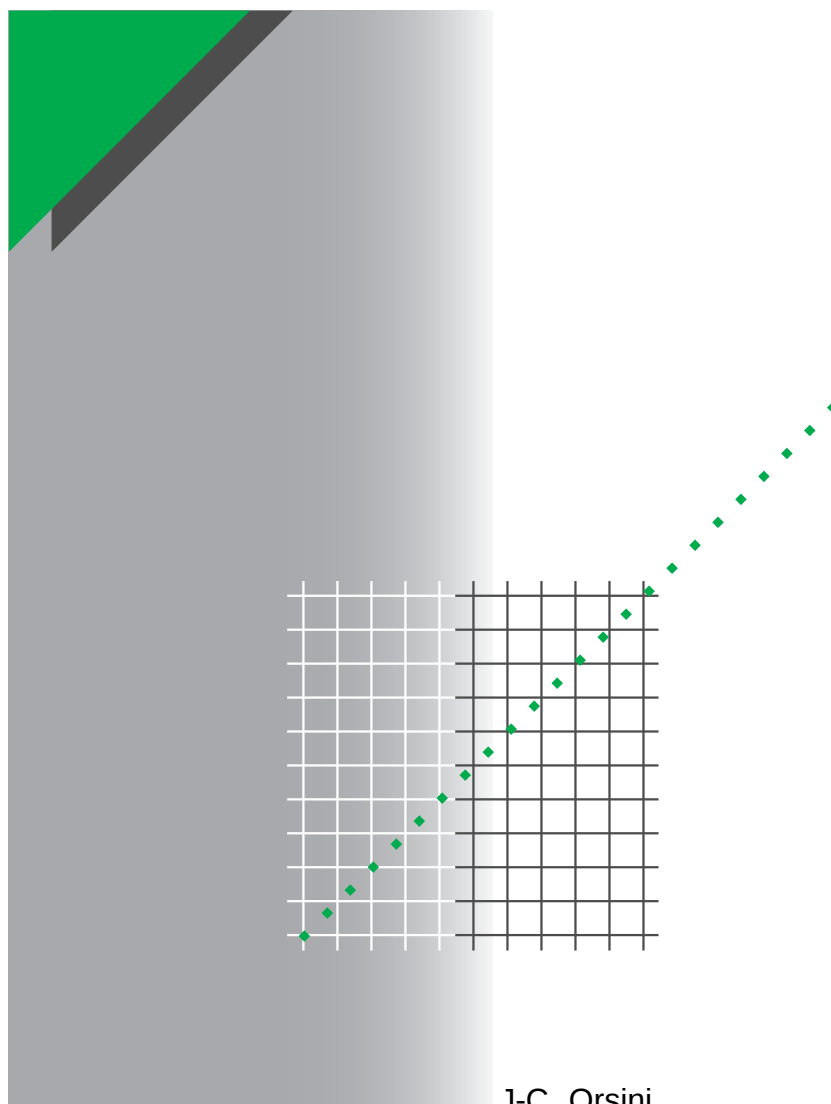


Cuaderno Técnico nº 197

El bus de campo: una aproximación al usuario



J-C. Orsini

Merlin Gerin
Eunea Merlin Gerin
Modicon
Telemecanique
Square D
Mesa
Himel
Crouzet
Infra+

La **Biblioteca Técnica** constituye una colección de títulos que recogen las novedades electrotécnicas y electrónicas. Están destinados a Ingenieros y Técnicos que precisen una información específica o más amplia, que complemente la de los catálogos, guías de producto o noticias técnicas.

Estos documentos ayudan a conocer mejor los fenómenos que se presentan en las instalaciones, los sistemas y equipos eléctricos. Cada uno trata en profundidad un tema concreto del campo de las redes eléctricas, protecciones, control y mando y de los automatismos industriales.

Puede accederse a estas publicaciones en Internet:

<http://www.schneiderelectric.es>

Igualmente pueden solicitarse ejemplares en cualquier delegación comercial de **Schneider Electric España S.A.** o bien dirigirse a:

Centro de Formación Schneider
C/ Miquel i Badia, 8 bajos
08024 Barcelona

Telf. (93) 285 35 80
Fax: (93) 219 64 40
e-mail: formacion@schneiderelectric.es

La colección de **Cuadernos Técnicos** forma parte de la «Biblioteca Técnica» de **Schneider Electric España S.A.**

Advertencia

Los autores declinan toda responsabilidad derivada de la incorrecta utilización de las informaciones y esquemas reproducidos en la presente obra y no serán responsables de eventuales errores u omisiones, ni de las consecuencias de la aplicación de las informaciones o esquemas contenidos en la presente edición.

La reproducción total o parcial de este Cuaderno Técnico está autorizada haciendo la mención obligatoria:
«Reproducción del Cuaderno Técnico nº 197 de Schneider Electric».

Cuaderno Técnico nº 197

El bus de campo: una aproximación al usuario



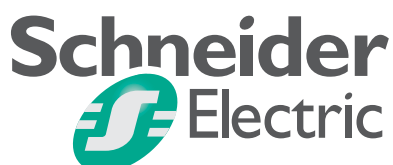
Jean-Christophe ORSINI

Diplomado en el Institut National des Télécommunications en 1987, entró en Schneider Electric en 1988, en el campo de los automatismos. Participó en el desarrollo de varios adaptadores de comunicaciones de los autómatas Schneider Electric a diversas redes. Durante cuatro años estuvo trabajando para ampliar la conectividad de los autómatas Schneider.

Trad.: J.M. Giró

Original francés: marzo 2000

Versión española: enero 2003



Terminología

Adaptador o interface de comunicaciones: Componente o circuito electrónico que permite la conexión de un equipo a una red.

Ancho de banda: Medida de extensión de la banda de frecuencias en la que se transmiten las señales con una atenuación inferior a 3 db (decibelios). Por extrapolación, designa la banda máxima útil que soporta el medio.

AS-i: (Actuator Sensor Interface): Norma de bus de campo de nivel 0 (o bus de captador y actuador).

ASIC: (Application Specific Integrated Circuit): Circuito integrado –componente electrónico– dedicado a una aplicación específica –por ejemplo, la gestión de un protocolo de comunicaciones– por oposición a un circuito generalista, como un microprocesador.

CAN: (Controller Area Network): Una familia de redes muy utilizada en la industria del automóvil que posibilitan conexiones a bajo coste.

C.I.M.: (Computer Integrated Manufacturing): Concepto de unidades de producción informatizadas. Define la jerarquía de los equipos y redes utilizadas, desde los ordenadores de gestión conectados a las redes públicas hasta los captadores y accionadores conectados a un bus de campo.

Device Net: Bus de campo basado en la tecnología CAN.

Equipo: Designa en este Cuaderno todo producto informático conectado al bus: autómatas, variadores de velocidad, distribuidores neumáticos, robots, interfaces hombre/máquina, etc.

Ethernet: Norma de redes basada en el principio de acceso al medio CSMA/CD.

FIP/WorldFIP: (Factory Instrumentation Protocol): Bus de campo que abarca los niveles 1 y 2 (norma europea EN 50-170).

IB-S: Abreviatura para el Interbus-S.

Interbus-S: Norma de bus de campo de niveles 0 y 1.

Java: Lenguaje informático orientado al objeto.

LAN: (Local Area Network): Red de área local.

Medio: Soporte físico de la comunicación (par trenzado, cable coaxial, fibra óptica).

Mensaje: Información intercambiada en una red a través de servicios definidos en un protocolo de mensajería: lectura, escritura, telecarga de partes de memoria, ficheros, etc.

Objeto de un automatismo: Representación modelizada y estructurada que describe las funciones, los servicios ofrecidos y el comportamiento de un automatismo.

Profibus: Bus de campo incluido en la norma europea EN50-170, que cubre los niveles 1 y 2.

Protocolo: Relativo a una capa ISO, designa las reglas de diálogo entre capas del mismo nivel de otras unidades comunicantes.

Red de empresa: Red local utilizada en las aplicaciones ofimáticas y de gestión.

Red local: Red limitada a una zona que no sobrepasa algunos kilómetros; en general, se trata de redes restringidas a un edificio o empresa, es decir, que se queda en un dominio privado y no llegan al dominio público. Por oposición, se habla de WAN (Wide Area Network) para referirse a redes como la Red Telefónica Conmutada o la Red Internet.

Red local industrial: Red local utilizada en un entorno industrial (producción...).

RLI: abreviatura de Red Local Industrial.

Servicios: Reglas de diálogo entre dos capas adyacentes. Por ejemplo, servicio de direccionamiento ofrecido por la capa 3 (red) a la capa 4 (transporte).

TCP/IP: (Transport Control Protocol/Internetwork Protocol): De facto, estándar popularizado por las redes Ethernet e Internet, que cubren las capas ISO 4 (TCP) y 3 (IP).

Trama: Secuencia de bits o caracteres emitidos de forma ininterrumpida por un equipo en una red y cuyo conjunto constituye una información coherente interpretable por el o los destinatarios (mensajes, preguntas o respuestas, difusión de un valor...). La longitud (por ejemplo, el número de bits o de caracteres) de la trama es siempre limitada.

Variable: Información estructurada, característica de un proceso, transportada por una red (velocidad de un motor, posición de un móvil, etc.).

WAN: Wide Area Network. Por oposición a LAN, red que abarca una zona extensa, generalmente una red pública: Red Telefónica Conmutada, Internet... Nótese que, desde hace algunos años, se habla también de MAN (**M**etropolitan **A**rea **N**etwork); se trata de redes rápidas que cubren algunas decenas, o hasta centenas, de kilómetros (zonas metropolitanas).

El bus de campo: una aproximación al usuario

Estos últimos años, para reemplazar el cableado tradicional de las entradas y salidas de los autómatas programables industriales, han aparecido las tecnologías de las redes del tipo «bus de campo». En consecuencia, las arquitecturas de los automatismos han evolucionado profundamente. El presente Cuaderno Técnico aborda este tema para aproximar al usuario a la aplicación de los buses de campo en la industria de producción. Así mismo, además de los criterios de coste y de prestaciones, este estudio centra la atención de los prescriptores y diseñadores en las necesidades de interoperatividad y de durabilidad.

Si se desea, podrá anticiparse a la lectura de este documento, la del Cuaderno Técnico nº 147 «Iniciación a la redes de comunicaciones digitales».

Índice

1 Introducción	1.1 Un poco de historia	p. 6
	1.2 Evolución actual	p. 6
	1.3 Evolución de un bus de campo	p. 10
2 Prestaciones al mejor coste	2.1 El coste	p. 11
	2.2 Cualidades técnicas	p. 13
	2.3 Optimización coste-prestaciones	p. 16
3 La interoperatividad	3.1 Definiciones	p. 20
	3.2 ¿Cuáles son las garantías de funcionamiento?	p. 21
4 La perennidad	4.1 Riesgos	p. 24
	4.2 Tendencias	p. 24
	4.3 Garantía de perennidad	p. 26
5 Conclusión		p. 27
Anexo	Procedimientos de acceso al medio	p. 28
	Fraccionamiento de la banda pasante	p. 29
	El modelo OSI de la ISO	p. 30
Bibliografía		p. 32

1 Introducción

1.1 Un poco de historia

Para empezar, es interesante colocar la naciente historia de los buses de campo en la joven historia de los autómatas programables.

Aparición del autómata

En los años 60, el coste de los componentes electrónicos bajó a un valor que permitió sustituir ventajosamente la circuitería cableada de los automatismos con relés. Aparecieron los módulos de lógica cableada con transistores, como el MOG de Merlin Gerin y el Téléstatique 1 de Telemecanique. Como eran muy sencillos de montar, sedujeron rápidamente a los diseñadores de automatismos. En 1965, el transistor de germanio fue sustituido por el de silicio, lo que originó el SILIMOG, que fue aplaudido por los clientes hasta ya entrados los años 80.

En 1968, Modicon inventó el concepto de autómata programable: un único equipo responde a una gama muy amplia de necesidades y además simplifica toda la cadena del automatismo. Su gran flexibilidad de utilización tiene grandes ventajas a lo largo de toda la vida de la instalación.

Poco a poco fueron apareciendo las redes, al principio bajo la forma de conexiones serie. Los protocolos fueron dando forma a los intercambios de información. Así Modbus (1979), contracción de MODicom BUS, paso a convertirse de hecho en un estándar. Sin

embargo, estos primeros elementos se limitan a los casos en que el cableado «todo o nada» no es suficiente:

- conexiones entre autómatas,
- conexiones entre ordenadores,
- supervisión,
- conexión de consolas de programación.

Nacimiento del bus de campo

Puesto que seguía la reducción de costes de la electrónica —especialmente gracias a la utilización de ASICs en los productos—, las técnicas de redes (CT 147) pasaron a ser ventajosas respecto a las conexiones hilo a hilo para conectar las entradas y salidas de un autómata: esto son precisamente los buses de campo (**Figura 1**).

Así se observa por ejemplo la aparición de normas como la WorldFIP y Profibus o incluso la red Modbus Plus.

En 1993, Telemecanique comercializa una primera oferta industrial completa basada en la norma WorldFIP para la operación remota de las entradas y salidas del autómata (FIPIO) y la sincronización entre autómatas (FIPWAY). Siemens propone una oferta similar basada en la norma Profibus. En este mismo momento, Modicon comercializa la red Modbus Plus, verdadero unificador de los equipos.

1.2 Evolución actual

Pasados algunos años, muchas aplicaciones han adoptado el bus de campo. Esta espina dorsal de la arquitectura del automatismo pasa a ser un medio extraordinariamente potente de intercambio, de visualización y de flexibilidad para los equipos conectados a él.

El bus de campo lleva a una modificación progresiva de la arquitectura de los automatismos:

- supresión de cables de entrada/salida,

- desaparición de interfaces entrada/salida,
- desaparición de la conexión serie de cada entrada/salida.

Más allá de estos detalles de arquitectura, hay que destacar otros dos puntos:

- la descentralización y el reparto de la inteligencia,
- la aparición de nuevas tecnologías (Internet...).

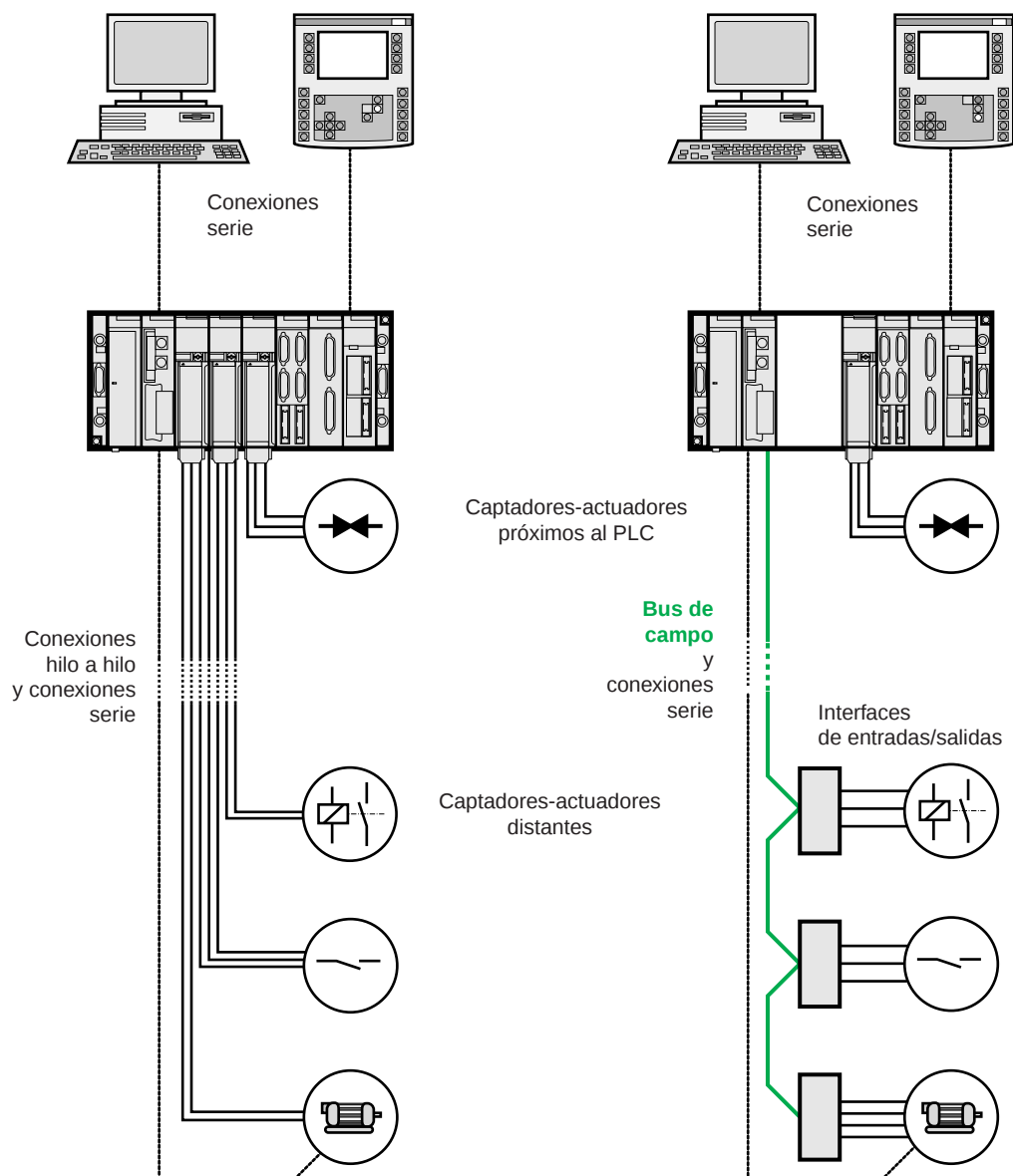


Fig. 1: Conexión de las interfaces entrada/salida.

Supresión de los cables entrada/salida

En una primera etapa, al salir las interfaces entrada/salida de los autómatas que se situaban lo más cerca posible de los captadores y actuadores, las ganancias se obtenían del ahorro de coste en cableado (**figura 1**).

Desaparición de los interfaces entrada/salida

Pero, una vez pasada esta etapa, los usuarios comprendieron enseguida la ventaja de tener conectado directamente al bus también los captadores y actuadores. El bus pasó a

utilizarse como medio de interconexión de los equipos, lo que resultaba especialmente útil para los equipos heterogéneos por su origen o por su tipo, como por ejemplo:

- distribuidores neumáticos,
- variadores de velocidad y unidades de control de ejes,
- máquinas de soldar y de atornillar,
- diversos dispositivos de identificación,
- interfaces hombre-máquina,

- equipos o herramientas específicas para un trabajo determinado,
- elementos de pesaje,
- visualizadores o displays...

A veces, esta capacidad de conexión justifica la utilización de un bus de campo incluso para pequeñas distancias, debido a su flexibilidad y a sus posibilidades de evolución (**Figura 2**).

En efecto:

- algunos de estos elementos (variadores de velocidad, máquinas de atornillar...) necesitaban a la vez una conexión para las entradas/salidas TOR (todo o nada) y una conexión serie para la conexión con el autómatas: el bus de campo sustituye a las dos...
- la necesidad de estanqueidad de otros equipos convertía el cableado tradicional en especialmente caro,
- Los buses tipo AS-i ofrecen muchas más soluciones y mucho más económicas que el cableado tradicional para la conexión de captadores y actuadores –botoneras de pulsadores, columnas luminosas, arranque de motores, etc.– incluso para distancias cortas.

La instalación se convierte en una especie de juego de construcción alrededor del cable de red. Se ha convertido en el estándar de cableado sustituyendo las conexiones hilo a hilo de 0 a 24 V o de 4 a 20 mA.

Además, la evolución hacia este tipo de buses proporciona por añadidura una gran cantidad de información de diagnóstico detallado sobre los captadores y actuadores, en cualquier punto de la instalación.

Desaparición de las conexiones serie dedicadas

El verdadero canal de comunicación así creado permite transportar informaciones mucho mayores. Esto lleva a los usuarios a utilizarlos para las funciones que utilizarían antes medios de comunicación específicos:

- parametrage,
- herramientas de diagnóstico,
- carga de programas,
- diálogo con el operador, etc.

Por ejemplo, la conexión serie dedicada que se utilizaba antes para el diálogo con el operador se suprime para dejar paso al bus de campo. Este canal le da acceso a cualquier punto de la instalación, no ya sólo a los datos del autómatas,

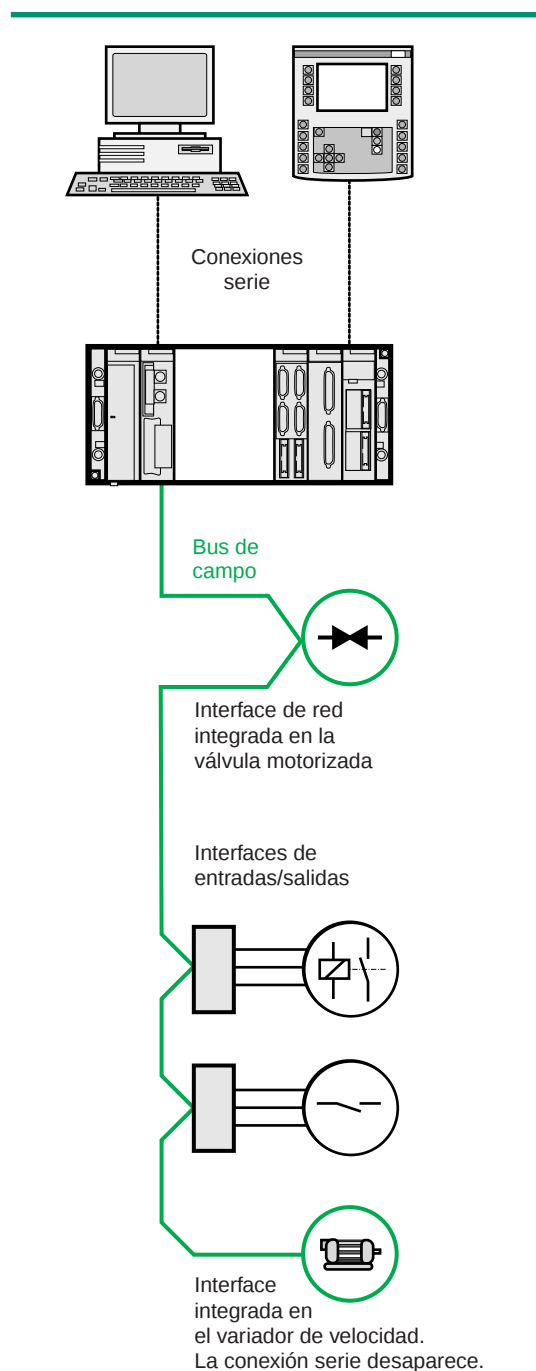


Fig. 2: Desaparición de las interfaces de entradas/salidas.

sino también a los de todos los equipos conectados: micro-autómatas, etc... (**Figura 3**). Esto, evidentemente, queda limitado por las prestaciones del bus considerado: un único tipo de red no será adecuado para todas las necesidades.

Descentralización y reparto de la inteligencia

Más allá de esta evolución de la arquitectura, el bus de campo abre la puerta a la descentralización, o sea, a la distribución de la inteligencia (ampliar estos conceptos en el Cuaderno Técnico nº 186, § 3.1):

■ La descentralización de la inteligencia permite:

□ Mayor modularidad del diseño. El especialista puede trabajar en su propio campo de actividad y ofrecer una interface al diseñador del conjunto. Esta modularidad es una ventaja para la calidad del montaje y por tanto para el control de los costes de cualquier desarrollo posterior.

□ Una mejor capacidad de respuesta del automatismo gracias a la utilización de nano o picoautomatas, colocados lo más cerca posible del proceso.

□ Más resistente a fallos o averías. Se pueden prever localmente los funcionamientos degradados al producirse una avería.

■ El reparto de la inteligencia entre los diversos equipos permite mejorar las prestaciones, puesto que se puede dejar a cada uno de los equipos del automatismo el proceso de la información para el que está mejor dotado, lo que mejora las posibilidades de reutilización tanto de los equipos como del software. Esta descentralización puede llegar hasta el límite de la desaparición de cualquier unidad central de proceso, pero esta situación está actualmente frenada por la complejidad de los procesos de instalación.

Nuevas tecnologías

Actualmente, las tecnologías de Internet, por su gran difusión, han trastornado el paisaje informático. Esta confusa situación, que llega hasta los automatismos, induce a la codicia y a la sobrevaloración de la importancia de los diversos programas, CORBA, JAVA, ACTIVE X..., todavía en fase de desarrollo.

Centrándonos en las redes, se aprecia una bipolarización: por una parte, la capacidad de Ethernet para llegar hasta los buses de campo, por otra, la consolidación de posiciones de algunos buses de nivel 0, como AS-i. Hay que recordar también la irrupción de componentes de redes de gran difusión (por ejemplo: CAN, utilizado en la industria del automóvil).

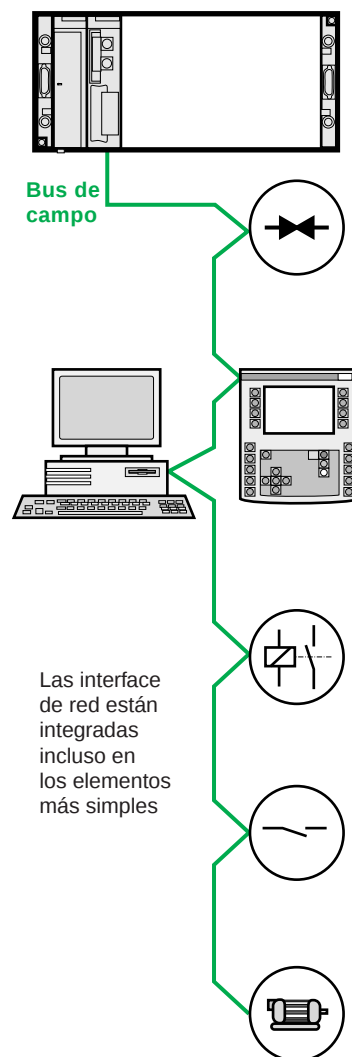


Fig. 3: Desaparición de las conexiones serie dedicadas.

1.3 Evolución de un bus de campo

¿Pero, cómo debe de actuar el usuario ante esta evolución tecnológica? ¿Cómo saber qué puede aportarle o qué hay que tener en cuenta al elegir los automatismos?

Este Cuaderno, al analizar las necesidades y exigencias, mejora la capacidad de evaluación del usuario.

La preguntas que se hace el experto en automatismos al diseñar una aplicación concreta de bus de campo giran siempre alrededor de cuatro aspectos:

- coste,
- prestaciones,
- interoperatividad,
- perennidad.

El coste

Lo primero que ha llevado a la aparición del bus de campo es la posibilidad de ahorro en los costes. La primera pregunta de todas las que el técnico en automatismos ha de responder es: «¿Será económicamente ventajosa la utilización de un bus de campo en mi trabajo?».

Prestaciones

Se trata, ante todo, de una exigencia: «Si decido que un determinado bus de campo es económicamente ventajoso ¿quién me asegura que sus prestaciones satisfarán las exigencias de mi aplicación?».

Interoperatividad

Si la respuesta al análisis de las cuestiones anteriores es positiva, hay que estar seguro de que los diversos elementos del automatismo necesarios para un montaje concreto son realmente capaces de funcionar conjuntamente según las necesidades del trabajo: «¿qué garantía hay que tener antes de la adquisición y prueba de los componentes?».

Perennidad

Por último, una vez aceptada la validez y la versatilidad de la instalación de un bus de campo, no conviene olvidar la duración requerida para este tipo de instalación: la rentabilidad de las inversiones necesita una cierta prudencia ante las nuevas tecnologías. Aunque actualmente la tecnología de este tipo de bus de campo está perfectamente consolidada, el multiplicarlos excesivamente puede no garantizar siempre la rentabilidad de las inversiones que requiere.

Los dos primeros criterios, coste y prestaciones, sirven para realizar un análisis técnico-económico de las instalaciones con bus de campo. Los dos siguientes, interoperatividad y perennidad, reflejan sobre todo la confianza de los usuarios: ¡hay que tener en cuenta el análisis del mercado, las estrategias de los fabricantes y su respeto a las normas ...!

Evidentemente, conseguir establecer un estándar en el mercado es la mejor garantía de confianza.

2 Prestaciones al mejor coste

2.1 El coste

Al analizar el impacto en términos de coste de un bus de campo, es importante tener en cuenta cada etapa de la vida de una instalación automatizada, desde su diseño hasta su desmontaje o desmantelación.

Diseño

La simplicidad del sistema de conexiones que hay que instalar en el caso de un bus de campo (respecto al cableado tradicional) favorece el ahorro en el esquema de cableado. La modularidad del diseño (trabajo en paralelo de varios expertos) simplifica considerablemente el estudio.

Por contra, la introducción de una nueva tecnología y de nuevos componentes no suele ser posible sin una formación específica, lo que produce nuevos gastos. De ahí la importancia de no utilizar normas o tecnologías diferentes más que cuando esté claramente justificado por coste o por prestaciones.

Suministro, instalación y puesta en servicio

Las ganancias de coste se consiguen precisamente cuando la instalación está en marcha:

- Reducción de costes de cableado.
- Reducción de plazos de entrega, sinónimo de ahorro, por:
 - disminución de trabajos de cableado,
 - modularidad de las pruebas,
 - configuración, ajustes y telecarga fáciles,
 - mejora de las capacidades de diagnóstico

Cuando el bus de campo se utiliza para sustituir las conexiones antes dedicadas específicamente al diálogo hombre-máquina, se obtiene herramientas de diagnóstico, programación o parametrage:

- supresión de ciertos adaptadores de comunicación específicos,
- supresión de cables de redes dedicadas.

Sin embargo, hay que tener en cuenta el sobre coste de los componentes del automatismo. Por tanto, para valorar el impacto global, el usuario debe de comparar los precios

de los mismos componentes de un automatismo con montaje tradicional o con bus de campo. No tiene que olvidar tener en cuenta el conjunto de accesorios: cables, conectores, programas específicos, coste de la puesta en servicio, etc. A veces hay que anteponer ciertos datos parciales, como el coste de un ASIC. Debe de evitarse un análisis incompleto en este aspecto.

Explotación (operación y mantenimiento)

Existen diversos aspectos que facilitan el mantenimiento:

■ Cableado y conexiones cortas

Las longitudes de los cables y los trazados complejos de éstos, así como el número de conexiones de cualquier tipo, fuente de averías, se reducen, con lo que aumenta la fiabilidad de las instalaciones. Esto depende de la elección de un bus de campo cuya inmunidad se debe de adaptar a las perturbaciones electromagnéticas industriales.

■ Nuevas capacidades de diagnóstico

Incluso los captadores-actuadores más simples proporcionan numerosas informaciones para diagnóstico.

■ Mejor modularidad

La distribución de la inteligencia favorece la colocación de autocontroles más precisos y mejora por tanto la resistencia a la averías y su capacidad de evolución.

■ Estandarización de componentes

La variedad de medios de enrutamiento de la información se reduce: adaptadores de comunicaciones comunes a varios productos (**figura 4**), cable y conectores comunes a varias categorías de productos, sustitución de diversas conexiones con cable, conexiones serie, redes de gran rendimiento. Se reduce también el stock de recambios y, por tanto, los costes de mantenimiento.

■ Coste de las averías

La disponibilidad de informaciones de diagnóstico permiten tanto evitar ciertas averías como reducir el tiempo de reparación. Además se reduce el coste de las paradas de producción

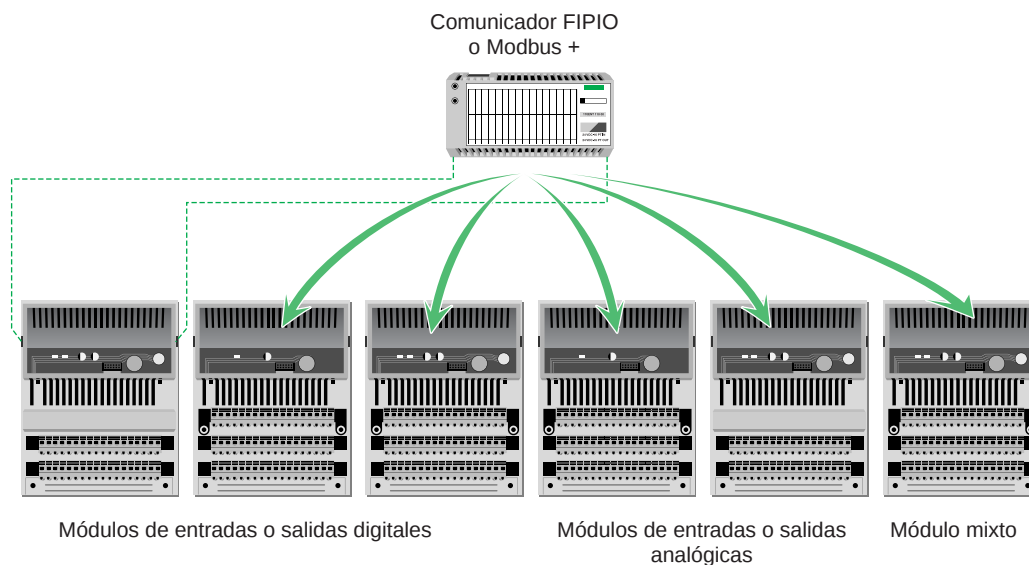


Fig. 4: Un único adaptador comunicante FIPIO para el conjunto de módulos Schneider MOMENTUM.

debido a estas averías. Sin embargo, sólo permiten alcanzar estos objetivos los medios bien integrados y una tecnología madura y comprobada.

Renovación

La puesta en funcionamiento de una aplicación se simplifica muchísimo con un bus de campo. Por ejemplo, en una gran fábrica de automoción, fue posible cambiar todo el sistema de cableado de una máquina entre el viernes por la noche y el lunes por la mañana, y, por tanto, sin paros en la producción. Con un cableado tradicional, este tipo de actuación hubiera sido absolutamente imposible.

Desmantelamiento

También en este sentido, la utilización de un bus de campo permite reducir costes:

- reducción de costes de retirada del cableado anterior,
- mayores posibilidades de reutilización del material.

En el resumen del gráfico de la **figura 5** se puede ver el impacto en el coste de cada una de las diversas fases de vida de la instalación.

Sobre este tema se han publicado diversos estudios y los resultados de numerosas aplicaciones. Es posible recurrir a ellos para profundizar en el estudio de costes (bibliografía).

Pero, el análisis de los costes no puede separarse del de las prestaciones.

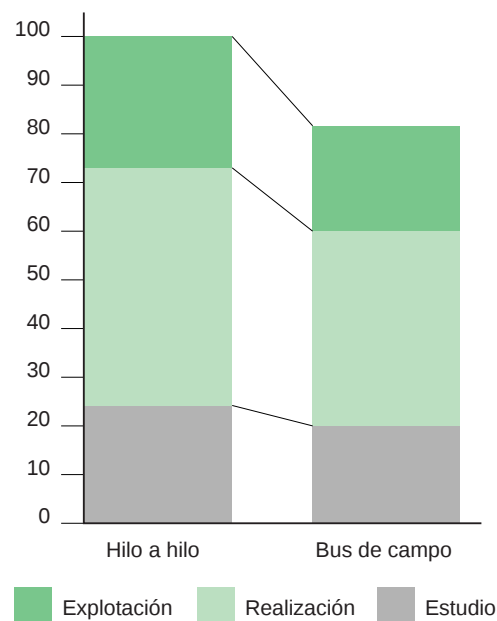


Fig. 5: Impacto sobre los costes debido a la utilización de un bus.

2.2 Cualidades técnicas

Exigencias

De entre las necesidades del usuario, hay que distinguir:

- Necesidades debidas al entorno de la aplicación:
- alimentación de los equipos conectados,
- número de captadores-actuadores,
- distancias necesarias,
- perturbaciones electromagnéticas,
- elementos móviles,
- exigencias topográficas,
- estanqueidad,
- entornos agresivos (sales, agua, ácidos ...),
- ambientes explosivos, etc.

El usuario debe hacer una lista completa de estas necesidades, con las que el constructor-instalador debe de poder comprometerse. A partir de aquí, la valoración de un bus con esta lista de detalles no tiene mayor problema, ya que sus características están bien identificadas. Para algunos buses, las normas definen los niveles de compatibilidad que les afectan, lo que es especialmente aplicable para lo que se refiere a las exigencias relacionadas con el entorno.

- Necesidades por los tiempos de respuesta:
- tiempo de respuesta máxima, en función del número de entradas/salidas,
- caudal de datos necesario para la aplicación.

Los bus de campo han puesto en evidencia la necesidad de cálculos de necesidades de tiempos de respuesta, ya perfectamente conocidos por los fabricantes de autómatas en sus arquitecturas tradicionales, basadas en mecanismos cíclicos. Profundizemos en esto.

Prestaciones de un bus de automatismo

Las exigencias de tiempo de un bus de automatismos son diferentes de las de una intrared de empresa o de una red pública (WAN), especialmente en dos sentidos:

- Orden de magnitud

Los automatismos en la industria de manufacturación requieren con más frecuencia tiempos de respuesta cortos (del orden de ms a algunas decenas de ms) para el enrutamiento de informaciones cortas (binarias) que velocidades importantes para la transferencia

de grandes cantidades de información. Para grandes transferencias (carga de programas, ...) se admite una cierta lentitud siempre que las ordenes binarias (cierre de una válvula, por ejemplo) continúen transmitiéndose en los mismos intervalos de tiempo.

Además, en ciertos casos, se necesitan prestaciones específicas, como por ejemplo para la sincronización de equipos.

■ Determinismo

Para el buen funcionamiento de una aplicación de automatismo, la transferencia de ciertos datos debe de efectuarse en intervalos de tiempo determinados. El bus de campo favorece la consecución de esta exigencia.

Para la visualización de una página en la pantalla del PC, un retraso de algunos segundos, un 1%, es perfectamente admisible. En cambio, ¿sería inadmisibile este retraso en la transferencia de la información de una célula de seguridad de una barrera que está descendiendo sobre un coche!.

El determinismo es una propiedad que permite el cálculo teórico del tiempo máximo garantizado de transferencia del bus en función de las condiciones de utilización (número de equipos, ...).

Los procedimientos de un bus determinista se explican en el anexo: algunos permiten garantizar este determinismo sobre informaciones críticas garantizando también intercambios menos prioritarios (diálogo hombre-máquina, diagnóstico, ...).

La importancia del determinismo para las redes utilizadas en las aplicaciones de automatismos ha sido objeto de numerosos debates en estos últimos años.

Sin dudar de su importancia, no hay que confundir determinismo y mecanismo de seguridad. Hay que tener en cuenta también el hecho de que toda aplicación admite tasas de avería dependientes del material, del entorno... Así, en el ejemplo propuesto, independientemente de que el bus sea determinista o no, un mecanismo de seguridad prevé la parada de la barrera en caso de corte del medio. El único riesgo, con un bus no determinista, es que la barrera se pare no por el corte del medio sino debido a un exceso de tráfico. Para evitar esta situación, es decir, que su probabilidad sea menor que la tasa de fallo admitida, simplemente hay que limitar la tasa de carga en el bus no determinista. Por tanto, se puede utilizar un bus

no determinista con velocidades mayores, aunque con ciertos factores de coste también mayores. La evolución técnica y su gran extensión han hecho a este bus competitivo. De hecho, Ethernet, no determinista, después de haber sustituido desde hace algunos años al bus de «ficha virtual» 802.4 (token ring), está hoy en día estudiándose, por las mismas razones de coste, como posible bus de campo.

Criterios de evaluación

■ ¿Qué calcular?

El usuario se enfrenta a menudo al cálculo de características de tiempo. Debe preguntarse en especial sobre la correspondencia de las cifras proporcionadas y sus necesidades.

Pueden encontrarse diferentes valores:

- ☐ velocidad del medio físico,
- ☐ tiempo de ciclo de la red,
- ☐ tiempo de respuesta del automatismo en una actuación concreta,
- ☐ tiempo de respuesta total del proceso.

El usuario debe privilegiar, de entre las diversas características de aplicación, aquéllas que son significativas para él. Típicamente, se interesa por los tiempos de respuesta E/S (medir o calcular cuánto tarda en activarse una salida después de la activación de la entrada) precisando cada vez:

- ☐ el valor nominal,
- ☐ el valor máximo garantizado.

Las informaciones sobre el tipo de respuesta temporal del medio físico o el tiempo de ciclo de

la red no deben utilizarse más que después de un análisis más profundo.

■ Ciclos y prestaciones

La mayor parte de los buses de automatismos funcionan con el principio de interrogación cíclica: los datos se toman con la frecuencia de un ciclo repetido hasta el infinito. Cada información es «tratada» una vez por ciclo.

En el peor de los casos, cuando la toma del dato se produce justo antes del cambio de estado, éste último no se transmite hasta el ciclo siguiente (**Figura 6**).

Ciertos buses, como WorldFIP, permiten definir un macro-ciclo que se descompone a su vez en varios elementales (Anexo). Así, ciertas informaciones serán intercambiadas a cada ciclo elemental mientras que otras lo harán en dos ciclos elementales, o, incluso, una vez cada macro-ciclo. Esto permite adaptar el período de refresco de cada información al tiempo de respuesta requerido.

También el programa del autómatas se caracteriza por un tiempo de ciclo. Ciertos captadores-actuadores tienen un programa que funciona con un mecanismo cíclico. Cada vez que se produce un suceso en la entrada de uno de estos sistemas cíclicos, hay que esperar, como máximo, durante un ciclo completo de este sistema antes de poder tratar la información. Por tanto, el tiempo de respuesta global máximo es la suma de los tiempos de ciclo. Pero aquí puede haber un gran decalaje entre el tiempo máximo y el valor nominal, generado cuando el suceso se produce cada vez precisamente a la mitad un ciclo (**Figura 7**).

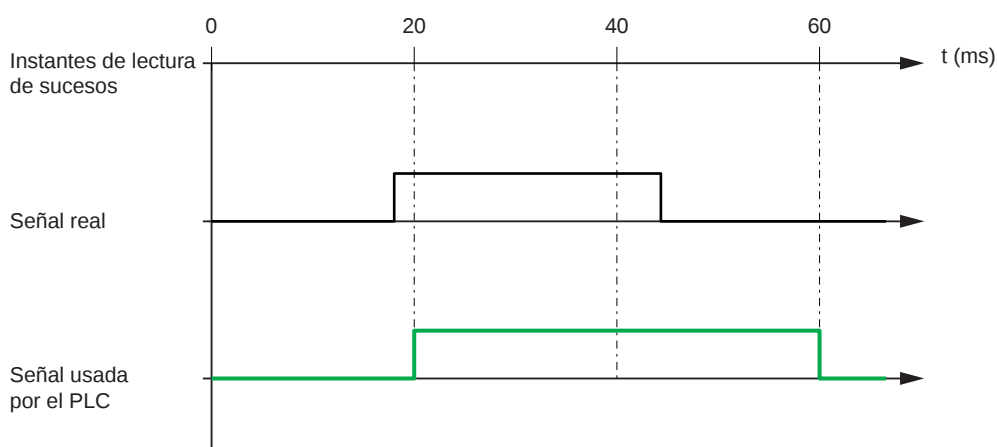


Fig. 6: Fluctuaciones de tiempo de respuesta con procedimiento cíclico.

■ Importancia del principio de acceso al medio

Según el procedimiento de acceso al medio del bus, la importancia del tiempo de ciclo del bus podrá ser diferente. Por ejemplo, según el caso, la transmisión de la información al próximo destinatario desde la puesta a disposición de la información en el bus, puede llegar a tomar hasta un tiempo completo de ciclo (Figura 8).

Las comparaciones entre buses por sus características de velocidad del medio o de tiempo de ciclo son, por tanto, insuficientes

—utilizadas a veces de modo excesivo— y pueden llevar a falsas conclusiones sobre el tiempo de respuesta si no se tienen en cuenta los principios de funcionamiento del bus.

Fiabilidad

La fiabilidad es un criterio de valoración de la calidad. En el campo de la seguridad de funcionamiento, todo o casi todo se puede evaluar y ciertamente tiene un precio. Una fiabilidad total, absoluta, tendría un precio infinitamente elevado. En los casos críticos, en

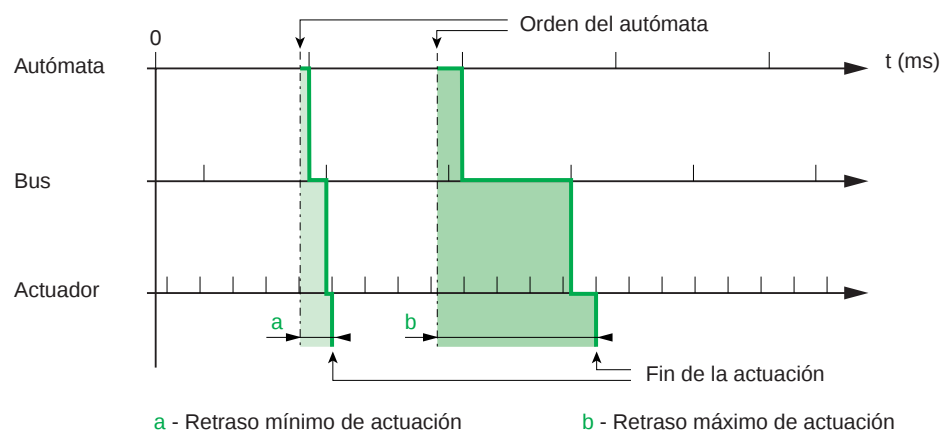


Fig. 7: Importancia de los ciclos sucesivos en el tiempo de respuesta.

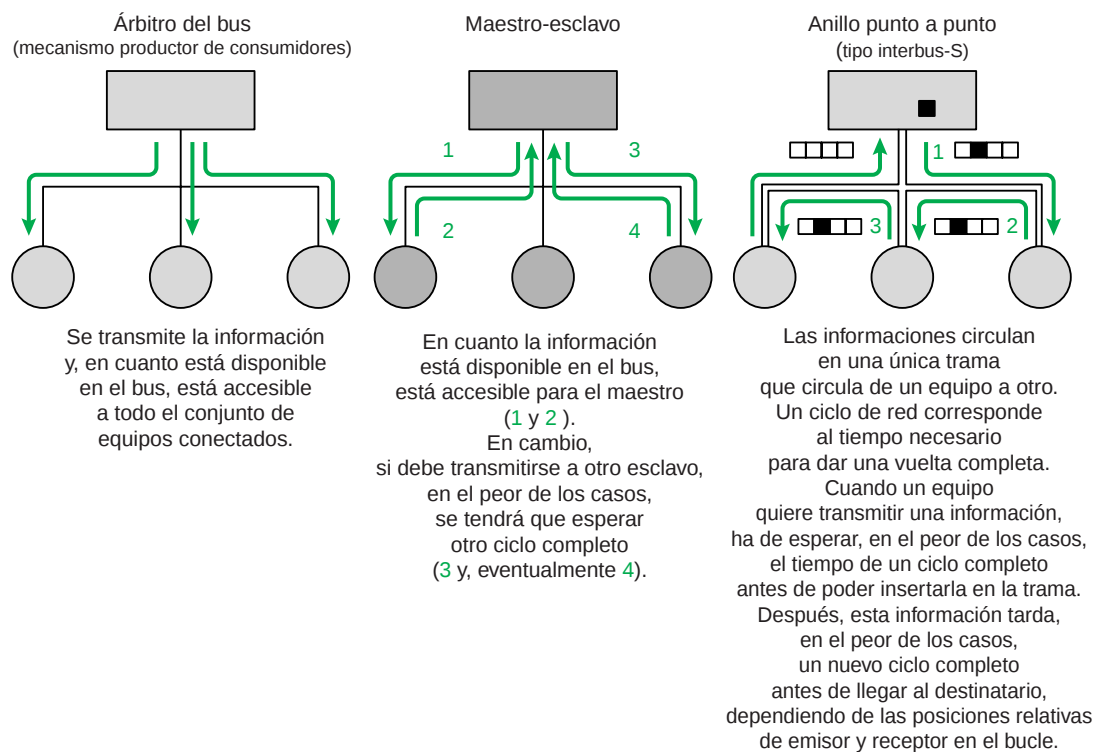


Fig. 8: Importancia del tiempo de ciclo en los tiempos de respuesta, según el procedimiento de acceso al medio.

los que la seguridad de funcionamiento es la principal exigencia del proyecto, es absolutamente necesario realizar un estudio de la fiabilidad con un experto para poder tener una confianza justificada en el sistema que se instala.

En muchos otros casos, puede ser suficiente una simple evaluación. El usuario debe de medir el riesgo y los medios que debe de desplegar para estar cubierto. La noción de riesgo es un equilibrio entre el coste de un suceso temido y la probabilidad de su aparición.

A priori, salvo con una arquitectura compleja y tolerante con las averías, un fallo del bus puede bloquear la totalidad de una aplicación.

Sin embargo, los buses de campo contribuyen a mejorar la disponibilidad de la aplicación (y por ello, a una reducción del coste total de una instalación automatizada completa):

- facilitando el diagnóstico (mediante informaciones de diagnóstico, herramientas de búsqueda de averías y con la simplificación del cableado),

- separando las funciones,
- facilitando (y haciendo por tanto más rápida) la sustitución de un módulo de proceso.

Sin embargo, no todos los buses ofrecen el mismo nivel de servicio en este aspecto:

- Por una parte, la calidad del diagnóstico varía en cuanto a:
 - las informaciones proporcionadas,
 - los medios de acceso a esta información.

- Por otra parte, la continuidad del servicio en caso de corte de tensión, desconexión o avería de un equipo varía de un bus a otro.

Ciertos buses son especialmente conocidos por su capacidad de mantener la disponibilidad. Por ejemplo, el bus Modbus+ tiene la cualidad, entre otras, de permitir la redundancia del medio físico. Estas características constituyen un criterio de elección para los usuarios. Cada uno tiene que valorar la importancia en función de sus necesidades.

2.3 Optimización coste-prestaciones

Límites tecnológicos actuales

Actualmente, una única red no sería capaz de satisfacer todas las necesidades de todas las aplicaciones, especialmente, en cuanto a coste y prestaciones, pero tampoco en cuanto a exigencias del entorno, equipos conectables, normalización...

Las tecnologías actuales permiten aportar una respuesta satisfactoria en cuanto a coste para la conexión de equipos de entrada/salida sencillos, debido a que sólo requieren transmisiones de información limitadas, en general, a distancias limitadas. En cambio, para equipos que necesitan volúmenes importantes de transmisión de datos, normalmente a mayores distancias, el coste de las tecnologías necesarias, más elevado, es aceptable respecto al coste, también mayor, de estos equipos.

Los objetivos de coste y de prestaciones se unen por tanto y llevan a los fabricantes a proponer soluciones técnicas adaptadas a los niveles requeridos. Así se tiene una clasificación de las diversas soluciones de redes que confirma los niveles de la pirámide C.I.M.

Clasificación de los bus de campo

El esquema de la **figura 9** presenta el ámbito de aplicación de cada una de las principales

normas de buses de automatismos en cada una de las jerarquías. Las diversas características quedan relacionadas de esta forma:

- Características «objetivo»:
 - volumen y tipo de las informaciones a transmitir,
 - precio de los adaptadores de red,
 - tiempos de respuesta requeridos,
 - longitud máxima de las redes.
- Clasificación asociada:
 - niveles de la pirámide C.I.M.,
 - nombre de las familias de redes,
 - ubicación dentro de una arquitectura típica.

Ciertamente, todos los valores no son más que órdenes de magnitud.

Esta clasificación permite comprender rápidamente el objetivo de un bus o, dicho de otra manera, ver cómo hacer entrar nuestras necesidades en un bus de la lista. Sin embargo, requiere algunos comentarios para entenderla y usarla acertadamente:

- No es discontinua. Su objetivo se limita a identificar la zona en la que un bus asegura la mejor respuesta a la optimización de la razón

coste/prestaciones. Cuando uno se aleja de esta zona, la razón va siendo progresivamente peor.

■ El usuario puede fijarse en las normas que abarcan varios niveles. En efecto, cuantas menos redes diferentes se usen:

□ menor es su inversión en:

- formación,
- estandarización de los equipos gestionados,

□ mayor es su libertad en la definición de las arquitecturas de su automatismo,

- haciendo dialogar unos equipos con otros, de forma transparente,

- evitando accesos y programas específicos dedicados a administrar los intercambios...

Es también un seguro de perennidad de la solución. Cuanto menos especializada, mejor puede asegurar su propia rentabilidad por la mayor cantidad de equipos, y, por tanto, por lo que se refiere al usuario, mejor asegura su perennidad. Este es el caso de ModBus Plus, destacable por su aspecto unificador.

Son muchas las normas que responden en buenas condiciones a las necesidades de los niveles 1 y 2, llegando a veces a la parte baja del nivel 3 o a la parte alta del nivel 0.

Por el contrario, debido a las grandes exigencias de coste del nivel 0, los buses

adecuados para este nivel raramente pueden pretender más que un ligero desbordamiento hacia la parte baja del nivel 1.

El usuario debe prestar atención a no dejarse engañar por un pretendido bus universal que en realidad no podría asegurar los compromisos coste-prestaciones en todos los niveles. Más vale utilizar vías de paso entre niveles bien integrada en el sistema automático que un bus demasiado caro en una parte de la aplicación. Así, estas vías de paso entre niveles permiten interconectar equipos AS-i a una arquitectura FIPIO o Modbus Plus.

Conviene hacer algunas precisiones sobre aspectos confusos:

■ Perfil de comunicaciones

Con una misma norma, se esconden a veces variantes –perfiles de comunicaciones– que segmentan los niveles de costes y de prestaciones buscados. El nivel de compatibilidad entre ellas es variable.

■ Tecnología

La mayor parte de los buses proponen diferentes soluciones técnicas –especialmente diferentes ASICs– para conectarse a un bus con un coste adecuado al producto conectado y a sus prestaciones. Así pues, puede existir un elemento especialmente adaptado para el nivel 1 y otro especialmente adaptado para el nivel 2.

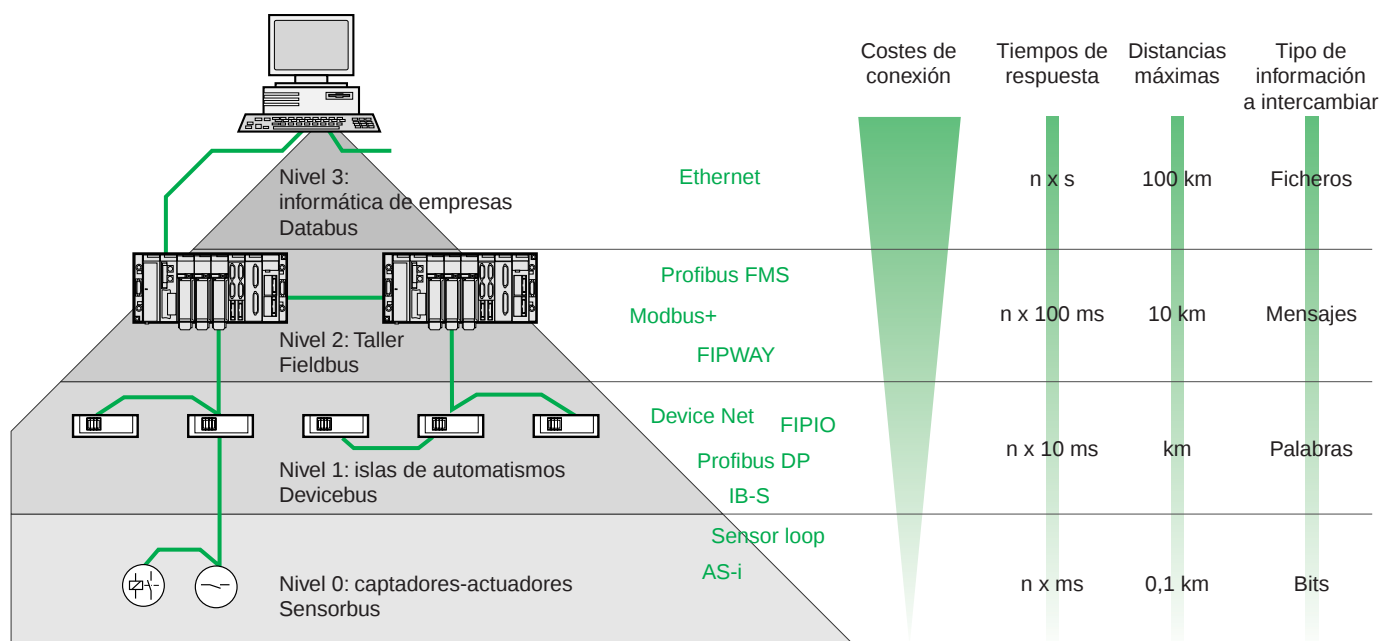


Fig. 9: Clasificación de los buses de campo.

La existencia de varios componentes definidos permite al fabricante proponer productos con una razón coste/prestaciones óptima.

El usuario debe entender bien las nociones que vamos a precisar a continuación. Por defecto, se puede descubrir a veces demasiado tarde que, detrás de una misma definición denominación, se esconden a veces dos buses diferentes.

Perfiles de comunicaciones

Una norma de redes define las reglas para permitir a los equipos configurados según ella comunicarse entre sí. Pero, la mayor parte de normas proponen, o autorizan por falta de precisión, alternativas de funcionamiento perfectamente incompatibles entre sí, adaptada cada una a un entorno de utilización diferente. La simple conformidad con la norma, rara vez garantiza, por tanto, lo que busca el usuario, o sea, la comunicación de los equipos entre sí.

Un perfil de comunicaciones se base en una norma de redes y aspira a definir, dentro del marco de dicha norma:

- por una parte, opciones (mediante las diversas alternativas propuestas por la norma),
- por otra, eventualmente, los complementos a la norma, necesarios para garantizar la comunicación entre equipos se ajustan al perfil.

Selecciona así el conjunto de características de la norma adaptadas a un contexto de utilización dado, por ejemplo, las entradas/salidas de un autómata (nivel 1) o la sincronización entre autómatas (nivel 2).

Para el usuario, esto es una mejor garantía de interoperatividad. Además, le permite aprovechar las ventajas de la no-multiplicación de tipos de redes, a condición, sin embargo, de que haya entendido perfectamente lo que aportan estos perfiles y las limitaciones asociadas.

En concreto:

- ¿Las herramientas de cableado (cable, conectores...) son las mismas para cada perfil?,
- ¿en qué medida los equipos conformes cada uno a un perfil diferente del mismo bus, pueden interoperar? ¿Hay, por defecto, compatibilidad para un sub-conjunto del protocolo?

En caso de respuesta negativa, esto obliga a utilizar dos buses diferentes.

Ejemplo de perfil de comunicaciones

Sobre la base de la norma WorldFip, se han definido y ofrecido dos perfiles en los productos Schneider Electric:

■ FIPIO, bus de entrada/salida de autómata (nivel 1),

■ FIPWAY, bus de sincronización (nivel 2).

La definición de estos perfiles integrados en los sistemas de autómatas, ofrece al usuario una garantía sobre la compatibilidad de funcionamiento, sin que haya necesidad de que el cliente profundice en su conocimiento de la norma WorldFip.

En este ejemplo, los equipos FIPIO y FIPWAY no se pueden conectar a una misma red, pero:

- las herramientas de cableado son las mismas en los dos casos,
- los dos perfiles se basan en los intercambios de variables y mensajes de la norma WorldFip:
- las variables son diferentes en los dos casos:
 - E/S autómatas, para FIPIO,
 - informaciones de sincronización en el caso de FIPWAY;
- en cambio, pueden encaminarse los mismos mensajes de un perfil a otro, por el contrario, pueden enrutarse de un perfil a otro. La única diferencia está en la banda pasante disponible para cada grupo de mensajes:
 - estrecha en FIPIO,
 - ancha en FIPWAY.

Esto permite:

- transmitir los mensajes de forma transparente de FIPIO a FIPWAY y viceversa,
- conectar las consolas de programación indistintamente sobre FIPIO o FIPWAY,
- parametrizar los equipos –o la conexión de diálogo con el operador– utilizando mensajería configurada, indistintamente, en FIPIO o FIPWAY,
- utilizar herramientas de diagnóstico idénticas –analizador de red, por ejemplo– sobre FIPIO o FIPWAY indistintamente, limitando las necesidades de formación del usuario.

Para la norma Profibus, Profibus DP y Profibus FMS ofrece una cobertura similar.

Tecnología

Aquí se utiliza este término para designar los componentes físicos y lógicos (hard y soft) que permiten asegurar el funcionamiento de un producto conforme a una norma y/o un perfil de comunicación.

Una misma norma puede ser soportada por dos tecnologías (componentes) diferentes, adaptándose mejor a las necesidades de comunicación de cada equipo:

- los equipos conectados a niveles más bajos no proporcionan necesariamente todas las funciones propuestas pero todos dispondrán de centros comunes que les permitirán dialogar,

- las necesidades de intercambios de información, importantes en cantidad y diversidad, de los equipos más complejos no obligan a costes elevados para los equipos más simples.

Cada equipo para conectarse utiliza una tecnología –componentes– que depende de sus propias necesidades de intercambio y no del bus.

Además, esto es similar a la noción de perfil: los componentes se especificarán con frecuencia para soportar todos o parte de los perfiles en una norma.

Ejemplo sobre las tecnologías:

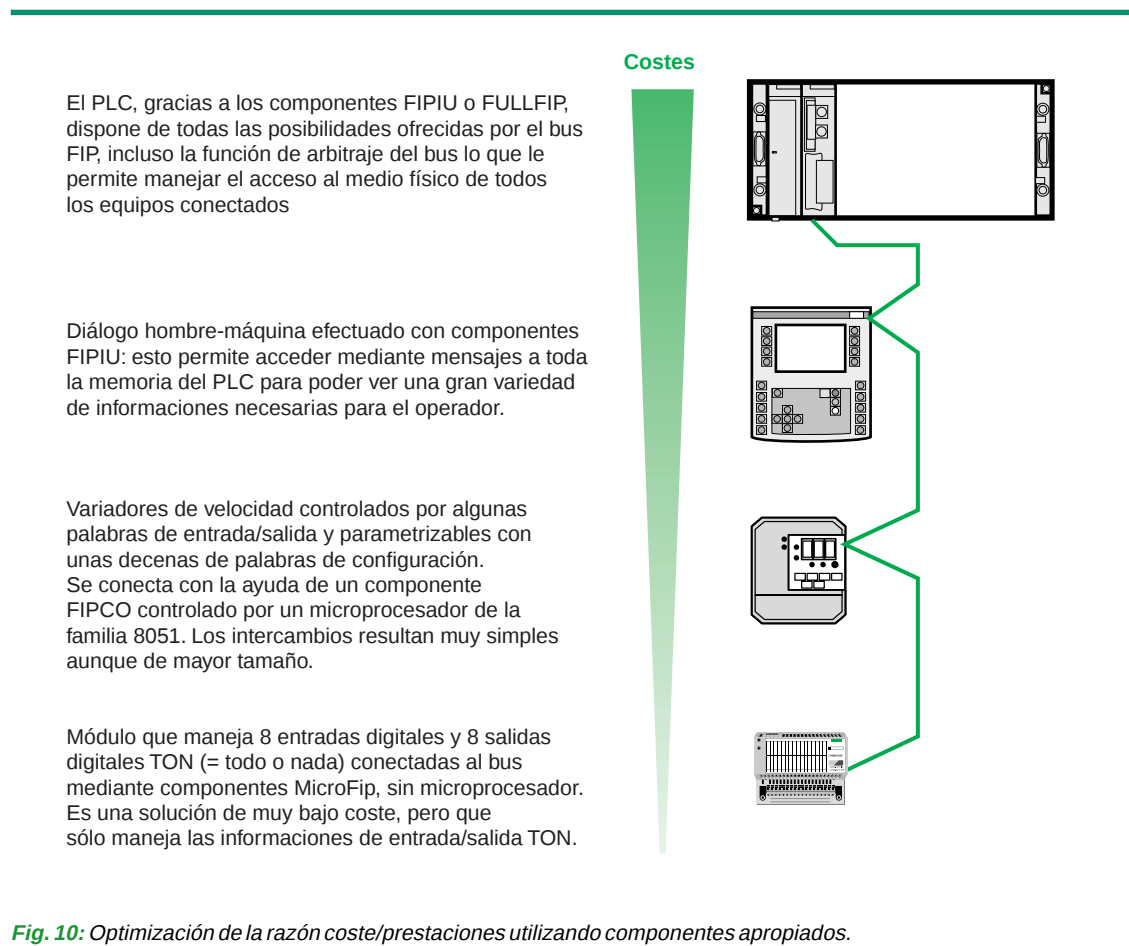
La norma WorldFip utiliza 3 tipos de componentes:

- FULLFIP y FIPIU, que soportan todas las posibilidades en la norma, incluso la mensajería y las funciones de arbitraje del bus,

- FIPCO, que maneja el intercambio de variables sin restricciones (excepto el arbitraje del bus y la mensajería). Ha de estar controlado por un microprocesador,

- MICROFIP, que permite conectar un dispositivo simple (sólo entradas y salidas) sin un microcontrolador.

La **figura 10** muestra la utilización de estos diferentes componentes en el caso de un bus de entradas/salidas remotas de un autómata.



3 La interoperatividad

Después de haber escogido un bus, o visto sus características, conviene asegurarse de que los diversos equipos a conectar pueden funcionar conjuntamente asegurando los intercambios requeridos para la aplicación prevista. Se habla

de «interoperatividad» para calificar el «buen funcionamiento» del conjunto.

Pero antes de avanzar, hay que definir y aclarar los términos que se van a utilizar.

3.1 Definiciones

Ejemplo

Estas definiciones se explican utilizando como ejemplos un variador de velocidad que dialoga con un PLC o autómatas a través de una red WorldFip:

- Dos palabras de entrada al variador:
 - orden de marcha/paro del motor,
 - consigna de velocidad.
- Tres palabras de salida del variador:
 - estado real del motor (en marcha/parado),
 - consigna de velocidad aplicada al motor,
 - medida de la velocidad del motor.

Además, este variador para funcionar debe de recibir los parámetros del autómatas.

Conformidad

La conformidad con una norma indica simplemente el hecho de respetar sus prescripciones. Esto no es en ningún caso una garantía de buen funcionamiento entre equipos en el marco de una aplicación con autómatas.

- la norma puede proponer opciones: el buen funcionamiento de dos equipos supone la elección de las mismas opciones o, por lo menos, de opciones compatibles.

Ejemplo: pueden elegirse la velocidad del medio, el tipo de acceso a las variables (sea por dirección física o mediante un nombre) o la lista de servicios soportados.

- La norma puede tener huecos o vacíos en las especificaciones dejando a cada equipo un margen de interpretación. Es suficiente que, en dos equipos, un mismo punto haya sido interpretado de manera diferente, para que ambos no sean operativos conjuntamente.

- Ciertas normas sólo tratan sobre una parte de las capas ISO (anexo) y por tanto no pueden por sí mismas conseguir que dos equipos se intercambien información. Por ejemplo, Ethernet (ó 8802.3) trata exclusivamente de los niveles o capas 1 y 2 mientras que TCP/IP de las capas 3 y 4. En el ejemplo propuesto, la conformidad del variador significa que comunica sus entradas/salidas y los parámetros mediante tramas conformes con la norma WorldFip.

Los parámetros, por ejemplo, pueden ser intercambiados mediante variables o mensajes WorldFip: es este caso como en otros, el variador es «conforme».

Interoperatividad

La interoperatividad es la facultad de dos equipos de dialogar. Sin embargo, para ser completamente utilizable por el usuario, esta noción debe de precisarse: en efecto, dos equipos pueden interoperar muy bien ciertos servicios y no otros. El usuario debe de determinar si los servicios y funciones para los que los equipos interoperan, satisfacen las necesidades de su aplicación.

Para facilitar esta necesidad, algunos buses definen los perfiles de comunicación (ver apartado 2.3) que precisan las opciones elegidas y las características exactas de las informaciones intercambiadas.

En el ejemplo propuesto, el variador y el autómatas no pueden intercomunicarse, aunque los dos sean conformes a la misma norma, si:

- el variador recibe sus parámetros mediante tramas de mensajería,
- el autómatas sólo procesa las variables.

La intercambiabilidad

La intercambiabilidad designa la posibilidad de sustituir un equipo por otro del mismo tipo, asegurando las mismas funciones y proporcionando los mismos servicios en el bus: por ejemplo, refiriéndolos al caso en cuestión, un determinado variador de velocidad podrá o no ser sustituido por otro sin modificación de la aplicación de los automatismos, es decir, sin tocar el programa de funcionamiento del autómatas. Además de la interoperatividad del autómatas con cualquier variador, se necesita que la naturaleza y el tipo de informaciones a intercambiar con el autómatas sean idénticas independientemente del variador utilizado.

Esta noción requiere algo más que la conformidad con un protocolo de red. En efecto, supone definir la lista, la estructura y las características (naturaleza y tipo) de las informaciones procesadas por el conjunto de los equipos de un cierto tipo. Esta es la noción del perfil del equipo.

Para volver al ejemplo propuesto, supongamos que el variador cambia el estado de sus entradas mediante una variable WorldFip que contiene primero la orden de marcha/paro y a continuación la consigna de velocidad.

Otro variador de velocidad que cambia sus entradas mediante la misma variable pero en la que la consigna de velocidad está antes que la orden marcha/paro, interopera también con el autómatas, pero no es intercambiable con el primer variador. Un perfil de equipo que defina la semántica de cada una de las palabras de las entradas/salidas de un variador permite asegurar la intercambiabilidad. Pero esto impide que el usuario se beneficie de las funciones específicas disponibles para ciertos productos. Así, ciertos fabricantes ven en esto un freno a las posibilidades de enriquecimiento de su oferta. En cambio, ciertos usuarios piensan que es una esperanza de intercambiabilidad.

Es evidente que, para equipos complejos como los variadores de velocidad, el número de parámetros que entran en juego, especialmente para actuaciones en tiempo real, hacen de la intercambiabilidad un objetivo difícil de alcanzar.

Un perfil de un equipo puede definirse independientemente de la red a utilizar: es suficiente después precisar para cada red, los objetos de comunicación utilizados (tipos de tramas: mensajes, variables...) para cambiar los objetos funcionales definidos en el perfil del equipo.

Los variadores de Schneider Electric corresponden al perfil de equipo DRIVECOM.

3.2 ¿Cuáles son las garantías de funcionamiento?

Objetivo

El usuario debe de obtener garantías respecto a:

- interoperatividad, antes que nada, para asegurar el buen funcionamiento de la aplicación prevista,
- la conformidad a una norma de bus para asegurar que el buen funcionamiento no está limitado a esa utilización concreta y ofrecer las mejores garantías en caso de evolución tecnológica: utilización de nuevos servicios, intercambio del producto, etc.
- intercambiabilidad, eventualmente, para tener la posibilidad de cambiar de producto, incluso de proveedor, por ejemplo, debido a una actualización o una reparación.

¿Qué medios hay para conseguir todo este tipo de garantías? Esto es precisamente lo que se va a detallar en los siguientes párrafos.

Asociaciones

La mayor parte de los buses de campo están promovidos por grupos que asocian a los fabricantes de productos para conectar a buses (o susceptibles de serlo). Algunos de estos grupos o asociaciones reúnen también a clientes y usuarios, lo que constituye evidentemente una ventaja. Hay, por ejemplo, grupos que estudian las normas Profibus, WorldFip, Device Net, Interbus-S, AS-i.

Estas asociaciones contribuyen a la promoción de la norma correspondiente y de las tecnologías asociadas y permiten asegurar el respeto a la norma de cada uno de sus miembros.

Sin embargo, su forma de funcionar es muy variable. Muchas están esencialmente movidas por algún gran fabricante concreto de autómatas y a ella se unen los fabricantes de los equipos periféricos del PLC.

La ventaja es que la garantía de este fabricante es la mejor seguridad de buen funcionamiento de la asociación y elimina cualquier divergencia entre miembros. Por el contrario, esto reduce las posibilidades de esta norma de llegar a convertirse en un estándar compartido por otros fabricantes de autómatas. Un caso particular es el del club de Interbus-S, promovido por Phoenix, que es fabricante de productos periféricos y no de autómatas.

Entre estas asociaciones, se puede destacar el buen funcionamiento del consorcio AS-i, del que forman parte Schneider Electric y Siemens. Esta asociación agrupa a los mejores fabricantes que, no sólo son miembros, sino que también aportan extensos catálogos de productos concurrentes y ha sabido gestionar la evolución de la norma y su respeto a los productos.

Ciertas asociaciones proponen certificados de conformidad. Esto contribuye a limitar los riesgos, pero no es una garantía de interoperatividad.

Organismos de normalización

Ciertos buses son conformes a las normas internacionales (ISO, CEI...) o nacionales (IEEE, UTE...). Esto constituye para el usuario una garantía de calidad y puede ser importante en los mercados públicos.

Sin embargo, la evolución constante de las tecnologías de bus es a menudo difícilmente compatible con el consenso, y por tanto, con los plazos necesarios de elaboración de una norma.

Los fracasos en las normas también han sido numerosos. En el mundo de los automatismos, hay que citar la norma MMS. Reclamada por los usuarios, aplicada a Ethernet por la mayoría de proveedores, nunca ha alcanzado una importancia real. Sin embargo, a pesar de los defectos de juventud, tolerables, respondía convenientemente a las necesidades de muchas aplicaciones. Actualmente, casi todas las aplicaciones utilizan mensajerías propias. ¿Era real la necesidad de una mensajería normalizada?

Notoriedad

Numerosas redes propietarias se han convertido «normas de hecho».

En el mundo industrial, esto se ha cumplido, después de varios años, para Modbus/JBus, Unitelway...

Esto es cierto también en el mundo de la informática con «normas de hecho» como TCP/IP que se han desarrollado muchísimo en detrimento de las normas ISO o equivalentes.

La aparición de una «norma de hecho» debido a la penetración de una tecnología en el mercado (industria en general o sectores importantes de la industria, como la del automóvil...) es una muestra de buen funcionamiento de los productos que a ella se ajustan.

Por ejemplo, los componentes CAN, utilizados en el sector de automóvil, son interesantes por el bajo coste en el sector del automatismo.

Igualmente, un cierto número de tecnologías venidas del sector de la informática, que representan un mercado mucho más importante que el sector del automatismo, han penetrado en el mundo industrial. Es también por ejemplo, en otro campo, el caso de los PC's, que han sustituido las consolas especializadas para programas de autómatas.

Asimismo, la norma ISO 8802.4, dedicada a los automatismos para redes de nivel 2, no ha podido resistir la penetración de Ethernet (ISO 8802.3). Ciertas ventajas de la 8802.4 para los automatismos, no han conseguido convencer, debido a:

- la enorme base de redes Ethernet ya instaladas en la fábricas para las necesidades de la informática de gestión,

- las reducciones de coste y las múltiples herramientas disponibles para Ethernet, creadas por efecto del volumen propio del mercado de la informática de empresas.

En resumen, la notoriedad de un estándar, sinónimo de volumen, y por tanto de retorno de experiencias; es, para el usuario, un aval de buen funcionamiento. El volumen del catálogo de productos compatibles es un buen indicador.

Garantías de un constructor o fabricante

Por último, una de las mejores garantías de buen funcionamiento de equipos heterogéneos en el marco de una instalación distribuida es la garantía que ofrece un gran fabricante. Esto supone muy claramente la voluntad de este constructor de abrir sus arquitecturas. Es actualmente el caso de los principales proveedores de automatismos programables –Rockwell, Schneider Electric o Siemens– que controlan una tecnología de bus de campo, integrada de forma privilegiada en sus productos:

- CPU de autómatas que incorpora la conexión al bus,

- una gama muy extensa de módulos E/S TON (todo o nada), analógicas IP20 e IP65,

■ numerosos equipos conectables, del propio fabricante y de la competencia, a veces, sus competidores:

- distribuidores neumáticos,
- indicadores o codificadores de posición,
- variadores de velocidad y equipos de control de ejes,
- robots,
- identificadores: lectores de código de barras, captadores inductivos, etc.,
- productos para diálogo hombre-máquina,
- productos específicos para una actividad determinada: atornillado, soldadura, etc.,
- sistemas de visualización.

■ intercambios de E/S e información de diagnóstico perfectamente integrados en el lenguaje y las herramientas de programación y de diagnóstico, tanto para los productos del fabricante como para los de la competencia.

Por esto, los fabricantes han lanzado al mercado programas de cooperación para acompañar a los fabricantes de productos de automatismos susceptibles de conectarse a su bus. Así, Schneider Electric, con los programas Modconnect para Modbus Plus y Fipconnect para FIP (actualmente fusionadas en Schneider Alliances), propone a su competencia soluciones de hard y de soft para facilitar el desarrollo de sus conexiones pero también test de interoperatividad que aportan a los clientes comunes todas las garantías de buen funcionamiento.

En efecto, en este contexto, es preferible que la tecnología del bus de campo desarrollada por un fabricante sea una norma garantizada por un organismo oficial y soportada por un club o asociación en la que participen numerosas empresas, incluidos los usuarios. Asimismo, la credibilidad de la estrategia de apertura supone que permite la conexión de productos de su propia competencia. Pero además, si hay implicación técnica y financiera de un gran fabricante, éste:

- aporta las garantías de funcionamiento del bus que controla, especialmente sobre aspectos del sistema y de la prestación global, lo que es imposible con soluciones demasiado heterogéneas,
- puede asegurar, además, el soporte técnico necesario,

■ al implicarse con la validación de equipos, incluidos los de terceras personas, hace más creíble para el cliente su motivación para satisfacerle.

Esta implicación permite evitar las situaciones, frecuentes en materia de redes, en las que cada uno de los proveedores de los productos conectados a la red hace responsable a los otros de los fallos de funcionamiento.

Finalmente, esta solución permite limitar la multiplicación de proveedores a sólo las necesidades reales, es decir, llamar a un nuevo proveedor únicamente cuando aporta una función nueva y específica en una instalación dada, por ejemplo:

- Usuario de un producto neumático o de soldadura cuando el fabricante del autómatas no ofrece esta gama de productos.
- Elegir un producto corriente para un producto del fabricante de autómatas cuando el producto de la competencia tiene ventajas funcionales, técnicas o económicas respecto al producto equivalente del fabricante del autómatas.

Al apoyarse en la lógica de fabricación de una arquitectura de autómatas propuesta por un gran fabricante de autómatas, se consigue evitar adaptaciones costosas en equipos, en formación y en control general:

- vías de acceso entre capas,
- diversidad de herramientas...

La interoperatividad actualmente

En un próximo pasado, la interoperatividad y la conformidad con las normas han sido una preocupación sólo de los usuarios, porque tenían que hacer frente a los fallos de funcionamiento.

Actualmente, ya no es así:

- madurez de la tecnologías de las redes en el mundo industrial,
- asunción previa de estos riesgos por los fabricantes mediante test más rigurosos (conformidad e interoperatividad de los diversos equipos, incluidos los de la competencia),
- normas mejor definidas,
- frecuentemente, garantía de un gran fabricante sobre la tecnología que produce.

La intercambiabilidad sólo está en sus primeros balbuceos.

4 Perennidad

4.1 Riesgos

Habiendo sido identificadas una o varias tecnología del bus de campo sobre criterios de coste y de prestaciones y las garantías de buen funcionamiento obtenidas de la aplicación de automatismos previsto con esta tecnología, el usuario debe de asegurar la pennidad de la aplicación y especialmente la pennidad de la tecnología del bus de campo.

Se trata, para el experto en automatismos, de tener la seguridad de que los productos que utiliza tendrán una esperanza de vida (de comercialización y después de mantenimiento) compatible con sus necesidades.

Los productos y equipos de automatismos utilizados representan una parte, en general baja, del coste global de la instalación. Esta instalación es muy costosa y no está prevista para ser cambiada a corto plazo: su esperanza de vida es del orden de 10 a 20 años. Por el contrario, los productos de automatismos se apoyan cada vez más –especialmente con la introducción del bus de campo– en tecnologías electrónicas e informáticas cuya duración prevista es netamente inferior y su evolución permanente. Visto el incesante progreso de la electrónica ¿quién puede predecir con certeza si una sola de las tecnologías actuales se utilizará todavía dentro de 20 años?

4.2 Tendencias

Antes de hablar de la perennidad, es necesario precisar los caminos por los que evolucionan las tecnologías.

Actualmente se presentan tres tendencias.

Aumento del campo de aplicación de los buses

Una primera tendencia es la capacidad creciente de los buses de abarcar varios niveles de la pirámide C.I.M. Cada bus intenta evolucionar para ampliar su campo de aplicación y por tanto, en la práctica, su mercado potencial. Es la respuesta, dentro de los límites de la tecnología, a la demanda ideal de los usuarios de disponer de una red única, universal y que responda al todo el conjunto de sus necesidades.

Teniendo en cuenta las posibilidades técnicas actuales, la principal tendencia consiste en una extensión del bus de nivel 0 hacia la parte baja del nivel 1, paralelamente a una extensión del bus de nivel 3 hacia el nivel 2.

Así, el bus AS-i evoluciona para poder gestionar las informaciones analógicas mientras que la utilización de Ethernet, muy extendida en el nivel 3, se intenta ir aplicando al nivel 2 y hasta al nivel 1.

Se han hecho estudios sobre la capacidad de responder a las necesidades de estos niveles, para beneficiarse la reducción de costes debido a la gran difusión de esta tecnología.

Ya desde ahora está disponible un adaptador Ethernet para módulos E/S de la familia MOMENTUM de Shneider Electric. A la vez, los buses de campo de nivel 1 y 2, que están ampliamente implantados en la industria y satisfacen convenientemente las necesidades de los usuarios, evolucionan para abarcar un campo de aplicaciones más amplio:

- aumento de la velocidad del medio, para mejorar las prestaciones y abarcar mejor el nivel 2 y hasta la parte baja del 3,
- nuevos componentes, conectores... menos caros y de utilización más simple, para extenderse hasta la parte alta del nivel 0,
- catálogo cada vez más amplio de productos adaptados a entornos específicos:
 - productos estancos,
 - módulos compatibles con atmósferas explosivas,
 - cables resistentes a todo tipo de entornos agresivos (medios salinos, ácidos, aceites, rayos solares...) etc.,

- tener en cuenta el protocolo TCP/IP para poder entrar en Internet y beneficiarse de la extensa tecnología a bajo coste que le acompaña, pero conservando las características adaptadas del entorno industrial.

Por tanto, es difícil decir en este momento cuál será la evolución de este punto. Los fabricantes estudian los diversos caminos que se presentan.

Perfil del equipo

Actualmente las tecnologías de bus de campo están muy extendidas y aportan ya más beneficios que los previstos inicialmente. El mercado está por tanto maduro para pasar a la etapa siguiente, si los usuarios encuentran en él nuevos beneficios, especialmente en coste.

Está en marcha un trabajo de normalización de perfiles de equipos, en el que Schneider participa, con número cada vez mayor de equipos. Por tanto, hay que esperar una multiplicación de soluciones que respondan a los perfiles de los equipos. Además, estos perfiles permiten la definición de objetos de equipos de automatismos de alto nivel que podrán facilitar el trabajo de los usuarios:

- programación,
- mantenimiento,
- interoperatividad,
- intercambiabilidad, etc.

Reparto de la inteligencia

Por último, después de haber podido convertir en remotas las E/S y, con frecuencia, haber conseguido la descentralización de la inteligencia, el bus de campo abre actualmente la vía al reparto de la inteligencia.

En efecto, originariamente, el concepto autómatas programables es, ante todo, un ordenador que dispone de interfaces E/S. Si estas interfaces pueden, de ahora en adelante, comunicar con un ordenador mediante una red, el autómatas —simplemente dotado de una interface de red— pierde toda particularidad.

En realidad este razonamiento es un poco simplista. Veamos. El PC no tiene integrados ciertos valores de uso en autómatas como la robustez o la perennidad. Pero existen ya ciertos autómatas para PC que permiten avanzar en este sentido sin corte (pensando siempre en la duración del equipo) y la utilización de buses de campo amplía todavía más esta tendencia.

La arquitectura del automatismo se hace converger hacia un bus de campo en el que están conectados:

- los diversos componentes del automatismo que integran toda o parte de la inteligencia del autómatas,
- las interfaces hombre-máquina,
- el terminal de programación, que a través del bus, reparte el programa entre los diferentes componentes del automatismo,
- eventualmente, una unidad central de PLC, que puede colocarse cuando los componentes del automatismo no están en condiciones de integrar la inteligencia de proceso requerida (Figura 11).

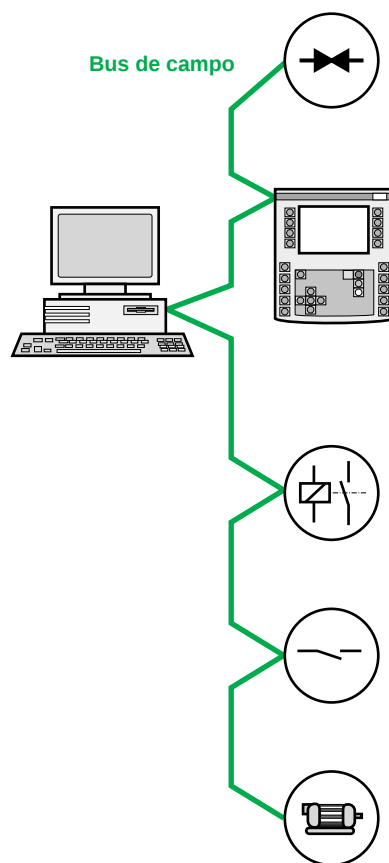


Fig. 11: Inteligencia repartida en los componentes de automatismo.

4.3 Garantía de perennidad

La importancia de un estándar, referida a las garantías de buen funcionamiento, ya se ha valorado. La aparición de un estándar de hecho que penetra ampliamente en el mercado constituye igualmente una garantía de perennidad. Pero, todo estándar, aunque muy extendido, está amenazado de evolucionar o de desaparecer. Esto se constata todo los días en la informática donde los estándares más extendidos se abandonan porque la perennidad no constituye una gran exigencia en este campo.

Ante los cambios evolutivos, el control simultáneo de los estudios de programación y de las tecnologías de red utilizadas pasan a ser más que nunca fundamentales en el mundo de los automatismos. El usuario debe poder apoyarse en una empresa capaz de proporcionar, junto con sus competidores, un sistema completo, capaz de asegurar el buen funcionamiento y el mantenimiento correctivo y evolutivo.

Frente a la multiplicidad de equipos heterogéneos y a la carrera tecnológica actual, las necesidades de perennidad se mantienen. Los fabricantes de autómatas, conscientes de la importancia de esta necesidad en sus clientes, saben responder con largos plazos de comercialización y de mantenimiento. En perjuicio de la evolución permanente de la

tecnología en las que ellos se apoyan, saben también, cuando es necesario, asegurar «migraciones suaves» hacia estas nuevas tecnologías mediante todo tipo de soluciones:

- conversión de aplicaciones automatizadas,
- adaptaciones y vías de acceso fáciles,
- mantenimiento de la tecnología anterior en paralelo con la nueva en cada uno de los nuevos productos.

Por ejemplo, la esperanza de vida de los protocolos de comunicación como Modbus no tiene nada igual en el mundo informático.

La evolución de las sociedades, cuyo oficio no está centrado en el suministro de soluciones globales de automatismos ni en las necesidades de perennidad que se esperan, que no aportan más que el control de un producto y no el del bus al que se conectan, puede llevar al usuario a deber tratar él mismo la obsolescencia con unos costes prohibitivos.

Generalizando, los elementos materiales y de software de los automatismos están condenados a ser infravalorados por la llegada de las tecnologías que se utilizan en el mundo de Internet. Pero, en este contexto, el experto en autómatas tendrá todavía más la necesidad de un interlocutor fiable, que controle a la vez estos nuevos materiales y programas y las necesidades específicas de este oficio.

5 Conclusión

El autómata programable ha supuesto una revolución al introducir las tecnologías electrónicas e informáticas en el corazón de los sistemas de control de los procesos automatizados. El bus de campo se ha convertido en otro elemento revolucionario al aplicarse a estas mismas tecnologías, y también esta tecnología de redes que llega ya hasta los mismos captadores y actuadores. Presentes en el conjunto del proceso, son la base de un enorme potencial de evolución:

- ya han revolucionado, en sucesivas etapas, las arquitecturas, aportando ventajas jamás imaginadas al principio. Los compromisos técnico-económicos mantienen todavía por el momento soluciones tradicionales en paralelo,
- más recientemente, se ha replanteado el proceso mismo de la información: descentralización y reparto de la inteligencia. Esto necesita, además de tecnología, un trabajo de normalización: ya se ha empezado y no cesará a lo largo de los próximos años,
- en fin, estas tecnologías arrastran consigo muchísimas innovaciones que pueden revolucionar los automatismos: Java, Corba, Internet, Active X...

Paralelamente con las últimas evoluciones aportadas por las tecnologías, se puede percibir una cierta racionalización de la oferta: el

usuario de felicitará por ello. Un aumento de las prestaciones de los buses y por tanto de su campo de aplicación es inevitable, aunque el bus universal, capaz de responder a todas las necesidades, sin duda que no existirá jamás.

Ante este desarrollo, el usuario debe en efecto hacer prueba de prudencia y tener en cuenta las necesidades específicas de su oficio (entorno, perennidad). Pero a la vez ha de estar atento a no perder el tren...

En especial la perennidad no debe de confundirse con el inmovilismo. Para el usuario, la perennidad es:

- la garantía de disponibilidad de sus productos durante largo tiempo,
- pero también (y puede ser sobre todo) es rentable para el usuario la utilización de soluciones de migración suave hacia una nueva cuando se considere conveniente.

Al invertir en tecnologías basadas en el bus de campo:

- obtendrá desde ese momento ventajas demostradas (reducción de costes, flexibilidad, capacidad de diagnóstico...),
- estará mejor preparado para juzgar sobre cada una de las evoluciones rápidas futuras, para influir sobre ellas e, incluso, para exigir las a sus proveedores, en vez de sufrirlas.

Procedimientos de acceso al medio

Este apartado explica el principio de base de algunos de los procedimientos de acceso al medio más frecuentes. Se distingue entre procedimientos deterministas y no deterministas.

Procedimientos deterministas

■ Maestro-esclavo

En un procedimiento de acceso al medio de tipo maestro-esclavo, un único equipo, el maestro, tiene la iniciativa de todos los cambios; los otros equipos son esclavos, se conforman con contestar cuando el maestro les pregunta. Este principio se encuentra en un gran número de redes basadas en una conexión serie del tipo RS485 con protocolos Modbus. En este caso, los cambios son programados por el usuario, y si aparecen sucesos de aplicación aleatorios que pueden desencadenar estos cambios, la red no es determinista. Por el contrario, se puede apoyar sobre este mecanismo para definir una revisión cíclica del maestro de los datos sobre un determinado número de equipos.

El tiempo necesario para interrogar al conjunto de equipos constituye un tiempo de ciclo, que es el intervalo máximo para cada equipo para poder transmitir sus informaciones. Este es el principio utilizado, por ejemplo, en el bus AS-i.

■ Arbitraje del bus

El procedimiento es muy parecido al anterior (procedimiento maestro-esclavo con definición de ciclo de búsqueda de equipos) en cuanto a que un único equipo, árbitro del bus, atribuye el derecho de palabra por turno, cíclico para cada uno de los otros equipos. La principal diferencia

es que cada uno de los equipos, cuando utiliza su derecho de palabra, puede direccionar sus informaciones a cualquier otro equipo o incluso a todos a la vez (difusión).

Este es el principio utilizado, por ejemplo, por en el bus WorldFIP.

■ Bus token ring (ficha virtual)

Este procedimiento está definido en la norma 8802.4. Una ficha (token), correspondiente a un derecho de palabra, pasa de estación en estación, según un orden determinado. Cada estación puede emitir hacia cualquier otra estación, puesto que posee la ficha, pero no puede leerla más que durante un tiempo limitado, definido por la configuración. Es el principio que utilizan las redes Modbus Plus.

Procedimientos no deterministas

■ CSMA/CD - Carrier Sense Multiple Access/ Collision Detection.

Se trata del principio de acceso al medio físico utilizado en el bus de tipo Ethernet (norma ISO 8802.3).

Un equipo que desea emitir una trama, intenta transmitir después de verificar que no va a haber colisión (por ejemplo, que otro equipo no esté intentando emitir a la vez). En caso de colisión, hace una nueva tentativa después de un lapso de tiempo de duración aleatoria.

Así, el momento de transferencia de una trama depende de este retraso, después del cual se evita la colisión: es pues una función estadística del número de equipos que están intentando emitir tramas, y por tanto, de la carga de la red.

Fraccionamiento de la banda pasante

Algunos buses permiten garantizar los plazos de transferencia de ciertas informaciones (típicamente entradas/salidas transmitidas a/de un autómata) reservando una parte de la banda pasante para hacer pasar datos cuyo retraso de transferencia no es crítico.

Ilustración con WorldFIP

El bus WorldFIP se basa en que, el equipo que hace de árbitro (control) del bus, desarrolla un ciclo de red o un macro-ciclo, compuesto por ciclos elementales de la misma duración y de estructura idéntica.

La duración de un ciclo elemental se fracciona en unidades elementales de tiempo asignadas:

- al tráfico cíclico (o periódico) de variables y/o mensajes,
- al tráfico aperiódico de variables,
- al tráfico aperiódico de mensajes,
- al mantenimiento de la sincronización de todos los ciclos elementales.

Cada parte del tráfico cíclico se reparte una sola vez y para todo un dato del proceso: por ejemplo, entradas/salidas de equipos. En cambio, el tráfico aperiódico corresponde a un tiempo asignado pero utilizado únicamente bajo demanda (Figura 12).

Así, el ancho de banda de una red WorldFIP se reparte para tres tipos de intercambios:

- las variables cíclicas (o periódicas), para las funciones de control y mando de los tiempos críticos,
- las variables aperiódicas, transmitidas bajo demanda de cambio de estado,
- la mensajería, también aperiódica, para las funciones de teledescarga (download) y de mantenimiento.

La parte de la banda pasante asignada a cada uno de estos flujos es un elemento importante de una configuración WorldFIP. Al privilegiar uno u otro de estos flujos se está especializando una red o para una aplicación de tipo automatismo reflejo o para una

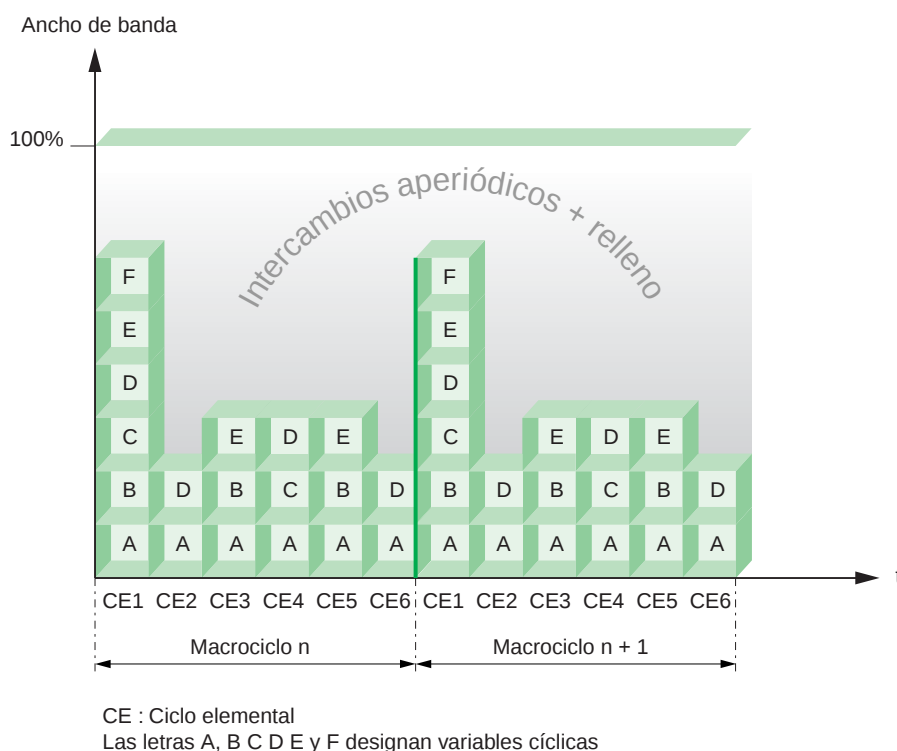


Fig. 12: El macro-ciclo WorldFIP.

coordinación entre equipos de control y diálogo hombre-máquina.

Se puede así comparar una red WorldFIP tubo por el que circulan diferentes tipos de datos, en el que «el nivel» de cada tipo está determinado por la configuración (**Figura 13**).

Ilustración con Interbus-S

Se trata de un procedimiento «anillo punto a punto», una única trama circula de equipo en equipo.

A cada pasada de la trama, cada equipo lee la parte que contiene los items de sus entradas y escribe en la parte reservada a los de sus salidas. Además de esto, la trama contiene de 0 a 4 palabras de 16 bits que pueden contener un fragmento de mensaje (4 palabras resultan insuficientes para transmitir la totalidad de un mensaje) que permite la transmisión de tal fragmento en cada ciclo del bus.

Por ejemplo, para un canal de mensajes de una palabra, si el ciclo tiene 32 esclavos y 1024 E/S, la velocidad por esclavo es de 256 octetos/s,

Ilustración con MODBUS PLUS

Así mismo MODBUS PLUS ofrece simultáneamente las funcionalidades que necesitan un procedimiento determinista, como la actualización de entradas/salidas, y otras que no tienen esta exigencia, como la programación en línea. Las «sesiones lógicas» aseguran un procedimiento propio y por tanto dedicado a diferentes funciones.

Caso del AS-i

En cambio, en AS-i, todos los intercambios son cíclicos: las entradas/salidas de los equipos circulan una vez cada 5 ms mientras que los parámetros de cada equipo circulan una vez cada 31 ciclos. A este tráfico no puede añadirse ningún otro adicional. De hecho, AS-i no soporta mensajería. Evidentemente, éste no es su cometido.

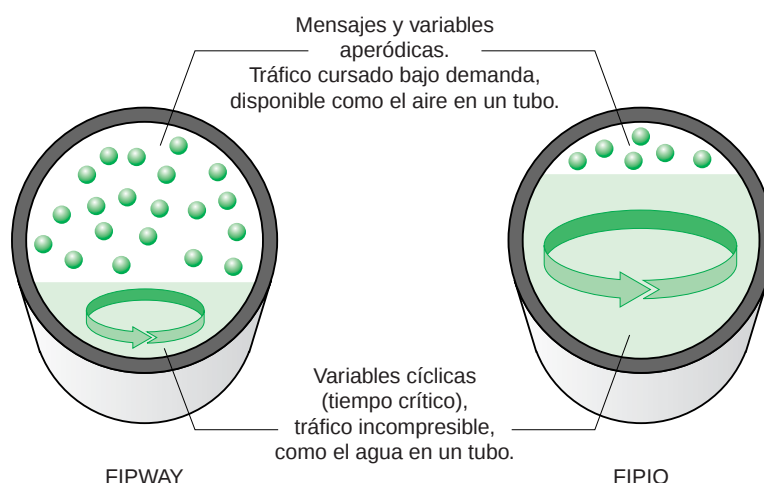


Fig. 13: WorldFIP: un tubo con nivel de agua regulable. Ilustración: FIPIO o FIPWAY.

El modelo OSI de la ISO

El modelo OSI (Open System Interconnection) definidos por la ISO (International Standard Organization) separa las funciones en un sistema comunicante en 7 capas. Estas capas tienen funciones asignadas desde las más próximas a la red (cable, ...) hasta las funciones más próximas a las necesidades de

comunicación de un equipo (naturaleza y sentido de las informaciones intercambiadas) (**Figura 14**).

El principal objetivo de este fraccionamiento es el permitir cambiar la norma de una capa independientemente de las otras. Así, por ejemplo, una conexión con par trenzado puede

ser localmente sustituida por una conexión de fibra óptica para atravesar una zona sujeta a perturbaciones electromagnéticas, manteniendo idénticas todas las demás capas: contenido de las informaciones, direccionamiento de la mensajería, procedimiento de acceso al medio físico, ...

Sin embargo, no todas las redes utilizan todas las capas. Precisamente, el bus de campo es un caso particular que en la mayor parte de veces se apoya en 3 capas: 1, 2 y 7. Esto simplifica el funcionamiento de los adaptadores y permite altas prestaciones a bajo coste.

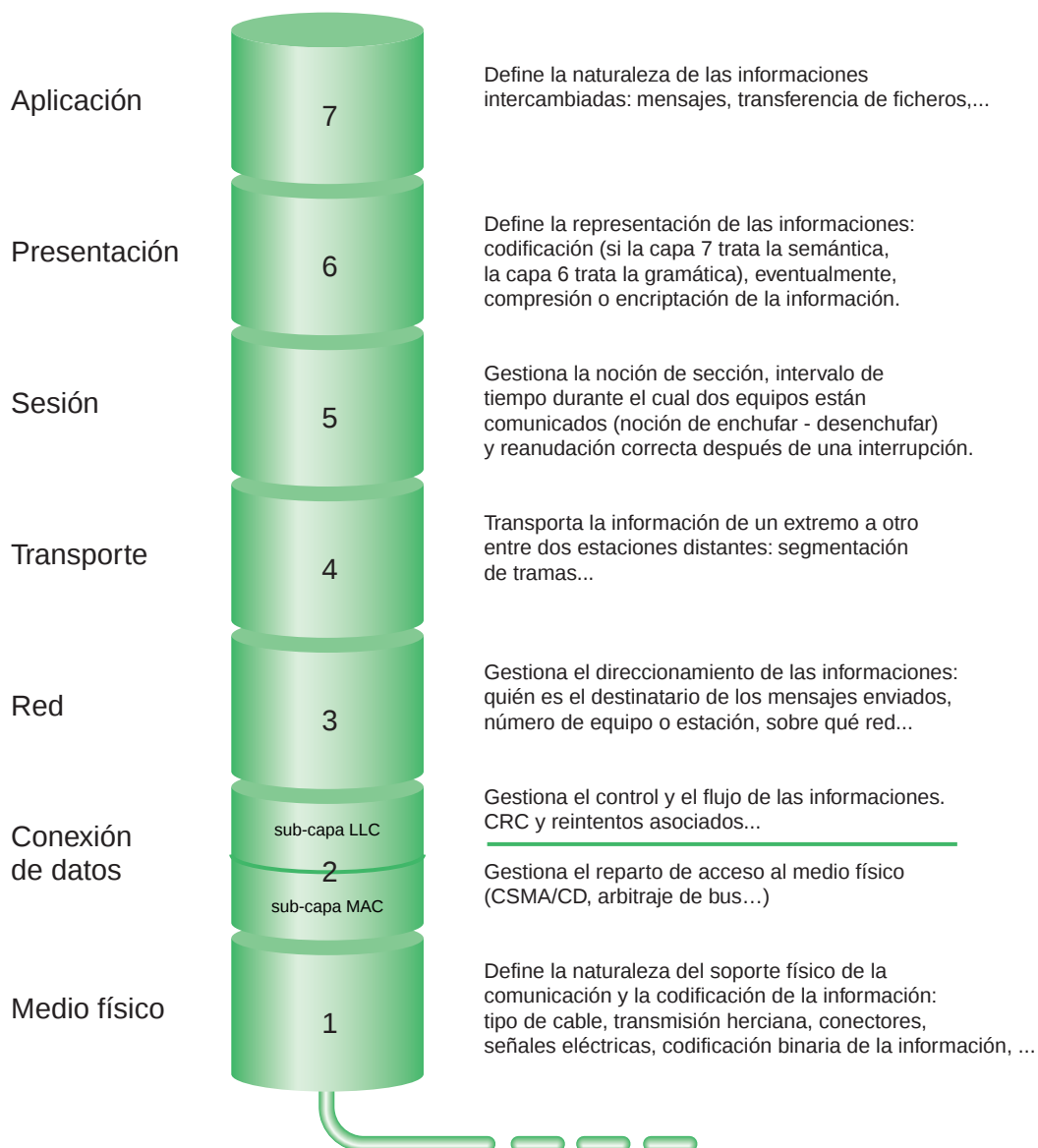


Fig. 14: El modelo OSI.

Bibliografía

Cuadernos Técnicos Schneider Electric

n Iniciación a las redes de comunicaciones digitales. E. KENIG. Cuaderno Técnico nº 147.

Obras diversas

■ Les réseaux locaux industriels. F. LEPAGE, Hermès - Traité des nouvelles technologies. Série Automatique.

■ Les bus de terrain. G. FAGES, Schneider Electric, Collection Technique.

Direcciones en Internet

■ Sitios generalistas (contienen numerosos enlaces -links)

<http://cran.esstin.u-nancy.fr/CRAN/Cran/ESSTIN/FieldBus.html>

<http://www.fieldbus.com>

<http://www.infoside.de>

<http://www.shipstar.com>

<http://www.industrial-networking.com>

■ Sitios relativos a los principales busus para automatismos

<http://www.as-interface.com>

<http://www.can-cia.de>

<http://www.controlnet.org>

<http://www.devicenet.org>

<http://www.industrialethernet.com>

<http://www.industrial-ethernet.com>

<http://www.fieldbus.org>

<http://www.worldfip.org>

<http://www.interbusclub.com>

<http://www.modbus.org>

<http://www.profibus.com>

■ Sitios Schneider Electric

<http://www.schneider-electric.com>

<http://www.schneiderautomation.com>

<http://www.schneideralliances.com>

<http://www.schneiderelectric.es>

<http://www.transparentfactory.com>