

## Tema 3. Redes de comunicación industriales.

En este tema nos centraremos en la parte inferior de la pirámide de automatización, donde se encuentran los llamados dispositivos de campo que actúan directamente sobre el proceso productivo. Las comunicaciones a este nivel deben poseer unas características particulares para responder a las necesidades de intercomunicación en tiempo real que se deben producir y ser capaces de resistir un ambiente hostil donde existe gran cantidad de ruido electromagnético y condiciones ambientales duras. En el uso de comunicaciones industriales se pueden separar dos áreas principales, una comunicación a nivel de campo, y una comunicación hacia el SCADA. En ambos casos la transmisión de datos se realiza en tiempo real, o por lo menos con una demora que no es significativa respecto de los tiempos del proceso, pudiendo ser crítico para el nivel de campo.

Según el entorno donde van a ser instaladas, en un ámbito industrial existen varios tipos de redes:

- ? **Red de Factoría:** Para redes de oficina, contabilidad y administración, ventas, gestión de pedidos, almacén, etc. El volumen de información intercambiada es muy alto, y los tiempos de respuesta no son críticos.
- ? **Red de Planta:** Para interconectar módulos y células de fabricación entre sí y con departamentos como diseño o planificación. Suele emplearse para el enlace entre las funciones de ingeniería y planificación con las de control de producción en planta y secuenciamiento de operaciones. Como ejemplo se tiene la transmisión a un sistema de control numérico del programa de mecanizado elaborado en el departamento de diseño CAD/CAM. Estas redes deben manejar mensajes de cualquier tamaño, gestionar eficazmente errores de transmisión (detectar y corregir), cubrir áreas extensas (puede llegar a varios kilómetros), gestionar mensajes con prioridades (gestión de emergencias frente a transferencia de ficheros CAD/CAM), y disponer de amplio ancho de banda para admitir datos de otras subredes como pueden ser voz, vídeo, etc.
- ? **Red de Célula:** Para interconectar dispositivos de fabricación que operan en modo secuencial como Robots, Máquinas de control numérico (CNC), Automatas programables (PLC), Vehículos de guiado automático (AGV). Las características deseables en estas redes son: Gestionar mensajes cortos eficientemente, capacidad de manejar tráfico de eventos discretos, mecanismos de control de error (detectar y corregir), posibilidad de transmitir mensajes prioritarios, bajo coste de instalación y de conexión por nodo, recuperación rápida ante eventos anormales en la red y alta fiabilidad. En este nivel, y a caballo entre el nivel de planta podemos ubicar las redes MAP (Manufacturing Automation Protocol) como ejemplo representativo.
- ? **Bus de Campo:** Para sustituir cableado entre sensores-actuadores y los correspondientes elementos de control. Este tipo de buses debe ser de bajo coste, tiempo real, permitir la transmisión serie sobre un bus digital de datos con capacidad de interconectar controladores con todo tipo de dispositivos de entrada-salida, sencillos, y permitir controladores esclavos inteligentes. Además, deben gestionar mensajes cortos eficientemente, tener capacidad de manejar tráfico de eventos discretos, poseer mecanismos de control de error (detección y corrección), transmitir mensajes prioritarios, tener un bajo coste de instalación y de conexión por nodo, poder recuperarse rápidamente de eventos anormales en la red y responder rápidamente a los mensajes recibidos. Por regla general, tienen un tamaño pequeño (5 a 50 nodos), utilizan tráfico de mensajes cortos para control y sincronización entre los dispositivos, y la transferencia de ficheros es ocasional o inexistente. Según la cantidad de datos a transmitir, se dividen en buses de alto nivel, buses de dispositivos (unos pocos bytes a transmitir) y buses actuador/sensor (se transmiten datos a nivel de bit), pero en ningún caso llegan a transmitir grandes bloques de información.

De manera general, aunque especialmente para los buses de campo y célula, las ventajas principales que se obtienen en su utilización son: mejor calidad y cantidad en el flujo de datos, ahorro de coste de cableado e instalación (Figura 19), facilidad en la ampliación o reducción del número de elementos del sistema, reducción de errores en la instalación y número de terminales y cajas de conexión.

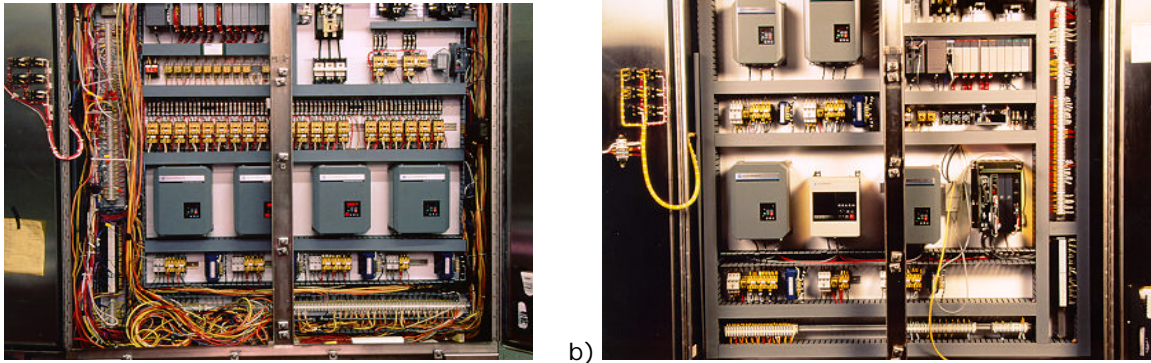


Figura 19. Instalación industrial: a) sin utilización de buses de campo, b) con buses de campo.

Así como para las redes de factoría y de planta existe una implantación homogénea (basada en Ethernet), para las comunicaciones a nivel de célula y de campo no existe una norma de comunicaciones que haya alcanzado un algo grado de difusión y homogeneidad en los entornos industriales, esto hace que en algunos casos resulte técnicamente difícil integrar equipos de distintos fabricantes. Varias normas intentan imponerse, existiendo dos más destacadas: Profibus y Fieldbus Foundation, aunque también tienen una amplia difusión ASi, LonWorks, Interbus, DeviceNet, MODBUS, HART, ControlNet, WORLDFIP, FIP, etc. También existe una tendencia a implantar tecnología como Ethernet, muy probada en redes administrativas, de bajo coste, y que comienza a utilizarse en redes industriales de bajo nivel para sistemas en tiempo real. Otro aspecto importante en estos sistemas integrados es la seguridad, ya que al integrarse los sistemas de manera global, es decir, en redes administrativas y de control de procesos, los sistemas de control quedan más expuestos.

En este nivel de integración, el esquema de control más habitual es el maestro-esclavo, constituyendo un sistema de control centralizado que debe recabar información de la planta de producción. Esta integración maestro-esclavo se utiliza especialmente en muchos equipos basados en autómatas programables, dónde éste es el maestro y se encarga de gestionar módulos remotos de sensores, actuadores, y hasta otros autómatas de menor entidad encargados de gestionar procesos locales.

Dado que el panorama es tan amplio, nos limitaremos a describir los sistemas de comunicación más extendidos y aquellos que proponen sistemas abiertos, de modo que sean varios los fabricantes que comercializan los dispositivos, centrándonos en los niveles de célula y de campo.

### 3.1. Redes sensor-actuador: ASi

El bus ASi (Actuator-Sensor Interface) nació en 1990 como un intento de eliminar el cableado existente entre los sensores y actuadores binarios (todo-nada) con la característica añadida de proporcionar la tensión de alimentación sobre el mismo cable (hasta 8A). Posteriormente, el bus ha evolucionado para comunicarse con elementos inteligentes y poder transmitir datos y parámetros además de las señales binarias. El bus ASi es considerado uno de los sistemas de comunicación más sencillos y con menos prestaciones, por lo que se emplea a nivel de campo en la parte más baja de la pirámide de automatización. ASi es un sistema abierto definido por el estándar europeo EN

50295 y el estándar IEC 62026-2. La Figura 20a muestra el esquema de distribución adoptado en estas redes.

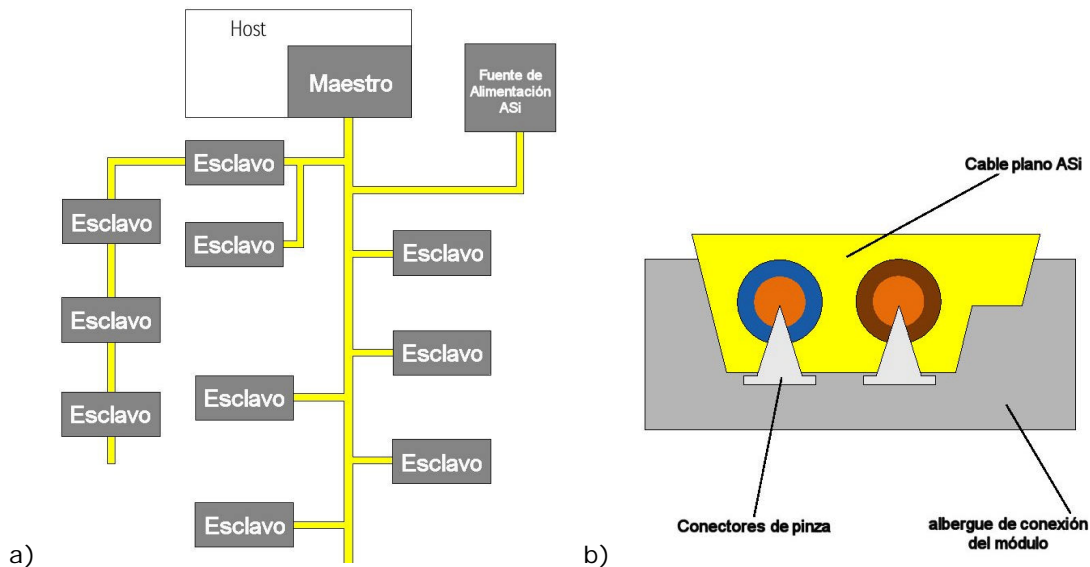


Figura 20. a) Esquema de distribución de una red ASi. b) Cable ASi y método de conexión.

Las características principales que posee el bus son:

- ? Principio de funcionamiento basado en la técnica de sondeo con un maestro y varios esclavos.
- ? El tiempo máximo de ciclo es de 5ms. Es decir, en 5ms (max.) se conoce el valor de todos los esclavos.
- ? Un maestro puede controlar hasta 31 esclavos, aunque este número llega a 62 para la versión 2.1 del protocolo, y también es ampliable mediante repetidores.
- ? Cada esclavo permite direccionar 4 entradas y 4 salidas digitales, y adicionalmente, 4 bits de parámetros por cada esclavo, con un máximo de 248 entradas/salidas digitales.
- ? Es posible la comunicación con módulos analógicos.
- ? El direccionamiento de los esclavos es electrónico, mediante el maestro, o un dispositivo específico de direccionamiento.
- ? Admite cualquier topología de la red (incluyendo topologías mixtas), con una longitud máxima de 100 metros sin repetidores con caída de tensión máxima de 3V.
- ? La tensión de operación de los esclavos debe estar entre 26,5V y 31,6 V.
- ? Típicamente, la corriente de consumo de cada esclavo es de 200 mA.

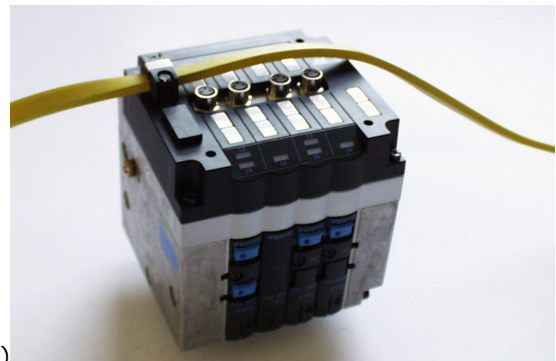
Tal y como muestra la figura anterior, la instalación de esta red requiere como elementos esenciales:

- ? **Un maestro de bus ASi:** suele estar conectado a un autómata programable o al elemento de control principal. También puede estar conectado a una pasarela (gateway) que permita comunicarse con el bus ASi desde diferentes dispositivos a través de una red de nivel superior.
- ? **Una fuente de alimentación ASi:** proporciona 30 VDC y hasta 8A para alimentar a los elementos esclavos a través de un solo cable. Adicionalmente es posible conectar otro tipo de tensión de alimentación para proporcionar mayores corrientes si es necesario; para ello, se instalan fuentes de alimentación que proporcionan alimentación a través de cables adicionales de 24VDC (cable negro) y 230 VAC (cable rojo).
- ? **Los esclavos del bus ASi:** Existen dos tipos principales (Figura 21), aquellos que integran el protocolo en el mismo elemento de entrada/salida mediante la inclusión de un chip ASIC (circuito integrado de aplicación específica), y aquellos módulos ASi genéricos que disponen de 4 entradas/salidas de tensión para poder conectarles cualquier elemento sensor/actuador binario tradicional. Esta última opción resulta aconsejable para las

instalaciones ya existentes pues no es necesario sustituir los elementos, sino únicamente los cables de conexión.

- ? **El cable de conexión:** generalmente es cable plano de dos hilos no apantallado. Su color amarillo y su muesca en un lado suele identificarlo y facilitar la instalación. También es admisible el uso de cable normal de dos hilos con  $1,5 \text{ mm}^2$  de sección por hilo, tanto apantallado como no apantallado, pero en este caso es necesario ser más cuidadoso en la instalación para no confundir polaridades.

Existen algunos módulos esclavos que incorporan un “watchdog” o vigilante supervisor que revisa continuamente la comunicación con el maestro y actúan en caso de que ésta sea interrumpida o se produzca la detección de errores (paridad y reenvío, etc.), poniendo en modo de seguridad las entradas/salidas controladas por él. Si no se reciben mensajes del maestro durante 40ms, las salidas pasan a estar apagadas (off) o simulan un estado de reset continuo del sistema. Las causas habituales de una pérdida de comunicación pueden ser la rotura del cable, un fallo en el maestro (o su paso a estado de parada), o bien una falta de direccionamiento del módulo. La utilización de ASi en entornos con fuertes interferencias (sistemas de soldadura, convertidores de frecuencia, por ejemplo) puede hacerse sin problemas.



a) b)  
Figura 21. a) Módulo ASi de 2 entradas/2 salidas genérico. b) Dispositivo actuador con ASi integrado.

También existen módulos específicos para la detección de fallos y protección de seguridad eléctrica llamado “monitor de seguridad”, encargado de monitorizar que las señales eléctricas transmitidas son adecuadas, y verifica la aparición de derivaciones a tierra o la protección contra sobretensiones, en cuyo caso es posible enviar mensajes al módulo maestro para que permita ejecutar acciones de protección, o incluso controlar relés de protección directamente.

### 3.2. Buses orientados a dispositivos: CAN Bus y LONworks.

Este tipo de redes no dispone de una alta tasa de transferencia de datos, las transmisiones se hacen por bloques de tamaño reducido (unos pocos bytes). Se consideran dentro de los buses de campo de bajo nivel, aunque algunos de ellos, como el caso de CAN, no fue concebido para el sector industrial, pero dadas sus prestaciones, robustez y bajo coste se encuentra bastante popularizado en el sector industrial. Análogamente, LONworks surgió para aplicaciones en domótica y automatización en edificios. Además de estos buses de dispositivos, existen otros con menor implantación, o con aplicaciones no directamente relacionadas con las industriales como el bus EIB (European Installation Bus) para instalaciones eléctricas.

#### 3.2.1. CAN Bus.

El protocolo CAN es un estándar que viene descrito en el estándar ISO 11898, inicialmente impulsado por el fabricante alemán BOSCH para simplificar el cableado en los automóviles

Mercedes-Benz. Así, una de las aplicaciones donde se utiliza más ampliamente es en automoción, donde existe gran cantidad de electrónica asociada a los elementos instalados tanto en el motor como en el resto del vehículo (airbag, cinturones de seguridad, climatización, iluminación, etc.) y es necesario el acceso distribuido, por lo que CAN proporciona una buena implementación para la comunicación entre estos elementos.

Este protocolo está basado en el principio “productor/consumidor” donde cada equipo está siempre a la escucha y las transmisiones se realizan bajo el control de un equipo especial (el árbitro de bus). Las peticiones de información se construyen de acuerdo a una tabla de órdenes que contiene identificadores de variables. Al decodificar el nombre de variable asociado a la información que él produce, un dispositivo transmite los valores actuales correspondientes. Esta información es consumida por todos los receptores que reconocen el nombre de la variable. Este modo de funcionamiento garantiza que todos los dispositivos consumidores actualizan su información del proceso de forma simultánea. Todos los nodos, incluido el transmisor están activos mientras hay actividad en el bus, revisan si existen errores (hasta cinco diferentes chequeos de error) y fuerzan la retransmisión en caso de error; todos los nodos deben aceptar el mensaje, en caso contrario se entiende que hay error. En el caso de los receptores, éstos envían un mensaje de “mensaje recibido” cuando el mensaje llega correctamente.

El bus CAN emplea un acceso al bus por prioridades mediante la técnica CSMA/CR (Carrier Sense Multiple Access / Collision Resolution), resolviendo los conflictos de acceso al bus mediante técnicas no destructivas, permitiendo un tiempo de inactividad garantizado en el caso de colisión. CAN no utiliza direcciones físicas para el nodo, dado que todos los nodos reciben todos los mensajes, cada uno de ellos decide si el mensaje va dirigido a él o no; esta decisión es tomada según la programación de cada nodo, o el hardware asociado. Pueden emplearse diferentes técnicas de gestión del bus como maestro/esclavo, multiplexado por división en el tiempo (TDMA), o daisy chain.

Como característica esencial del bus CAN está la necesidad del uso de un protocolo para capas más elevadas capaz de realizar la conexión de la aplicación. CAN constituye únicamente una especificación de bajo nivel. Las posibilidades de CAN vienen determinadas en gran medida por el protocolo de las capas superiores elegido; este protocolo se elegirá dependiendo de mercado al que se oriente la aplicación, los requerimientos de tiempo real, etc. Por ejemplo, protocolos basados en CAN son CANopen, Devicenet y SDS.



Figura 22. Formato de trama CAN (DLC = Data Length Code).

### 3.2.1.1. CANopen

Como ya hemos comentado, CAN necesita de un protocolo de nivel superior para enlazar con las aplicaciones, este protocolo puede ser definido por cada usuario, o bien emplear algunos protocolos orientados a ciertas aplicaciones como CANopen, destinado para sistemas de control industrial. CANopen facilita el acceso a redes CAN dado que simplifica su empleo puesto que no es necesario controlar detalles tales como la temporización, control a nivel de bits, etc. existen diferentes objetos orientados para datos en tiempo real (*process data objects*), datos de configuración (*service data objects*) y funciones especiales (mensajes de emergencia, de sincronismo) y datos de gestión de la red (arranque, control de errores, etc.). Estas especificaciones incluyen diferentes perfiles predefinidos para dispositivos y entornos para aplicaciones industriales específicas, actualmente hay

perfiles para módulos de entrada/salida genéricos, controladores de motores, medidas en dispositivos y control en lazo cerrado, encoders y válvulas hidráulicas. Las redes CANopen se han empleado en vehículos (comerciales, industriales, marítimos), equipos médicos y ferroviarios. La capa de aplicación que incorpora es muy flexible, permitiendo el desarrollo de aplicaciones a medida, pero en cambio, al tratarse de una capa estándar, permite compatibilizar muchos sistemas hardware.

Las principales ventajas de CANopen son:

- ? Se trata de una especificación abierta, con el estándar europeo EN50325-4. La organización CiA (CAN in Automation) es la encargada de promover los estándares relacionados con el bus CAN.
- ? Permite interoperabilidad entre diferentes dispositivos.
- ? Dispone de capacidad en tiempo real.
- ? Es un sistema modular que engloba dispositivos sencillos y complejos.
- ? Existen numerosas herramientas de programación y verificación.

Las características resumidas de CANopen son:

- ? La red es auto configurable
- ? Los parámetros del dispositivo son fácilmente accesibles.
- ? Existe una sincronización entre dispositivos
- ? La transferencia de datos es cíclica, activada por eventos y síncrona (tanto para lectura como escritura)

### 3.2.2. LONworks.

LONworks referencia el nombre del bus, pero éste siempre se utiliza en conjunto con un protocolo llamado LONtalk. LONtalk consiste en una serie de protocolos que permiten la comunicación inteligente entre los dispositivos de la red. Este protocolo ha sido incluido en el estándar ANSI/EIA 709.1 en 1999 y el principal impulsor de este bus es Echelon Corporation.

LONworks (Local Operating Networks) emplea como concepto básico para definir su red como una “red de control”, en contraste con las “redes de datos” que tradicionalmente se conocen. Las redes de control (como lo son la mayoría de las redes revisadas aquí) están orientadas a la transmisión de pocos datos, pero de modo seguro y con un tiempo restringido. La comunicación LONworks entre los nodos puede hacerse por control distribuido de igual a igual (peer to peer) o bien maestro/esclavo. Pero en cualquier caso, la inteligencia en los nodos (capacidad de computación) permite la distribución de la carga computacional de procesamiento para, por ejemplo, usarse en sensores inteligentes, realizando un análisis de los datos sensados, convertirlos en otros formatos, o analizarlos, para sólo realizar comunicación en casos concretos. Esta distribución de las funciones de control permite un incremento muy significativo del rendimiento y la robustez. Para ello, cada nodo incorpora la denominada “neurona” (neuron chip), consistente en 3 procesadores de 8 bits en paralelo, dos de ellos optimizados para el protocolo de comunicaciones, y un tercero para la ejecución de aplicaciones en el nodo. Esta técnica asegura que la complejidad de una aplicación no interfiere negativamente con el rendimiento de la red. Además, dado que toda la neurona queda incorporada en el mismo chip, el coste económico no es significativamente elevado, pudiendo incluso incorporar dentro del mismo, dispositivos como temporizadores, memoria, o incluso funciones específicas realizadas por hardware, facilitando así el desarrollo del software. Actualmente, el protocolo es abierto y puede ser implementado en software por cualquier fabricante.

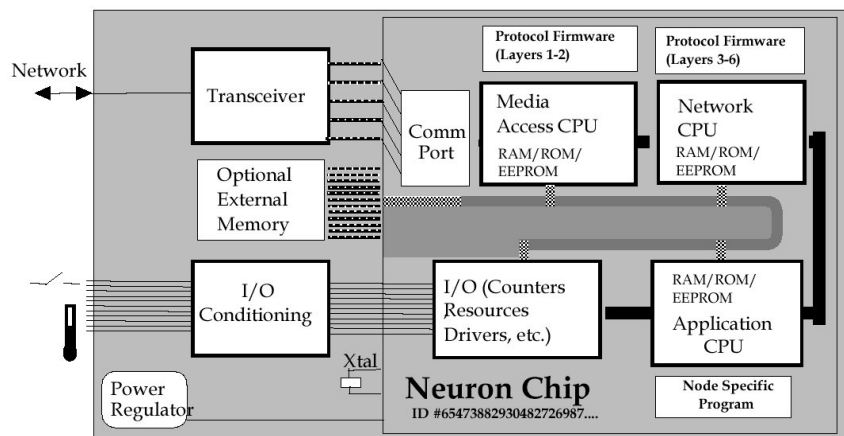
LONworks es capaz de funcionar en múltiples medios físicos de transmisión (utilizando los transceiver adecuados para cada uno de ellos), la tabla siguiente muestra algunos de los medios

físicos posibles. Utiliza dos hilos y dependiendo del medio de transmisión el rendimiento es diferente. Puede emplear como medio físico la línea eléctrica de potencia y la topología de red que se emplee no influye siempre y cuando no se superen los límites marcados. La siguiente tabla muestra las características de la transmisión dependiendo del medio físico empleado.

**Tabla. Medios físicos y prestaciones correspondientes para comunicaciones LONworks.**

Nombre del transceiver	Medio físico	Velocidad	Num. Max. Disp.	Máx. distancia
TP/FT-10	Par trenzado, topología libre	78 kbps	64-128	500 mts (topol. libre) 2200 mts. (topol. bus)
TP/XF-1250	Par trenzado, topología de bus	1,25 Mbps	64	125 mts.
PL-20	Línea eléctrica	5,4 kbps	Depende del emplazamiento	Depende del emplazamiento
IP-10	LONworks sobre IP	Fijado por la red IP	Fijado por la red IP	Fijado por la red IP

El protocolo LONtalk implementa las siete capas OSI empleando una mezcla entre funciones hardware y software. Las características que incorpora incluyen acceso a archivos multimedia, reconocimiento de las transacciones, comunicación entre iguales, prioridades de transmisión, autenticación del remitente del mensaje, eliminación de colisiones, soporte cliente-servidor, y otras funciones avanzadas. Se utiliza una variante del protocolo CSMA para el control de acceso al medio (CSMA predictivo persistente-p) empleando una técnica de acceso aleatoria (de modo similar a Ethernet).



**Figura 23. Esquema modular del interfaz LONworks de un nodo de su red.**

Cada dispositivo posee varias clases de direcciones: 1) dirección física, identificador único llamado "neuron ID" que se asigna en su fabricación y no es posible modificar. 2) Dirección del dispositivo. Dirección asignada en la instalación, el empleo de esta dirección mejora la instalación pues es más fácil la sustitución de elementos averiados; consta de identificador de dominio, id. de subred, id. de nodo. El uso de tres identificadores mejora el encaminamiento de paquetes. 3) Dirección de grupo. Para definir un conjunto de nodos independientemente de su situación física, por ejemplo, para agrupar funcionalidad, etc. 4) Dirección de difusión (broadcast). Esta dirección identifica todos los nodos que pueden recibir mensajes al mismo tiempo. Cada paquete enviado contiene de forma necesaria la dirección de destino (una o varias de las direcciones antes descritas) y la dirección del nodo transmisor (origen del paquete). También existe un identificador de dominio de tal modo que dos redes LONworks pueden coexistir en el mismo medio físico (cada una funcionando en un dominio distinto).

LONworks define cuatro tipos de mensajes (tres de ellos esenciales): 1) Mensajes reconocidos, de modo que al enviar un mensaje se debe esperar la recepción de reconocimiento de mensaje recibido

por parte del receptor o receptores, pudiendo configurar un número de reintentos o tiempo límite para el caso de fallo. 2) Mensajes repetidos, no necesita del reconocimiento del receptor, pero para asegurar su llegada éstos son enviados varias veces, es útil en el caso de una difusión múltiple ya que evita el tráfico masivo de mensajes de reconocimiento de recepción. 3) Mensajes sin reconocimiento, el mensaje sólo se envía una vez y no se espera confirmación de llegada. Genera poco tráfico en la red y es válido en redes fiables. 4) Servicio de autenticidad, permite que un receptor pueda determinar si el emisor de un mensaje está autorizado para hacerlo, de modo que se garantiza que sólo quien esté autorizado puede enviar cierto tipo de mensajes. Esta seguridad se implanta en la instalación introduciendo claves de 48 bit entre los dispositivos para poder cifrar/descifrar ciertos mensajes.

Además, LONworks dispone de lo que denomina “variables de red”. Mediante estas variables es posible crear una “conexión virtual” entre dos nodos de modo que una vez configurada ya no es necesario ejecutarla de nuevo. Esta conexión permite que se asocie el valor de una o varias variables de entrada en un nodo con otras variables de salida en el otro nodo, de modo que cada vez que se produce un cambio en las entradas, éste se refleja en las salidas sin necesidad de que la programación del sistema esté pendiente de ejecutar la rutina de actualización de esas entradas remotas, creando lo que denominan “cable virtual”. Esta utilidad permite la fácil interconexión entre dispositivos de diferentes fabricantes, ya que no es necesario conocer en detalle cada dispositivo, pues existen funciones estándar de enlace virtual (SNVT, Standard Network Variable Type) que se encargan de ello.

### **3.3. Buses de campo: PROFIBUS, DEVICENet, COMPOBUS.**

Este tipo de buses es el que ha diversificado su oferta de manera más amplia, dado que han aparecido numerosos estándares para su implantación industrial. A pesar de tratarse de estándares abiertos, cada protocolo suele estar impulsado por un fabricante diferente, por lo que existe una pequeña batalla enmascarada por el control del mercado a través de la filosofía de sistemas abiertos. Entre los diferentes protocolos existen ciertas diferencias, pero generalmente es posible realizar el mismo tipo de aplicaciones sobre cualquiera de ellos. Aunque no entraremos de lleno en todos los protocolos, realicemos una revisión somera de los mismos.

- ? **HART**, este protocolo proporciona comunicación digital bidireccional con dispositivos de campo inteligentes mientras conserva la compatibilidad y familiaridad de los tradicionales sistemas 4-20 mA. Su protocolo utiliza la norma Bell 200 que permite la superposición simultánea a niveles bajos de una señal de comunicaciones digital (el "1" lógico es representado por 1.200 Hz, mientras el "0" lógico corresponde a 2200 Hz) en la parte superior de la señal analógica 4-20 mA. Ya que HART fue diseñado para ampliar las comunicaciones con los instrumentos de medición y control que tradicionalmente se comunicaban con señales de 4-20 mA, es aplicable a todo tipo de industrias de proceso. Por tratarse de una superposición a un sistema existente, HART ofrece una solución sin ningún riesgo para poder gozar de los beneficios que resultan de una comunicación más amplia con los dispositivos inteligentes.
- ? **FIP y WORLDFIP**, FIP es una norma de bus de campo desarrollada en Francia. FIP se propone ser un sistema de gestión de una base de datos industrial, en tiempo real y distribuido, para lo que se basa en el modelo PDC. De acuerdo a este modelo, los programas de aplicación que se ejecutan en las estaciones pueden cumplir tres funciones: 1) Productor de datos: programa de aplicación responsable de la producción de un dato o variable. Por ejemplo, un transmisor es responsable de la producción de un dato que representa la variable monitorizada, mientras que un controlador es responsable de la producción de un dato que representa el porcentaje de apertura de una válvula. 2) Consumidor de Datos: es un programa de aplicación que requiere un dato o variable. Por ejemplo, un actuador requiere

conocer el porcentaje de apertura al que debe estar la válvula, mientras que un controlador multilazo es consumidor de numerosas variables requeridas para cumplir sus funciones. 3) Distribuidor: el distribuidor es responsable de la validez de la transferencia de datos, así como de que esta se produzca en los plazos de tiempo requeridos por el proceso. Un productor puede producir datos que sean de interés para más de un consumidor, así como un consumidor puede requerir datos de más de un productor. Cada estación es autónoma, con el único requisito de producir las variables de las que es productor cuando el distribuidor se lo solicita. De esta forma, el distribuidor es el árbitro de la red, definiendo cuando las variables son producidas, conforme a los requerimientos de los consumidores. FIP ofrece en el nivel de aplicación dos tipos de servicios, servicios de transferencia de mensajes (subconjunto de MMS) y Servicios periódicos/aperiódicos MPS. FIP se basa en la norma NFC 46-602 y NFC 46-607 y en el modelo ISO/OSI reducido a tres niveles, físico, de enlace y de aplicación. WorldFIP Europe es un protocolo para operaciones de proceso, por lotes, y de fabricación discreta. Entre las principales aplicaciones se incluyen las industrias automotriz, química, petroquímica, siderurgia, alimenticia y fabricación de papel. La simplicidad inherente del protocolo le ofrece al usuario una entrega garantizada de variables de tiempo crítico y le brinda la posibilidad de transferir archivos de datos en el mismo bus sin ninguna programación especial de las aplicaciones.

- ? **Foundation Fieldbus.** FOUNDATION fieldbus constituye un subconjunto del estándar IEC/ISA (IEC61158 e ISA s50.02). Esta organización agrupa dos asociaciones, WorldFIP (World Factory Instrumentation Protocol) e ISP (Interoperable Systems Project) desde 1994. Su principal objetivo es la sustitución del cableado asociado a los elementos aislados tales como aquellos dispositivos funcionando con tecnología 4..20 mA (la mayoría de elementos neumáticos funcionan con este tipo de señales) por un bus capaz de proporcionar una compatibilidad con ellos mediante la inclusión en el dispositivo de un pequeño interfaz. Es intrínsecamente seguro, es decir, dispone de capacidad para ser empleado en entornos agresivos (riesgo de explosión, agentes químicos, etc.). Esta tecnología emplea las capas 1, 2 y 7 del modelo OSI. Las señales del bus se transmiten por un par trenzado con una amplitud de 1V de pico a pico moduladas sobre una tensión continua de valores entre 9 y 32 V (incluye la alimentación de los dispositivos en la misma línea), con una velocidad de transferencia de 31,25 kbit/s y con una impedancia equivalente de 50 ohmios (es necesario incluir terminadores en la línea). Permite transmisión gestionada por un dispositivo que otorga el control del bus (paso de testigo), y también transferencias asíncronas para mensajes con prioridad. Dado que los dispositivos incorporan cierta inteligencia, es posible su funcionamiento autónomo a pesar de interrupciones en la transmisión de datos. Admite hasta 32 elementos en el bus y 1900 metros de longitud (sin repetidores).
- ? **MODBUS.** Es uno de los protocolos más veteranos, apareció en 1979 para transmitir y recibir datos de control entre los controladores y los sensores a través del puerto RS-232 (comunicación punto a punto), con un alcance máximo de 350 metros. No ha sido estandarizado por ninguna entidad, pero sus especificaciones están disponibles. Funciona mediante el sistema maestro/esclavo, y posee dos modos esenciales de funcionamiento, modo ASCII, enviando dos caracteres (2 bytes) para cada mensaje, pudiendo haber hasta 1 segundo de tiempo de diferencia entre ellos, y modo RTU (Remote Terminal Unit), donde se envían 4 caracteres hexadecimales (4 bits cada uno) para cada mensaje. Esta última opción es más empleada en transmisiones inalámbricas. Existe la versión MODBUS plus donde se emplea el puerto RS485 para permitir hasta 32 nodos y cubrir distancias de hasta 1500 metros con técnica de transmisión de paso de testigo. Ambos emplean como medio físico el par trenzado apantallado y la tensión de alimentación es independiente para cada dispositivo. Se trata de un protocolo con limitaciones y donde sólo es recomendable usarlo en caso de instalaciones donde existan instalaciones de este tipo (para mantener compatibilidad), pero donde en la actualidad es posible emplear medios de comunicación con más prestaciones y un precio similar. Actualmente se está impulsando el empleo de

MODBUS sobre TCP/IP para aprovechar las infraestructuras que se están implantando para Internet, y usar protocolos industriales empleando las mismas líneas y empaquetando mensajes MODBUS dentro de los paquetes TCP/IP, de modo que son necesarios unos módulos de encapsulado y desencapsulado para conectar con módulos tradicionales MODBUS.

- ? **Interbus.** Es una red de sensores/accionadores distribuidos para sistemas de fabricación y control de procesos continuos. Es un sistema con método de comunicación maestro-esclavo, abierto de alta prestaciones, de topología en anillo. Interbus no está respaldado por los grandes fabricantes de autómatas. Sin embargo, alrededor de 700 desarrolladores de dispositivos de campo lo soportan. Un sistema basado en Interbus está compuesto por una tarjeta de control, instalada en un PC industrial o en un autómata programable que comunica con un conjunto de dispositivos de entrada/salida. Es un sistema con estándar europeo EN50254 de 1997.
- ? **EIB (European Installation Bus).** Es un sistema orientado hacia la domótica y el control de dispositivos eléctricos para la automatización de edificios (Control de iluminación, Control de persianas, Control de calefacción, Administración de cargas y energía, Servicio y observación). El estándar que lo regula es el EN 50090 y ANSI/EIA 776. Existen pasarelas para interconexión con otros buses como Profibus DP para poder enlazar elementos típicos de automatización con los dispositivos habitualmente controlados por EIB.

La Figura 24 muestra el emplazamiento de diversos buses de campo dependiendo de diversas características como su complejidad, nivel de transferencia de datos por mensaje, coste económico y funcionalidad.

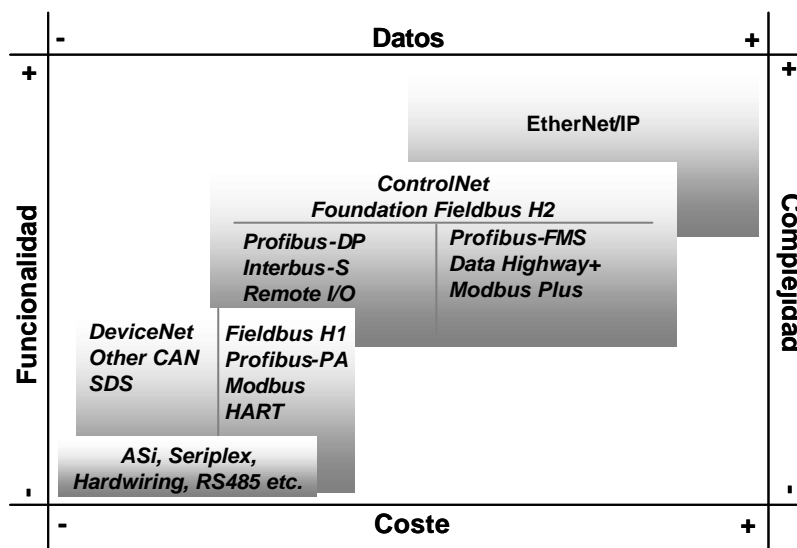


Figura 24. Clasificación de diversos buses de campo.

### 3.3.1. PROFIBUS.

La base para el desarrollo de este protocolo fue un proyecto de investigación de varias empresas y cinco institutos de investigación alemanes. Actualmente, Profibus en sus 3 versiones FMS, DP y PA son estándar europeo EN50170 desde 1996, aunque sus actividades comenzaron alrededor de 1987. Existen más de dos millones de dispositivos Profibus instalados, con aproximadamente 250 fabricantes de productos Profibus en todo el mundo. Son dos las asociaciones principales que organizan las actividades encaminadas a la mejora de este bus: PI (Profibus Internacional) y PNO (Organización de usuarios de Profibus).

La familia Profibus consiste en tres versiones compatibles:

1. **PROFIBUS-DP (Distributed Peripherals)**. Optimizado para alta velocidad y coste reducido. Esta versión de Profibus está diseñada especialmente para comunicación entre sistemas automáticos de control y E/S distribuidos a nivel de campo (periferia descentralizada). Puede ser empleado para remplazar transmisiones paralelas de señales con 24V o 4..20 mA. El intercambio de datos es cíclico. El tiempo de ciclo del bus ha de ser menor que el tiempo de ciclo del programa del controlador central.
2. **PROFIBUS-PA (Process Automation)**. Está especialmente diseñado para automatización de procesos. Permite que sensores y actuadores puedan ser conectados a un bus común en áreas de especial seguridad calificadas como Ex. Permite comunicación de datos y transporte de energía sobre el mismo bus empleando tecnología de dos cables, acorde con el estándar internacional IEC 1158-2. Básicamente, es la ampliación de Profibus-DP compatible en comunicación con una tecnología que permite aplicaciones para la automatización de procesos en recintos expuestos al peligro de explosiones (áreas clasificadas Ex). También existen diversos perfiles orientados a aplicaciones concretas donde se definen elementos específicos como perfiles de automatización de edificios, aplicaciones seguras ante fallos (PROFISafe), control numérico y robots, encoders, drivers de motores de velocidad variable o interfaces Hombre-máquina.
3. **PROFIBUS-FMS (Fieldbus Message Specification)**. Es la solución de propósito general para tareas de comunicación a nivel de control. Los potentes servicios FMS abren un amplio rango de aplicaciones y proveen gran flexibilidad. También puede ser empleado para tareas de comunicaciones extensas y complejas. En Profibus-FMS la funcionalidad es más importante que conseguir un sistema con tiempo de reacción pequeño. En la mayor parte de aplicaciones, el intercambio de datos es fundamentalmente acíclico en base a la demanda del proceso del usuario.
4. **PROFIBUS sobre TCP/IP**. A través de una pasarela, y empleando la especificación MMS (Manufacturing Message Specification) puesto que FMS constituye un subconjunto de la misma, es posible enviar mensajes sobre una red TCP/IP con destino a nodos de una red Profibus.

Profibus especifica las características técnicas y funcionales de un sistema basado en un bus de campo serie en el que controladores digitales descentralizados pueden ser conectados entre sí desde el nivel de campo al nivel de control. Se distinguen dos tipos de dispositivos, *dispositivos maestros*, que determinan la comunicación de datos sobre el bus. Un maestro puede enviar mensajes sin una petición externa cuando posee el control de acceso al bus (el testigo). Los maestros también se denominan estaciones activas en el protocolo Profibus. Como segundo tipo están los *dispositivos esclavos*, que son dispositivos periféricos. Los esclavos son normalmente dispositivos de E/S, válvulas, actuadores y transmisores de señal que no tienen el control de acceso al bus y sólo pueden recibir o enviar mensajes al maestro cuando son autorizados para ello. Los esclavos también son denominados estaciones pasivas, por lo que sólo necesitan una parte del protocolo del bus. Así pues, sobre un mismo medio físico de bus, existen dos tipos de comunicaciones, la existente entre maestros para el paso de testigo, y la existente entre los nodos maestros y sus esclavos (ver Figura 25).

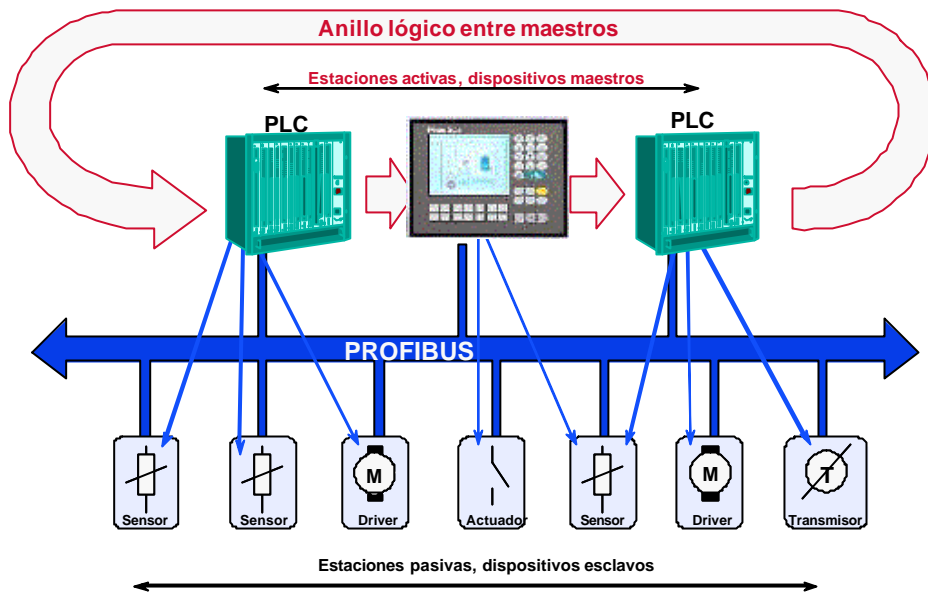


Figura 25. Esquema de comunicaciones existente en una red Profibus multimaestro.

La Figura 26 muestra cómo es posible la utilización de Profibus dentro de los diferentes niveles de la pirámide de automatización y su posible uso conjunto con redes corporativas basadas en Ethernet (TCP/IP) con el empleo de las tres versiones Profibus existentes.

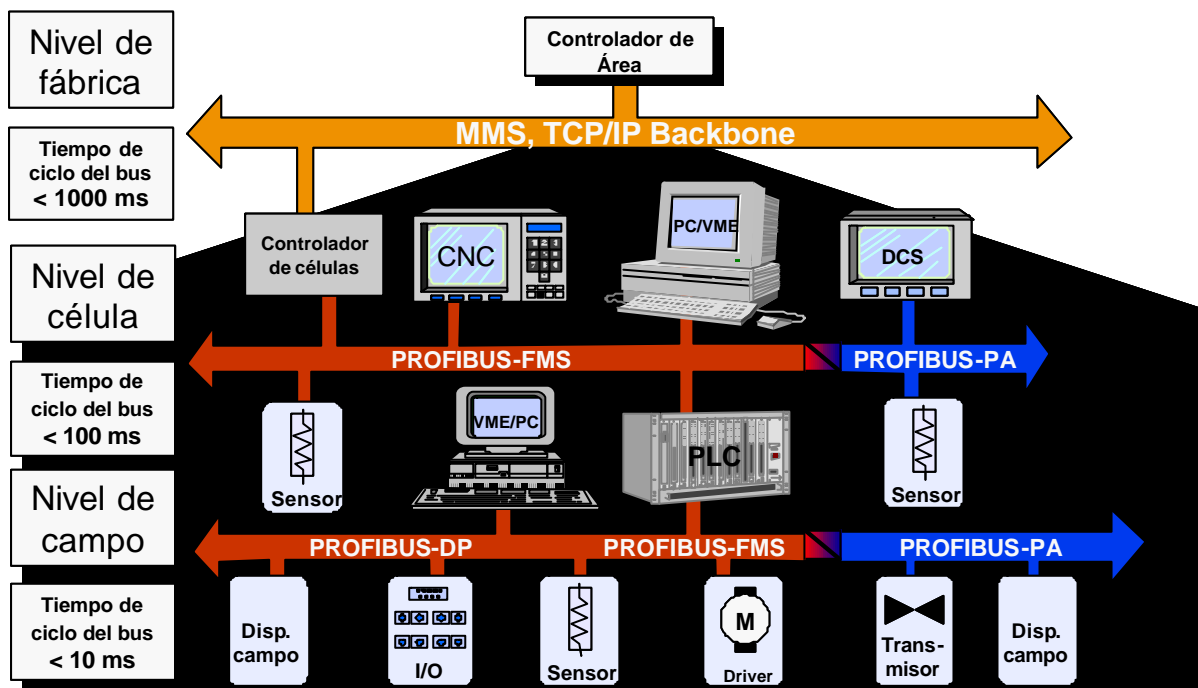


Figura 26. Estructura de una pirámide de automatización basada en las diferentes versiones Profibus (incluyendo Profibus sobre TCP/IP mediante MMS).

Profibus emplea una topología de bus con terminación en ambos extremos para adaptación de impedancias. Esta técnica asegura el acoplamiento y desacoplamiento de estaciones (incluso en áreas de seguridad) durante operación normal sin afectar al resto. En cuanto al medio físico empleado, se utiliza:

- ? RS 485 (H2): Par trenzado apantallado, usado básicamente para DP y FMS, acorde al estándar RS-485, emplea transmisión asíncrona, con transferencias desde 9.6 kbit/s hasta 12 Mbit/s (seleccionables). Usa 32 estaciones por segmento, máximo 127 estaciones, con distancia máxima dependiente de velocidad deseada (12 Mbit/s=100 m; 1,5 Mbit/s=400m; <187,5 kbit/s=1.000 m), aunque con repetidores puede alcanzar hasta 10 km. La

combinación del trenzado de conductores, el apantallamiento de lámina y el apantallamiento de malla lo hace especialmente apropiado para el tendido en entornos industriales con fuertes interferencias electromagnéticas y con un coste de instalación reducido. Es necesaria la terminación de la línea para adaptación de impedancias (habitualmente esta terminación viene incorporada en los conectores, que son de tipo DB9, y es seleccionable).

- ? IEC 1158-2 (H1): Usado para Profibus-PA. Funciona en modo corriente, y alcanza 31,25 kbit/s. La tecnología de transmisión acorde con la IEC 1158\_2 cumple los requisitos de las industrias químicas y petroquímicas. Permite seguridad intrínseca y hace posible que se alimente a los dispositivos de campo a través del bus. Esta tecnología consta de un protocolo síncrono al bit con transmisión libre de corriente continua. Emplea par trenzado apantallado o no apantallado, con distancia de hasta 1.900 m por segmento, extendida por repetidores hasta 10 km, 127 estaciones máximo, de 10 a 32 por segmento (dependiendo del tipo de dispositivo y consumo). Son posibles configuraciones en línea, árbol y estrella.
- ? Fibra Óptica: Usada para DP y FMS. Los elementos que proporcionan la salida de datos a través de fibra óptica se denominan “Módulo de Enlace Óptico” (Optical Link Module, OLM) y “Conector de Enlace Óptico” (Optical Link Plug, OLP). Con OLM se pueden conseguir topologías de red con estructura de línea, estrella o anillo, creando enlaces de hasta 15 kms. (la distancia depende del tipo de fibra empleada). Con OLP se logran, además, estructuras de anillo monofibra pero con distancias cortas. Debido al funcionamiento unidireccional de las fibras ópticas, las redes ópticas se implementan con enlaces punto a punto entre los componentes activos. Como ventajas principales, ofrece separación galvánica entre los usuarios del bus y el soporte de transmisión, es inmune frente a interferencias electromagnéticas y la técnica de conexión es extremadamente sencilla utilizando fibras ópticas de plástico en el ámbito de corta distancia. Para OLM las velocidades de transmisión posibles son: 9.6 kbit/s, 19.2 kbit/s, 93.75 kbit/s, 187.5 kbit/s, 500 kbit/s, 1.5 Mbit/s. Para OLP: 93.75 kbit/s, 187.5 kbit/s, 500 kbit/s, 1.5 Mbit/s.

La configuración de los sistemas Profibus es totalmente abierta, es decir, que dispositivos de diferentes fabricantes se pueden utilizar en la misma red Profibus. Para ello, basta con disponer de un fichero de configuración GSD donde está la información de dicho dispositivo. Esta información es leída por la herramienta de configuración (una computadora PC o un terminal de programación), para posteriormente transferir todos los datos al elemento maestro que controlará la red (pueden ser varios elementos maestros en el caso de sistemas multimaestro).

### 3.3.1.1. Profibus en el modelo ISO/OSI.

Profibus-DP emplea las capas o niveles 1 y 2, además de la interfase de usuario. Los niveles del 3 al 7, ambos inclusive, no están definidos. La optimización de esta arquitectura asegura una transmisión de datos rápida y eficiente. El Direct Data Link Mapper (DDL) permite a la interfase de usuario un acceso sencillo al nivel 2.

En Profibus-FMS están definidos los niveles 1, 2 y 7. El nivel de aplicación se compone de FMS (Fieldbus Message Specification) y LLI (Lower Layer Interface). FMS contiene el protocolo de aplicación y otorga al usuario una amplia selección de potentes servicios de comunicación. LLI implementa las distintas relaciones de comunicación y proporciona a FMS, con independencia del dispositivo, un acceso al nivel 2. El nivel 2 de Profibus, denominado FDL (Fieldbus Data Link) implementa el control de acceso al bus y la seguridad en los datos.

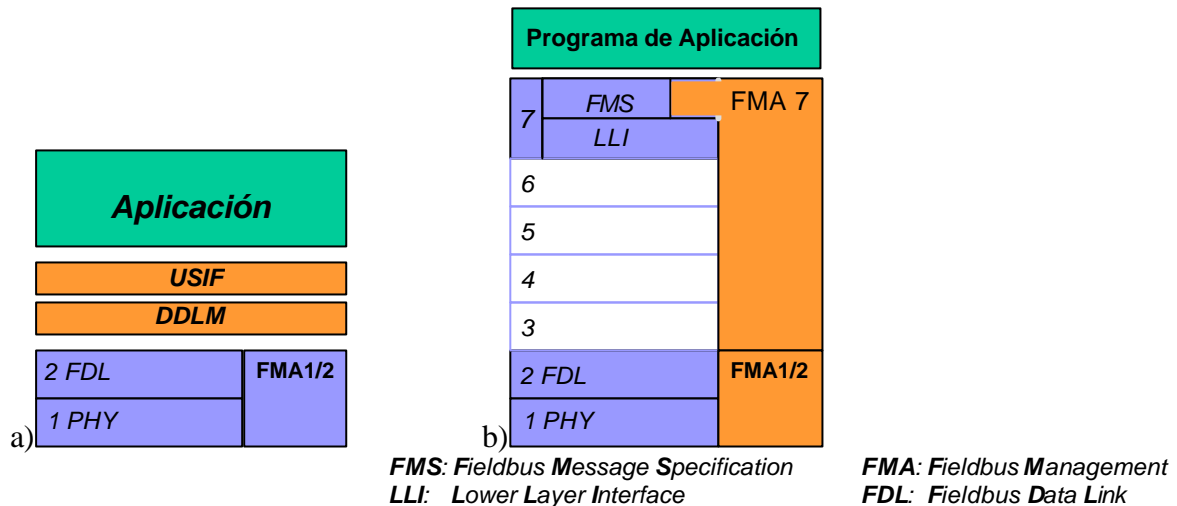


Figura 27. Capas del modelo ISO/OSI empleadas por: a) Profibus DP, b) Profibus FMS.

La capa 2 es la que ofrece el enlace de datos con las aplicaciones y/o las funciones de mensajes (en caso de FMS). Esta capa ofrece cuatro servicios de comunicación que son solicitados por los niveles superiores a través de los puntos de acceso al servicio (SAPs) del nivel 2. Estos servicios son:

- ? SDN (Send Data with No Acknowledgement), envío de datos a una estación o a todas (broadcast) sin acuse de recibo.
- ? SRD (Send and Request Data with Reply), envío de datos a una estación y, al mismo tiempo, petición de datos a la misma, esperando una respuesta con datos inmediata.
- ? SDA (Send Data with Acknowledgement), envío de datos a una estación con acuse inmediato (sólo disponible en FMS).
- ? CSRD (Cyclic Send and Request Data with Reply), donde la estación active posee una lista de sondeo (polling) que ejecuta para consultar a varios nodos de manera cíclica mientras posee el testigo (sólo disponible en FMS).

### 3.3.1.2. Método de funcionamiento.

Las tres variantes de Profibus (DP, FMS y PA) emplean un protocolo de acceso al bus uniforme, que se implementa en el nivel de Enlace de Datos (nivel 2 en el modelo ISO/OSI). Además, este nivel también se encarga de la protección de los datos y del manejo de los protocolos de transmisión y de las tramas de mensaje. En Profibus, el nivel 2 se denomina *Fieldbus Data Link*, FDL. El protocolo de Profibus ha sido diseñado para satisfacer dos requisitos en el control de acceso al medio:

- ? Durante la comunicación entre sistemas de automatización complejos (maestros), debe asegurarse que cada una de las estaciones tiene tiempo suficiente para ejecutar sus tareas de comunicación en un intervalo de tiempo definido con precisión.
- ? Tiene que llevarse a cabo una transmisión de datos en tiempo real, cíclica, tan rápida y simple como sea posible para la comunicación entre un controlador programable complejo y sus dispositivos de entrada/salida (esclavos). Por ello, la solución propuesta es una combinación entre el procedimiento de paso de testigo (entre estaciones activas) y el de maestro-esclavo (entre estaciones activas y pasivas).

En lo que respecta a la **seguridad en los datos**, los formatos de trama en el nivel 2 de Profibus aseguran una alta integridad en los datos. Todos los telegramas tienen una **Distancia de Hamming**,  $H_d=4$ . Esto se logra gracias a unos delimitadores especiales inicial y final y a un bit de paridad por cada octeto, como se define en el estándar internacional IEC 870-5-1. El nivel de enlace de datos

(FDL) opera en un modo sin enlaces. Además de la transmisión de datos punto a punto, proporciona comunicaciones con múltiples estaciones a un mismo tiempo (*Broadcast* y *Multicast*). En una comunicación *broadcast*, una estación activa envía un mensaje que no precisa acuse al resto de estaciones, tanto maestros como esclavos. En una comunicación *multicast* una estación activa envía un mensaje que no precisa acuse a un grupo predeterminado de estaciones (no todas).

Como ya se ha comentado anteriormente, el método de acceso para los maestros es el de paso de testigo, en este caso mediante la técnica de “testigo en bus” (Token bus), y la técnica de maestro/esclavo en sistemas centralizados. El método de acceso es independiente del medio de transmisión. Es posible el funcionamiento de las comunicaciones en el bus de tres modos:

- ? Gestión del testigo
- ? Envío/Petición Acíclico.
- ? Envío/Petición Cíclico.

En la **gestión del testigo**, existe un anillo lógico que es independiente de la disposición topológica de las estaciones activas en la red. La autorización de acceso al medio, es decir, el testigo o token, se pasa de una estación activa a la siguiente en orden numérico ascendente de dirección de estación usando el token frame (trama de testigo). Sólo la estación con dirección más alta pasa el testigo a aquella con menor dirección, cerrándose de este modo el anillo lógico. Cuando una estación recibe el testigo queda autorizada para transmitir telegramas (recuerde que la iniciativa en la comunicación siempre recae sobre las estaciones activas). Para que el paso de testigo se lleve a cabo de una forma ordenada, cada estación debe conocer la estación previa (PS, Previous Station) de la que recibe el testigo, la próxima estación (NS, Next Station) a la que pasará el testigo, y su propia dirección (TS, This Station).

Cuando una estación activa (TS) recibe una trama de testigo (token frame) direccionada para ella, procedente de la estación registrada como previa (PS) en su “Lista de Estaciones Activas” (LAS, List of Active Stations), se convierte en el poseedor del testigo y puede ejecutar ciclos de mensajes. La estación activa genera su LAS en la fase de escucha (estado “Listen-Token”) después del arranque y, a partir de ese momento, se comprueba y se corrige su estado, si fuese necesario, cuando se recibe una trama de testigo. El tiempo durante el que puede transmitir viene definido por el llamado tiempo de retención del testigo. Una vez expirado el mismo, el usuario sólo puede emitir un mensaje de prioridad alta. Si no tiene que emitir ningún mensaje, pasa el testigo a la estación que le sigue directamente en el anillo lógico.

Cuando la estación activa ha completado sus ciclos de mensaje, pasa el testigo a la próxima estación (NS) mediante el envío de la trama de testigo. La estación debe comprobar que su transceiver está preparado (estado “Pass-Token”, paso de testigo). Si el emisor del testigo recibe una trama válida, esto es, una cabecera de trama plausible sin errores, considera que su NS ha cogido el testigo y está ejecutando sus ciclos de mensaje. Si por el contrario recibe una trama defectuosa, interpreta que otra estación está enviando. En ambos casos, detiene la comprobación del paso de testigo y pasa a estado “Active-Idle” (activa en reposo). Si el emisor del testigo no detecta ninguna actividad en el bus en el slot-time (tramo de tiempo configurable), envía la trama de testigo de nuevo y espera otro slot-time. Si detecta actividad en el bus en el segundo slot-time, deja de intentarlo. Si no es así, envía una última vez la trama de testigo a su NS. Si tras ese tercer intento todavía no hay actividad en el bus, el emisor del testigo intentará pasar el mismo a la estación posterior a la NS. Se repite este proceso hasta que encuentra una NS en su LAS. Si no tiene éxito, interpreta que es la única estación que queda en el anillo lógico y mantiene el testigo para sí mismo si no se solicitan ciclos de mensaje.

Los mensajes se intercambian cíclicamente. Un ciclo de mensaje está constituido por una trama de llamada, Send y/o Request (Envío y/o Petición), elaborada por una estación activa y el correspondiente acuse o trama de respuesta procedente de una estación activa o pasiva. Tanto las tramas de Envío como las de Respuesta pueden contener datos de usuario, mientras que en la trama de Acuse no es así. No se llega a ejecutar el ciclo de mensaje completo en los modos de paso de testigo y cuando se envían datos sin esperar un acuse, situación necesaria, por ejemplo, si se pretenden implementar mensajes de difusión total (broadcast). En ambas situaciones no hay acuse. En mensajes de tipo broadcast, una estación activa direcciona todas las otras estaciones simultáneamente a través de una dirección global (dirección más alta del sistema, todos los bits de la dirección a "1"). Una posible aplicación de este modo de funcionamiento es, por ejemplo, efectuar la sincronización de tiempo.

Todas las estaciones, excepto aquella que actualmente posee el testigo (iniciador), tienen que escuchar todas las llamadas. Pero sólo elaboran un acuse o respuesta si son ellas las direccionadas. El acuse o la respuesta deben llegar en un tiempo especificado, el ya mencionado tiempo de espera a la recepción o *slot-time*, y de no ser así, el iniciador repetirá la llamada. Pero el iniciador no podrá repetir la llamada o realizar una nueva hasta que haya transcurrido un cierto tiempo de espera, el llamado tiempo de reposo o *idle time*.

Además del paso de testigo es posible el funcionamiento del modo de **Envío/Petición Acíclico**. En el modo Envío y/o Petición acíclico se ejecutan ciclos de mensaje esporádicos y separados. Si hay varias peticiones, el funcionamiento puede continuar en este modo hasta que expire el máximo tiempo de rotación de testigo permisible. Dentro de este modo de funcionamiento se distinguen tres servicios de comunicación diferentes: 1. SDN (Send Data with No Acknowledgement), envío de datos a una estación o a todas (broadcast) sin acuse de recibo. 2. SDA (Send Data with Acknowledgement), envío de datos a una estación con acuse inmediato (sólo disponible en FMS). 3. SRD (Send and Request Data with Reply), envío de datos a una estación y, al mismo tiempo, petición de datos a la misma, esperando una respuesta con datos inmediata.

En el modo de **Envío/petición cíclico ó CSRD**, En el modo sondeo (polling), la estación activa direcciona otras estaciones cíclicamente mediante una llamada "Envío y Petición de Datos de prioridad Baja" según una secuencia específica definida en la lista de sondeo. El usuario de la estación activa pasa dicha lista al controlador FDL. Todas las estaciones pasivas y activas que deben sondearse se definen en esta lista. Las estaciones que no responden durante el proceso de sondeo a pesar de llevar a cabo varios intentos se marcan como "no operativas". En ciclos de llamada subsiguientes, estas estaciones son interrogadas de nuevo pero sin reintentos. Si las estaciones responden entonces, se registrarán como "operativas". Cuando se recibe el testigo el procesamiento de la lista de sondeo no comienza hasta que se hayan ejecutado todas las peticiones de ciclos de mensaje de prioridad alta. Si fuesen necesarios otros ciclos de mensaje de prioridad baja, éstos pueden subordinarse al sondeo.

### 3.3.1.3. Profibus-DP.

Un sistema DP conforme a la norma Profibus-DP puede constar de las siguientes estaciones:

- ? Maestro DP (clase 1). Un equipo de esta clase se encarga de la tramitación de la tarea de control propiamente dicha. Para tal fin emite y recibe datos de entrada y salida del proceso.
- ? Maestro DP (clase 2). Se trata de una unidad de programación, diagnóstico o gestión encargada de ejecutar funciones de diagnóstico y servicio técnico.
- ? Esclavo DP. Se trata de un equipo en el nivel de campo a través del cual se leen señales de proceso o se emiten señales al mismo. Los equipos pueden tener estructura modular.

Los principales tipos de tramas de mensaje en Profibus-DP están referidos a asignación de parámetros, configuración, diagnóstico, comandos de control y datos de usuario. Las tramas son enviadas en orden consecutivo. Para transmitir datos entre un maestro y un esclavo, el proceso más habitual en DP es la utilización del servicio SRD.

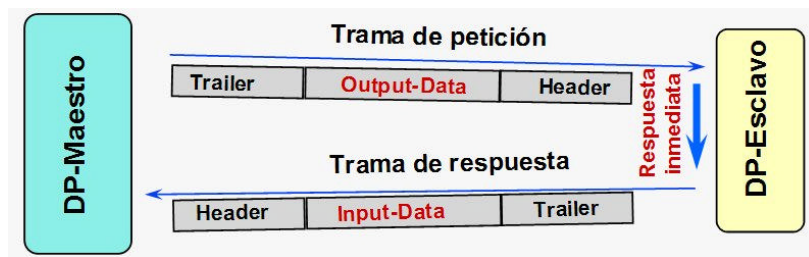


Figura 28. Transmisión de mensajes Profibus entre maestro y esclavo utilizando el servicio SRD.

Un elemento maestro (clase 1) puede controlarse por un maestro clase 2 y quedar en los modos STOP donde no existe transmisión, CLEAR, donde el maestro clase 1 puede leer la información de los esclavos pero las salidas quedan en modo de seguridad, y OPERATE, donde el maestro clase 1 queda en modo de transferencia donde se lee y escribe de los esclavos. Si un esclavo se desconecta, el maestro automáticamente lo reconoce.

La transmisión de datos hacia los esclavos se realiza en 3 fases:

- ? Parametrización y Configuración: permite comprobar que el dispositivo esclavo elegido es el deseado y su configuración la apropiada.
- ? Transferencia de datos: Gobernada por el maestro y donde, aparte del funcionamiento normal, se puede fijar a los esclavos en los modos SYNC: Las salidas no cambian de estado pero se siguen recibiendo datos del master y FREEZE: Las entradas de los esclavos no varían.

Profibus DP permite una transmisión multimaestro de modo que varios maestros DP pueden acceder a un esclavo DP para leer sus estados.

### 3.3.1.4. Profibus FMS.

Como ya se ha comentado anteriormente, Profibus FMS está orientado a tareas de comunicación a nivel de control y para tareas de comunicación extensas y complejas donde la funcionalidad es más importante que conseguir un sistema con tiempo de reacción pequeño. Los potentes servicios FMS abren un amplio rango de aplicaciones y proporcionan gran flexibilidad. Las características más importantes de FMS son:

- ? Permite conectar dispositivos inteligentes de campo como PLC, PC y MMI (Man-Machine Interface).
- ? Potentes aplicaciones ofrecen un amplio abanico de funcionalidad para variables, eventos, programas, dominios, etc.
- ? Protocolo orientado a objetos.
- ? Comunicaciones Multi-Maestro y Maestro-Esclavo.
- ? Comunicaciones Punto a punto, Broadcast y Multicast.
- ? Transferencia de datos cíclica y acíclica.
- ? Admite hasta 244 bytes de datos de usuario por servicio.

Dado que FMS emplea un entorno orientado a objetos, tanto variables como parámetros se designan como objetos, cada objeto de comunicación posee características que lo definen (Read, Write,

etc...). Los objetos de comunicación se introducen en el diccionario de objetos (OD), este diccionario se configura individualmente para cada dispositivo durante el proceso de instalación y configuración. Entradas estándar en el diccionario están predefinidas mediante perfiles específicos. Así, existe un dispositivo virtual (VFD: Virtual Field Device) con unos índices que permiten acceder a los parámetros del dispositivo a través de ellos, de modo que independientemente del dispositivo que se trate, simplemente se realizan accesos a índices de los objetos, eso sí, cada objeto posee un diccionario que indica a qué corresponde cada índice, con lo que existe una conexión virtual entre dispositivos en donde se lee y escribe en determinados índices.

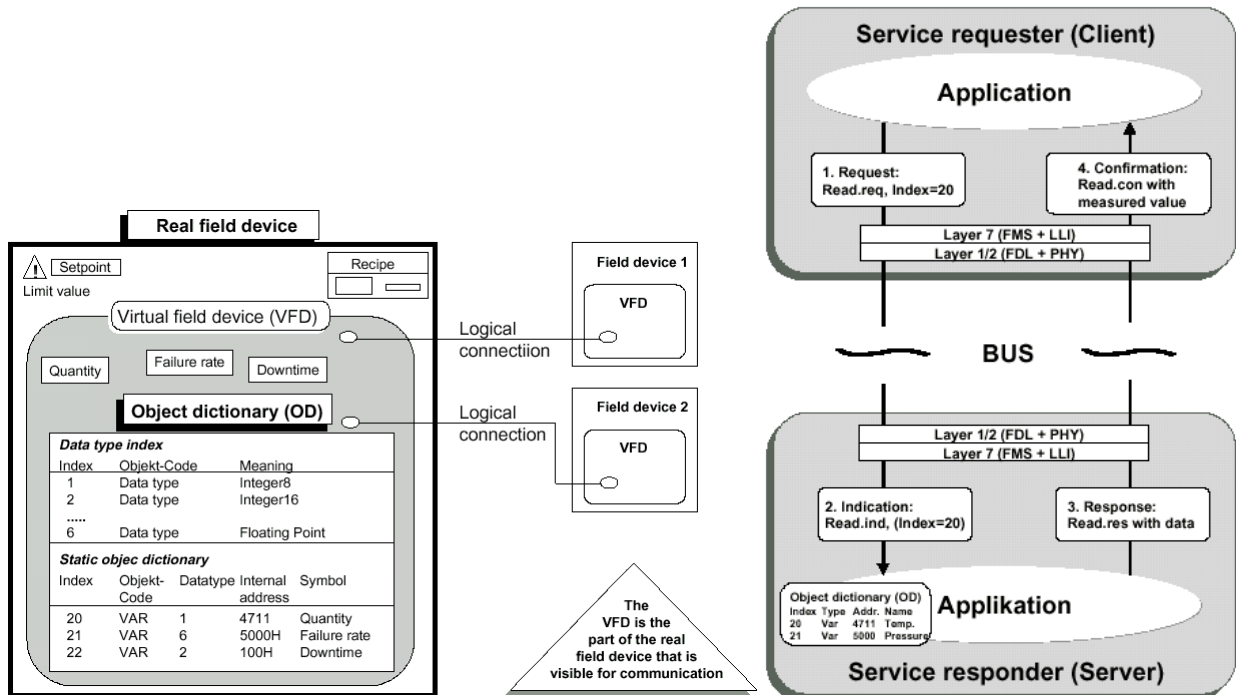


Figura 29. Definición de objetos FMS que hacen referencia a los objetos reales y esquema de comunicación FMS entre dos dispositivos.

En FMS existen numerosos servicios de comunicación. Estos servicios son un subconjunto de la definición MMS (Manufacturing Message Specification, ISO 9506) y ofrecen unas funciones de comunicación de alto nivel. Se dividen en servicios confirmados y no confirmados. Como resumen, se tiene:

- ? Los servicios de “Acceso a Variables” son usados para acceder a variables, records, arrays o listas de variables.
- ? Los servicios de “Gestión de Contexto” son para establecer y finalizar conexiones lógicas.
- ? Los servicios de “Gestión OD” se usan para el acceso de escritura y lectura al diccionario de objetos.
- ? Los servicios de “VFD Support” se utilizan para la identificación y la determinación del status. También pueden ser enviados espontáneamente ante la petición de un aparato como transmisiones MULTICAST o BROADCAST.
- ? Los servicios de “Gestión de Llamadas a Programas” (Program invocation management) se utilizan para el control del programa.
- ? Los servicios de “Gestión de Eventos” se usan para transmitir mensajes de alarma. Estos mensajes pueden enviarse también por transmisión BROADCAST o MULTICAST.
- ? Los servicios de “Gestión de Dominio” se usan para transmitir grandes áreas de memoria. El usuario debe dividir los datos en segmentos.

**Acceso a variables:**

Read	ReadWithType	Write	WriteWithType
PhysicalRead	PhysicalWrite	InformationReport	
InformationReportWithType		DefineVariableList	

	DeleteVariableList		
<b>Gestión de contexto:</b>	Initiate	Abort	Reject
<b>Gestión de OD:</b>	GetOD	InitiatePutOD	PutOD
<b>VFD Support:</b>	Status	UnsolicitedStatus	Identify
<b>Gestión de llamadas a programas:</b>	CreateProgramInvocation	DeleteProgramInvocation	
	Start	Stop	Resume
<b>Gestión de eventos:</b>	EventNotification	EventNotificationWithType	Reset
	AcknowledgeEventNotification	AlterEventConditionMonitoring	Kill
<b>Gestión de Dominio:</b>	InitiateDownloadSequence	DownloadSegment	
	TerminateDownloadSequence	InitiateUploadSequence	
	UploadSegment	TerminateUploadSequence	
	RequestDomainDownload	RequestDomainUpload	

Sobre un mismo soporte físico es posible el uso simultáneo de Profibus DP y Profibus FMS, ya que el envío de mensajes puede ser compartido. Así, para mensajes de tiempo crítico o de pequeño tamaño es posible emplear DP, y para tareas más complejas se emplea FMS.

### 3.3.2. DEVICENet.

DeviceNet está orientado a los niveles de automatización medio-bajo, es decir, dentro de la pirámide de automatización se encuadra en el nivel de planta, y en algunos casos en el nivel de célula. Originariamente fue desarrollado por el fabricante de autómatas y elementos de automatización norteamericano Allen-Bradley en 1994, aunque actualmente es un sistema abierto en el que numerosos fabricantes basan sus elementos de red; la “Asociación de fabricantes de Devicenet” (ODVA, Open DeviceNet Vendor Association) es la encargada actualmente de gestionar y organizar la certificación de dispositivos DeviceNet e impulsar el empleo de esta tecnología dentro de la industria. DeviceNet es un protocolo versátil en el área de buses de campo, ha sido diseñado para satisfacer al menos el 80% de las necesidades de comunicación a nivel de célula.

Las características principales de DeviceNet son:

- ? Número máximo de nodos: 64
- ? Distancia máxima: entre 100 m. y 500 m.
- ? Velocidad de transferencia de datos: 125, 250 y 500 kbit/s (dependiendo de la velocidad varía la distancia máxima).
- ? Estructura de comunicaciones en bus con una línea principal y posibilidad de bifurcación de la línea hacia los nodos (mayor número de bifurcaciones implica menor velocidad y distancia admisible).
- ? Requiere terminación de línea con impedancia de 120 Ohmios aproximadamente.
- ? Emplea dos pares trenzados (un par para alimentación hasta 8A y otro par para datos hasta 3A).
- ? Tamaño máximo del mensaje: 8 bytes para cada nodo (igual que CAN).
- ? El sistema de transmisión está basado en un modelo productor/consumidor, por ello, admite modelo maestro/esclavo, multimaestro, de igual a igual, etc., que se traduce en la transmisión de mensajes mediante diferentes métodos tales como sondeo, envío cíclico, etc.

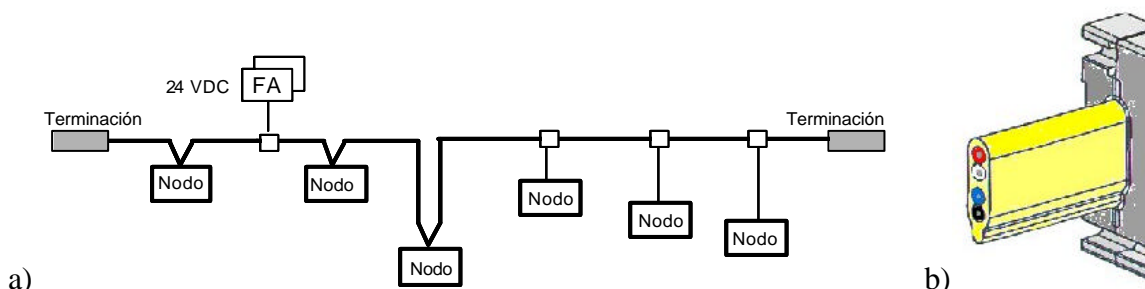


Figura 30. a) Estructura general de una red DeviceNet. b) Cable DeviceNet.

Las aplicaciones en las que habitualmente se emplea DeviceNet son todas las aplicaciones habituales de los buses de campo, como por ejemplo ensamblado de piezas, máquinas de soldadura, captación de sensores distribuidos, sensores inteligentes, válvulas neumáticas, lectores de código de barras, interfaces de operador, etc. Como ventajas principales se puede resaltar su bajo coste, alta fiabilidad, empleo eficiente del ancho de banda y la posibilidad de incorporar la tensión de alimentación (24 VDC) en el mismo cable de bus. Las desventajas destacables serían su ancho de banda limitado (no muy alta velocidad de transferencia de datos) y el tamaño limitado de los mensajes.

DeviceNet emplea las especificaciones del bus CAN (la capa 2 de DeviceNet es íntegramente CAN), por lo que son aplicables gran parte de las características de robustez de CAN, y añade las especificaciones eléctricas de RS485. Como ya se dijo, CAN no incorpora la capa de aplicación pues se trata de un protocolo de mensajes de bajo nivel implementado en circuitos integrados de bajo coste, por lo que DeviceNet aprovecha esta situación para no desarrollar sus propios circuitos integrados (lo que resultaría más costoso). Por tanto, al protocolo CAN se le añaden nuevas capas dentro de los niveles ISO/OSI. De manera sencilla, puede pensarse en DeviceNet como un conjunto de funciones o “macros” de alto nivel que incluyen mensajes CAN, donde dichas funciones están orientadas a facilitar las comunicaciones necesarias en procesos de automatización. Análogamente, CAN-open y SDS son protocolos similares a DeviceNet en el sentido de emplear CAN como base de funcionamiento.

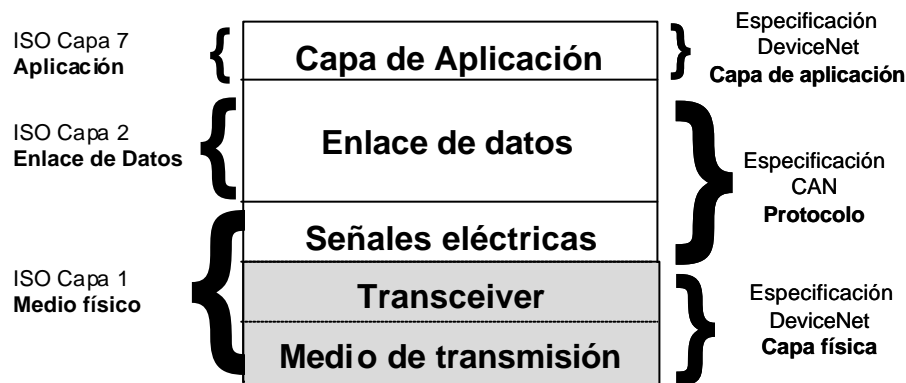


Figura 31. Ubicación de las capas ISO/OSI de DeviceNet y empleo del protocolo CAN en DeviceNet.

Las funciones que incorpora la capa de aplicación DeviceNet son:

- ? Asignación de identificación CAN, estableciendo niveles de prioridad y permitiendo que cada nodo conozca qué mensajes van destinados a él. La configuración se puede realizar mediante software o microinterruptores.
- ? Control del tipo de mensajes a transmitir (mensajes explícitos, fragmentación, etc.).
- ? Detección de direcciones duplicadas. Antes de estar activos en la red debe chequearse la no duplicidad.
- ? Consistencia de datos en el dispositivo: datos de identidad (tipo de nodo, fabricante, número de serie, etc.), datos del enlace de comunicaciones (dirección del nodo, velocidad de transferencia, etc.) y datos de configuración del nodo (dependiendo del tipo de dispositivo, se deben configurar valores límite, velocidades, consumos, inicialización de contadores, etc.).

Una de las características particulares de DeviceNet es la existencia de múltiples formatos de mensajes, lo que permite al bus operar de un modo u otro dependiendo del tipo de mensajes enviados, y pudiendo mezclar diversos tipos de mensajes. Los tipos de mensajes que se definen son:

- ? Sondeo. El maestro interroga uno por uno cada nodo para recibir o enviar una actualización del estado del nodo. Este método requiere un mensaje saliente y otro mensaje entrante para cada nodo de la red. Es un método preciso y riguroso, pero poco eficiente a la hora de solicitar información a los dispositivos.
- ? **Strobing**. Un nodo solicita mediante difusión (broadcast) simultánea la actualización a todos los nodos. Cada nodo responde a este mensaje mediante un orden predeterminado por una lista priorizada para permitir que los nodos más críticos sean los primeros en responder.
- ? Envío cíclico: Los dispositivos son configurados para enviar mensajes de forma regular según el tiempo programado. Este tipo de envío de mensajes se suele emplear juntamente con el modo de “cambio de estado”.
- ? Cambio de estado. Los nodos únicamente envían mensajes cuando su estado cambia, lo que implica una utilización mínima del bus. El principal problema radica en que el tiempo de recepción no es fijo ya que dependerá del tráfico del bus en el instante en que se desea acceder a él.
- ? Mensajes explícitos. Este método indica cómo un nodo debe interpretar los mensajes. Este método es habitualmente empleado en nodos con funcionalidad compleja para así poder enviar mensajes con numerosos parámetros de configuración que es necesario modificar regularmente, pero no tan a menudo como la lectura de datos del proceso que ese nodo realiza.
- ? Mensajes fragmentados. Es empleado para el caso donde es necesario enviar más de 8 bytes de datos en un solo envío. En este caso, se envían varios mensajes de hasta 8 bytes donde viajan los datos fragmentados para posteriormente ser unidos de nuevo.
- ? Gestión de mensajes no conectados (UCMM, UnConnected Message Manager). La capacidad UCMM en DeviceNet permite comunicación de igual a igual (peer to peer), es decir, que no es necesaria la gestión de un maestro en la red sino que dos nodos cualquiera pueden comunicarse entre ellos de forma directa sin pasar por el nodo maestro. Para ello, los nodos UCMM deben poder aceptar todos los mensajes CAN y realizar un filtrado de mensajes para conocer y aceptar únicamente aquellos mensajes que van dirigidos a él. Este filtrado se realiza en la capa de software y requiere mayores recursos (RAM, ROM y capacidad de proceso) que un nodo que sólo admite mensajes provenientes de un maestro.

Análogamente a como se hace en Profibus, existe una modalidad de configuración de dispositivos electrónica consistente en un fichero “modelo” para cada tipo de dispositivo de modo que cada parámetro queda situado en una ubicación concreta. De este modo es posible intercambiar dispositivos de diferentes fabricantes con igual funcionalidad, aunque es necesario ser cuidadoso y analizar si esta equivalencia es completa para asegurar la inexistencia de problemas.

### 3.3.2.1. COMPOBUS.

Omron es el principal impulsor de este bus. Compobus D es el nombre que Omron emplea para su particularización de DeviceNet, donde existe fácil integrabilidad con cualquier dispositivo Omron, y además, es posible emplear otros elementos DeviceNet. Compobus S está orientado a la sustitución del cableado tradicional y los terminales múltiples.

#### Compobus S

Para pequeños sistemas o incluso para cableado de máquinas, Omron ha ideado Compobus S, una solución que tiene a la flexibilidad y la sencillez como principales argumentos de uso. Compobus S permite distribuir un número limitado de E/S (256) utilizando un sistema de comunicación a dos hilos. Las especificaciones técnicas del sistema se han visto mejoradas recientemente de tal forma que es posible conectar módulos de E/S analógica y trabajar con distancias de bus de hasta 500 m. Puede elegirse el método de conexión (cable plano o par trenzado) así como seleccionar la

velocidad de comunicación en función del tamaño del bus. Compobus S no necesita de configuración alguna. Simplemente, se monta la unidad maestra, se seleccionan los números de nodos de los terminales esclavos y se cablean (puede utilizarse el mismo cable para llevar el par de comunicación y el de alimentación de los terminales). El sistema comienza a funcionar al recibir tensión y las E/S se mapean en la memoria del PLC como si estuvieran conectadas de forma local y con un tiempo de refresco que puede llegar a los 0,5 ms. Si posteriormente fuera necesario realizar un recambio de un terminal, no sería necesario quitar la alimentación del resto del sistema ni parar el proceso. Este tipo de bus sería equiparable en gran medida el ASi, aunque con un a funcionalidad algo mayor.

Compobus D es la versión de Devicenet particularizada para Omron, aunque es compatible en gran medida con las especificaciones generales de Devicenet.