

Ethernet en la industria



Este artículo resume la evolución de la electrónica de red Ethernet desde sus primeras incursiones en la industria hasta la actualidad. Se presentan las primeras críticas a su uso, las mejoras técnicas que éste ha experimentado y las principales implementaciones que actualmente podemos encontrar.

Introducción histórica

En los años 40, la instrumentación de campo todavía se apoyaba en señales de presión para la monitorización de los procesos. En los 60 se introdujo la señal estándar 4-20 mA en las aplicaciones de instrumentación. A pesar de su éxito, señales de diferentes niveles se utilizaban en dispositivos no adecuados al estándar, defendidos por unos u otros fabricantes. El primer autómatas programable aparece en 1969. A mediados de los 70, Honeywell anuncia el primer sistema de control de procesos distribuido (DCCS). En los años 80 aparecieron los sensores inteligentes basados en microprocesador, esto potenció la aparición de los buses de campo que comunicaran los distintos dispositivos de la instalación entre sí.

Desde entonces, tal como ocurrió con la señalización analógica, se realizaron grandes esfuerzos en el control de procesos para unificar tanto las comunicaciones entre dispositivos como los perfiles a los que estos debían responder para garantizar el comportamiento estandarizado. Los bocetos del estándar propuesto por el comité IEC/ISA SP50 se centraron en definir las siguientes funciones:

- Capa física. Especifica el medio de transmisión, sería el sustituto digital de la señal 4-20 mA en el entorno de proceso.
- Capa de enlace. Especifica las comunicaciones entre dispositivos de un mismo bus, el método de acceso a éste y chequea posibles errores.
- Capa de aplicación. Encargada de dar formato de mensaje a los datos, de forma que sean entendibles por el dispositivo receptor y emisor. También ofrece servicios a la capa de usuario.
- Capa de usuario. Ofrece a las aplicaciones finales funciones específicas de control e identificación automática de dispositivos.

Sin embargo, ante el retraso en la salida del estándar, cada fabricante abogó de nuevo por implementaciones propietarias. Es el momento de ISP (Interoperable Systems Project) y WorldFIP, que dieron lugar a la actual Fielbus Foundation, o de la Profibus User Organization (PNO). ModBus aparece en 1979; Interbus-S en 1984 y CAN (especifica capas 1 y 2) en 1986. FieldBus Foundation especificó el bus H1 en 1996; un año antes, PNO especifica Profibus PA. AS-Interface (1993) surge como bus especializado en señales todo-nada y posteriormente intentará mejorar sus prestaciones en transmisión de



Ignacio Bravo Llano

Ingeniero Industrial del ICAI (promoción 1994) Ingeniero Técnico Industrial del ICAI (promoción 1990) y máster en Prevención de Riesgos Laborales (2005). Actualmente trabaja en Servicios de Formación y Soporte (Competence Center) de Hirschmann Automation and Control.

Comentarios a:
comentarios@icai.es

datos analógicos. DeviceNET aparece en 1994. Dentro del campo de la automatización de edificios aparecen BatiBUS, EIB (1990), LonWorks (1991) o BACnet (1995).

Así surgieron multitud de soluciones de comunicación industrial. Tanto el cliente final como integradores y fabricantes debían apostar por una solución u otra sin tener demasiado claras las perspectivas de futuro de dicha solución. La apuesta por cualquiera de ellas suponía además formar a personal especializado para su instalación, puesta en marcha y mantenimiento. Tiempos difíciles para el diseño de redes de control en las que, por ejemplo, la formación previa del personal propio condicionaba drásticamente las soluciones ofrecidas para los siguientes proyectos.

El estándar Ethernet a 10 Mbps es publicado por el IEEE (802.3) en 1985 y rápidamente conquistó el terreno de las comunicaciones de área local en el entorno ofimático. En 1993 aparecen los primeros conmutadores Full Duplex y Fast Ethernet (100 Mbps) se estandariza en 1995. Una vez asentada esa prevalencia en el sector no industrial, el estándar Ethernet empezó a ser visto como una posible solución a la falta de unificación práctica en las capas física y de enlace de los equipos de bus de campo provenientes de diferentes fabricantes. Los estándares de calidad de servicio en capa 2 no aparecen hasta 1997.

En 1999 se publica la especificación abierta de ModBus/TCP. Este protocolo se apoya en TCP a nivel de transporte, IP a nivel de red y Ethernet para las capas inferiores. Surge con la ambiciosa perspectiva de ser empleado en no sólo los niveles de información y control sino, combinado con RTPS, alcanzar el nivel de dispositivo.

En marzo de 2000 la organización de fabricantes de dispositivos DeviceNet (ODVA) adopta el estándar Ethernet/IP. Ethernet/IP se apoya no sólo en Ethernet sino en TCP-UDP/IP para las capas de red y transporte, aprovechando las ventajas de UDP para transmisiones cortas, repetitivas y rápidas y las de TCP para las transmisiones largas y esporádicas que requieren mayor seguridad. Esta propuesta se apoya en DeviceNet como bus de dispositivo allí donde las exigencias temporales o el tamaño/simplicidad de los equipos finales lo impusieran.

En control de procesos, la FieldBus Foundation saca HSE (High Speed Ethernet) en 1998, también apoyado en la torre TCP/IP. HSE confía en H1 como bus de dispositivo

Figura 1. Ámbitos de aplicación aproximados de diferentes buses de campo

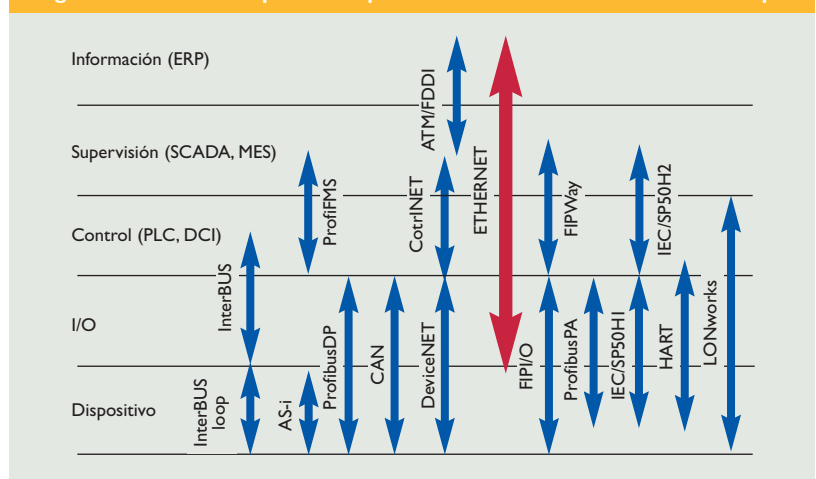
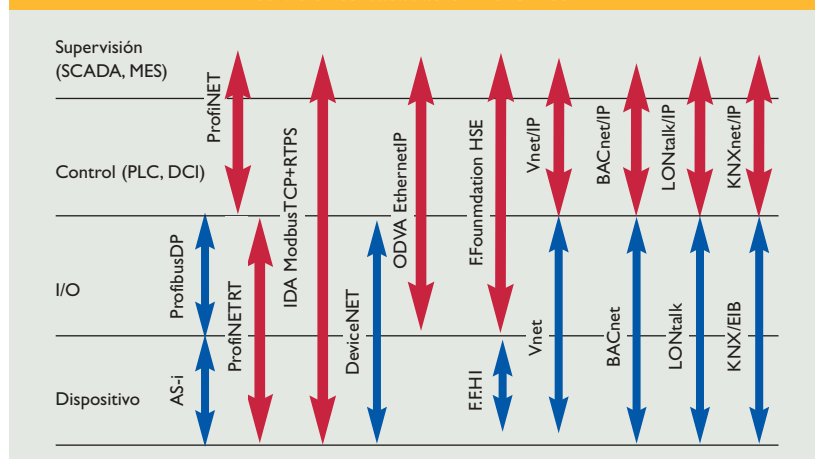


Figura 2. Ámbitos de aplicación aproximados de las principales soluciones basadas en Ethernet



en procesos continuos. Vnet/IP es especificado por Yokogawa en 2004.

En automatización de edificios, EIB y BACnet incluyen en sus especificaciones iniciales sus versiones especiales sobre Ethernet. La extensión BACnet/IP aparece en 1999, permitiendo a los controladores generar paquetes IP sin necesidad de PAD (Packet Assembler-Disassembler). Konnex también saca recientemente KNXnet/IP. LonTalk/IP surge en 2002 para permitir la comunicación entre redes LonTalk a través de un backbone IP (ver Figura 1).

La implantación de Ethernet como soporte para los protocolos de nivel superior era clara a nivel de empresarial (nivel ERP en la estructura de producción) y rápidamente bajó al nivel de Sala de Información (niveles MES y SCADA). El salto al nivel de Control (comunicación entre DCSs, autómatas y sistemas HMI locales) se convirtió en una realidad a medida que la electrónica de red se

implementó en las unidades de control de proceso. El paso a nivel de dispositivos de campo es claro en algunos campos de aplicación (Transport Automation) pero lento en procesos continuos y discretos. El motivo lo debemos buscar en la naturaleza de los dispositivos finales empleados (ver Figura 2).

Ventajas iniciales

La interoperabilidad en capa 1 y 2 da a la electrónica de red Ethernet un impulso industrial notable. A los fabricantes les ofrece la posibilidad de ofrecer soluciones basadas en diferentes protocolos superiores y por lo tanto acceder a mayores mercados. A los instaladores y diseñadores les facilita la vida al permitir unificar el medio físico independientemente de la red que estén tirando (de oficina o de producción). La gestión del conocimiento también se facilita por no ser necesario personal extremadamente especializado en un sistema de comunicación propietario para poner en marcha o mantener instalaciones muy concretas. Incluso el personal encargado de las redes empresariales podría llegar a hacerse cargo de la red industrial. El personal de automatización también se beneficia del hecho de contar con un conocimiento estable en el tiempo y compatible con todos los protocolos superiores que se puedan plantear en cada aplicación. A nivel de mantenimiento la posibilidad de reducir dificultades para centralizar las islas de automatización de sistemas heredados supone sin duda una ventaja importante.

Críticas iniciales

Sin embargo Ethernet no fue ampliamente aceptado desde un principio. Esta reticencia inicial a su uso industrial se basaba sobre todo en las siguientes críticas:

Falta de robustez para entorno agresivo

Una de las características más importantes de un equipo industrial es su adecuación al entorno. Las comunicaciones de empresa se apoyan en salas de comunicaciones limpias y climatizadas. Los dispositivos Ethernet iniciales no estaban preparados para entornos con grandes variaciones de temperatura. La posibilidad de condensación de agua o depósito de partículas impedía la instalación de este tipo de electrónica. El nivel de vibraciones en muchas aplicaciones también era prohibitivo. Los accesorios de interconexión de buses de campo tradicionales como MAP,

Profibus o MODBUS+ eran y son muy robustos, preparados también para un entorno de armario eléctrico. Ethernet ofrecía el conector RJ45 como única solución de futuro, claramente inadecuada en algunas aplicaciones.

Adecuación a estándares industriales

Las aplicaciones marinas, de ferrocarril (en vía o embarcado), las zonas con riesgo de explosión... quedaban excluidas del alcance de los dispositivos Ethernet. El equipamiento aún no estaba tan maduro como para cumplir con estándares tan estrictos.

Garantía de suministro en períodos industriales

La tecnología Ethernet maduraba por momentos y los ciclos de vida de los productos que ofrecía eran cortísimos comparados con los equipos industriales, cuya principal garantía frente al cliente era y es la cantidad de instalaciones en las que está funcionando con éxito. Para una instalación industrial es importante la garantía de suministro, no sólo de repuestos sino de equipos idénticos para homogeneizar las próximas ampliaciones de ésta.

Requerimientos temporales a medida que se acerca a campo

Una característica común a la mayoría de los buses de campo es que disponen de un método de acceso determinista. Esto quiere decir que el nivel de precisión temporal con el que podemos predecir que una trama de datos emitida ahora desde el equipo A va a llegar en el momento X al equipo B es alto. El Ethernet basado en la electrónica de Hubs no era demasiado predecible en este sentido, debido primero a la presencia de colisiones y segundo a los tiempos de latencia de la propia electrónica.

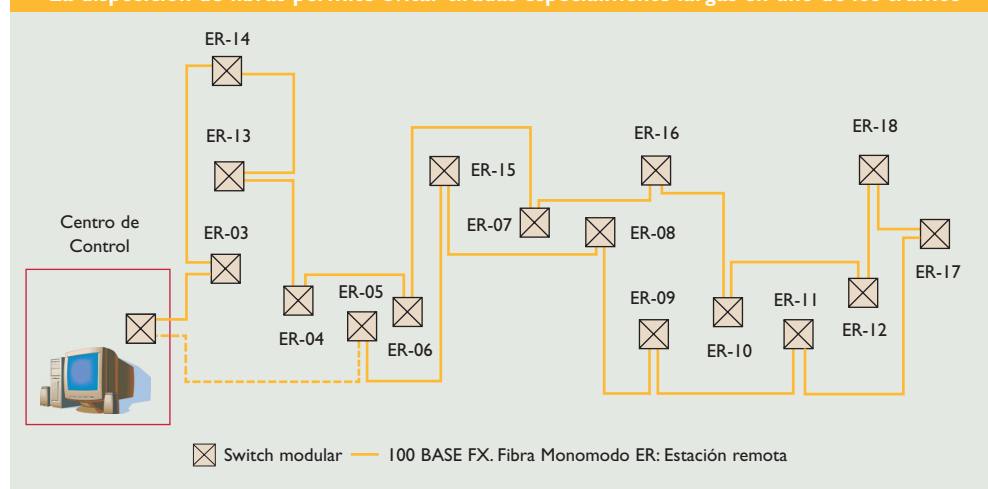
Alimentación de dispositivos finales a través del bus físico

Muchos buses de campo (tanto en procesos discretos como continuos) permiten ahorrar la instalación de mangueras adicionales de alimentación hasta los dispositivos finales conectados al bus gracias a que dicha alimentación se incluye en la manguera de comunicaciones. Esto cobra importancia en plantas con muchos dispositivos repartidos por una superficie grande. Esta opción no estaba disponible en el Ethernet de los primeros años.

Tabla I

EN 61000-6-2:2001	Generic standards - Immunity for industrial environments
EN 55022:1998 + A1 2000 + A2-2003	Information technology equipment - Radio disturbance characteristics
EN 60950:2001	Safety of Information Technology Equipment (ITE)
EN 61131-2:2000	Programmable Controllers
EN 50121-4:2000	Railway applications –EMC– emitted interference and interference immunity for signal and telecommunication systems
FCC 47 CFR Part 15:2003	Code of Federal Regulations
Germanischer Lloyd	Rules for Classification and Construction VI-7-3 Part I, Ed. 2001
cUL 508:1998	Safety for Industrial Control Equipment
cUL 1604	Electrical Equipment for Use in Class I and Class II, Div.2 and Class III Hazardous (Classified) Locations
EN 10155	Declaration (Railway)
EN 61850-3	Communications networks and systems in stations
IEEE 1613	Standard Environment and Testing Requirements for Communication Networking Devices in Electric Power Substations

Figura 3. Topología ejemplo en sistema de distribución de aguas. Proceso continuo. La disposición de fibras permite evitar tiradas especialmente largas en uno de los tramos



Seguridad tanto en electrónica de red como en dispositivo final

La gran baza de los defensores de Ethernet en el campo industrial era y es la interconectividad y apertura. Cualquier dispositivo ofimático podría ser conectado sin problemas al nuevo bus sin necesidad de costosísimas herramientas o tarjetas adaptadoras. Además era sencillo encontrar personal con formación suficiente como para conectarse a dichas redes. Sin duda este sentimiento “plug & play”, tan buscado posteriormente por los buses de campo, era un punto a favor pero tenía su contrapartida. Si cualquiera puede conectarse a mi red... es más fácil sabotearla. Esto generó miedo, sobre todo en los clientes finales responsables de la operación de la instalación.

Acercamiento al entorno industrial

Estas críticas influyeron en un primer momento en la reticencia de la industria a recurrir a Ethernet. También supusieron una reacción por parte de los fabricantes. Esta reacción se plasmó en distintos puntos que han dado lugar al comúnmente denominado Ethernet industrial.

Evolución física

Hoy en día los equipos de Ethernet industrial disponen de un diseño físicamente robusto, preparado para soportar las exigencias más duras del entorno. Se encuentra en el mercado incluso electrónica de interconexión IP67, capaz de trabajar fuera de armario. Lógicamente este tipo de equipos no puede apoyarse en conectores tipo RJ45 incapaces de ofrecer ese índice

Figura 4. Topología ejemplo en sistema de producción discreto. Factory Automation. Las estructuras productor consumidor entre controladores y unidades remotas I/O se apoyan en tráfico Multicast

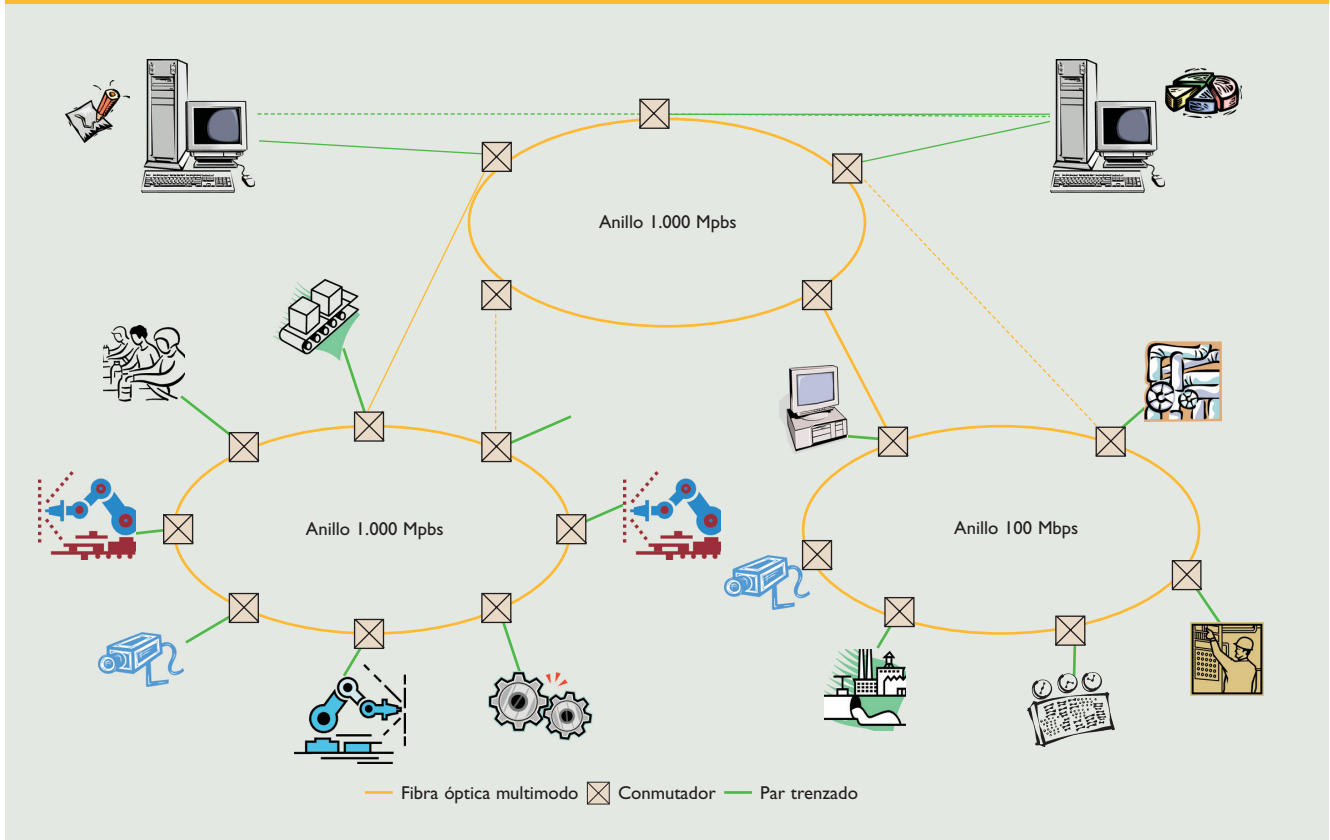
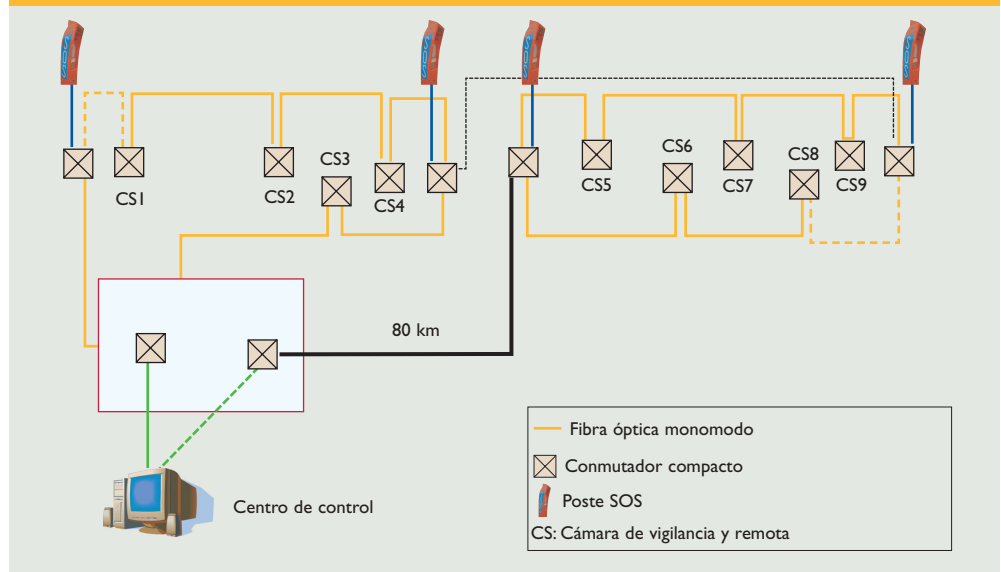


Figura 5. Topología ejemplo en sistema de supervisión de autovía. Transport Automation. Los dispositivos finales son conectados directamente a la red Ethernet



de protección, sino que emplean el conector estandarizado M12-D. Existen soluciones basadas en este conector para fibra óptica, por lo que llevar la fibra hasta los dispositivos finales, por ejemplo en entornos con alta interferencia electromagnética

o en instalaciones con grupos de equipos a gran distancia unos de otros, es factible.

El número de aplicaciones al que esta nueva electrónica puede llegar es claramente mayor al encontrar en el mercado dispositivos

que cumplen estándares industriales (ver Tabla 1 y Figuras 3, 4 y 5).

MTBF (Mean Time Between Failures)

Gracias al esfuerzo de diseño, el tiempo medio entre fallos de los dispositivos de Ethernet industrial es claramente superior al de los equipos Ethernet ofimático (típicamente superior a 20 años frente a los 5 habituales de la electrónica de red en empresa). La eliminación de partes móviles como los sistemas de ventilación forzados han sido determinantes en este caso.

Alimentación redundante y con voltajes de control

La nueva electrónica Ethernet puede ofrecer entrada redundante de alimentación de forma que los equipos puedan reaccionar frente a un fallo de su fuente de suministro. Esto sin duda aumenta la disponibilidad del sistema. Dado que estos equipos suelen ser montados en armarios de control en campo, facilita su integración el hecho de que dispongan de alimentación en continua o alterna en niveles habituales en dichos armarios.

La alimentación a través del cable de datos (PoE) especificada en el estándar IEEE802.3af, ampliamente utilizada en sistemas de automatización de edificios, puede suponer una revolución en el nivel de campo en aplicaciones de control de procesos.

Evolución de las topologías hacia la alta disponibilidad

El diseño de la red de comunicaciones también influye en la disponibilidad del sistema. Mejorando la electrónica de red mejoramos la disponibilidad de cada uno de sus nodos. La forma en que conectamos los distintos nodos entre sí influye en la disponibilidad del sistema en conjunto. Los enlaces redundantes tradicionales eran gestionados por protocolos de redundancia con tiempos de reacción adecuados para redes empresariales pero no para entornos industriales. En estos últimos la pérdida de comunicaciones demasiado larga (segundos) o duplicación de tramas puede afectar al buen funcionamiento o sincronismo de los sistemas distribuidos.

Los equipos de Ethernet industrial ofrecen protocolos de redundancia preparados para reaccionar en tiempos garantizados inferiores a los 500 mseg, resolviendo los problemas que podría generar la rotura de una fibra o un enlace de cobre (ver Figuras 3, 4 y 5).

Requerimientos temporales

El determinismo ha sido un campo de batalla para los departamentos de desarrollo. El paso de redes compartidas (hubs) a redes conmutadas (switches) así como la tecnología Full Duplex supuso reducir en gran medida la incertidumbre en el comportamiento de la red. Los tiempos de latencia máximos de cada nodo se miden en microsegundos. La definición por parte del IEEE de estándares de calidad de servicio en capa 2 (802.1q y 802.1d) permite reducir aún más la incertidumbre.

Con estas técnicas ya implementadas en la electrónica de serie tan sólo las aplicaciones más exigentes en el tiempo (p.e. sincronización mecánica multiteje a través de la red, redes de seguridad o safety buses) se escapan al Ethernet industrial tradicional.

Sin embargo ya existen soluciones basadas en electrónica estándar Ethernet que llegan al nivel máximo de determinismo ofrecido nunca por una red industrial. Los ejemplos más relevantes serían PowerLink (solución apoyada en ASICs Ethernet estándar, sobre el que se definen unos roles de maestro y esclavo que evitan las colas de tramas en la electrónica y por lo tanto garantizan el determinismo máximo de la red) y Profinet IRT (solución basada en ASICs propietarios que permiten el tratamiento prioritario a nivel hardware de ciertas comunicaciones frente a otras). Ambas soluciones permiten satisfacer aplicaciones de tiempo real de clase 4 de acuerdo a la clasificación de IAONA (jitter inferior al microsegundo).

Seguridad de red

Las pegas a la inseguridad ofrecida por las redes apoyadas en Ethernet son fácilmente solventables mediante el uso de técnicas ya integradas en la electrónica estándar. Estas técnicas se pueden aplicar a distintos niveles:

- Nivel de puerto. Posibilidad de especificar qué equipos pueden comunicar a través de qué puertos. Se basan en las direcciones MAC o IP del equipo conectado.
- Nivel de nodo. La implementación de protección contra ataques de denegación de servicio (DoS) en base a limitadores de broadcast o de listas de control de acceso (ACL) para especificar con quién puede hablar un dispositivo concreto y con quién no.
- Nivel de diseño. Definición de reglas de acceso en los accesos remotos mediante dispositivos cortafuegos específicamente diseñados para esta función y fácilmente integrables en estructuras redundantes.

- Nivel de dispositivo final. Los equipos conectados a una red Ethernet deben ser capaces de reaccionar adecuadamente ante un ataque externo. Esto no afecta tanto a la electrónica de red como a la implementación del equipo final (PC, PLC, DCL...). Un ejemplo típico es un autómatas con procesador único que sufre un ataque de denegación de servicio. La sobrecarga de comunicaciones podría llegar a afectar al ciclo de procesamiento. La mayoría de los controladores industriales actuales están preparados para este tipo de contingencia.

Interfaz hombre-máquina.

Decíamos que una de las grandes ventajas de los buses de campo basados en Ethernet es ese conocimiento común en los niveles 1 y 2. En nivel 1, las particularidades de instalación de los enlaces serán los mismos para todos los proyectos. En el nivel 2 nos encontraremos con la configuración de la electrónica de red. Se ha realizado un esfuerzo en facilitar el manejo dichos equipos. El resultado es el interfaz gráfico apoyado en explorador http. Esto elimina la necesidad de herramientas especiales de configuración (basta con tener Internet Explorer en el equipo desde el que configuramos).

Una vez puesta en marcha la red, el personal de mantenimiento se enfrentará a la labor de conocer y diagnosticar el estado de la red. La solución tradicional para esto han sido las herramientas de gestión SNMP. Sin embargo ya existen herramientas software que, apoyándose en los mismos protocolos estándar, ofrecen una apariencia de sistema SCADA, haciendo transparente para el usuario el protocolo de gestión de red. Por último, las herramientas de integración apoyadas en OPC permiten incluir el estado de los dispositivos de red en cualquier sistema SCADA preexistente.

Integración en sistemas de control y supervisión (ModBusTCP, EthernetIP, ProfiNET)

Sin duda el paso más novedoso que ha dado el Ethernet industrial para integrar los dispositivos de red en el sector no empresarial ha sido la posibilidad de que todos los dispositivos respondan a un perfil de usuario. Los perfiles asociados a cada bus permiten a los dispositivos finales (PLC, MMI, módulos I/O, cámaras de vídeo...) anunciarse y ser reconocidos por dichas herramientas de forma automática. Esto convierte a los equipos

de red en parte completamente integrada en el resto del sistema.

Conclusiones

Ninguna instalación industrial puede permitirse la desaparición de la tecnología en la que se apoya. Buses como MAP (Manufacturing Automation Protocol) fueron la apuesta de bastantes proyectos en el pasado y tuvieron que ser actualizados al cabo de unos años.

El avance de la tecnología Ethernet en el sector industrial es fuerte gracias a su adaptación a los retos que su nuevo ambiente plantea. La permanencia de Ethernet como solución en el tiempo está garantizada por el tremendo apoyo que recibe por parte de los fabricantes de equipos de control, integradores y clientes de sistemas industriales.

Sin duda el paso definitivo de Ethernet hacia el nivel de dispositivo final vendrá de la mano de la integración generalizada de interfaces Ethernet en éstos. A medida que el dispositivo va siendo más simple, la integración de un interfaz más complejo puede suponer un coste significativo añadido al equipo. En este sentido los módulos de entrada-salida distribuidos, tan habituales en las soluciones de control, agrupan conjuntos I/O que utilizan un único interfaz cuyo coste adicional está más justificado.

El campo de batalla actual son las capas superiores del protocolo donde, por el momento, no existe compatibilidad entre dispositivos. En este sentido la ingeniería debe elegir entre una solución u otra. Parece que el empleo de IP en nivel de red va a ser común por su universalidad; la combinación de TCP/UDP en capa de transporte parece aceptable para la mayoría de las aplicaciones industriales siempre que las exigencias temporales no sean altísimas. Sin duda la solución óptima para cada ámbito de aplicación surgirá de la ya reducida diversidad actual. ■

Para saber más

Bus EIB. www.eiba.org

Bus BACnet. www.bacnet.org

CAN. www.can-cia.de

CIP. www.odva.org

Profibus. www.profibus.com

ModBus. www.modbus.org

AS-i. www.as-interface.net

Artículos de interés: www.isa.org; www.ethernet.industrial-networking.com; www.hirschmann.es