
- Proteger al personal de mantenimiento contra posibles fallos de transformadores

Cuadro EDF (Electricité De France)

El grupo EDF es un operador integrado de energía presente en todos los sectores de la industria eléctrica y es un actor fundamental en el mercado francés de la electricidad. También está sólidamente asentado en el Reino Unido, Alemania e Italia. El grupo tiene la mayor capacidad de generación de Europa. Tiene aproximadamente 37 millones de clientes* en todo el mundo y cuenta con unos 156.000 empleados*. Para más información, véase www.edf.com

*(cifras de 2006)

1 Diagrama de conexiones eléctricas TPC (trifásicas)



2 Subestación TPC equipada con aisladores enchufables de resina



Notas a pie de página

¹⁾ El 26, 27 y 28 de diciembre de 1999, Francia y Alemania padecieron unas tormentas y lluvias de gran intensidad. Las tormentas provocaron grandes daños a propiedades y árboles, así como en las redes nacionales de distribución de energía de Francia y Alemania. Para más información, véase:

http://www.absconsulting.com/resources/Catastrophe_Reports/Lothar-Martin%20Report.pdf (abril de 2007)

²⁾ Las paredes corrugadas flexibles del depósito permiten la suficiente refrigeración del transformador y compensar los cambios de volumen del aceite durante el funcionamiento.

³⁾ El CDN (Centro de Normalización), que forma parte de I+D de EDF, publica un catálogo de especificaciones técnicas. Estas especificaciones relacionan una serie de requisitos técnicos que un producto, un proceso, o un servicio deben cumplir.

⁴⁾ IEC 60076-13 se aplica a transformadores de alta tensión/baja tensión autoprotegidos, rellenos de líquido y con refrigeración natural desde 50 a 1.000 kVA para uso interior y exterior. <http://www.iec.ch> (abril de 2007)

Colaboración en productos eléctricos

La protección del transformador TPC no funciona cuando el fallo está en la red de suministro y, cuando está en funcionamiento, no provoca cortes en la red de suministro.

Las ventajas de los transformadores TPC son numerosas, y la más evidente es su impacto medioambiental cuando se producen fallos. Además, la calidad del suministro de energía es mayor, ya que se reducen los tiempos de parada. El mantenimiento es más sencillo, porque las normas para el transformador TPC son equivalentes a las del transformador estándar herméticamente sellado. El uso de unidades montadas sobre poste ³ elimina la necesidad de fusibles/disyuntores. En las subestaciones, los transformadores TPC se consideran una solución compacta.

Aunque los transformadores fueron diseñados conforme a los requisitos de EDF, el concepto puede extenderse a los transformadores trifásicos en bañó de aceite desde 50 a 250 kVA, con la posibilidad de ampliarlos a 630 kVA en el futuro. Los equipos actuales limitan la tensión del transformador a 24 kV.

Fabricación

La tecnología de transformadores TPC de ABB se desarrolló inicialmente en Finlandia. Sin embargo, en 2004 el proyecto se trasladó a Lodz, Polonia, principalmente porque es la sede de una "fábrica específica" [1] que se concentra en la fabricación y prueba de transformadores SDT de aceite. El concepto inicial TPC se ha modificado desde entonces, lo que significa que se ha redi-

señado y simplificado el concepto del sistema de protección de corte para que la protección propuesta fuera más fiable y fácil de fabricar. La causa de estas modificaciones se basó principalmente en la información de retorno de EDF (especialmente de su departamento de I+D) y su profunda comprensión de las necesidades concretas de los usuarios. Los transformadores TPC han sido sometidos a numerosas pruebas en toda Europa, pero la funcionalidad de protección ha sido verificada en el laboratorio de EDF en Les Reanadiers, que tiene gran experiencia y está equipado al efecto.

Esta nueva solución está siendo patentada actualmente, algo que probablemente no habría podido llevarse a cabo sin la fructífera colaboración entre ABB y EDF.

El TPC como nueva herramienta de marketing

La relación entre ABB y EDF está lejos de haber terminado. Más bien parece que continuará hasta donde se puede prever en el futuro. EDF es un socio natural y el principal cliente de transformadores TPC, y la estrategia de ABB seguirá concentrándose en la mejora continua de sus relaciones empresariales con la mayor compañía de servicios públicos de Francia. Como proveedor de transformadores totalmente homologado, ABB no sólo está en situación de satisfacer las demandas normales de EDF, sino que también ayudará al grupo a cumplir los requisitos del programa de sustitución de los transformadores PCB de aceite.

Por otra parte, el disponer de un producto completamente aprobado supone que la búsqueda de nuevos clientes potenciales es indudable que se diversificará más. Y la solución TPC no se limita a EDF y a Francia. Por ejemplo, para cumplir la nueva normativa que se implantó como consecuencia del desastre provocado por el huracán Gudrun en 2005, Suecia está elaborando una especificación que sigue la norma IEC 60076-13. Previendo esta situación, ABB ha desarrollado unos transformadores de serie con prestaciones TPC específicamente para el mercado sueco⁵⁾. Una promoción comercial acertada ha provocado ya un pedido de Jämtkraft, una empresa eléctrica del norte de

Suecia. El pedido se consiguió en colaboración con el fabricante de CSS Norrmontage. En la primera mitad de 2007, ABB comenzó en Lodz la fabricación de transformadores TPC para el mercado internacional. Los equipos de ventas de ABB en todo el mundo están efectuando una intensa promoción de este sofisticado y avanzado concepto de transformador TPC, así como haciendo prospección del mercado para identificar clientes potenciales.

Los principios físicos básicos de la operación de transformación siempre serán los mismos. Sin embargo, lo que diferencia a un transformador de otro son las prestaciones de seguridad y/o la incorporación de funciones que satisfacen las distintas necesidades de los clientes e incorporan valor añadido. ABB demuestra que entiende estas necesidades al promover nuevas y más eficaces soluciones y liderar el proceso de cambio cuando sea necesario.

Pawel Klys

Marcin Blaszczyk

ABB Polonia (Apoyo a I+D)

Lodz

pawel.klys@pl.abb.com

marcin.blaszczyk@pl.abb.com

Alain Zagouri

ABB Francia, División de Energía

Les Ulis, Francia

alain.zagouri@fr.abb.com

Peter Rehnstrom

ABB, Productos Eléctricos

Linköping, Suecia

peter.rehnstrom@se.abb.com

Egil Stryken

ABB AS

Drammen, Noruega

egil.stryken@no.abb.com

Notas a pie de página

⁵⁾ Estas soluciones han sido desarrolladas y presentadas por ABB Suecia bajo el concepto SafeGrid (Red segura).

Referencias

[1] Hegyi, S., The manufacturing beat, ABB Review 1/2006, páginas 12-15 (apartado titulado "Batch flow factories", página 14).

³ Transformador TPC montado sobre poste equipado con aisladores exteriores de resina





Engrasado y listo

Aplicación avanzada del aceite vegetal ABB BIOTEMP®
en un transformador de potencia de alta tensión

J. C. Mendes, A. S. G. Reis, E. C. Nogawa, C. Ferra, A. J. A. L. Martins, A. C. Passos

Desde su invención, el transformador ha evolucionado en términos de mayores funcionalidades y tamaño para seguir el ritmo de los sistemas de energía eléctrica, complejos y en continua evolución. Algo que ha permanecido prácticamente sin cambios desde que se aplicó por primera vez en Alemania en 1890 es el uso de aceite mineral como medio aislante y refrigerante. Sin embargo, la crisis mundial del petróleo de principios de los años 70 y la creciente demanda de combustibles respetuosos con el medio ambiente han contemplado el nacimiento de distintas iniciativas y de grandes desarrollos tecnológicos encaminados a descubrir combustibles alternativos, especialmente para el sector del automóvil.

Por su parte, las compañías eléctricas brasileñas han trabajado intensamente para desarrollar aceite vegetal aislante basado en el aceite de ricino. Sin embargo, un aceite vegetal aislante avanzado de altas prestaciones para aparellaje y transformadores de potencia de alta tensión, desarrollado por ABB y conocido como BIOTEMP®, parecía exactamente la solución que dichas compañías estaban buscando. La primera aplicación en el mundo del aceite vegetal BIOTEMP® como líquido aislante y refrigerante de un transformador de potencia de alta tensión fue llevada a cabo por CEMIG, una compañía eléctrica con sede en el sureste de Brasil y un importante cliente de ABB.

Colaboración en productos eléctricos

La explotación rentable de la generación de energía eléctrica y de los sistemas de transmisión y generación está relacionada con la fiabilidad, disponibilidad, capacidad de carga, larga vida útil y bajo mantenimiento del transformador de potencia en relación con las necesidades de protección del medio ambiente. Estos factores han impulsado a muchas compañías eléctricas a investigar tecnologías avanzadas tanto para transformadores nuevos como para los remodelados.

En Brasil, por ejemplo, las compañías eléctricas e industriales están cada vez más interesadas en equipos con aceite vegetal no sólo por razones medioambientales, sino también por el esfuerzo de la administración fomentando el uso de combustibles vegetales¹⁾. Además, se tiende a sustituir todo el aceite mineral aislante importado que sea posible debido a (a) el problema de la corrosión por azufre de las importaciones de crudo y (b) motivos económicos. Y finalmente el Comité Brasileño de Normalización ha publicado una especificación del aceite aislante vegetal similar a la ASTM homóloga²⁾.

Una empresa eléctrica en particular no ha tenido nunca miedo a las nuevas tecnologías. Todo lo contrario: CEMIG **Cuadro 1** tiene una larga tradición de apoyo al desarrollo y aplicación de las tecnologías avanzadas de ABB. Por ejem-

plo, en los años 70 fue la primera compañía eléctrica de Brasil en introducir el sistema de transmisión a larga distancia a 525 kV de ABB³⁾, y en 1992 fue también la primera que apoyó a ABB en el desarrollo y aplicación de un proyecto centrado en las reparaciones *in situ* de grandes transformadores de potencia [1]. Más recientemente, CEMIG ha descubierto una solución completa para el diagnóstico y remodelación completa de un reactor shunt a 525 kV [2]. Por lo tanto, no debería sorprender que CEMIG fuera la primera compañía eléctrica del mundo en utilizar el BIOTEMP® [3] como líquido aislante y refrigerante en sus transformadores de 145 kV.

Trabajemos juntos

Además de su continuo apoyo al desarrollo y a la aplicación de nuevas tecnologías, otros factores contribuyeron a su inclusión en el proyecto. Por ejemplo, como compañía eléctrica, está esforzándose continuamente por aumentar la fiabilidad del suministro a sus clientes, lo que significa tener en cuenta una capacidad de sobrecarga de transformación extrema y segura. Además tiene a gala ser un proveedor importante de energía fiable y limpia desde el punto de vista medioambiental, y la utilización de un aceite aislante totalmente reprocesado, renovable y fácil-

mente disponible es, ciertamente, un paso en la buena dirección. Este proyecto conjunto de ABB y CEMIG se centró en concreto en un tipo de transformador entregado a CEMIG en 1974. Originalmente homologado a 138/13,8kV, 10/15MVA, ONAN/ONAF, la aplicación de tecnologías avanzadas que incluían aislamiento híbrido sólido (celulosa DuPont Nomex® plus), combinado con el aceite vegetal BIOTEMP® de ABB como líquido aislante y refrigerante para transformadores, ha aumentado la potencia nominal hasta 25MVA (ONAF). El transformador remodelado incluye:

- tecnología actualizada TrafoStar™ de ABB
 - una capacidad de sobrecarga extremadamente elevada, hasta del 70% por encima de la potencia nominal, sin pérdida de vida útil
 - sistema avanzado TEC de control electrónico del transformador y de vigilancia en línea de ABB
 - regulación de carga en baja tensión utilizando el conmutador de tomas en carga de ABB tipo UZ con aceite vegetal BIOTEMP®
 - aisladores de alta tensión de tipo GOB de ABB también con aceite vegetal BIOTEMP®
- Las ventajas que proporciona un transformador así, en opinión de CEMIG, incluyen:

Cuadro 1 CEMIG

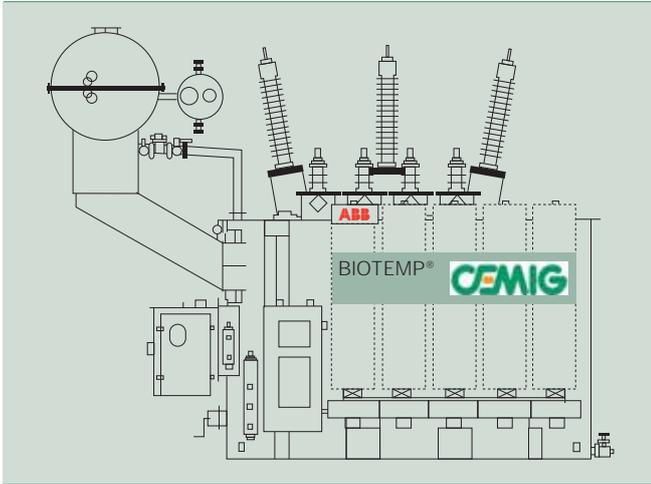
CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais) es la compañía eléctrica del Estado de Minas Gerais en el sureste de Brasil. CEMIG tienen una potencia instalada de 6.113 MW, un sistema de transmisión que consta de más de 21.000 km de líneas (4.912 km de líneas están reservados para tensión extra alta, desde 230 a 500 kV) y un sistema de distribución de más de 379.400 km. Proporciona electricidad a una región del tamaño de Francia (aproximadamente 568.000 km²). Esta área comprende 774 ciudades y una población de unos 17 millones de habitantes.

Cuadro 2 Propiedades típicas de los líquidos aislantes de transformadores

Nota: H.T.H = Hidrocarburo líquido a alta temperatura (ASTM D5222)

PROPIEDADES TÍPICAS DE LOS LÍQUIDOS AISLANTES DE TRANSFORMADORES:				
	BIOTEMP	Aceite mineral	HAT	Silicona
Eléctricas				
Resistencia dieléctrica, kV (ASTM D877)	45	30	40	43
Físicas				
Viscosidad, cSt. 100 °C (ASTM D445)	10	3	11.5	16
	45	12	110	38
	300	76	2200	90
Punto de inflamación °C (ASTM D92)	330	145	285	300
Punto de incendio °C (ASTM D92)	360	160	308	330
Calor específico (cal/g/°C) (ASTM D2766)	0.47	0.43	0.45	0.36
Coefficiente de expansión (por °C) (ASTM D1903)	6.88 x 10 ⁻⁴	7.55 x 10 ⁻⁴	7.3 x 10 ⁻⁴	1.04 x 10 ⁻³
Punto de fluidez °C (ASTM D97)	-15 to -25	-40	-24	-55
Peso específico (ASTM D1298)	0.91	0.91	0.87	0.96
Color (ASTM D1500)	<0.5	0.5	0.5 - 2.0	<0.5
Medioambientales				
Biodegradación acuática (%), Prueba de 21 días utilizando CEC-L-33-A-93/94	97.0	25.2	27.1	0.0

1 El nuevo transformador de regulación de 25MVA y 145kV con aceite vegetal BIOTEMP® de ABB



Cuadro 3 Datos del transformador antes y después de la remodelación

	Original	Reacondicionado
Número de serie	54381	
Fabricante	ASEA	ABB
Año	1974	2006
Frecuencia, Hz	60	60
Fases	3	3
Tensiones	138 ± 2 x 2.5% / 13.8 ± 16 x 0.625 kV	
Potencia nominal, MVA	15 (ONAF2)	25 (ONAF2)
Sobrecarga, MVA	-	37.5 (6h, 150%) 42 (4h, 170%)
Conmutador de toma en carga	UZERN 250	UZF 250
Aislamiento	Celulosa	Híbrido (Nomex + celulosa)
Tipo de aceite	Mineral	BIOTEMP®

- alta fiabilidad del transformador
- alta disponibilidad del transformador debido a una menor necesidad de mantenimiento
- menores costes de instalación
- se reduce considerablemente el riesgo de explosión y la consiguiente contaminación del terreno y de las aguas subterráneas en comparación con los transformadores con aceite mineral. Incluso si se produjera una explosión, el aceite vegetal generaría subproductos no tóxicos mucho menos peligrosos.

BIOTEMP®: un aceite vegetal superior
 BIOTEMP® es el nombre comercial de un líquido avanzado biodegradable aislante eléctrico compuesto de aceite vegetal de alto contenido en ácido oleico extraído de fuentes agrícolas naturales renovables. El líquido tiene excelentes propiedades dieléctricas con gran estabilidad a altas temperaturas y una excelente resistencia al fuego y a la explosión: 330 °C y 360 °C respectivamente, mientras que en el aceite mineral los valores son de 145 °C y 160 °C. BIOTEMP® es muy compatible con materiales aislantes sólidos y es biodegradable en un 97% en 21 días. Es un aceite inhibido y ha sido aprobado según ASTM D2440, "Métodos estándar de ensayo sobre estabilidad a la oxidación para aceites minerales aislantes", y según ASTM D3487 tipo II [4], ya que no contiene PCB. En el Cuadro 2 se incluye una comparación entre BIOTEMP® y otros líquidos aislantes
 El aceite vegetal BIOTEMP® puede absorber el agua, aumentando así la vida

del papel aislante sumergido en él. De hecho, un estudio basado en mediciones de la resistencia a la tracción y del grado de polimerización ha demostrado que el papel Kraft sumergido en BIOTEMP® dura el doble que el papel sumergido en aceite de transformador derivado del petróleo. Esta propiedad, combinada con las mejores propiedades térmicas de BIOTEMP®, significa que un transformador puede soportar una mayor temperatura instantánea en sus devanados. Debido a estas propiedades térmicas, los requisitos de instalación del transformador son algo menos complicados en cuanto que:

- no son necesarias barreras contra incendios en la bahía de la subestación
- los costes de responsabilidad y seguros contra incendios son menores
- los requisitos de sistemas de extinción de incendios en la bahía de la subestación se pueden optimizar de una manera eficaz
- la distancia entre el transformador y los equipos adyacentes es menos crítica

Uniendo todo lo anterior

El rediseño eléctrico y mecánico del transformador se desarrolló completamente en Brasil. Los esfuerzos de ingeniería se concentraron principalmente en:

- **Dimensionamiento del aislamiento del devanado** utilizando papel Nomex® y aislamiento del cuadro. La permisibilidad dieléctrica de este papel impregnado en aceite aislante vegetal es muy diferente de la del papel normal de celulosa en aceite

aislante mineral. Como consecuencia, existe una distribución específica de potencial eléctrico basada en la estructura aislante combinada formada por el papel o cartón duro de celulosa o Nomex impregnado en el aceite aislante.

- **Conexiones internas del devanado** utilizando cables aislados con papel para el dimensionamiento eléctrico y térmico en condiciones de sobrecarga.
- **Dimensionamiento del sistema externo de refrigeración y evaluaciones del aumento de temperatura**, teniendo en cuenta las diferencias de viscosidad de los aceites vegetal y mineral y los altísimos requisitos de sobrecarga.

El transformador remodelado se muestra en 1 y los principales datos antes y después del rediseño se incluyen en el

Cuadro 3.

El proceso de fabricación del transformador se llevó a cabo conforme a la conocida normativa TrafoStar™. Se uti-

Notas a pie de página

1) Hoy en día los coches brasileños utilizan un sistema de control automático de combustible que permite a los vehículos funcionar con gas natural, gasolina, etanol procedente de la caña de azúcar y una mezcla de gasolina y etanol con cualquier porcentaje de cada combustible. Además, se utiliza biodiésel en los camiones.

2) ASTM International es una organización internacional de normalización que desarrolla y publica normas técnicas voluntarias para una amplia variedad de materiales, productos, sistemas y servicios

3) En los años 70, BBC (Brown Boveri Corporation) y ASEA contribuyeron, como compañías independientes, al sistema de 525 kV de CEMIG

Colaboración en productos eléctricos

lizó un proceso de llenado de aceite vegetal especialmente adaptado, incluyendo un sistema provisional separado de aceite y maquinaria específica de procesamiento de aceite, tal como una instalación de vacío térmico, filtros, calentadores y mangueras. También se tuvieron en cuenta otros factores como el acondicionamiento, el tiempo de vacío, el llenado de aceite bajo un proceso de vacío, el tiempo de circulación de aceite y el tiempo final de intervalo entre la definición de los ensayos y su realización. Durante cada fase del proceso se llevó a cabo el control de calidad según los procedimientos internos Six-Sigma de ABB⁴⁾. Los aisladores GOB de alta tensión de ABB también se rellenaron con aceite vegetal BIOTEMP[®] y se probaron de forma rigurosa.

Un equipo con un excelente rendimiento muestra el transformador montado situado en la zona de ensayos del laboratorio de alta tensión de ABB en Brasil. Se llevaron a cabo todos los ensayos estándar rutinarios [5, 6], además de una serie de ensayos específicamente diseñados. Las pruebas dieléctricas, térmicas y de funcionamiento incluyeron:

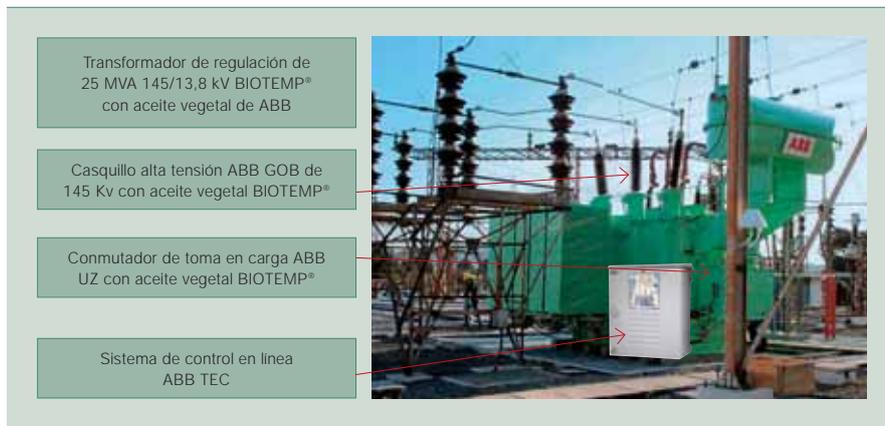
- pruebas de descargas (ondas completas y cortadas) y de impulso de conmutación en todas las terminales de devanados
- pruebas de corriente alterna de corta duración
- pruebas de larga duración de tensión inducida, incluyendo mediciones de descarga parcial, antes y después del recorrido del calor (donde se tomaban las medidas de aumento de temperatura del aceite y del devanado), así como pruebas de sobrecarga térmica

- pruebas de nivel de sonido sin carga y con carga, incluyendo medición del espectro de ruido de banda de octava
- una prueba de sobrecarga de larga duración
- pruebas de larga duración de frecuencia
- una prueba de respuesta de frecuencia (FRA)

Todas las pruebas dieléctricas y térmicas fueron vigiladas mediante un análisis de gas disuelto en aceite (DGA). Los resultados de la prueba de aceite DGA mostraron que no había variaciones significativas de concentración de gas antes y después de las pruebas eléctricas y térmicas, lo que constituye una clara demostración de la superioridad y fiabilidad del transformador [7].

El uso de aceite vegetal BIOTEMP[®] también tiene sus ventajas cuando se trata del transporte. Al poderse enviar el transformador relleno de BIOTEMP[®], se reducen los costes y se minimizan los trámites. Esto supone un marcado contraste con el aceite mineral, que se debe enviar en un contenedor separado del transformador. Así pues, el transporte del transformador a lo largo de 500 km desde la fábrica de ABB a la subestación Cidade Industrial de CEMIG fue relativamente sencillo. Una vez terminada la instalación y la puesta en marcha **3**, el transformador comenzó su funcionamiento comercial a fina-

2 Transformador con aceite vegetal BIOTEMP[®] en la zona de pruebas de alta tensión del laboratorio de ABB Brasil



Nota a pie de página

⁴⁾ Los procedimientos Six-Sigma de ABB cumplen con la normativa ISO 9.001 e ISO 14.001

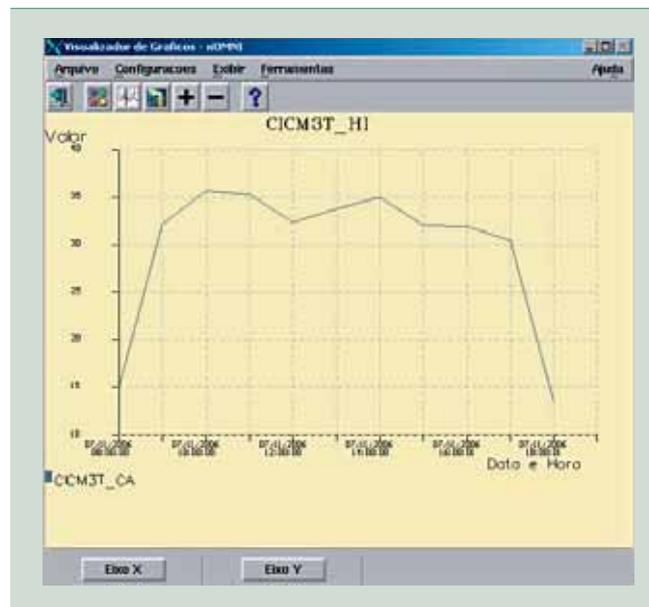
3 Transformador con aceite vegetal BIOTEMP[®] recientemente remodelado en funcionamiento en una bahía de una subestación de CEMIG



les de julio de 2006. Desde entonces soporta casi todos los días sobrecargas punta de hasta 42 MVA (170%) ⁴.

El funcionamiento del transformador está vigilado por el sistema de control en línea TCD de ABB, así como mediante pruebas convencionales de aceite, vigilancia de la temperatura del aceite y del devanado y escaneado periódico por infrarrojos. El objetivo es vigilar, lo más de cerca posible, el comportamiento del transformador y del aceite vegetal BIOTEMP®. Hasta ahora, los resultados han mostrado un funcionamiento muy fiable del transformador, especialmente bajo duras condiciones de sobrecarga.

4 Ejemplo de un ciclo típico diario de carga



De ahora en adelante

El desarrollo de nuevos materiales avanzados es un importante paso adelante en la tecnología de transformadores. Esto significa también que las compañías eléctricas pueden remodelar sus viejos transformadores y aprovechar las ventajas de estos desarrollos en términos de mayor seguridad, bajo mantenimiento y mayor vida útil del producto. Los fructuosos proyectos de colaboración en el desarrollo, como el existente entre ABB y CEMIG, crean las condiciones ideales para la aplicación de nuevas y avanzadas tecnologías de transformadores, que conllevan ventajas no sólo para ambas compañías, sino también para el sector energético y para el conjunto de la sociedad.

Para abundar en lo anterior utilizando

como referencia directa el proyecto de desarrollo de ABB/CEMIG, las propiedades térmicas de los nuevos materiales, por ejemplo, permitieron aumentar la potencia nominal del transformador original. Además aumentó también la capacidad de sobrecarga del transformador en condiciones de fiabilidad del 150 al 170% de su potencia nominal. Las ventajas de utilizar BIOTEMP®, un aceite vegetal de ABB de superiores prestaciones, renovable y biodegradable, fueron una mayor seguridad y unos menores costes durante su instalación en CEMIG. A largo plazo, la compañía eléctrica puede esperar un menor riesgo de explosiones, un menor mantenimiento y una mayor vida útil del transformador.

No obstante, queda mucho por hacer

para el sector eléctrico. Los ingenieros se mantendrán ocupados durante mucho tiempo descubriendo métodos para simplificar aún más y optimizar el diseño de las futuras subestaciones. Un primer paso hacia este objetivo sería revisar la normativa y las legislaciones locales actuales referentes a la instalación de transformadores. En cualquier caso, la aplicación de esta nueva tecnología de transformadores a tensiones superiores a 145 kV está verdaderamente en marcha, y va por buen camino.

J. C. Mendes

A. S. G. Reis

E. C. Nogawa

C. Ferra

División de transformadores de potencia de ABB

Sao Paulo, Brasil

jose-carlos.mendes@br.abb.com

alex.reis@br.abb.com

elaine.nogawa@br.abb.com

celso.ferra@br.abb.com

A. J. A. L. Martins

A. C. Passos

CEMIG – Companhia Energética de

Minas Gerais

Belo Horizonte

MG, Brasil

ajm@cemig.com.br

adrianap@cemig.com.br

Agradecimientos

Los autores desearían dar las gracias a los colegas de la división de transformadores de potencia de ABB en Brasil, ya que su dedicación y competencia han contribuido al desarrollo de la tecnología, haciendo posible la creación de transformadores de alta tensión de alta calidad con aceite vegetal.

Referencias

- [1] Mendes, J. C. y otros. "On Site Repair of HV Power Transformers". CIGRÉ, 12-114, París, Sesión 2002.
- [2] Rocha, A. C. O., Mendes, J. C. "Assessment of An EHV Shunt Reactor Insulating and Mechanical Performance by Switching Surge Analysis". CIGRÉ, A2-301, París, Sesión 2006.
- [3] Patente nº 4.627.1992 de EEUU, 9 de diciembre de 1986. "Sunflower Products and Methods of Their Protection".
- [4] Oommen, T. V., Claiborne, C. C. "Biodegradable Insulating Fluid from High Oleic Vegetable Oils". CIGRÉ, 15-302. París, 1998.
- [5] ABNT. Transformador de Potência: Especificação. Norma NBR 5356, Rio de Janeiro, BR, agosto de 1993.
- [6] ABNT. Transformador de Potência: Método de Ensaio. Norma NBR 5380, Rio de Janeiro, BR, mayo de 1993.
- [7] ABB. Transformador No. de Série 54831 – CEMIG. Relatório de Ensaio 1ZBR 06-0150, São Paulo, 2006-05-29, 112 páginas

Referencias adicionales

Goldemberg, J. "Ethanol for a Sustainable Energy Future". Science Magazine. Volumen 315, nº 5813, páginas 808-810, febrero de 2007.

IEEE. "The Omnivorous Engine". IEEE Spectrum Magazine, páginas 30-33, Nueva York, enero de 2007.

Marinho J. R., Sampaio, E.G. and Monteiro, M.M. "Aceite de ricino como líquido aislante." CIGRÉ, 500-06, Symposium 05-87. Viena, 1987.

El reto del prensado

La servotecnología DDC de ABB acelera las líneas de prensado

Sjoerd Bosga, Marc Segura



Desde que Henry Ford adoptó la línea de montaje móvil hace más de un siglo hasta la utilización a gran escala de robots hoy en día, el sector del automóvil ha estado con frecuencia a la cabeza del progreso en la productividad de la fabricación. Para conseguir una mayor optimización, los fabricantes y sus proveedores están continuamente reestudiando sus procesos. Un candidato con posibilidades de mejora es el taller de prensado, el área de la fábrica que precisa más capital.

La carrocería de un coche se compone de varios centenares de piezas metálicas, de las cuales la mayoría se fabrican mediante prensado. La producción de estas prensas constituye un área con potencial de mejora. Por desgracia, si se aumenta la velocidad a la que funciona una prensa, se pone en peligro la calidad. Sin embargo, se puede ganar tiempo acelerando las actividades entre prensados. Éste es el objetivo de la DDC (cadena de accionamiento dinámico) de ABB. Esta solución utiliza servomotores para reducir los ciclos de trabajo. Además, la tecnología se puede incorporar a las líneas existentes, disminuyendo el riesgo y protegiendo la inversión del cliente.

Incrimentos significativos en la productividad de líneas de prensado flexibles en tándem a coste aceptable: esto es lo que busca la industria automovilística cuando invierte en talleres de prensado. Dado que el taller de prensado es el área que precisa más en capital de una fábrica automovilística, las inversiones no van dirigidas exclusivamente a nuevas líneas. La vida útil de una prensa grande puede ser de varias décadas, lo que explica el deseo de los operadores de poder mejorar las líneas existentes. ABB está desarrollando continuamente nuevas tecnologías para conseguir una mayor productividad tanto en líneas nuevas como en las existentes.

Un taller de prensado produce piezas como puertas, techos, etc., del automóvil a partir de bobinas de chapa metálica. Después de la operación de corte, en la que se cortan las bobinas en planchas, las piezas pasan a través de una secuencia de tres a cinco prensas **1**. En la configuración más básica de este proceso, un descargador al principio de la línea toma la plancha y la carga en la primera prensa **2** **3**. A continuación, unos robots trasladan las piezas de una prensa a la siguiente, y al final de la línea un robot o unos operarios humanos las colocan en un estante.

Desde el punto de vista de la productividad de la línea, lo primero que importa es la duración de un ciclo de prensado **4**. Este ciclo consta de dos partes: una parte está completamente determinada por los robots (T1), y la otra parte completamente por la prensa

(T2). T1 incluye la descarga y carga de la prensa por medio de dos robots distintos. Normalmente la descarga comienza en cuanto la prensa se haya abierto lo suficiente para que el descargador pueda entrar en ella. De forma similar, la prensa arrancará normalmente su movimiento hacia abajo antes de que se haya terminado completamente la carga. En una configuración ideal, los movimientos del robot y de la prensa están sincronizados de forma óptima. El software de ABB Stampware **5** proporciona esta funcionalidad en un paquete de serie.

El movimiento de la prensa (en la parte T2 del ciclo) se puede dividir en tres fases. En la primera, la prensa se cierra, es decir, se mueve hacia abajo hasta que la denominada matriz superior toca a la pieza a prensar. El prensado real tiene lugar a partir de este punto de impacto (segunda fase). El prensado está completo cuando la prensa llega al punto más bajo de su curva de desplazamiento, el punto muerto inferior. A partir de este punto, la prensa se abre (tercera fase).

Tradicionalmente, los esfuerzos de optimización de ABB se han centrado en la parte T1 del ciclo: el tiempo que necesitan los robots. Esta atención se ha visto premiada con el éxito: innovaciones como un robot especial de automatización de la prensa, la ubicación óptima del robot, las técnicas de sincronización de los robots y un séptimo eje especial para el robot, han producido una reducción de T1 desde más de seis segundos hace cinco años hasta menos de tres segundos hoy, incluso

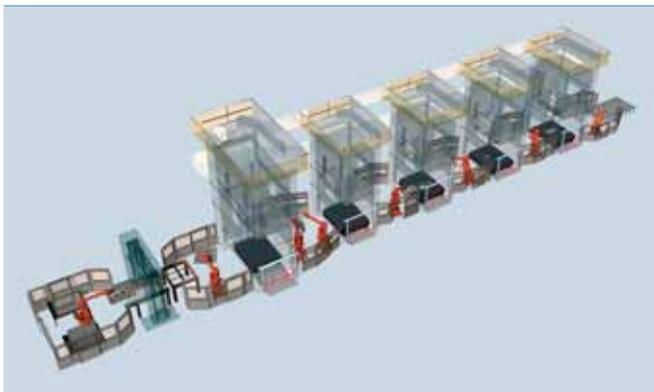
para grandes piezas. Sin embargo, con una disminución tan grande de T1, T2 se está convirtiendo cada vez más en el cuello de botella.

En una prensa mecánica tradicional, no existe una manera fácil de reducir T2: la velocidad viene marcada por un gran volante y está limitada por los requisitos del proceso de prensado. Así pues, ¿de qué medios dispone ABB para reducir más el ciclo de trabajo? Enfrentarse a este reto llevó a la aparición de la tecnología DDC (cadena de accionamiento dinámico) de ABB **6**. El desarrollo de esta tecnología requirió una intensa colaboración entre distintos grupos dentro de ABB: especialmente el centro mundial líder en automatización de prensas ubicado en España y el grupo de máquinas eléctricas y movimiento inteligente situado en el centro corporativo de investigación en Västerås, Suecia. Sin embargo, el reunir tanto conocimiento interno no fue suficiente. Se precisó una intensa implicación del cliente para optimizar la productividad de la línea de prensado.

La servotecnología ayuda

El objetivo básico de la servotecnología en grandes prensas es permitir que la prensa se abra y se cierre más rápidamente, manteniendo la velocidad de prensado original. De hecho, es posible incluso comenzar el prensado a una velocidad más baja que la que se utiliza hoy y no dejar por ello de aumentar la productividad. Un prensado más lento significa una mayor calidad de las piezas, que es el segundo ingrediente a lograr después de la velocidad. Iñaki Zubiete, director de robótica y nuevas

1 Una línea de prensado en tándem: las planchas se desapilan, se lavan, se centran y se cargan en la prensa de tracción para pasar a través de una serie de operaciones de corte y perforación



2 Un desapilador robótico de ABB en la fábrica de PSA en Poissy alimentando planchas de metal a una línea de prensado



Colaboración en productos de automatización

inversiones de Gestamp-Estampaciones Bizkaia, explicó al equipo de DDC de ABB que, para poder alcanzar la suficiente calidad, las prensas funcionan sólo al 80-85 % de su velocidad máxima, con una disminución de la productividad del 7 al 15 %. Estas cifras fueron confirmadas por Santiago Minguez, director de ingeniería de equipos de serie de Renault Valladolid. Así pues, ¿cuánto aumento de la productividad puede proporcionar la servotecnología? Mucho depende del dimensionado del accionamiento del servo. Para investigar las posibilidades de los diseños actuales de prensas, se inició una colaboración con FAGOR. FAGOR es un fabricante de prensas de tamaño mediano ubicado en el norte de España, con el que ABB ha mantenido unas intensas relaciones de colaboración desde hace más de 10 años. Las simulaciones realizadas en colaboración con FAGOR han mostrado que incluso con un servomotor bastante pequeño, se puede obtener un aumento de la productividad entre el 10 y el 30 % solamente utilizando la servotecnología. Se pueden obtener incrementos incluso

mayores combinando lo anterior con los últimos desarrollos de automatización de robots. Limitar el tamaño del accionamiento del servo ha sido un aspecto fundamental del aporte de ABB para el desarrollo de servoprensas. Al tratar de la viabilidad de las servoprensas con Gerard Lallouette, director de estructura y estampado de PSA Peugeot Citroën, ABB llegó a la conclusión de que la solución propuesta debería tener en cuenta no sólo el coste del accionamiento de la prensa, sino también el coste de la red energética de la fábrica, el coste de la energía y de la potencia punta. Si una servoprensa grande necesitara 5 MW en lugar de los 500 kW que son normales hoy, ello supondría un verdadero problema.

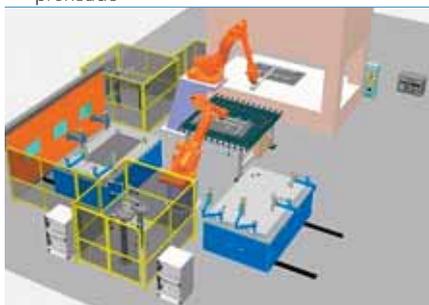
Una solución de baja potencia punta ABB ofrece hoy el accionamiento de una servoprensa con una potencia punta que en la mayoría de los casos no requiere el redimensionamiento de la red eléctrica de la fábrica. ¿Cómo es posible? El secreto reside en el diseño del control y del accionamiento, que surgió de ideas aprendidas en anteriores proyectos de investigación. Un importante aspecto de este diseño está relacionado con las inercias de las masas en movimiento de la prensa y del accionamiento. Aunque se suele considerar que las inercias limitan el rendimiento dinámico de un servoaccionador, en realidad se pueden utilizar para almacenar energía, liberándola cuando el accionamiento de la prensa más la necesita. En una primera versión del accionamiento de una servoprensa de ABB, el

volante tradicional de la prensa ^{6f} se mantiene para proporcionar la potencia punta necesaria durante la fase de prensado del ciclo. Sin embargo, a diferencia de una prensa mecánica, no hay frenado mecánico, ni se utiliza un embrague para llevar a la prensa a la velocidad requerida. La tecnología DDC de ABB garantiza una aceleración y deceleración suaves de la prensa, utilizando el embrague ^{6g} después de que el servo haya controlado la prensa a su velocidad de sincronismo. En una segunda versión, se eliminan completamente el embrague y el volante tradicionales, y se dimensiona el servo de otra manera.

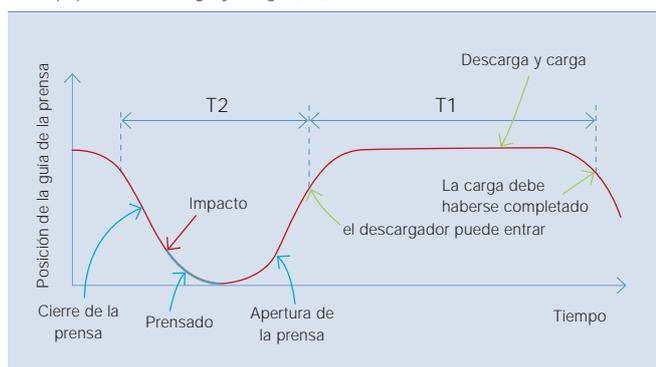
Una solución para las líneas de prensado existentes

Al principio del desarrollo del accionamiento de las servoprensas, ABB ya trató la idea propuesta con clientes como Gestamp y PSA. El mensaje de estos clientes fue muy claro: Debería existir una solución con servo para las líneas de prensado existentes, y debería ser posible familiarizarse con la servotecnología antes de instalar una línea de prensado completamente nueva con servo. Por lo tanto, Gestamp sugirió que el primer prototipo a escala natural debería instalarse en una de sus líneas que estaban en proceso de mejora. Estos requisitos dirigieron los principales esfuerzos de desarrollo de ABB, centrándose primero en una solución que transforma las prensas existentes en servoprensas: el *Kit de Mejora de Prensas*. Una función importante, solicitada de forma insistente por Gestamp y otros clientes, fue que esta mejora debía ser fácil de instalar, y que debería realizarse holgadamente dentro del plazo de la

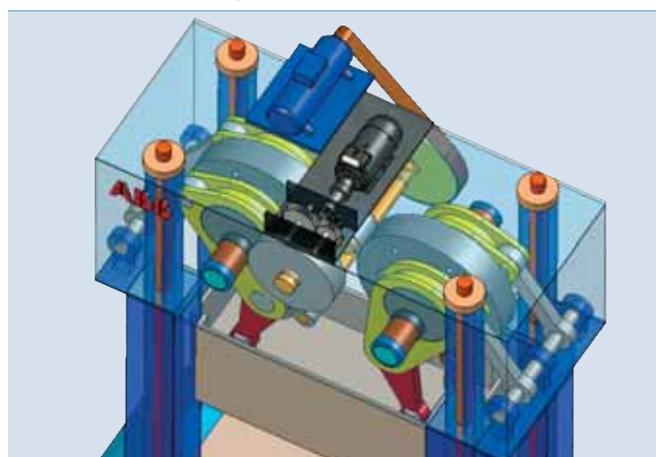
3 Robots trasladando piezas a la línea de prensado



4 Perfil típico de posición de una prensa mecánica clásica, en el que una parte (T2) está determinada totalmente por la prensa (cierre, prensado, apertura) y la otra parte, por el equipo de descarga y carga (T1)



DDC montada sobre una prensa



parada usual de un mes en el verano. Aunque un requisito tal podría considerarse una seria limitación, provocó que ABB diseñara una solución que no sólo cumplía dichos requisitos, sino que también constituía una solución reversible de bajo riesgo.

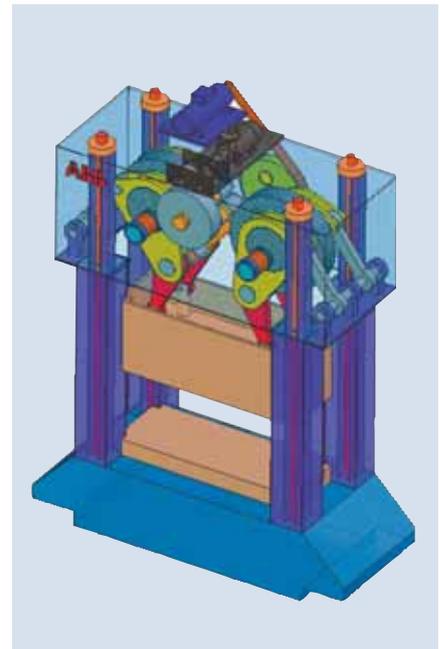
Una solución de bajo riesgo

Un cliente que mejora una línea de prensado lo hace normalmente por una buena razón: puede ser el inicio de la fabricación de un nuevo vehículo o, para un Tier 1, un importante contrato. Así pues, cuando FAGOR y ABB empezaron a investigar para construir el primer prototipo, una cuestión esencial fue si podría instalarse en un plazo muy limitado. La solución que diseñamos, el kit de mejora de prensas, no sólo podía instalarse con rapidez, sino que además, en caso de que surgiese

un imprevisto que impidiera finalizar la instalación a tiempo, podía retirarse fácilmente de modo que la producción pudiera iniciarse sin problemas utilizando las prensas de la manera mecánica tradicional.

Mientras tanto, las conversaciones de ABB con el Sr. He, director adjunto del departamento de prensado nº 1 de Honda, en Guangzhou China, llevaron a la compañía a dar un paso más: las primeras servoprensas DDC han sido diseñadas con un interruptor que puede desactivar completamente la nueva tecnología. Cuando se desactiva, lo que queda es una prensa mecánica clásica, que se puede utilizar de la misma forma que en los últimos 50 años.

Aunque la DDC representa un salto tecnológico (las innovaciones de I+D implicadas van desde las topologías de las nuevas prensas hasta un software



5 Stampware de ABB es un paquete específico de software para los controladores de robots IRC5 de ABB en talleres de prensado

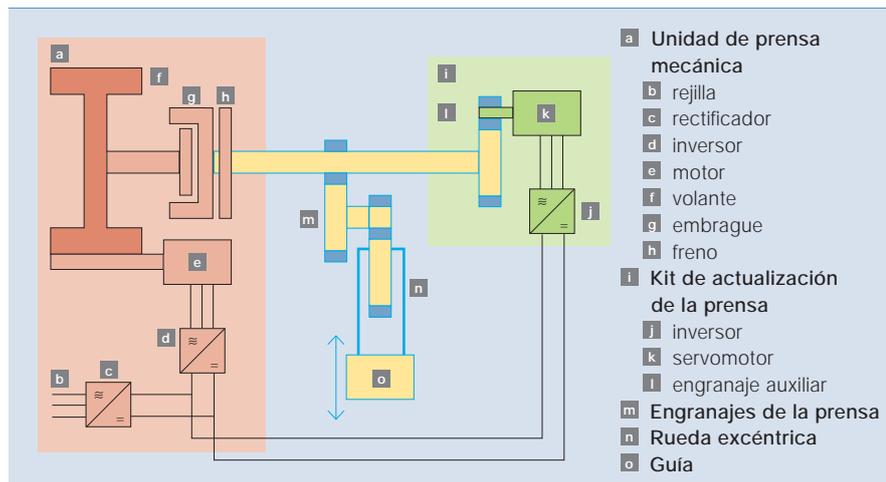


Cuadro 1 DDC (cadena de accionamiento dinámico)

Los sistemas tradicionales de automatización y accionamiento de prensas constituían un caso "discreto" típico de automatización. Las diferentes etapas del proceso de producción estaban interrelacionadas mediante una secuencia de "señales de autorización". El embrague de la prensa se activaba cuando terminaba la tarea de carga, y la descarga comenzaba cuando se había terminado el prensado, para que pudiera comenzar el siguiente ciclo de carga. Este método de funcionamiento provocaba muchos tiempos muertos entre las operaciones, lo que suponía un bajo rendimiento. Además, el sistema no conseguía adaptarse a las condiciones cambiantes en la línea, lo que requería unos ajustes finos continuos para mantener un buen nivel de optimización.

Se adoptaron algunas medidas para mejorar esta situación, tales como la sincronización de ABB de robot a prensa o de robot a robot. Sin embargo, durante mucho tiempo no se pudo conseguir un sistema de control de movimiento totalmente integrado que incluyera las prensas. En respuesta a esta situación, ABB, con su exclusiva combinación de conocimientos de robótica, de motores y de accionamientos, está introduciendo una arquitectura revolucionaria de control y accionamiento que transformará las líneas de prensado en un proceso de fabricación continuo y adaptativo: un adaptativo: una verdadera cadena de accionamiento dinámico

6 Diagrama esquemático de una servoprensa en el que se muestra la clásica unidad de prensa mecánica **a** y el kit de mejora de las prensas **i**.



Cuadro 2 Una mayor productividad con DDC

¿Qué esperan exactamente los clientes de ABB cuando trabajan con ABB para automatizar una línea de prensado? Aunque el objetivo final es, desde luego, la productividad, existen tres factores clave para la rentabilidad del taller de prensado:

Velocidad

Cuanto más alto sea el ritmo de producción que puede proporcionar el equipo, menor será la inversión de capital y los costes de funcionamiento necesarios para explotar la línea (harán falta menos líneas de prensado y menos operarios).

DDC aumenta la tasa de producción en un 10%-30%.

Disponibilidad

El equipo de producción tiene que trabajar sin fallos durante el mayor tiempo posible. *DDC elimina los fallos de embrague y freno, que están entre las cinco primeras causas de parada.*

Calidad

Las piezas rechazadas representan una pérdida directa para las empresas. Para garantizar un proceso suave y pausado de estampado, es fundamental reducir al mínimo el número de piezas rechazadas.

DDC puede reducir la velocidad de estampación hasta en un 40% con iguales tiempos de ciclo.



avanzado de control), está construida sobre productos de ABB existentes, como el accionamiento ACS800 y el controlador del robot IRC5. Esto es de gran valor para la industria automovilística, tradicionalmente conservadora, que disfrutará de las ventajas de una tecnología de última generación al tiempo que confía en productos conocidos y probados, que están bien soportados por unidades locales de ABB que ya prestan servicio al sector.

Una importante cuestión suscitada tanto por Honda como por Gestamp fue cómo afectaría la velocidad y la aceleración del servo al mecanismo de la prensa. Como Iñaki Martínez, director técnico de estampado de Fagor, se apresuró a observar, la solución servo de ABB consigue una aceleración y deceleración más suaves que el embrague y el freno para los que se diseñaron los mecanismos de la prensa actual, por lo que el servo aumentará la vida útil de la prensa. De hecho, las mayores fuerzas de aceleración que afectan a la matriz de la prensa no se producen cuando se utiliza servocontrol o durante el prensado, sino cuando arranca la prensa desde su posición de

parada utilizando el embrague. También cabe observar que en la versión de DDC en la que se mantiene el volante, el prensado será exactamente como ha sido siempre, es decir, afectado sólo por el dimensionamiento de la prensa y del volante. En este caso no hay parámetros o configuraciones desconocidos: el único es la velocidad del volante. La tecnología de cadena de accionamiento dinámico (DDC) optimiza el resto del movimiento de forma automática y dinámica (de ahí su nombre).

¡No paren las prensas!

El mensaje que ABB recibió tanto de Daniel Eguía, director corporativo de equipos de Gestamp, como de Gerard Lallouette, director de estructura y estampado de PSA, fue "¡no paren las prensas!". Las prensas de hoy en día tienen ineficiencias intrínsecas (movimientos de arranque y parada, tiempos muertos y esperas). Es necesario eliminarlas consiguiendo un sistema de movimiento continuo, óptimo y adaptable: una cadena dinámica. LA DDC de ABB lo consigue integrando el control de la prensa con el control de los robots.

Futuro

Schuler, el mayor fabricante mundial de prensas, comunicó recientemente a ABB que "en el futuro inmediato, todas las nuevas prensas serán servoprensas". ABB está de acuerdo pero le gustaría añadir: "no sólo las nuevas prensas..." La tendencia de sistemas mecánicos a sistemas accionados eléctricamente en la industria del prensado no ha hecho sino comenzar y es irreversible. ABB se está posicionando como un actor importante en este nuevo mercado con su DDC, al tiempo que aumenta significativamente su competitividad en las líneas de negocio de sistemas de automatización, motores y accionamientos. Tanto FAGOR como ABB están deseando demostrar a sus clientes cómo funciona esta servoprensa.

Aunque la incorporación de servomotores a las prensas mecánicas existentes es un primer paso, se espera que a medio y largo plazo, las prensas con accionamiento totalmente eléctrico las sustituirán completamente. Mediante la intensa colaboración con clientes como Gestamp, Honda, Renault, PSA y Nissan, ABB está definiendo los parámetros de la servoprensa ideal. A través de la colaboración con socios como Fagor y JIER, la compañía puede diseñar el accionamiento para adaptarse a la topología de las futuras servoprensas de estas compañías y de otras. Este desarrollo debería provocar incluso menores costes, sencillez (sin embrague ni volante) y mayor control del prensado.

ABB seguirá su estrecha colaboración con clientes y fabricantes de prensas para desarrollar las próximas generaciones de líneas automatizadas de prensado, adelantándose a las necesidades y requisitos futuros de los clientes y proporcionando tecnología que aporte más valor a sus operaciones de estampado.

Sjoerd Bosga

ABB Corporate Research
 (Investigación Corporativa de ABB)
 Västerås, Suecia
 sjoerd.bosga@se.abb.com

Marc Segura

ABB S.A., Automatización de prensas
 Sant Quirze del Vallès, España
 marc.segura@es.abb.com

Operaciones especializadas de soldadura

Creación de un robot ligero especializado en soldadura por puntos

Karin Dunberg

Muchos de los robots que se utilizan en líneas de producción están diseñados para realizar diversas tareas. La estandarización y la reutilización son algunas de las ventajas que presentan estos robots de múltiples habilidades.

Sin embargo, en la práctica, muchos de estos robots desarrollan la misma tarea a lo largo de toda su vida. Cuando se utiliza un robot generalista para realizar trabajos propios de un especialista, muchas de sus prestaciones caen en desuso, y su peso y complejidad adicionales lo convierten en un robot molesto, ineficaz y costoso.

En cooperación con DaimlerChrysler, ABB ha creado un robot ligero especializado en soldadura por puntos.

Colaboración en productos de automatización

Cuando DaimlerChrysler se puso en contacto con ABB en 2003, estaban buscando un nuevo robot especializado en soldadura por puntos.

Ambas empresas tenían como objetivo desarrollar conjuntamente un robot ligero de serie. El robot debería realizar un trabajo de 150 kg para cubrir la mayoría de sus principales aplicaciones de soldadura por puntos. También debería diseñarse el robot de seis ejes para realizar soldadura por puntos utilizando una única pistola de servocontrolada.

La llamada disposición de media estantería permite que se añada un segundo nivel de robots en la línea, de modo que los robots en el nivel superior pueden soldar al revés.

"Necesitábamos una excelente herramienta para nuestras principales aplicaciones de soldadura por puntos", señaló Anton Hirzle, alto directivo de DaimlerChrysler. "Hoy utilizamos robots estándar para la mayoría de nuestras aplicaciones. Los mismos robots pueden soldar, pegar, manipular piezas, realizar cualquier tarea, pero estábamos pagando por muchas prestaciones que nunca hemos usado en aplicaciones de soldadura por puntos. Queríamos un robot específico para soldadura por puntos: el ahorro de costes fue el motor más importante del proyecto".

DaimlerChrysler es una compañía intensiva en robots, con unas 9.000 uni-

Anton Hirzle, alto directivo de DaimlerChrysler: „Queríamos un robot específico para soldadura por puntos“



dades en sus fábricas de Mercedes y unas 5.000 en su fábrica Chrysler en Estados Unidos. DaimlerChrysler consultó a varios proveedores de robots y compartió sus ideas sobre cómo alcanzar el objetivo.

Como resultado, DaimlerChrysler y ABB se embarcaron en un proyecto conjunto de I+D en 2004. En lugar de añadir prestaciones, el proyecto se centró en eliminar aquellas que no fuesen necesarias para la soldadura por puntos. El objetivo consistía en optimizar a través de la simplicidad.

Casi tres años después, las dos compañías han fabricado un robot ligero con un amplio radio de acción: el IRB 6620. Se han eliminado no menos de 800 kilos de peso del robot original. El resultado es menos inversión en acero y un robot mucho más sencillo de manejar.

Este robot tiene una carga útil de 150 kg y un robusto diseño de brazo capaz de manejar pistolas de soldadura por puntos con el transformador integrado. La brida en la que se montan las herramientas cumple la normativa ISO para 200 kg. El robot lleva accesorios especialmente diseñados para soldadura por puntos.

El IRB 6620 es más fácil de instalar, tiene un menor coste de inversión y un amplio radio de acción. Sobre todo el

aumento del radio de acción del robot por debajo de su base es un enfoque interesante para el rediseño de las celdas de soldadura por puntos. La llamada disposición de media estantería permite que se añada un segundo nivel de robots en la línea. De este modo, los robots en el nivel superior pueden soldar al revés. Este enfoque permite ahorrar espacio y proporciona una integración más eficiente de los robots en la celda de trabajo, con lo que se consigue una mayor productividad. El objetivo a largo plazo de ABB es sustituir la mayor parte de los robots multitarea que se utilizan hoy para la soldadura por puntos por el robot ligero y específico IRB 6620 para soldadura por puntos.

Karin Dunberg
ABB Robotics AB
Gothenburg, Suecia
karin.dunberg@se.abb.com

Referencias

Negre, B.; Legeleux, F.; FlexLean – Robots challenge low cost labor, ABB Review 4/2006, páginas 6–10, y en especial el cuadro que aparece en la página 8 de este artículo.

Cuadro El grupo DaimlerChrysler

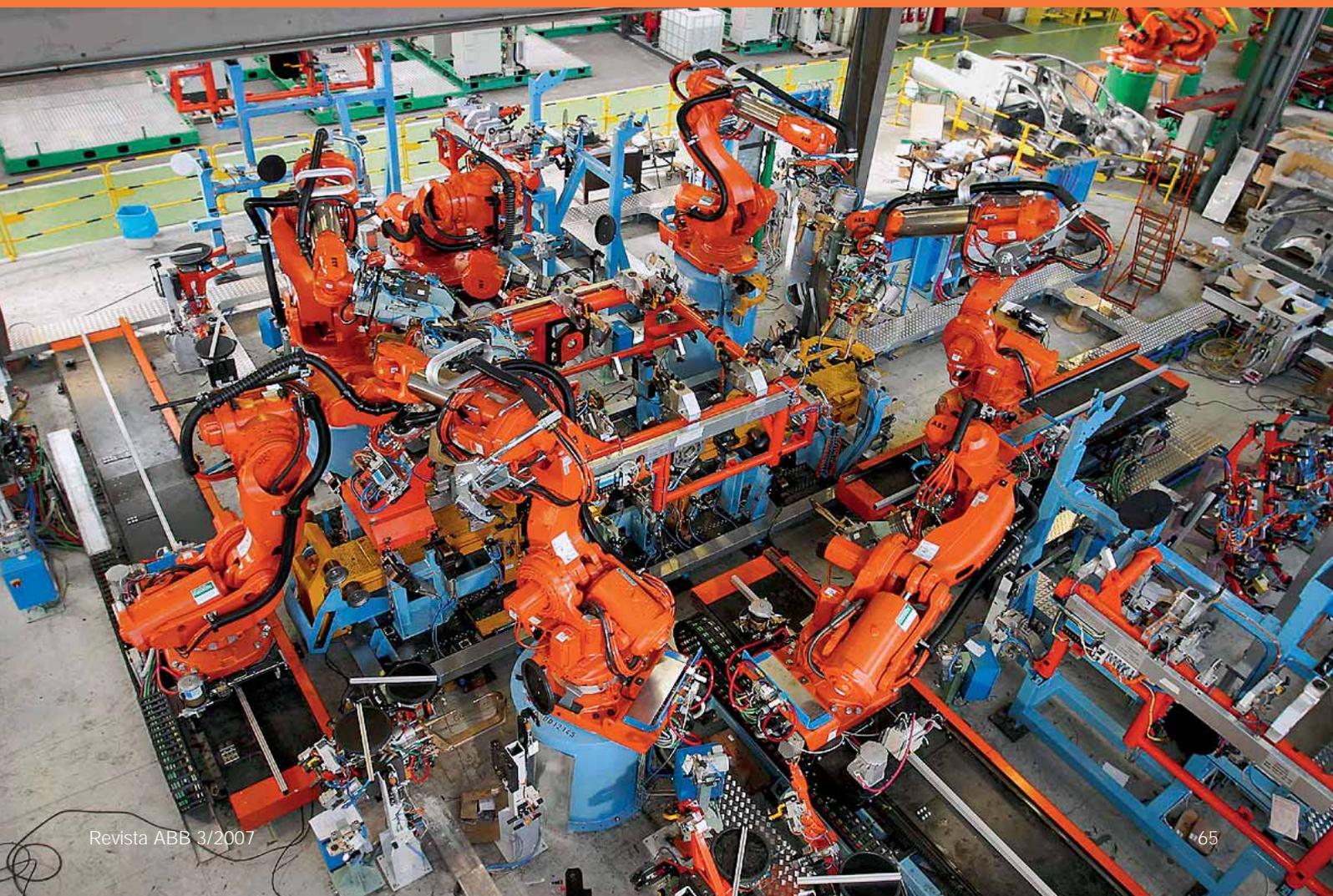
El grupo DaimlerChrysler, que obtuvo unos ingresos de más de 150.000 millones de euros en 2006, cuenta con una tradición de más de un siglo que ha estado marcada por la consecución de logros pioneros. Actualmente, la empresa es un proveedor líder de automóviles utilitarios de gama alta, SUV, turismos, vehículos deportivos, furgonetas y camionetas, además de ser el mayor fabricante mundial de vehículos comerciales.

Especialistas en robótica

El compacto IRB 6620 para las operaciones especializadas de soldadura por puntos
Ola Svanström

Los robots poseen múltiples habilidades. Se fabrican para realizar diferentes tareas con una gran precisión, velocidad y con cargas pesadas. Cuando se necesita realizar una tarea específica, y sólo esa tarea, es conveniente usar una versión a la medida del robot multifuncional.

El FlexPicker de ABB es un ejemplo de robot experto altamente especializado, diseñado para clasificar diferentes mercancías a gran velocidad. La soldadura por puntos en la industria de automoción es otro ejemplo donde los "profesionales" con talento son de gran valor.



Colaboración en productos de automatización

Las cadenas de montaje modernas para la fabricación de vehículos están llenas de robots. La mayoría de estos robots se parecen a los que estamos acostumbrados a ver: tienen un brazo largo con una “mano” que se puede curvar hacia delante y hacia atrás y girar como un golfista en un full swing.

Pero también están funcionando otros sistemas de movimiento mecánico que no suelen llamarse “robots”, aunque trabajan de una forma similar a sus destacados parientes. Estos robots son capaces de soldar, sujetar, mover, levantar, clasificar, pintar, pulir o mantener unidas las piezas de un coche para ayudar a otros robots a realizar diferentes tareas de forma óptima. Para un fabricante de coches es conveniente instalar diferentes tipos de robots con múltiples habilidades porque se pueden utilizar para realizar diferentes tareas sin tener que hacer cambios importantes.

Cuando nos fijamos en los robots de apoyo para la automoción que unen las piezas, resulta que en la actualidad la mayoría de ellos se utilizan para la soldadura térmica **1**. La soldadura térmica se puede realizar con tecnologías bastante diferentes: soldadura por puntos convencional, soldadura láser o soldadura por fricción¹⁾. Independientemente de la tecnología específica, se puede usar el mismo robot para manipular el mecanismo de unión térmica.

Es probable que en diez años la tecnología de soldadura térmica domine frente a la unión mecánica o los métodos químicos. Dada esta tendencia, junto con las peticiones cada vez más numerosas de la industria automotriz de mayor flexibilidad y menores costes, es conveniente completar la gama de robots en la cadena de montaje con soldadores especializados.

2a muestra el nuevo especialista en soldadura de ABB, el IRB 6620, y el IRB 6600 de múltiples habilidades **2b**. El innovador IRB 6620 es una versión mucho más ligera que su “gran hermano”, lo que le hace muy adecuado para la soldadura por puntos²⁾. Como es más compacto, ahorra un espacio muy valioso en la línea de producción, que se puede ocupar con dos especialistas de

soldadura: uno puede estar colgando del techo o instalado en un segundo nivel de trabajo respecto a la carrocería del coche en movimiento. Gracias a su agilidad, el IRB 6620 también puede alcanzar los bajos del bastidor del coche para realizar operaciones de soldadura menos accesibles.

ABB desarrolló recientemente controladores de robots que permiten el movimiento coordinado de varios robots y el trabajo simultáneo en la misma pieza **Cuadro 1**. Si se conecta el nuevo y ágil robot de soldadura a ese sistema, otros robots pueden colocar la pieza para realizar la soldadura. Esto compensa el alcance ligeramente inferior del IRB 6620 (comparado con el IRB 6600). Gracias al flexible montaje de los robots de soldadura, varios de ellos pueden trabajar en la carrocería de un coche a la vez e incluso alcanzar zonas inferiores o del interior del coche sin molestar a los unos a los otros. Los conceptos de movimiento seguro de ABB aseguran un funcionamiento sin colisiones en todo momento.

Mientras que los robots especialistas danzan alrededor de la carrocería del

1 Robot de soldadura por puntos



coche y sueldan todos los rincones a gran velocidad, el IRB 6600 de múltiples habilidades se puede concentrar en otras muchas operaciones.

Esta combinación de robots especialistas y de modelos más generales abre la fabricación a otros conceptos radicalmente nuevos. Con este logro, las cadenas de soldadura de puntos por re-

Cuadro 1 MultiMove

MultiMove es una función integrada en el controlador del robot IRC5 de ABB. Permite la sincronización de hasta cuatro robots o posicionadores diferentes, lo que significa que calcula los movimientos de hasta 36 servoejes.

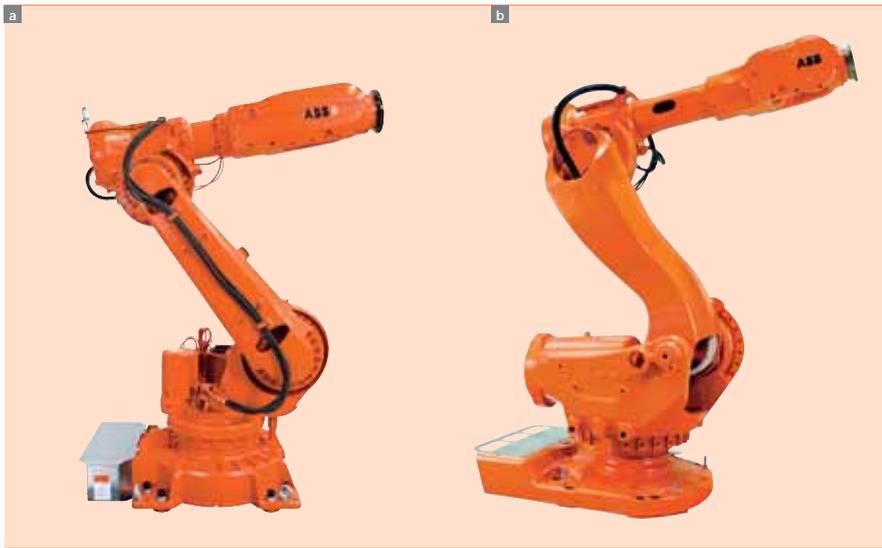
Sin esa sincronización, un posicionador tendría que colocar primero una pieza en su sitio y luego parar. A continuación, un robot de soldadura se aproximaría a la pieza, la soldaría y se retiraría. El posicionador podría girar la pieza sólo cuando el robot se hubiera parado para permitirle trabajar en el otro lado. Con la función MultiMove, se ahorra mucho tiempo porque permite que muchos de estos movimientos se realicen simultáneamente. Por ejemplo, el robot de soldadura se puede mover hacia la pieza cuando el posicionador se la lleva al robot, y el posicionador puede rotar la pieza lentamente mientras se está realizando la soldadura. La soldadura continua resultante mejoraría la calidad del producto final. Esta funcionalidad también se puede usar para permitir que varios robots

suelden simultáneamente. El consiguiente ahorro de tiempo permite reducir la duración de los ciclos y aumentar el rendimiento.

Véase también **Bredin, C.**, Compañeros de equipo – La funcionalidad MultiMove de ABB anuncia una nueva era en las aplicaciones de robots, Revista ABB 1/2005, páginas 26–29.



Colaboración en productos de automatización

2 El IRB 6620 **a** y el más grande IRB 6600 **b**

sistencia³⁾ se acortan y se aceleran, con ocho robots trabajando simultáneamente.

El montaje de los laterales y los techos de carrocerías se vuelve más flexible y rápido cuando existe una interacción entre los soldadores por puntos y los robots de potencia. La industria del automóvil aprecia enormemente esta

mayor flexibilidad. Permite fabricar más modelos de coches en la misma línea, lo que no sólo acelera el proceso, sino que permite un uso óptimo de la valiosa maquinaria en la línea de producción. Una línea de producción moderna no puede trabajar eficientemente sin especialistas que complementen a los robots de múltiples habilidades.

Cuadro 2 FlexPicker

El FlexPicker de ABB es lo que se denomina un robot paralelo cinemático: a diferencia de los diseños convencionales de robots industriales, en los que las articulaciones se colocan en serie a lo largo de un único brazo **2** un robot paralelo cinemático tiene tres o más brazos paralelos que sujetan un manipulador **3**.

Todos los motores y engranajes del FlexPicker están instalados en la base. Esto permite que las piezas móviles sean muy ligeras, lo que contribuye a la agilidad del robot: se pueden alcanzar aceleraciones por encima de 10g y ritmos de manipulación superiores a 120 objetos por minuto.

El robot se diseñó pensando en la higiene: no lleva superficies pintadas y se puede lavar con agua a baja presión y sin detergentes, por lo que el Flexpicker es adecuado para manipular alimentos.

La función de seguimiento de la transportadora del controlador IRC5 permite que la Flexpicker seleccione y coloque objetos en la cinta transportadora, por lo que no se necesita activar y detener la correa para cada ob-

jeto, con el consiguiente ahorro de tiempo. Además, el software PickMaster permite que el robot identifique y seleccione objetos desordenados y de formas irregulares, como suele ocurrir frecuentemente en la fabricación de alimentos.

Véase también **Andersson, H.J.**, Recoge-pizzas – Los robots FlexPicker de ABB demuestran su velocidad y agilidad en el embalado de pizzas, Reportaje especial sobre robótica de la Revista ABB (marzo de 2005), páginas. 31–34.



3 Un FlexPicker manipulando el embalaje de carne



ABB también ha desarrollado especialistas para aplicaciones bastante diferentes. El Flexpicker **3**, por ejemplo, es un sistema con tres brazos muy ligeros y unas pinzas que pueden levantar y transportar objetos ligeros como trozos de chocolate o pralinés y clasificarlos en cajas **Cuadro 2**. El IRB 6600 sería demasiado lento para este trabajo, aunque podría realizar más funciones en el proceso de clasificación.

El concepto de robots especialistas está ganando terreno en la industria. Siempre que se necesite la fabricación en serie de componentes, un especialista puede muy bien ser la solución más flexible y económica.

Ola Svanstrom

ABB Robotics

Västerås, Suecia

ola.svanstrom@ch.se.abb.com

Notas a pie de página

¹⁾ La soldadura por fricción es un proceso de soldadura en el que la cabeza de un pivote giratorio se mueve a lo largo de la costura de soldadura. El calor de fricción y la presión de apriete hace que las piezas se unan sin fundir el metal. El método se usa principalmente para el aluminio.

²⁾ Véase también „Operaciones especializadas de soldadura“ en la página 63 de esta edición de la Revista ABB.

³⁾ La soldadura de puntos por resistencia es un proceso que produce la soldadura final después de soldar cada componente en su posición.

Orientado al cliente

Puesta a punto de un sistema integrado de monitorización de accionamientos

Michał Orkisz, Jarosław Nowak, Maciej Wnek

Cuando se produce la rotura del equipo de una fábrica de forma inesperada, la producción se detiene, lo que se traduce en un costoso tiempo de inmovilización mientras se repara. Pero con los prestigiosos sistemas de monitorización del estado (CMS) de ABB para el seguimiento continuo del historial (es decir, el funcionamiento, el desgaste, los daños y el mantenimiento), se pueden prevenir estos contratiempos en la producción y, de esta forma, evitar a la empresa complicaciones económicas serias.

Uno de estos sistemas CMS es el sistema de monitorización de accionamientos de ABB. Los grandes accionamientos se utilizan para suministrar energía a equipos críticos, por lo que su mantenimiento continuo también es crítico. Los accionamientos, como los de media tensión

(MV) de ABB, sirven también de enormes bancos de datos que guardan la información relacionada no sólo con el rendimiento de los convertidores de accionamientos, sino también con el equipo impulsado y con todo el proceso de producción subsiguiente. Por su importante labor, es muy aconsejable contar con un CMS fiable e inteligente. Esto requiere un conocimiento profundo y un análisis del contexto operativo, de los requisitos de aplicación y de los datos de referencia. Pero esta información sólo se puede obtener mediante la aplicación práctica; en este caso, la cooperación con los clientes de ABB es fundamental. Para desarrollar el sistema de monitorización de accionamientos, ABB ha colaborado con varios clientes para probar el sistema en entornos industriales reales. Este artículo destaca a dos de esos clientes.



Uno de los túneles de comunicación más largos del mundo se está construyendo cerca de Sedrun en Suiza. La nueva línea de ferrocarril bajo el paso de San Gotardo tendrá más de 57 km de longitud e incluirá un total de 153,5 km de túneles, galerías y pasadizos. AlpTransit Gotthard Ltd lidera el proyecto, que se espera finalizar en 2016.

Para excavar el túnel, una gran máquina extractora operada por SIEMAG GmbH saca los escombros del túnel por una galería vertical de 821 m de longitud. El accionamiento ACS 6000 de varios megavatios de ABB, que impulsa el motor de la máquina extractora es uno de los primeros pilotos del sistema de monitorización de accionamientos. Aunque se probó exhaustivamente en el laboratorio, este CMS tuvo que verificarse en condiciones reales en la industria, con polvo, vibración y variaciones de temperatura, y, quizás lo más importante, necesitó datos reales de una aplicación real. La obra del túnel de San Gotardo reunía todas las condiciones. La instalación piloto ayudó a optimizar el diseño del hardware y permitió la evaluación del rendimiento y de la capacidad de almacenamiento de datos, además de cuestiones térmicas y de enfriamiento de la unidad de monitorización. Sólo una instalación real con un proceso cíclico podría permitir el análisis de los valores medios de la entrada de datos y la velocidad de procesamiento, lo que minimiza los costes de instalación de CMS para futuros clientes.

Este proyecto piloto proporcionó también una prueba de campo para la conexión remota en condiciones reales, aunque algo inusuales (bajo tierra). Para garantizar una conexión remota estable y un acceso seguro a los datos VPN (red privada virtual) entre el sitio del cliente y las oficinas de ABB, tenía que existir una estrecha colaboración entre los dos grupos.

El entorno industrial demostró también que los procedimientos de diagnóstico se habían

definido correctamente: ¿está respondiendo el sistema a los cambios como se había previsto? ¿Cómo se podría mejorar el diseño original para añadir incluso mayor valor, robustez y eficacia? El equipo de desarrollo no pudo responder solo a estas preguntas básicas.

Un proyecto piloto con el cliente proporciona una oportunidad en la que todos salimos ganando, tanto ABB como el cliente. Para probar el sistema de monitorización de accionamientos, los expertos de ABB observaron el estado del accionamiento de AlpTransit Gotthard con gran interés y minuciosidad al tiempo que también estaba siendo monitorizado automáticamente por el CMS. Por su parte, ABB tuvo la oportunidad de probar, eliminar errores y poner a punto un nuevo producto que se está utilizando en numerosas aplicaciones.

Un año de experiencia de pruebas en el lugar de excavación del túnel confirmó la robustez y la eficacia del sistema de monitorización de accionamientos. Sin detectarse fallos en el CMS, ABB pudo avanzar con confianza con un producto maduro.

Navegación en calma con el sistema de gestión del estado de la propulsión.

Imagine un petrolero de doble acción de más de 250 m de eslora que transporta 120.000 m³ de crudo y que corta el hielo con su hélice cuando navega a popa en las heladas aguas del mar Báltico, o un lujoso crucero con una tripulación de más de 1.300 y 2.500 pasajeros a bordo en unas vacaciones de ensueño a islas exóticas y tropicales.

Estos dos barcos tan diferentes tienen al menos algo en común: son ejemplos prácticos de una tecnología de vanguardia, donde la innovación se combina con el cuidado en términos de fiabilidad y vulnerabilidad del producto. El funcionamiento de estos dos barcos implica no sólo un coste económico, sino también una seguridad humana y medioambiental.

Ambas embarcaciones usan el sistema de propulsión Azipod®, que destaca por su gran maniobrabilidad, funcionalidad y eficacia, y ha sido desarrollado por ABB Marine, líder mundial en el mercado de la propulsión marina. Con instalaciones de diseño y fabricación en Helsinki, Finlandia, ABB Marine desarrolló un sistema completo de monitorización de la propulsión (sistema de gestión del estado de propulsión o PCMS), que incorpora no sólo la unidad Azipod®, sino también convertidores de frecuencia, transformadores, cuadros de conmutación, generadores, automatismos, controles y mucho más. La colaboración con Royal Caribbean Cruises Ltd para probar una parte del sistema jugó un papel decisivo en el desarrollo posterior del PCMS.

Diagnóstico del cojinete del eje

Uno de los componentes de mayor impacto crítico en todo el rendimiento del sistema Azipod® es el cojinete del eje, y de forma más precisa, un conjunto de cojinetes montados en un eje corto del motor que impulsa la hélice. Debido a las cargas dinámicas extremas que proceden directa-

Túnel de ventilación en Sedrun. © AlpTransit Gotthard Ltd



Colaboración en productos de automatización

mente de la hélice, estos cojinetes pueden deteriorarse. Para detectar en una etapa temprana esos defectos en los cojinetes de rodillos, ABB desarrolló un monitor del estado de los cojinetes (algoritmos novedosos de diagnóstico) como parte del DriveMonitor™ completo.

Para minimizar el riesgo de fallo de los cojinetes, ABB introdujo la siguiente estrategia de mantenimiento predictivo: si se pueden detectar los fallos de los cojinetes en una etapa temprana y predecir con suficiente precisión el tiempo de vida residual, se podrán planear con tiempo los atraques, los costes serán relativamente bajos y el cliente podrá coordinar el uso del barco para adaptarse a la planificación de los atraques. El objetivo principal fue desarrollar y usar técnicas específicas de diagnóstico que detectaran los problemas de los cojinetes en cuanto aparecieran, evitando al cliente un potencial desastre económico. Además, los componentes de diagnóstico se integrarían en el sistema de control de la propulsión, Azipod®, lo que permitiría a ABB Marine proporcionar grandes posibilidades de control, monitorización y

posibilidad de diagnóstico a los clientes finales.

Después de varias instalaciones piloto de corta duración en diferentes tipos de barcos navegando por aguas en diferentes condiciones, se recogieron una gran cantidad de datos sobre vibraciones que se usaron para ajustar los algoritmos de diagnóstico, de modo que fueran fiables e inmunes a falsas alarmas. Esta puesta en práctica real fue fundamental para obtener datos reales que puedan usarse para mejorar el componente del monitor de cojinetes del PCMS.

Con la plena confianza de Royal Caribbean en la experiencia de ABB y su apoyo al objetivo de ABB de mejorar el PCMS, se desarrolló el sistema final en uno de los grandes cruceros de Royal Caribbean. Se midieron periódicamente los datos en bruto de vibraciones, junto con el ángulo azimut y la velocidad de rotación de eje principal, y se procesaron durante casi un año.

El concepto del sistema era simple, aunque se usaron algunas técnicas avanzadas. Las vibraciones en el aloja-

miento del cojinete se recogieron con una unidad de recogida de datos con PC industrial instalada dentro del Azipod®, donde estaban expuestos en formato binario como vectores de datos y se transferían vía inalámbrica Ethernet al servidor de diagnósticos instalado en la sala principal de control eléctrico del barco. Se usaron técnicas envolventes de frecuencia, además de algoritmos recientes diseñados para la detección temprana de impulsos de choque, para procesar los datos de vibración. El ciclo completo de flujo de datos, desde las medidas a los cálculos, se activaba automáticamente a intervalos regulares.

Durante su funcionamiento, el módulo automático de detección de fallos no encontró indicios de defectos en los cojinetes. Sin embargo, el análisis periódico del espectro de vibraciones reveló información extra sobre la actuación del Azipod®. Aunque no alarmante, la existencia clara de armónicos especiales con origen en diseños eléctricos y mecánicos aportó un conocimiento extra sobre el comportamiento del sistema bajo determinadas condiciones. Los equipos de desarrollo de productos emplean este conocimiento en la etapa de diseño inicial de los cojinetes del eje.

Era imprescindible poder conectar a distancia las oficinas de ABB en tierra con el sistema de diagnóstico a bordo del barco. Con la ayuda del personal informático de Royal Caribbean, se utilizó una conexión VPN segura por satélite para acceder al servidor de diagnóstico 1. De este modo el personal pudo ver los cálculos recientes y descargar los datos necesarios en sus ordenadores, para comprobar la actuación del sistema de monitorización. El personal técnico del barco envió regularmente a ABB enormes cantidades de datos en bruto de vibración en CD para su posterior análisis.

Desarrollo del PCMS integrado

El diagnóstico de los cojinetes principales del eje, aunque crucial, sólo cubre una pequeña parte de todo el sistema de propulsión. Éste consta de numerosos componentes, incluida la aparatada de ABB, los relés de protección, los convertidores de frecuencia MV, los motores, los transformadores y las uni-

1 El concepto de acceso a distancia a un sistema de gestión del estado de propulsión (PCMS son las siglas en inglés) a bordo de un barco **a** que utiliza conexión a la red del operador del barco **b**, afianzada con tunelización de VPN (red privada virtual) e implantada con enlace por satélite **c** para supervisar el rendimiento del sistema de propulsión AZIPOD desde la oficina de servicio de ABB **d**

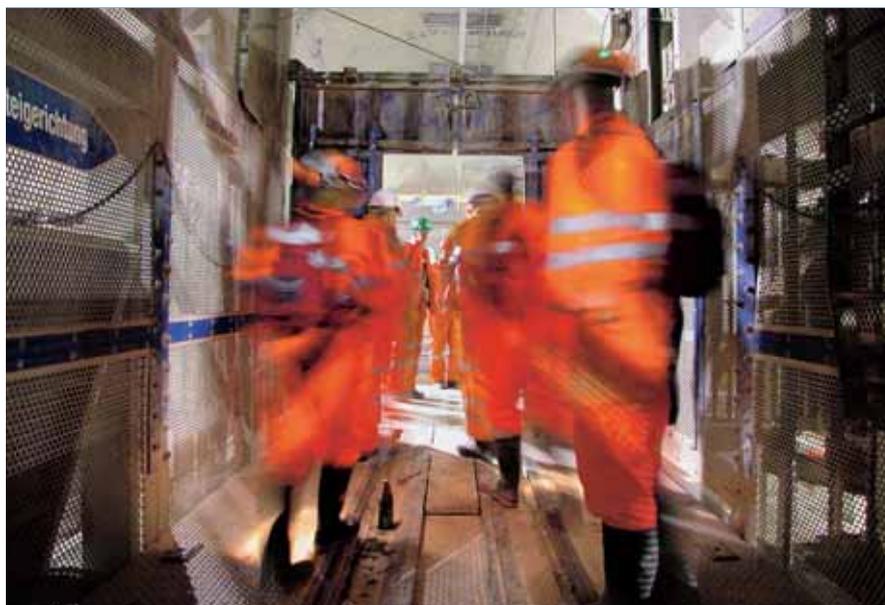


dades de control, además de productos de otros fabricantes como los sistemas de dirección hidráulica y de refrigeración. Para cada uno de estos componentes existen cientos de mediciones físicas diferentes, definidas y utilizadas, en parte para fines de control, pero principalmente para su visualización en los paneles de los operarios. Aportan información directa sobre el estado de los dispositivos donde se toma la medida y, además, contienen información sobre otros componentes involucrados en el proceso.

El verdadero reto es proporcionar un sistema de monitorización del estado que integre con éxito toda la información que esté a mano y ofrezca una forma sencilla de diseñar relaciones de diagnóstico entre las señales. Un sistema así eliminará el desarrollo de software de soluciones de diagnóstico, tan propenso a errores y que consume tanto tiempo, para aplicaciones específicas. Y el resultado es: una solución tipo Excel para definir el tipo, la secuencia de tiempos y la frecuencia de la recogida de datos, además de los cálculos necesarios, que proporciona información clara y constante sobre el estado de un subcomponente particular del sistema.

La visión técnica de un sistema así se ajusta perfectamente a la estrategia de servicio de ABB Marine y a las necesidades del cliente final, para dar apoyo al personal técnico con una herramienta integrada de monitorización de estado. El cliente debe tener acceso local o

Montacargas en Sedrun. © AlpTransit Gotthard Ltd



a distancia tanto a la información sistemática sobre el estado de los sistemas como al registro cronológico de las condiciones de funcionamiento del sistema de propulsión. Para mantener el PCMS, el cliente puede también contratar un servicio personalizado con ABB.

Puesta en práctica de un PCMS integrado

Tanto el sistema de monitorización del estado para los accionamientos MV utilizado en el túnel de San Gotardo como el módulo del monitor de activos de cojinetes utilizado en el transatlántico emplean una plataforma de ABB conocida como DriveMonitor™. Dado que los convertidores de frecuencia que se usan en el túnel y en el sistema de propulsión son casi idénticos, la elección natural fue aprovechar la experiencia ganada bajo tierra y aplicarla en ultramar.

Con mejoras constantes a medida que ABB aprende más de estas pruebas de campo, finalmente el PCMS podrá comunicar y recoger datos de todos los subcomponentes de los sistemas de propulsión. Conectará la mayoría de las señales a la plataforma de automatización y al control 800xA del sistema informático industrial. Los fallos, alarmas y datos en bruto, desde los relés de protección, pasando por los generadores y transformadores a la dirección, el sellado y la refrigeración del Azipod®, se importarán al PCMS. Se monitorizará

constantemente el número de parámetros, señales, acontecimientos y alarmas procedentes del convertidor de frecuencias. Además, se pueden usar dispositivos de monitorización del estado de otros fabricantes para obtener información precisa y complementaria sobre el estado de un activo en particular. Si el Azipod® falla, será importante determinar las condiciones externas en ese momento (es decir, la velocidad del barco, el rumbo, la velocidad del viento y el estado del mar). Finalmente, debe asegurarse el acceso a distancia desde la costa al servidor principal del PCMS en la sala de control eléctrico.

Tener la oportunidad de probar estos sistemas de monitorización del estado en situaciones reales es la única forma segura de desarrollar totalmente un PCMS. Los datos reales de entornos reales permiten a ABB crear productos duraderos con un gran número de aplicaciones. Pero para ello es esencial la colaboración del cliente.

Michal Orkisz
Jaroslaw Nowak
Maciej Wnek
ABB Corporate Research
(Investigación Corporativa)
Cracovia, Polonia
michal.orkisz@pl.abb.com
jaroslaw.nowak@pl.abb.com
maciej.wnek@pl.abb.com

Cuadro Royal Caribbean Cruises Ltd.

En 1969, tres compañías noruegas de transporte marítimo fundaron Royal Caribbean Cruises Ltd. El primer transatlántico de Royal Caribbean se puso en servicio en 1970. En la actualidad cuenta con una flota de 20 barcos con una capacidad de más de 47.000 personas. El Song of Norway fue el primer barco de pasajeros de Royal Caribbean que se amplió; se cortó en dos y se añadió una sección de 26 metros en el centro. La compañía tiene unos ingresos netos de más de 700 millones de dólares (información de 2005).[1]

Referencias

[1] www.royalcaribbean.com (junio de 2007)

Operaciones integradas

La creación de la compañía petrolífera del futuro
Svein Vatland, Paula Doyle, Trond Michael Andersen

Un consorcio para investigación y desarrollo liderado por ABB está colaborando con Statoil en el desarrollo de tecnologías y procesos de trabajo que permitirán a una de las principales compañías de petróleo y gas trabajar de forma perfecta y en tiempo real a través de fronteras organizativas y geográficas y tomar decisiones de forma más segura, mejor y más rápida.

El proyecto, conocido como „TAIL: operaciones integradas“, identificará maneras de aumentar la producción diaria en un 5-10%, reducir los costes de explotación y mantenimiento en un 30%, reducir a la mitad los incidentes no deseados referentes a seguridad y salubridad y al medio ambiente, y desarrollar tecnologías que ampliarán la vida productiva de los yacimientos de petróleo y de gas de Statoil.

En abril de 2006, la Asociación Noruega del Sector del Petróleo (OLF) publicó un informe acerca del “Valor potencial de las operaciones integradas en la plataforma noruega” [1]. El informe determinó que si las compañías de petróleo y gas que actuaban en la plataforma noruega integraran rápidamente sus operaciones, podrían aumentar sus ingresos procedentes de la plataforma en 41.500 millones de dólares. Si no lo hacen, pueden esperar una reducción de sus ingresos de más de 10.000 millones de dólares sólo en los tres próximos años.

Éstas son cifras impresionantes que reflejan el conjunto de retos que afronta el sector y la magnitud del premio que está en juego. Aunque la solución prescrita a estos retos tiene distintos nombres –*Integrated Operations* (operaciones integradas) en Statoil; *eOperations* (operaciones electrónicas) en Hydro; *Smart Field* (yacimiento inteligente) en Shell; *Field of the Future* (yacimiento del futuro) en BP; e *i-field* (campos asistido por Internet) en Chevron– los elementos esenciales son básicamente

los mismos: la utilización extendida de tecnología avanzada de información y de comunicaciones (ICT) y de datos en tiempo real; la introducción de nuevos procesos de trabajo basados en acceso en tiempo real a dichos datos, y el cambio organizativo, en especial la migración de funciones y de personal desde costosos emplazamientos offshore a emplazamientos consolidados en tierra. El informe concluye que, al integrar sus operaciones en la plataforma noruega, las compañías petrolíferas y de gas podrán acelerar y aumentar la producción, reducir los costes de explotación, mejorar la seguridad y aumentar la vida útil de sus yacimientos.

Statoil designa a ABB

Statoil **Cuadro 3** define las operaciones integradas (IO) como “colaboración interdisciplinaria, entre compañías y a través de fronteras organizativas y geográficas, que es posible mediante datos en tiempo real y nuevos procesos de trabajo, con objeto de alcanzar más rápidamente unas decisiones más seguras y mejores”. Para ayudar a identificar los métodos, las tecnologías y los procesos de trabajo necesarios para integrar sus operaciones, Statoil designó a ABB **Cuadro 2** como líder de un consorcio de I+D formado además por IBM, SKF y Aker Kvaerner **Cuadro 1**.

El proyecto conocido como “TAIL: operaciones integradas” arrancó en enero de 2006 y asignó los siguientes objetivos:

- Incrementar la producción diaria al menos en un 5% reduciendo las pérdidas de producción provocadas por fallos operativos, paradas por mantenimiento y un rendimiento inadecuado de los equipos
- Reducir en un 30% los costes de explotación, construcción y mantenimiento
- Reducir en un 50% el número de incidentes no deseados referentes a seguridad y salubridad y medio ambiente (HSE), y
- Ampliar la vida útil de los yacimientos de petróleo y de gas de Statoil.

El consorcio y Statoil contribuyen al proyecto en la misma medida en términos de aportaciones y recursos. Además, el Consejo Noruego de Investigación contribuye en gran medida a la financiación del proyecto, cuyo presupuesto es de 24 millones de dólares y cuya duración será de tres años y medio.

Importantes activos de Statoil

Statoil produce diariamente 1,1 millones de barriles de petróleo equivalente (BOE) y es el tercer vendedor neto de crudo del mundo. Explora 25 instalaciones offshore, unos 6.000 km de oleoducto e instalaciones y terminales en tierra en cinco países europeos en las orillas del Mar del Norte 1. Statoil es también uno de los productores y transportadores mundiales de petróleo y gas más eficientes desde el punto de vista del medio ambiente, y el Índice Mundial de Sostenibilidad Dow Jones le clasifica constantemente como la mejor compañía mundial de petróleo y gas en términos de sostenibilidad. La puesta en marcha de IO en todos estos activos requiere estrategias a corto

y largo plazo. A corto plazo, el interés se centra en efectuar mejoras en la explotación y mantenimiento diarios. Éstas van desde establecer centros de apoyo en tierra, mejorar los procesos de trabajo actuales, formación del personal en IO y en cooperación transfronteriza, así como invertir en ICT para hacer posible la colaboración en tiempo real. Un componente esencial del proceso es la participación de proveedores y recursos externos para dar soporte al mantenimiento y explotación de las instalaciones. A largo plazo será necesario invertir en nuevas tecnologías, procesos de trabajo y competencias, para efectuar con éxito la transición a una compañía de IO.

Statoil depende en gran medida de los contratistas y proveedores a lo largo de la cadena de valor para conseguir sus objetivos a corto y largo plazo. El modelo tradicional de I+D para gestión de activos raramente implica a proveedores y profesionales externos de una forma óptima. Para corregir esta situación, Statoil inició un nuevo modelo de asociación con importantes proveedores. El resultado de esto es, en el campo de gestión de activos, el contrato entre Statoil y el consorcio liderado por ABB.

El modelo de colaboración en I+D es, en sí mismo, una iniciativa de IO. Requiere colaboración entre distintas compañías, culturas y funciones (I+D y unidades de negocio), así como gestión conjunta y la utilización de un proceso Gate (puerta) para control del proyecto. Y, lo que es incluso más importante, las lecciones aprendidas de esta asociación demostrarán cómo Statoil y sus principales proveedores crean valor permitiendo que colaboren sus mejores recursos de I+D en un entorno sin fronteras. La colaboración en investigación se refiere a objetivos comunes, a confianza y a trabajar con objetivos significativos.

1 Emplazamientos de producción de Statoil



Nota a pie de página

¹⁾ Véase también la página 12 de esta edición de la Revista ABB.

Colaboración en productos de automatización

Desde el punto de vista del consorcio, el proyecto constituye una oportunidad única para obtener información de referencia de los clientes en una fase muy inicial del proceso de I+D. Esto permite a ABB y a sus socios del consorcio centrarse en los problemas reales del cliente. También garantiza que las tecnologías y los métodos desarro-

llados se validan en instalaciones piloto en un entorno operativo.

Cada equipo de I+D está compuesto por representantes de las cinco compañías. El proyecto ofrece a los miembros del equipo la oportunidad de experimentar y aprender de diferentes culturas de I+D y de intercambiar conocimientos y know-how. TAIL-IO es una oportunidad ideal para el consorcio para desarrollar las tecnologías petrolíferas del futuro en colaboración con un importante usuario final como Statoil y para probar en campo nuevos conceptos y tecnologías antes de aplicarlos en el mercado global.

Producción TAIL-end

Como su nombre en inglés indica, el objetivo inicial de TAIL-IO es mejorar las operaciones en yacimientos que se van acercando al final de su vida útil. La producción Tail-end es un reto muy importante al que se enfrentan todas las compañías petrolíferas y de gas. Es la fase en la que el ritmo de producción va disminuyendo, las instalaciones van envejeciendo y los costes de explotación son altos. Ampliar la vida útil de estos yacimientos es vital para todas las compañías, especialmente las que operan en la plataforma noruega.

TAIL-IO se divide en seis subproyectos, también conocidos como áreas de tecnología. Cada área de tecnología está estrechamente relacionada con las otras y se fomenta la colaboración entre todas ellas ².

1. Vigilancia de resultados y mantenimiento basado en el estado
El objetivo es crear un portal de vigilancia del estado que contenga los datos del estado de la planta para todos los equipos submarinos y de superficie críticos, así como dar soporte a los procesos en los centros de IO. El proyecto desarrollará métodos para la detección de fallos en una fase temprana y la predicción de la vida residual, así como para la vigilancia del estado de activos críticos como bombas, válvulas y equipo eléctrico, rotativo y estático.

2. Modelo de apoyo a las decisiones corporativas para la planificación estratégica de cambios de rumbo y cierres
El objetivo es desarrollar una herramienta que pueda acoger un amplio y complejo conjunto de datos con el objetivo final de eliminar paradas de activos.

3. Sistemas de comunicaciones inalámbricas y de sensores
Entre sus objetivos está el diseño de unos sistemas de comunicaciones nuevos y abiertos, la instalación de instrumentación inalámbrica para reducir cableado e inversión de capital, y la automatización de tareas de mantenimiento para reducir en número de horas-hombre dedicadas a esta actividad.

4. Herramientas de visualización para la colaboración en la preparación, formación, ejecución y apoyo a las operaciones de mantenimiento.
El objetivo es desarrollar una herramienta que pueda soportar una amplia variedad de funciones (incluyendo la colaboración en equipos de varias organizaciones) para realizar labores de mantenimiento y diagnóstico y mejora del nivel de asistencia desde centros de excelencia.

5. ICT móviles

El interés se centra en tecnologías hombre-máquina, procesos de trabajo e infraestructura de ICT móvil que den apoyo al personal de planta. La utilización cada vez mayor de redes y dispositivos inalámbricos hace que cada vez sea más posible que los técnicos de mantenimiento tengan acceso continuo a sistemas y personal de apoyo a través de una conexión

Cuadro 1 Miembros del consorcio

IBM

IBM es el principal proveedor mundial de middleware (*software intermedio*) y la segunda compañía de software en su conjunto. Es líder en consultoría de negocios, con más de 3.000 profesionales especializados en petróleo y gas en todo el mundo, y tiene la organización de investigación industrial más grande del mundo, con unos 3.400 empleados y ocho laboratorios de investigación repartidos por todo el mundo. Cifra de negocio del grupo en 2006: 91.400 millones de dólares

SKF

SKF es uno de los principales proveedores de productos, soluciones y servicios en rodamientos, juntas, mecatrónica, servicios y sistemas de lubricación. Su unidad de negocio de sistemas de fiabilidad proporciona sistemas, software y consultoría de valor añadido en fiabilidad de maquinaria. Cifra de negocio del grupo en 2006: 7.700 millones de dólares

Aker Kvaerner

Aker Kvaerner es uno de los principales proveedores mundiales de servicios de ingeniería y construcción, productos de tecnología y soluciones integradas en petróleo y gas, refinado y productos químicos, minería y metales, y generación de energía. Cifra de negocio del grupo en 2006: 8.400 millones de dólares

² Subproyectos de „TAIL: operaciones integradas“



Cuadro 2 ABB y Statoil

ABB y Statoil mantienen una larga y estrecha relación que se remonta a muchos años atrás, y que abarca a la mayoría de los segmentos de la cadena de valor del petróleo y del gas.

Troll A (a la izquierda) de los yacimientos de gas natural más grandes del mundo, está dotado de energía por medio de dos tecnologías exclusivas de ABB: motores de HVDC (corriente continua de alta tensión) Light y motores de alta y de muy alta tensión. Esta solución, la primera de suministro de energía desde tierra en el mundo, permitió a Statoil aumentar su capacidad en 25 millones de metros cúbicos de gas natural al año y



reducir las emisiones anuales de CO₂ en 230.000 toneladas.

Yacimiento de gas Snohvit y planta de licuefacción de gas de Hammerfest. Un sistema de automatización, seguridad y electrificación de ABB, completo y totalmente integrado, permitirá a Statoil, cuando comience la producción a finales de 2007, explotar y vigilar la instalación submarina desde un lugar en tierra y conseguir una eficiencia energética no igualada por ninguna otra instalación de GNL del mundo.



inalámbrica y una PDA (ayudante personal digital).

6. Robótica

El sexto subproyecto se concentra en la tecnología robótica para complementar y extender la capacidad de inspección e intervención humanas en instalaciones submarinas, de cubierta y terrestres. El objetivo es desarrollar soluciones que combinen la telerrobótica con la visualización avanzada para permitir operaciones de inspección y mantenimiento a distancia, así como para identificar y cerrar los vacíos de tecnología.

Cuadro 3 Statoil

Statoil es una compañía integrada de petróleo y gas y el principal operador en la plataforma continental noruega. Con actividades de exploración y producción en 15 países, Statoil es uno de los principales proveedores mundiales de crudo y un importante proveedor de gas natural para el mercado europeo. Cifra de negocios en 2006: 71.700 millones de dólares.

Colaboración creativa

Establecer una cultura de proyecto que alimente la creatividad y la innovación es un objetivo en el que están implicados muchos socios e intereses. Para que la complejidad sea mayor, en el proyecto están participando también un gran número de institutos externos de investigación. En efecto, TAIL-IO acoge en este momento a cinco estudiantes de doctorado y a cinco candidatos de postdoctorado.

El factor de creatividad se ha resuelto proporcionando a los investigadores un entorno exigente y de apoyo con objeto de mantener altos niveles de creatividad en las personas y los equipos. El proyecto TAIL-IO está demostrando ya su éxito al ofrecer a los investigadores una diversidad de retos en lo que respecta a tecnología, procesos de trabajo y colaboración, así como la posibilidad de continuar el proceso de I+D desde la generación de la idea hasta una instalación piloto. La transparencia y el compartir nuevas ideas constituyen también un reto. Se

ha establecido un sistema para registrar las invenciones, con objeto de garantizar que nadie deje de expresar sus ideas y que los creadores de las mismas reciban el reconocimiento correspondiente. El objetivo es transformar dichas ideas en soluciones, convertir las instalaciones piloto que presenten buenos resultados en activos de Statoil y, para los miembros del consorcio, introducir la tecnología en el mercado global.

Lanzamiento piloto

TAIL-IO está entrando ahora en la fase de lanzamiento piloto, con varias tecnologías y soluciones listas para pasar a la etapa piloto. Por ejemplo, en el laboratorio han tenido lugar pruebas exhaustivas de tecnología inalámbrica para entornos industriales, que está a punto de instalarse en fase piloto en varios emplazamientos de Statoil. Una plataforma de pruebas de robótica a gran escala está lista para su instalación en un laboratorio de ABB, y se probarán en fase piloto varias tecnologías de vigilancia de estado y resultados que permiten el acceso a los datos independientemente de la ubicación, y que son unas verdaderas herramientas de IO. La prueba del éxito de estas y de otras tecnologías y soluciones desarrolladas en el proyecto TAIL-IO será su instalación, en su momento, en una gran cantidad de activos e instalaciones.

Svein Vatland

ABB Process Automation, Oil and Gas (Petróleo y gas, Automatización de procesos)
Oslo, Noruega
svein.vatland@no.abb.com

Paula Doyle

ABB Strategic R&D for Oil and Gas (I+D estratégica para petróleo y gas)
Oslo, Noruega
paula.doyle@no.abb.com

Trond Michael Andersen

Statoil R&D (I+D)
Trondheim, Noruega
tman@statoil.com

Referencias

- [1] The Norwegian Oil Industry Association, Potential Value of Integrated Operations on the Norwegian Shelf, 2006.

Lo que pueden decirnos los bucles

Supervisión del rendimiento de una central con ayuda del control de bucle
Manfred Rode, Ulrich Dombrowski, Jörg Budde



Las grandes instalaciones industriales, como las centrales eléctricas, constan de numerosos componentes y subprocesos que funcionan en conjunción para dar forma al proceso general de la manera más fluida y óptima posible. Esto se consigue con cientos, a veces millares de bucles de control que hacen funcionar a central de la manera que desea el propietario. La central puede funcionar de forma óptima sólo si todos los bucles de control están perfectamente alineados entre sí. Hasta el momento, se ha observado que esta alineación exige mucho tiempo y dinero en la práctica, ya que cada modificación y cada actualización exigen una reoptimización constante, aparte del envejecimiento natural de los componentes de la central. Por esta razón, casi todas las centrales funcionan a un nivel por debajo del considerado óptimo. Junto con STEAG, ABB ha desarrollado procesos de supervisión del rendimiento para centrales eléctricas que permiten una vigilancia posterior continua de manera que la central pueda funcionar al nivel óptimo.

Cuando hablamos de “supervisión del rendimiento de una central” nos referimos al control del rendimiento de una planta de producción. El control del rendimiento está determinado por muchos factores. Además del natural envejecimiento de los componentes de la central, también las interrupciones y los ajustes defectuosos (como unas válvulas incorrectamente alineadas) desempeñan su papel. Las modificaciones relacionadas con el proceso repercuten siempre en el comportamiento general de la central, algo que no se tuvo en cuenta en un principio. Los factores relacionados con el tiempo y el dinero que se producen después de estas modificaciones hacen, pues, que los operadores hagan funcionar temporalmente la central por debajo de su capacidad. La compleja tarea de analizar las causas puede resultar desalentadora, puesto que la identificación positiva de una función que se encuentra por debajo del nivel óptimo exige la interpretación de grandes volúmenes de datos.

Las grandes instalaciones, como las centrales eléctricas, suelen tener entre varios centenares y varios millares de bucles de control. Sólo un número limitado de éstos recibe atención especial, ya que sus fallos de funcionamiento repercuten directamente en las operaciones. La mayoría de los bucles de control, por otra parte, se producen más o menos en un segundo plano, puesto que los fallos de funcionamiento no repercuten de forma directa en el rendimiento de la central. Ahora bien, su función es significativa por lo que se refiere al rendimiento óptimo de la central en conjunto.

La relación entre el “bienestar” (es decir, el rendimiento) de una central y un bucle de control se hace manifiesta si tenemos presente la función que cumple un bucle en una central.

La desviación de control –una medida de la desviación de la variable del proceso que va a someterse a control (variable controlada) y del objetivo necesario (punto de consigna)– es lo que inicia un flujo de masa o energético. Además de la variable controlada y del punto de consigna, un bucle de control tiene también una variable de salida, que es la variable que controla el flujo de masa o energético a partir de las especificaciones de control que se apliquen. Éstas se utilizan para ma-

nipular un componente de la central de manera que la variable controlada vuelva a alinearse con el punto de consigna. Inducir esta realineación y, en especial, mantenerla a pesar de las posibles interrupciones imprevistas son los objetivos principales de un bucle de control.

Análisis de la señal del bucle de control

Los bucles de control son en esencia las nervaduras de una instalación. Y el “estado” en que se encuentran estos bucles nos permite extraer conclusiones sobre las condiciones en las que está la planta. Puesto que los bucles de control están conectados entre sí a través de los componentes de la central, un funcionamiento defectuoso en un componente tendrá su repercusión en otro componente, probablemente distante del primero. Aunque se intenta minimizar tal repercusión mutua por medio de desacoplamientos relacionados con el proceso (como la memoria *buffer* o intermedia), no se puede eliminar por completo.

Las tres variables juntas del bucle de control (punto de consigna, variable controlada y variable de salida) suelen ser suficientes para valorar la funcionalidad de un bucle de control y, por tanto, del correspondiente componente de la central. Por lo común, la funcionalidad de un bucle de control se comprueba con el análisis de las anomalías del punto de consigna durante la activación. Teniendo en cuenta la multitud de controles que hay en una central, no resulta difícil entender por qué se usa cada vez menos este tipo de control de calidad durante el funcionamiento, habida cuenta de los costes y la escasez de tiempo.

Un concepto probado

El concepto de aplicar bucles de control de estado como indicadores de la condición en que se encuentra una central fue objeto de amplias investigaciones en el decenio de 1980. Un sector esencial fueron las industrias pape-leras. La idea fundamental era no tener que analizar uno por uno los bucles de control, como sucede en el método clásico de anomalías ya mencionado. Tenía que haber una forma de usar los patrones de la señal durante el funcionamiento para así obtener información sobre la calidad de los bucles de control y para poder extraer conclusiones

sobre el rendimiento de la central en conjunto.

Otra cuestión era eliminar un problema originado por la falta creciente de personal cualificado. Mientras que en el pasado un ingeniero solía ser responsable de tal vez una docena de bucles, hoy en día tiene que ocuparse de varios centenares de bucles de control. En consecuencia, la supervisión individual ha dejado de ser una alternativa, por la cantidad de tiempo que exige. Al utilizar términos como “supervisión de bucles de control”, “evaluación del rendimiento de los bucles de control”, “auditoría de bucles” y “supervisión del rendimiento de control”, los ingenieros han desarrollado métodos de naturaleza parecida que, sobre la base de numerosas variables estadísticas y sus interconexiones, ofrecen un análisis cuantitativo de un bucle de control individual [1].

En este momento, tales métodos se han comprobado en la práctica y son válidos desde el punto de vista funcional. Resultan atractivos no sólo para las papeleras, sino también, cada vez más, para la industria química. Y no es extraño si tenemos presentes las cantidades de dinero que debe invertir la industria química en un bucle de control: si se incluye el sistema de medición, el actuador, los controles y la transferencia de señal, la cifra puede oscilar entre 5.000 y 100.000 euros [2]. En este contexto, los posibles recargos de entre 100 y 200 euros por bucle de control por incluir la supervisión del rendimiento de control (CPM por sus siglas en inglés) son, de hecho, menos significativos.

Por lo que se refiere a la supervisión del rendimiento de una central, hay otro argumento para la realización de la CPM: los mencionados problemas de

Cuadro STEAG GmbH

STEAG GmbH es una filial de RAG y la quinta productora de energía eléctrica más grande de Alemania. Se dedica principalmente a la generación de electricidad en centrales eléctricas de carbón.

- Potencia eléctrica instalada total: 9.000 MW
- Cifra de negocios en 2006: 2.730 millones de euros
- Trabajadores: casi 5.000

<http://www.steag.de> (junio de 2007)

Colaboración en productos de automatización

calidad asociados al establecimiento y el dimensionamiento de los controles. Según las estimaciones realizadas, un tercio aproximadamente de los bucles de control funcionan bien mientras que otro tercio resultan, por término medio, sólo útiles. Cerca del 30 % de los controles funcionan sobre todo de forma manual, debido a que su rendimiento de control es inadecuado.

¿Por qué no aplicarlo en las centrales eléctricas?

La herramienta informática desarrollada por ABB OptimizeIT Loop Performance Manager (LPM) incluye algoritmos que estudian en línea las señales del bucle de control y ofrecen un análisis de control actualizado y virtual. Es decir, en este caso la realización de una prueba aparte de las funciones individuales basada en el método del punto de consigna/perturbación resulta ahora anticuada: el comportamiento de la central en condiciones de funcionamiento normales ya facilita suficiente información sobre la calidad de los controles. El equipo de control del proceso en la central térmica de STEAG de Lünen, Alemania (*véase la fotografía que acompaña al título de este artículo*),

era muy partidario de probar el proceso de ABB para análisis de rendimiento en sus instalaciones. “Disponemos de muchos y muy diversos datos sobre nuestros controles, que pueden utilizarse para comprobar la compatibilidad de la central con los procesos CPM”, era su desafiante afirmación.

A este respecto, un activo importante era la ya larga y positiva cooperación entre STEAG y ABB: por un lado, la central tenía ya un sistema de control del proceso de ABB; por otra, el Servicio ABB llevaba años encargándose del mantenimiento de la planta, dos condiciones básicas que resultaron de utilidad para el experimento.

Lo que era prometedor sobre todo era la sinergia entre el personal de la central, la larga experiencia en servicios de mantenimiento de ABB y los conocimientos técnicos del personal científico de ABB para desarrollar un nuevo enfoque para acondicionar el control del rendimiento al sector de las centrales eléctricas.

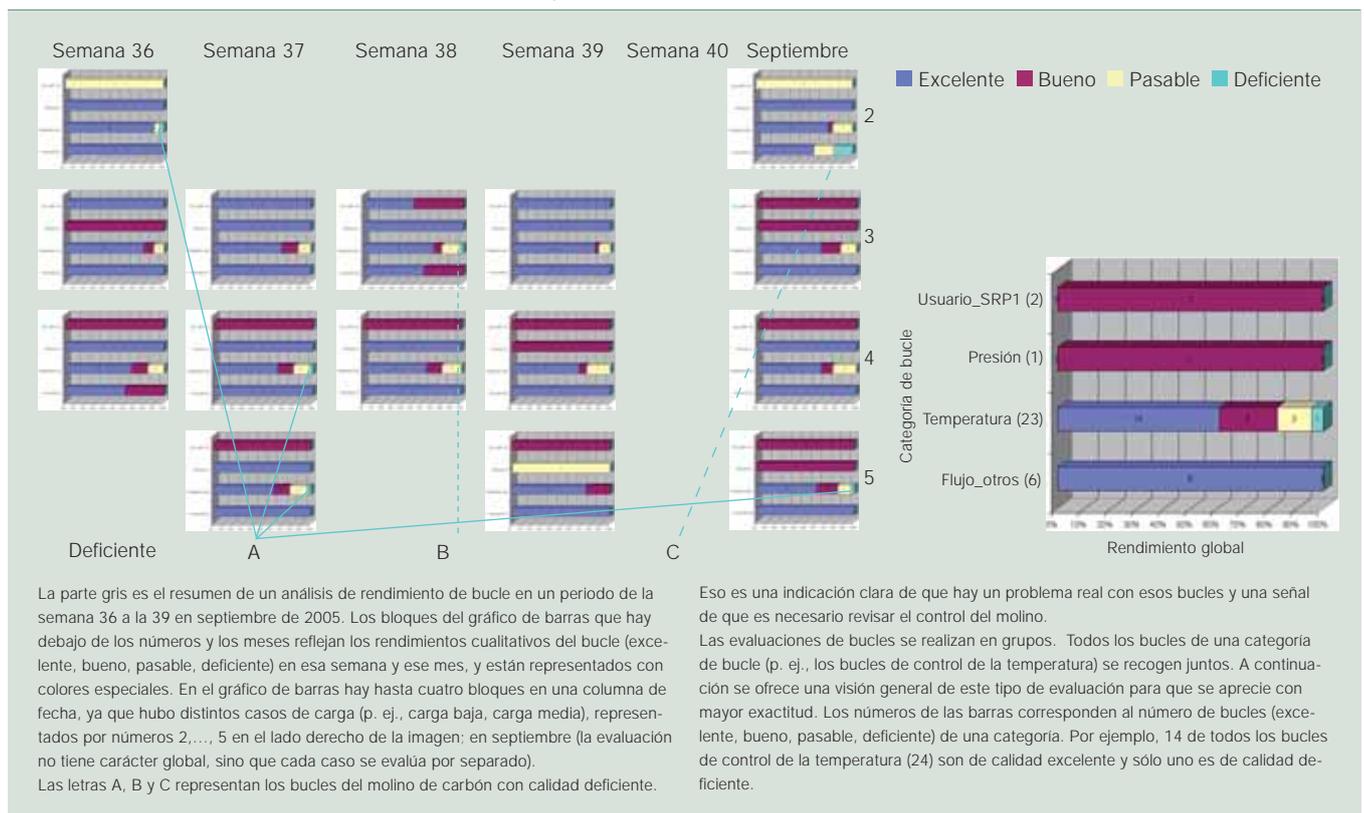
El supuesto de prueba elegido para la central fue la inducción de aire en la cámara de combustión. Es sabido que esta área suele ser una posible fuente de fallos debido a las grandes

cantidades de aire, a los largos conductos de aire y a los molinos dispersos. Los ingenieros escogieron deliberadamente una zona limitada de la central. De ese modo podían concentrarse en peculiaridades exclusivas de las centrales eléctricas y garantizar que el resultado pudiera verificarse también con métodos tradicionales.

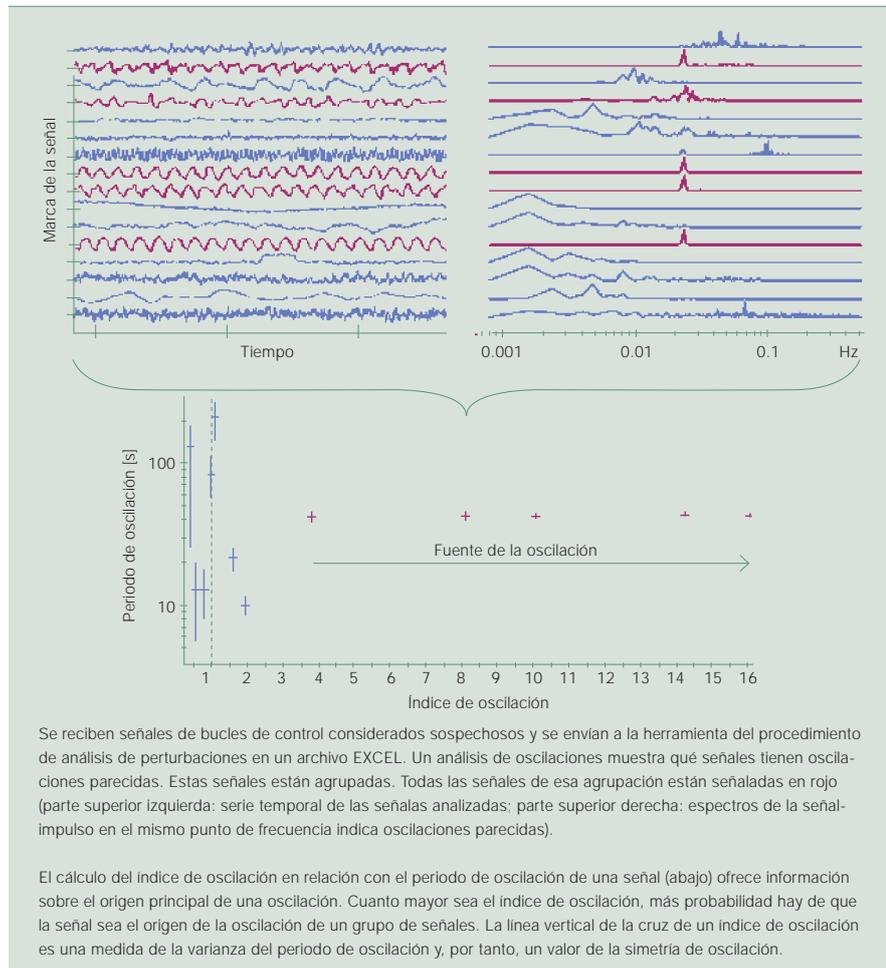
Para poder analizar asimismo datos archivados, los algoritmos, desarrollados en parte en el centro de investigación de ABB, se introdujeron en un marco informático que permitía el acceso a archivos de datos exportados y mostraba los resultados del análisis en EXCEL. Tal enfoque representaba una solución que era independiente de los sistemas de control del proceso **1**.

Las primeras aplicaciones in situ revelaron las diferencias entre centrales eléctricas y papeleras. Mientras que no cabe duda de que las centrales térmicas actuales, incluidas las dedicadas a operaciones básicas, pueden funcionar, en condiciones de carga plena una vez, y de carga ligera la siguiente, la fabricación de papel se realiza en unas condiciones básicas relativamente uniformes. De modo que las condiciones de trabajo de un control varían en consecuen-

1 Resultado de un análisis de la señal del bucle de control que abarcó varias semanas



2 Procedimiento de un análisis de perturbaciones a escala de planta



cia en una central eléctrica. Pronto se hizo evidente que no todos los datos necesarios estaban disponibles en un archivo, ya que los análisis de datos basados en los cálculos matemáticos requieren variables que suelen descartarse en los análisis meramente empíricos basados en curvas. Sin embargo, la estrecha cooperación entre el motivado personal de la planta y el Servicio y el centro de investigación de ABB hizo muy fácil alcanzar soluciones. Mientras que el personal de la central rellenaba los datos del archivo, el Servicio ABB preparaba el terreno para que la exportación de datos fuera de la máxima eficacia. En ello intervenían enormes cantidades de datos que se analizaban en los laboratorios del centro de investigación de ABB en Ladenburg, donde se desarrollaron los suplementos necesarios de los algoritmos analíticos. Se advirtió que, para poder acceder a enormes cantidades de datos de bucles de control correspondientes a una cen-

tral eléctrica, era conveniente aplicar un proceso que no se había previsto utilizar en centrales eléctricas. El „análisis de perturbaciones a escala de planta“ (PDA) es un método para el análisis de datos de las señales distinto de los métodos tradicionales [3]. El PDA permite realizar mejores análisis del acoplamiento entre los componentes de la central, y es una forma más fiable de averiguar la causa de una interrupción [2]. La evaluación de los resultados del análisis, y el debate posterior, de cerca de tres docenas de bucles de control – aparte de la distribución de aire, al proceso de control se añadió después el control del sobrecalentamiento del vapor– a lo largo de un periodo de cerca de un mes ofreció unas perspectivas nuevas y fascinantes de los componentes de la central analizados. A partir de los datos del bucle de control, los ingenieros pudieron presentar al cliente unos vínculos que de otro modo no hubieran sido tan claros. Así se contestaron algunas algunas de las preguntas

pendientes del cliente. A consecuencia del éxito del análisis en línea, el proceso se está ampliando ahora a todo el bloque de la central eléctrica.

Más aplicaciones de la supervisión del rendimiento de control (CPM)

Dado que ya es posible aplicar la CPM a centrales eléctricas, la cartera del Servicio ABB se ha ampliado para incluir también este servicio, el cual no sólo facilita el trabajo del personal cualificado de la central eléctrica, sino que también constituye el fundamento para la elaboración de una base global de conocimientos sobre el comportamiento de los bucles de control en centrales eléctricas.

Además, no es necesario instalar de instalar un PC de análisis especial e incluirlo en la red de la central.

La CPM permite realizar con la mayor facilidad análisis de bucle de control esporádicos y cíclicos a intervalos largos.

El debate sobre los resultados del análisis, que siempre se basa en datos bien fundamentados, entre el personal de la central y el Servicio ABB son la base de las medidas que deben adoptarse.

El proyecto desarrollado junto con STEAG ha vuelto a demostrar que la combinación de expertos de distintos campos científicos puede ser muy fructífera.

Manfred Rode

ABB Corporate Research
Ladenburg, Alemania
manfred.rode@de.abb.com

Ulrich Dombrowski

STEAG GmbH
Lünen, Alemania
ulrich.dombrowski@steag.de

Jörg Budde

ABB Power Technology Systems
joerg.budde@de.abb.com

Referencias

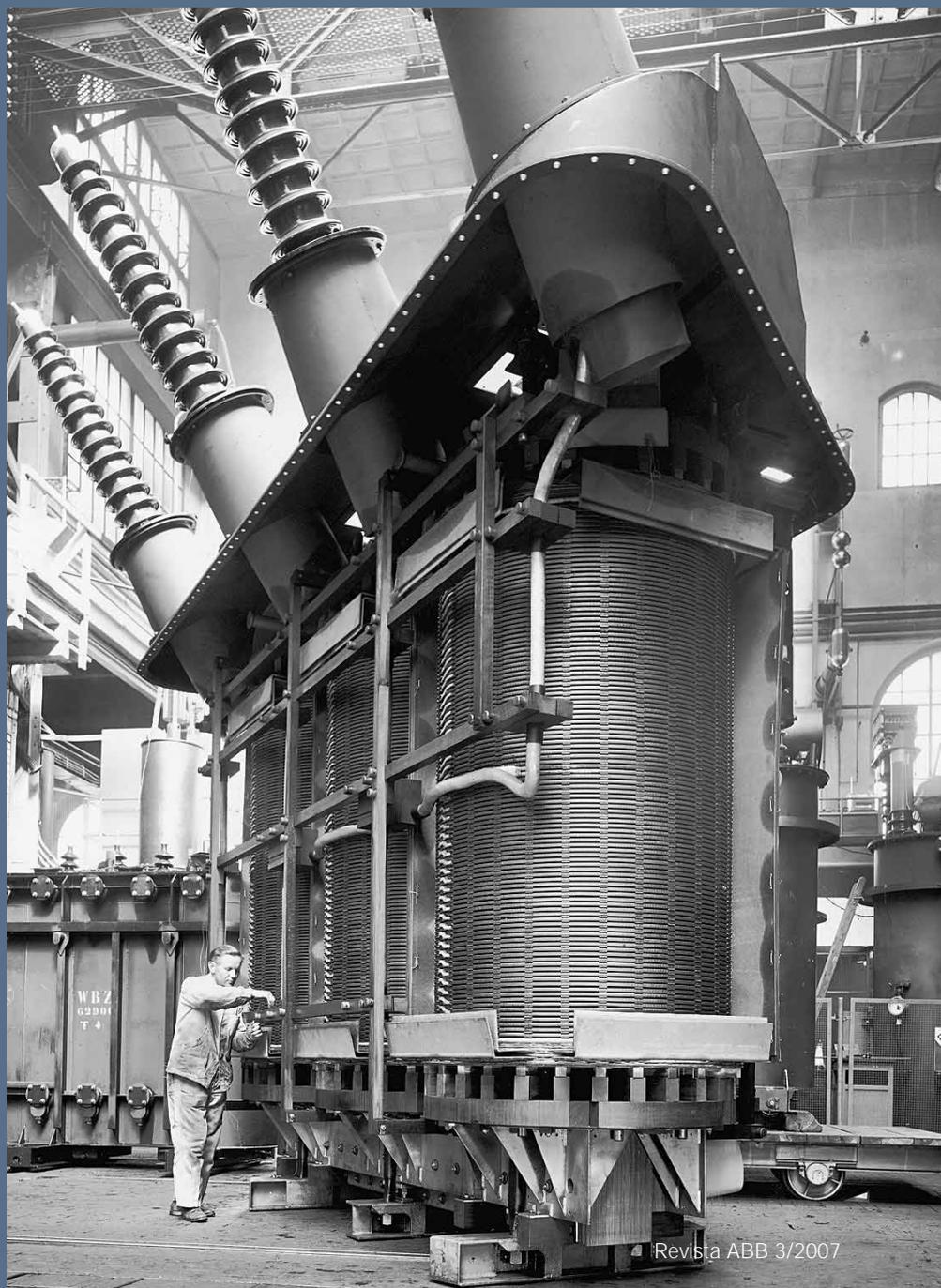
- [1] Rode, M., 2004, Control Performance Monitoring – Ein effizientes Verfahren für die Zustandsüberwachung von Produktionsprozessen, BWK volumen 56 N° 9, 51-55
- [2] Dittmar, R., Bebar, M., Reinig, G., 2003, Control Loop Performance Monitoring – Motivation, Methoden, Anwenderwünsche, Automatisierungstechnische Praxis 45 N° 4, 94-103
- [3] Horch, A., Cox, J., Bonavita, N., 2007, Peak performance – Root cause analysis of plant-wide disturbances, Revista ABB, 1, 24-29

Transformar la historia

La historia del transformador eléctrico ABB
Thomas Fogelberg, Åke Carlsson

Imagine por un momento un mundo sin transformadores eléctricos: no habría sistemas de transmisión de alto voltaje y por consiguiente, no habría forma, desde el punto de vista económico, de transportar la electricidad a largas distancias. La infraestructura del suministro de energía no tendría ni las economías de escala ni la acumulación de recursos que disfrutamos hoy en día. Otros avances más recientes que no habrían sucedido son el comercio energético internacional, con sus beneficios para el cliente, o el aprovechamiento a gran escala de la energía eólica en regiones lejanas, con sus beneficios medioambientales. Hoy en día no se podría confiar tanto en la energía eléctrica, sería más cara, y las industrias y los hogares tendrían un aspecto muy diferente.

Prácticamente a lo largo de toda la historia de los transformadores comerciales, ABB y sus compañías predecesoras han estado a la vanguardia de su fabricación y desarrollo. En este artículo, la Revista ABB examina los momentos más importantes de este desarrollo.



ETERNO ESPÍRITU PIONERO

ABB ha estado siempre en una buena posición para satisfacer las demandas del mercado de los transformadores eléctricos, desde las piezas simples de equipamiento en transmisiones punto a punto hasta los ingredientes vitales de las redes eléctricas interconectadas que se extienden por vastas áreas.

Desarrollo de potencia y de tensión

A finales del siglo XIX, el transformador demostró ser un componente indispensable para la transmisión competitiva de la energía eléctrica. Durante la exposición de Frankfurt am Main en Alemania del año 1891 se hizo una demostración de una instalación de 20 kV donde se probó la viabilidad de los transformadores eléctricos. Dos años más tarde, ASEA, una de las empresas matrices de ABB, suministró una de las primeras transmisiones comerciales trifásicas en Suecia, desde una central hidroeléctrica a una mina de mineral de hierro a 10 km de distancia.

Los transformadores hicieron posible generar energía eléctrica a baja tensión y después transformarla a niveles más altos a los que la transmisión sufre bastantes menos pérdidas, transformando después la tensión a un nivel más seguro en el lugar de consumo.

La fabricación de transformadores comenzó en la mayoría de los países de Europa y EEUU. ASEA, BBC, General Electric, Westinghouse y otras compañías adquirieron rápidamente experiencia en la fabricación e instalación de transformadores **1**. En aquel momento, todas eran compañías nacionales con tecnologías patentadas que abastecían a empresas de servicios públicos locales en estrechas asociaciones.

Países como Suecia, que no posee prácticamente ninguna reserva nacional de combustibles fósiles pero tiene un gran potencial para la energía hidroeléctrica, aunque lejos del usuario, se mostraron especialmente entusiasmados en hacer uso de la transmisión de la energía eléctrica. A medida que las distancias de transmisión aumentaban, la tensión de transmisión

también tenía que elevarse para que las pérdidas continuasen siendo bajas y reducir el número de líneas necesarias en paralelo.

A principios de los años cincuenta, Suecia puso en marcha la primera transmisión de 400 kV del mundo con una longitud de 1.000 km y una capacidad de 500 MW. Este gran avance en la tensión y en la capacidad marca un nuevo nivel en Europa.

Esta tensión extra alta (EHV) puso a prueba no sólo la capacidad de diseño y fabricación, también supuso un desafío para las pruebas. Las líneas de transmisión de gran longitud presentaban un riesgo de tensiones transitorias. Tuvieron que establecerse procedimientos de pruebas nuevos y más

1 Uno de los primeros transformadores trifásicos construido según una patente de Johan Wenström, el genio técnico de los primeros años de ASEA. Wenström denominó a su transformador conversor triple



2 El transformador elevador para generadores Harsprånget de 400 kV: unidades monofásicas con devanados de baja tensión abastecen a generadores en paralelo con una potencia nominal de 105 MVA



estrictos para el dieléctrico. Estas nuevas pruebas se incorporaron a los ensayos de aceptación de los transformadores.

Pronto, la mayor parte de Europa seguía el ejemplo de Suecia y adoptaba la tensión extra alta (EHV) de 400 kV

2. La provincia canadiense de Quebec tenía una situación similar a Suecia, con limitados combustibles fósiles y abundante energía hidroeléctrica, además de grandes distancias geográficas entre éstas y las áreas industrializadas. Se necesitaban tensiones aún mayores para hacer un uso eficiente de estas fuentes energéticas. En la segunda mitad de los años sesenta, la compañía eléctrica Hydro Quebec introdujo una transmisión de 735 kV (nivel que se llamó posteriormente de 800 kV).

En EEUU, la construcción de grandes centrales térmicas cobró pulso, con plantas del tamaño de edificios, de 1.000 MW y más. Para que esas plantas tan grandes fuesen viables, la energía eléctrica tenía que distribuirse a largas distancias cubriendo vastas áreas. Por lo tanto, se introdujo un sistema de 765 kV además del de 345 kV ya existente.

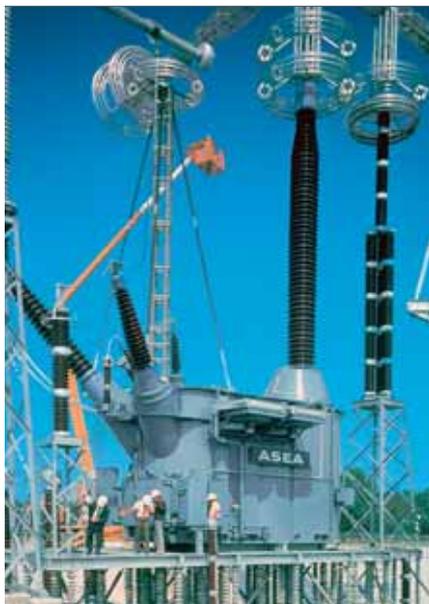
Al tiempo que se estaban construyendo sistemas de 765 kV, se extendían los de 500 kV. Un ejemplo de trabajo de desarrollo en los grandes transformadores de interconexión son las primeras unidades monofásicas de 400 MVA con una potencia nominal de 500/161 kV, que se entregaron a las autoridades del valle de Tennessee (TVA).

Las primeras entregas de ASEA en Ludvika con este objetivo usaban un núcleo de cinco columnas con tres devanados en paralelo.

Posteriormente, el número de devanados se redujo de tres a dos para la misma potencia nominal. Finalmente, la última entrega con las mismas especificaciones se construyó con un devanado principal y la parte de regulación de la tensión en una de las columnas laterales. En todos estos transformadores los devanados de alta y baja tensión estaban separados, es decir, no existía conexión entre ellos. Además de ahorrar horas de mano de obra en fabricación

ETERNO ESPÍRITU PIONERO

3 El transformador UHV de 1785 kV instalado en la estación de pruebas de AEP-ASEA en las afueras de South Bend, EEUU. El transformador se instala en una plataforma aislada para estudiar el efecto de las tensiones entre fases de las líneas hasta 2.200 kV



4 Sistema de pruebas para 1.000 kV con transformador y reactor shunt en la estación de investigación de ENEL en Italia



5 Uno de los seis transformadores para convertidores instalados en el extremo receptor de la transmisión Pacific Intertie que abastece a Los Angeles



debido al menor número de devanados, la transición del primer diseño al último redujo la masa seca total en una cuarta parte. Las pérdidas totales (pérdidas sin carga y pérdidas de carga) también se redujeron en un 20%. Tras finalizar estas entregas, el cliente empezó a adquirir e instalar transformadores de transmisión autoconectados con las mismas especificaciones.

A principios de los años setenta, la TVA puso en marcha la primera central eléctrica de 1.200 MVA en Cumberland, Tennessee. ABB Ludvika fabricó los transformadores elevadores para generadores (420 MVA nominal) con un diseño monofásico. Estos transformadores representaban un gran avance técnico en términos de capacidad de potencia en un devanado.

Al mismo tiempo, ABB Ludvika lanzó un programa de desarrollo junto con American Electric Power (AEP), la compañía eléctrica privada más grande de Norteamérica, con el propósito de encontrar la tensión de transmisión más alta técnicamente posible. Para ello, ABB fabricó un gran transformador de red monofásico con una tensión máxima de 1.785 kV y 333 MVA de potencia nominal. El transformador tenía un devanado y, con un núcleo ampliado de cinco columnas con tres devanados, la capacidad habría sido de 1.000 MVA por fase, es decir, una capacidad total de 3.000 MVA en un banco trifásico completo. El transformador se instaló y se utilizó en las instalaciones de investigación dirigidas conjuntamente por ABB y el cliente. El transformador funcionó con éxito hasta la finalización del programa de investigación **3**.

Otras empresas predecesoras de ABB también se embarcaron en programas de desarrollo similares, con el objetivo de conseguir diseños para transformadores capaces de manejar tensiones de transmisión de 1.000 kV y superiores. Un ejemplo son el transformador y el reactor shunt construidos en Italia para 1.000 kV e instalados en la estación de pruebas de ENEL en Suveto **4**.

El cambio en las pautas de producción de energía y el aumento del número de redes eléctricas tuvo como consecuencia el aplazamiento de la búsqueda de tensiones de transmisión más elevadas

y capacidades extremas. Las tensiones superiores a 400 kV en Europa y 800 kV en otros continentes no se han puesto en servicio hasta ahora para uso comercial. La necesidad de una capacidad elevada, una transmisión a larga distancia, por ejemplo, para llegar a centrales hidroeléctricas grandes y alejadas, ha vuelto a despertar el interés en China y la India por la búsqueda de tensiones en el rango de 1.000 a 1.200 kV.

Tipos de transformadores

La mayoría de los transformadores se basan en el concepto de tipo núcleo de hierro, un concepto que se puede describir en la actualidad como unos devanados en forma de cilindros dispuestos en forma concéntrica en un núcleo con forma de cilindro. Un concepto de diseño alternativo es el llamado tipo acorazado, donde los devanados tienen una forma rectangular y los segmentos de alta y baja tensión están más o menos entrelazados. Para algunas aplicaciones el concepto de tipo acorazado ha encontrado una posición viable, por ejemplo grandes transformadores de generadores con requisitos especiales. Las grandes diferencias en cuanto a las técnicas de producción para los dos diseños hacen que sea posible tener un taller diferente para cada concepto. Así, ABB ha establecido la producción de la mayoría de los transformadores de tipo acorazado en su fábrica en España.

Reestructuración de la manufactura

Los transformadores eléctricos se consideraban antes como productos más o menos estratégicos y varios países pensaron en la importancia de contar con una capacidad de fabricación nacional. De este modo, ASEA creó fuertes vínculos con los fabricantes de transformadores establecidos o construyó nuevas fábricas en varios países como Alemania, Sudáfrica, EEUU, Canadá, Noruega y Brasil. BBC, con fábricas de transformadores en Alemania y Suiza, creó una fábrica en Brasil. Westinghouse apoyó la construcción y aportó su experiencia técnica a diversas fábricas de Italia, España y Australia.

Los transformadores eléctricos son productos complejos de "ingeniería bajo pedido" que requieren preparación y experiencia en diseño y fabricación. Este tipo de sector comercial de-

ETERNO ESPÍRITU PIONERO

bería desarrollarse con instrucciones definidas que se reflejen en herramientas de diseño y fabricación.

Para hacer un uso eficiente de los recursos disponibles, se unificaron los métodos de diseño y producción para todas las fábricas del grupo. La fábrica de ASEA en Ludvika sirvió de recurso técnico, asesoró y ayudó en cuestiones técnicas y de fabricación. Una vez al año (o más a menudo cuando se necesitaba), los directores técnicos y de fabricación se reunían para intercambiar información y conocer las últimas novedades en trabajo de desarrollo. A menudo se invitó a Ludvika a ingenieros de las diferentes compañías para proporcionarles enseñanza y formación, y se ofreció a ingenieros altamente cualificados de Ludvika la oportunidad de ocupar puestos de mando en las diferentes empresas.

Las reglas de diseño y los procedimientos de fabricación se documentaron en normas o instrucciones especiales que contemplaban las fases individuales del proceso de construcción de los transformadores. Esta forma de trabajar hizo posible que se acumulara una considerable experiencia en cada fase del diseño y la fabricación de los transformadores eléctricos. Además, la gran base de producción total permitió mantener y apoyar un equipo de desarrollo global.

La estrecha colaboración entre las unidades de fabricación individuales continuó después de la formación de ABB. A todas las unidades que participaron se les concedió acceso a la información común y el apoyo de todos los empleados del grupo ABB. En la actualidad, las herramientas informáticas empleadas en la ingeniería y el diseño son las mismas en todo el mundo.

Transmisiones a larga distancia

Para utilizar mejor las líneas existentes y los trazados se han creado tres tipos de equipos: reactores shunt, desfásadores y transformadores para convertidores de corriente continua de alta tensión (HVDC)

Transformadores para convertidores de HVDC

La transmisión con HVDC tiene algunas ventajas cuando se trata de transmisión

a larga distancia. El modo se usó por primera vez en las largas transmisiones por cable de CC, para reducir la necesidad de atenuar la tensión excesiva acumulada a lo largo del cable, producido por la potencia reactiva. En las transmisiones HDVC, el transformador eléctrico no sólo modifica las tensiones para que se pueda intercambiar la potencia entre los sistemas de CA y CC, también transforma la tensión de CA de un sistema trifásico a un sistema exafásico. Esto permite reducir los armónicos generados por las corrientes de la válvula. Además, el transformador actúa de barrera para el potencial de CC, evitando que la tensión de CC entre en el sistema de CA. Los armónicos de la corriente de las válvulas y el potencial de CC aplicado en el lado de la válvula del transformador implicaban nuevos desafíos técnicos para el ingeniero del transformador. Los armónicos producen más pérdidas que deben tenerse en cuenta y minimizarse para evitar recalentamientos locales peligrosos en el transformador. El potencial de CC en los devanados de la válvula origina un patrón de rigidez dieléctrica diferente al generado por las tensiones de CA normales.

El diseño del transformador para convertidor moderno tiene su origen en las unidades creadas para el proyecto Itaipu en Brasil en los ochenta. Se alcanzó una tensión de transmisión de CC de 600 kV con dos convertidores conectados en serie. Con esta forma de conexión, los transformadores para el puente superior deben ser capaces de soportar una tensión dieléctrica no disruptiva de 600 kV. Hay un total de 24 transformadores monofásicos para convertidores a cada extremo de la transmisión HVDC, con una capacidad total de 6.000 MW. El transformador se construye como una unidad monofásica con dos devanados laterales de válvula, uno para la conexión en triángulo y el otro para la conexión en estrella (ambos necesarios para alcanzar el desfase necesario). Los dos devanados laterales de válvula se montan en columnas separadas en un mismo núcleo y actúan eléctricamente como dos transformadores independientes¹⁾.

En 2004, ABB suministró unidades monofásicas con una potencia nominal de

620 MVA al Pacific Intertie (EEUU) para una tensión de transmisión de CC de 500 kV⁵⁾. Estos son los mayores transformadores para convertidores fabricados hasta el momento.

Actualmente, ABB se encuentra en la fase final del desarrollo de transformadores para convertidores para transmisiones de CC de 800 kV²⁾. Las transmisiones punto a punto para largas distancias, especialmente en Extremo Oriente, pueden beneficiarse del uso de tensiones más altas de las que están disponibles actualmente. Entre las ven-

6 Transformador desfásador de 400kV con una capacidad de producción de 1630MVA en la red italiana para controlar la potencia de la interconexión entre Italia y Francia



7 Un reactor de 1923, construido para controlar y proteger contra cortocircuitos



Notas a pie de página

¹⁾ En paralelo a la transmisión HVDC corre una transmisión de CA de 800 kV desde Itaipu al área de Sao Paulo. Se construyó en gran parte en la fábrica de BBC en Mannheim.

²⁾ Véase también "Transmisión de tensión ultra alta, Escenarios alternativos para la transmisión masiva de energía eléctrica de 800 kV HVDC y 1000 kV HVAC a largas distancias", Gunnar Asplund, Revista ABB, 2/2007 págs. 22-27.

ETERNO ESPÍRITU PIONERO

tajas medioambientales destacan las menores pérdidas en la transmisión y la reducción del uso de terreno para el trazado.

El desfasador

El flujo de electricidad en las transmisiones de alta tensión tiene que controlarse para conseguir una distribución de carga eficiente entre las líneas eléctricas. La carga de las líneas individuales está determinada por el desfase entre los nodos del sistema de transmisión. Un desfasador ofrece una forma de controlar este decalaje y por consiguiente, el flujo de carga.

Un desfasador así se instala en serie con la línea eléctrica y tiene una tensión de salida igual a la de entrada, pero con una diferencia de fase variable. Como sólo hay una necesidad limitada de variar la diferencia de fase, se puede reducir la complejidad del desfasa-

dor para producir únicamente una tensión en cuadratura; en ese caso al aparato se denomina transformador desfasador 8. Físicamente un transformador desfasador está formado por dos transformadores: una unidad magnetizante y una unidad en serie⁹.

El reactor shunt

El reactor (llamado a veces inductor) no es un transformador en el sentido de un dispositivo que transforma la energía de un nivel de tensión a otro, pero el hecho de tener una estructura y fabricación similares lo convierten en un producto muy adecuado para una estación transformadora. El reactor encontró su aplicación en la primera mitad del siglo pasado como medio para controlar las sobrecargas y evitar los cortocircuitos 7.

Las líneas de transmisión de gran longitud y las grandes redes de cables

de alto voltaje generan una cantidad importante de potencia reactiva. Si no está equilibrada, se producirán aumentos de la tensión crítica con cargas ligeras. Un reactor (el reactor shunt) instalado entre la línea eléctrica y tierra proporciona un medio eficaz para controlar y compensar esa generación reactiva. Esencialmente, el reactor shunt actúa como sumidero de la potencia reactiva.

El reactor shunt moderno se introdujo a finales de los sesenta con el uso de componentes y la tecnología del transformador de columnas o de núcleo de hierro 8.

Transformadores industriales

Un segmento importante de la familia de productos de ABB está constituido por grandes transformadores para aplicaciones industriales, como los transformadores de horno y los transformadores rectificadores 9. Estos transformadores se caracterizan por la tensión comparativamente baja del lado secundario, siendo las corrientes adecuadamente altas. Las corrientes de carga de 60 kA o más no son inusuales. Estas corrientes elevadas con un gran contenido en armónicos plantean desafíos importantes, especialmente en cuanto a los altos flujos de campo magnético alrededor de los conductores de salida del depósito y en torno a las partes de los conductores en contacto con el aire. En los transformadores para hornos, las altas corrientes vienen acompañadas por frecuentes cortocircuitos durante la fase inicial de calentamiento del acero en el crisol. Para resistir estas fuerzas de cortocircuito y por la exigencia de amplios márgenes de regulación se necesita un cuidado especial en el diseño y la fabricación.

Formación de ABB

En agosto de 1987, la empresa sueca ASEA y la sueco-alemana BBC se fusionaron formando la empresa conjunta ABB. Poco tiempo después, ABB adquirió los segmentos de fabricación de transformadores de Westinghouse (EEUU), Ansaldo (Italia) y de algunas fábricas en España. La National Industry Noruega y la Finnish Strömberg habían entrado a formar parte de ASEA justo antes de la fusión. De hecho, hoy en día ABB cuenta, gracias a sus predecesores, con una expe-

Reparación de un transformador HVDC en Drommen, Noruega



8 Reactor shunt de 150 MVAR en la red de distribución sueca de 400kV



9 Transformador rectificador enfriado por aire con una potencia de 91,74 MVA



ETERNO ESPÍRITU PIONERO

riencia conjunta de 700 años en la fabricación de transformadores **Cuadro**. Tuvieron que unificarse y funcionar juntas varias tecnologías de transformadores en el menor tiempo posible, además de plantas y procedimientos de fabricación, y todo ello sin disminuir el ritmo de producción normal. Fue un esfuerzo realmente titánico.

Se establecieron una serie de grupos de trabajo y de I+D para evaluar las tecnologías individuales y seleccionar las más viables. Aunque los principios de la tecnología de transformadores son universales, al detalle existen muchas diferencias. Los objetivos principales eran reducir los costes, acortar los tiempos de producción y aumentar la calidad medida en términos de fallos en la sala de pruebas. Era importante presentar todas las variables de diseño y producción en un sistema informático perfecto, que apoyase el diseño y la fabricación según los requisitos del cliente.

ABB consiguió unificar su tecnología y actualmente ofrece el mismo producto y un nivel elevado de calidad dondequiera que se haya fabricado el transformador, ya sea en Alemania, Canadá, Brasil, India o China. Se espera que los transformadores eléctricos proporcionen un servicio fiable durante 30 ó 40 años en todo tipo de redes.

Varias de las plantas de fabricación participantes necesitaban una renovación y una modernización importantes para alcanzar el nivel de ABB en cuanto a limpieza y capacidad, para fabricar transformadores que cumplan todas las exigencias actuales. Se realizaron numerosas inversiones para nuevas instalaciones, lo que permitió una rápida escalada de la producción usando esta base de tecnología común y con una gran ayuda de los equipos de apoyo técnico. ABB creó una escuela de ingeniería en Alemania: el Knowledge Communication Centre (centro para la transmisión de conocimientos). El aumento del volumen de fabricación que tuvo como resultado la formación

de ABB hizo posible que se iniciaran varios programas de desarrollo, incluida la exploración de diseños innovadores de transformadores. Entre los conceptos de diseño estudiados estaban los transformadores superconductores

(uno de 630 kVA estuvo un año de servicio) con conductores de bobinado HTSC⁴⁾, devanados enrollados en láminas de alto voltaje (tres unidades en servicio), grandes devanados secos y enfriados por aire basados en tecnolo-

Cuadro TrafoStar™, 700 años de pedigrí

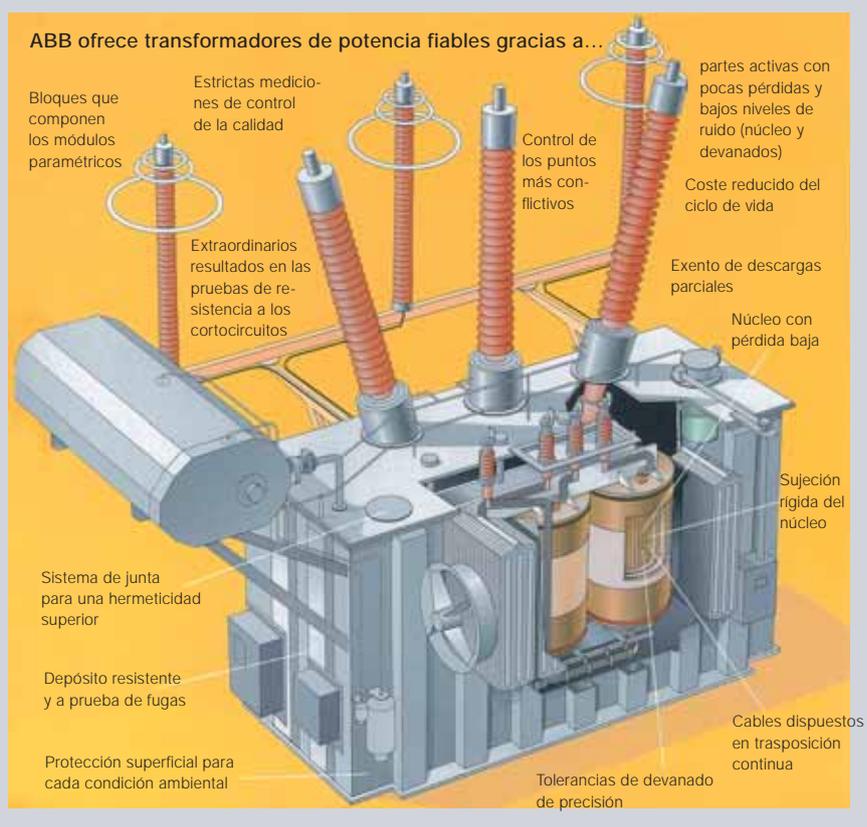
ABB puede mirar hoy hacia atrás y ver la experiencia conjunta de 700 años de fabricación de transformadores con la herencia de diseños y conocimientos especializados de las empresas siguientes:

- Asea
- Ansaldo / Ital Trafo / IEL / OEL / OTE
- BBC
- GE, EEUU
- National Industri
- Strömberg
- Westinghouse
- entre otras...

Estos 700 años reflejan el conocimiento que tiene ABB sobre diferentes tecnologías de diseño y fabricación de transformadores, a lo que se añade la experiencia en la prestación de servicio en las redes de todo el mundo. ABB aprovecha su notable base de conocimientos y combina las buenas prácticas de los que le precedieron en su concepto de actividad empresarial común y global: plataforma TrafoStar™

Cada transformador TrafoStar™ sigue unas reglas comunes de ingeniería, cadena de suministro y fabricación. Una construcción por módulos permite un elevado nivel de reutilización, lo que reduce el tiempo total que tarda la materia prima en salir de fábrica al tiempo que se minimiza la variación y se consigue la máxima calidad. La producción de 1.400 unidades al año es la base para un rendimiento único y un análisis de parámetros clave, lo que permite mejoras constantes en todas las centrales.

Los clientes de ABB se benefician no sólo de los nuevos transformadores que ofrece la compañía. La gran base de datos, documentada ahora con el concepto TrafoStar™, permite a ABB prestar servicio y apoyo sobre la totalidad de los 400.000 transformadores de potencia que hay en funcionamiento por todo el mundo.



Notas a pie de página

³⁾ Un transformador desfasador usa un transformador shunt para desfasar la tensión de alimentación en 90° (de ahí el término cuadratura). La salida de este transformador shunt está derivada, lo que permite variar la amplitud. Se usa un transformador en serie para añadir ésta al circuito principal.

⁴⁾ HTSC: superconductor de alta temperatura

ETERNO ESPÍRITU PIONERO

gía por cable (dos unidades en servicio). Al embarcarse en éste y otros proyectos especulativos más o menos parecidos, ABB ha adquirido numerosos conocimientos que también se aplican a la tecnología convencional de transformadores. Y aunque el mercado no ha aceptado aún plenamente estas innovaciones, las soluciones ya están disponibles.

En vista de la enorme capacidad de la recién creada ABB, el segmento de los transformadores pudo continuar la activa participación de sus predecesoras en organismos internacionales como Cigré,

Dando los últimos toques a un transformador



¹⁰ Transformador de distribución de ABB en Brasil



IEC e IEEE. Esta participación ha hecho posible establecer normas sobre los niveles y procedimientos de pruebas para comprobar la integridad del transformador bajo diferentes condiciones de funcionamiento. La aplicación de los exigentes requisitos de calidad en el diseño y la fabricación ha reducido el riesgo de que se produzcan dificultades operativas imprevistas durante una larga vida de servicio.

Tras la fusión, ABB desarrolló una gama de transformadores que cubre toda la cadena de transmisión, desde que la energía se genera hasta que pasa por el enchufe en el hogar. Los transformadores que se utilizan en las últimas etapas de esta cadena normalmente se denominan transformadores de distribución. Estos transformadores se construyen más o menos al por mayor, pero adaptándolos a la topología de la red de cada región ¹⁰.

ABB emplea todo su conocimiento y habilidades al desarrollar y construir materiales y componentes estratégicos de los transformadores en plantas especiales. A este respecto, cabe mencionar los productos de gran calidad como los cuadros de transmisión o los kits de aislamiento del devanado fabricados con la tecnología de la propia empresa. ABB es también uno de los mayores proveedores mundiales de todo tipo de conmutadores y aisladores, y el uso de su propia tecnología en transformadores, materiales de aislamiento, conmutadores, aisladores y el prometedor control electrónico de transformadores, la sitúa en una posición única en lo que se refiere a ofrecer una cartera completa de transformadores y a proporcionar una base sólida para el desarrollo futuro.

Cambio geográfico de la producción

El impacto de la formación de ABB se limitó en buena parte a Europa, donde se encontraban la mayor parte de las plantas de fabricación. Posteriormente siguieron adquisiciones en el continente norteamericano.

Sin embargo, a finales de los ochenta y los noventa, la expansión y el crecimiento de la generación y la transmisión sufrieron una desaceleración en el mundo occidental. La capacidad existente era más o menos suficiente para cubrir la demanda. La gran disponibili-

dad de petróleo redujo la necesidad de convertir los suministros de energía en electricidad. Esta situación llevó a un exceso de capacidad en el mercado de los transformadores eléctricos.

Al mismo tiempo, las economías de los países de la costa del Pacífico y Extremo Oriente repuntaron y creció la necesidad de energía eléctrica. Las plantas de transformadores en Europa y Norteamérica tuvieron que cerrar mientras que ABB creaba nuevas fábricas en China e India.

¿Cómo se presenta el futuro?

Los transformadores basados en el principio de inducción seguirán siendo la base de la transformación de tensión durante muchas décadas. Los cambios en los materiales utilizados ayudarán a reducir costes y a controlar mejor la capacidad térmica. Estos avances afectarán a los materiales conductores, además de los materiales aislantes sólidos y líquidos; sin embargo, no hay ningún sustituto a la vista para el acero denominado "magnético" y el núcleo del transformador.

En el futuro habrá nuevas formas de clasificar los transformadores con un mejor control de la capacidad térmica, lo que ayudará a reducir el uso de materiales costosos. Las especificaciones de los transformadores tienen que evolucionar para dar más importancia al perfil de carga, al crecimiento futuro y a las cargas de emergencia, con nuevas normas que contemplen las áreas más propensas a envejecer. Las nuevas formas de clasificación de los transformadores por esas normas internacionales requerirán la integración de más inteligencia. Otro objetivo es aumentar más la integridad mecánica, térmica y dieléctrica de los transformadores para que estén mejor equipados para sobrellevar las mayores tensiones que afectarán a las redes del futuro.

Thomas Fogelberg

ABB AB, Transformadores de energía
Ludvika, Suecia
thomas.fogelberg@se.abb.com

Åke Carlsson

Antiguo ingeniero eléctrico jefe
ABB AB, Transformadores de potencia
Öhr Klockaregård
S-342 64 ÖR, Suecia

Consejo de redacción

Peter Terwiesch
*Director general de tecnología
I+D y tecnología del grupo*

Clarissa Haller
Comunicaciones corporativas

Ron Popper
Sostenibilidad

Frank Duggan
Jefe de gestión de cuentas del grupo

Friedrich Pinnekamp
*Jefe de redacción de la Revista ABB,
I+D y tecnología del grupo
friedrich.pinnkamp@ch.abb.com*

Editorial

ABB Schweiz AG
Corporate Research
ABB Review/REV
CH-5405 Baden-Dättwil, Suiza

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

La reproducción o reimpresión parcial está permitida a condición de citar la fuente. La reimpresión completa precisa del acuerdo por escrito del editor.

La Revista ABB es una publicación gratuita para todos los interesados en la tecnología y objetivos de ABB y para aquellas personas que ocupan puestos directivos y necesitan estar informados sobre los últimos avances de la tecnología. Si usted desea una suscripción gratuita puede ponerse en contacto con la representación ABB más próxima o directamente con la editorial.

Editor © 2007
ABB Ltd, Zurich/Suiza

Impresión

Vorarlberger Verlagsanstalt GmbH
AT-6850 Dornbirn/Austria

Diseño

DAVILLA Werbeagentur GmbH
AT-6900 Bregenz/Austria

Traducción

Celer Soluciones, S.L.
Plaza de España, 12, 1º
E-20008 Madrid - España
www.celersol.com

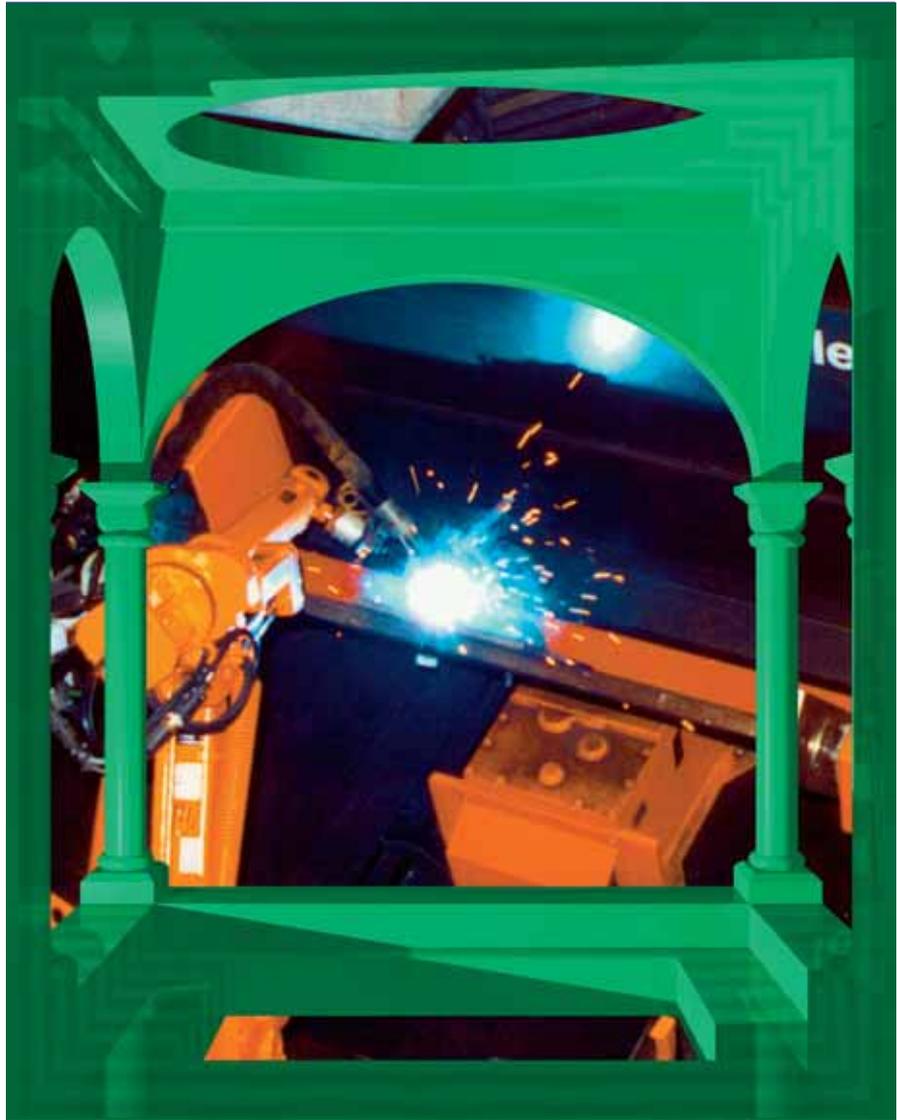
Cláusula de exención de responsabilidad

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 con base en 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, explícita o implícitamente, el contenido o la exactitud de los puntos de vista expresados en esta revista.

ISSN: 1013-3119

www.abb.com/abbreview

Avance 4/2007



Aspectos más notables de la innovación

Las mejores innovaciones técnicas son las que hacen grandes los productos que sólo son buenos o las que crean un producto totalmente nuevo para satisfacer una necesidad aún no satisfecha. Todos los años, el equipo de gestión de la tecnología y la innovación de ABB evalúa el valor potencial de sus innovaciones tanto para la empresa como para sus clientes. Si se mantienen todos los pronósticos, 2007 será un año repleto de éxitos desde el punto de vista tanto empresarial como de la innovación. El número 4 de la Revista ABB de 2007 destaca las mejores innovaciones del año.

En sus páginas se examinan los interruptores automáticos avanzados, los nuevos convertidores, los equipos de

CC a 800 kV, los novedosos avances en el terreno de la instrumentación y algunos planteamientos originales de los servicios remotos. Además, se realiza un examen de las nuevas aplicaciones para robots, de la innovadora automatización de subestaciones y de los avances en reparaciones in situ.

La eficiencia energética, un valioso activo de las ofertas de ABB del que se ocupó en profundidad el número 2 de Revista ABB de 2007, vuelve a la palestra, así como la seguridad de los sistemas de información de las plantas. La historia de los motores, uno de los productos de ABB más desarrollados, pone el remate a este último número del año.



We help
customers use
less energy to be
more productive.

© 2005–2007 ABB

Automation and control systems that boost productivity
and reduce energy costs. Visit us at www.abb.com

Power and productivity
for a better world™

