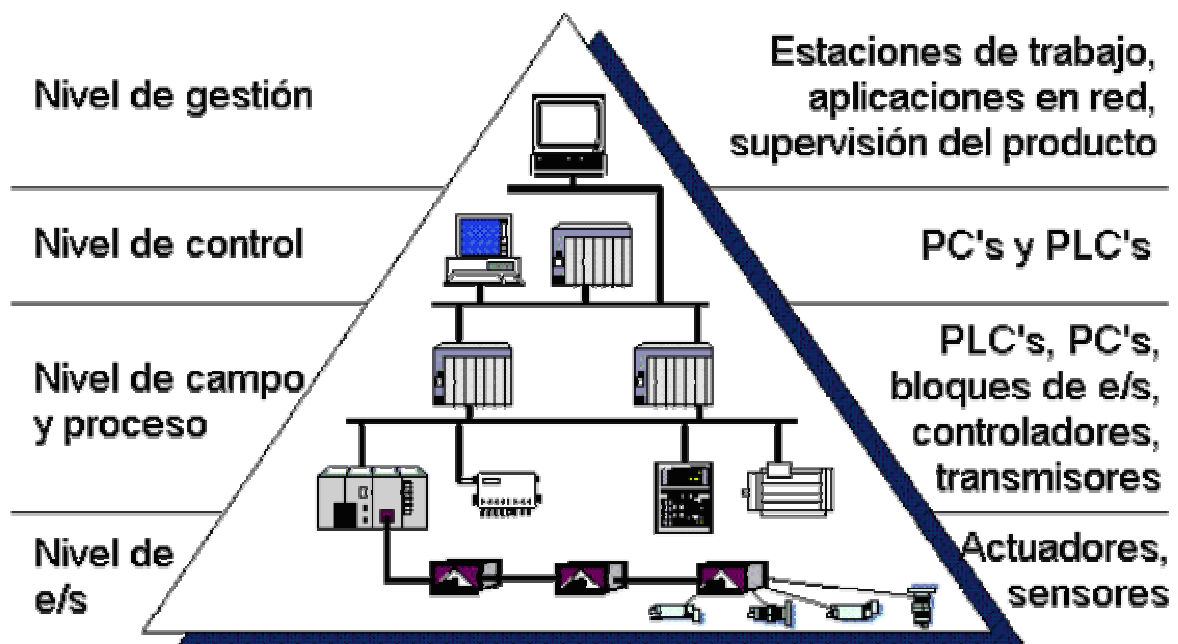




# COMUNICACIONES INDUSTRIALES





## INDICE

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN A LAS REDES INDUSTRIALES.....</b>	<b>3</b>
<b>1.1.</b>	<b>Nociones sobre Arquitecturas de Red.....</b>	<b>4</b>
<b>1.1.1.</b>	<b>Modelo OSI de ISO .....</b>	<b>5</b>
<b>1.1.2.</b>	<b>El modelo TCP/IP.....</b>	<b>6</b>
<b>2.</b>	<b>Redes LAN industriales .....</b>	<b>7</b>
<b>2.1.</b>	<b>Ethernet Industrial.....</b>	<b>8</b>
<b>2.1.1.</b>	<b>Medio de transmisión de la red Ethernet .....</b>	<b>8</b>
<b>2.1.2.</b>	<b>Formato de las tramas Ethernet e IEEE 802.3.....</b>	<b>10</b>
<b>2.1.3.</b>	<b>Red Ethernet conmutada.....</b>	<b>12</b>
<b>2.1.4.</b>	<b>Requisitos del conmutador para el entorno industrial.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1.5.</b>	<b>Capas TCP/IP sobre Ethernet.....</b>	<b>17</b>
<b>3.</b>	<b>Buses de campo .....</b>	<b>17</b>
<b>3.1.</b>	<b>Ventajas de los buses de campo.....</b>	<b>17</b>
<b>3.2.</b>	<b>Buses de campo existentes.....</b>	<b>18</b>
<b>3.2.1.</b>	<b>Buses de alta velocidad y baja funcionalidad .....</b>	<b>19</b>
<b>3.2.2.</b>	<b>Buses de alta velocidad y funcionalidad media.....</b>	<b>19</b>
<b>3.2.3.</b>	<b>Buses de altas prestaciones .....</b>	<b>19</b>
<b>3.2.4.</b>	<b>Buses para áreas de seguridad intrínseca .....</b>	<b>20</b>
<b>3.3.</b>	<b>Comparativa entre buses actuales .....</b>	<b>20</b>
<b>3.3.1.</b>	<b>Comparativa general .....</b>	<b>20</b>
<b>3.3.2.</b>	<b>Comparativa de cableado.....</b>	<b>21</b>
<b>3.3.3.</b>	<b>Comparativa de número de nodos y acceso al medio .....</b>	<b>21</b>
<b>3.3.4.</b>	<b>Comparativa de tamaño de mensajes y detección de errores .....</b>	<b>22</b>
<b>3.4.</b>	<b>AS-i: Actuador Sensor Interface.....</b>	<b>22</b>
<b>3.5.</b>	<b>INTERBUS .....</b>	<b>24</b>
<b>3.6.</b>	<b>CAN: Controller Area Networking.....</b>	<b>27</b>
<b>3.7.</b>	<b>Profibus.....</b>	<b>29</b>
<b>3.7.1.</b>	<b>La Familia PROFIBUS.....</b>	<b>29</b>
<b>3.7.2.</b>	<b>Características Básicas .....</b>	<b>30</b>
<b>3.7.3.</b>	<b>Arquitectura de Protocolos .....</b>	<b>31</b>
<b>3.7.4.</b>	<b>Control de Acceso al Medio en PROFIBUS .....</b>	<b>32</b>

## 1. INTRODUCCIÓN A LAS REDES INDUSTRIALES

La comunicación en las plantas industriales se ha hecho imprescindible en la industria moderna. Muchos sistemas están conformados por equipos de diferentes fabricantes y funcionan en diferentes niveles de automatización. Pese a que puedan estar distanciados entre sí, a menudo se desea que trabajen de forma coordinada para un resultado satisfactorio del proceso. El objetivo principal es la comunicación totalmente integrada en el sistema. Esto reporta la máxima flexibilidad y permite integrar sin problemas productos de otros fabricantes a través de los interfaces software estandarizados. Esta integración total se conoce como **CIM** (Computer Integrated Manufacturing).

En los últimos años, las aplicaciones industriales basadas en comunicación digital se han incrementado haciendo posible la conexión de sensores, actuadores y equipos de control en una planta de procesamiento. De esta manera, la comunicación entre la sala de control y los instrumentos de campo se ha convertido en realidad. La comunicación digital debe integrar la información provista por los elementos de campo en el sistema de control de procesos.

En la industria coexisten una serie de equipos y dispositivos dedicados al control de una máquina o una parte cerrada de un proceso. Entre estos dispositivos están los autómatas programables, ordenadores de diseño y gestión, sensores, actuadores, etc. El desarrollo de las redes industriales ha establecido una forma de unir todos estos dispositivos, aumentando el rendimiento y proporcionando nuevas posibilidades. Las ventajas que se aportan con una red industrial y cuyo costo debe ser estudiado, son, entre otras, las siguientes:

- Visualización y supervisión de todo el proceso productivo.
- Toma de datos del proceso más rápida o instantánea.
- Mejora del rendimiento general de todo el proceso.
- Posibilidad de intercambio de datos entre sectores del proceso y entre departamentos.
- Programación a distancia, sin necesidad de estar a pie de fábrica.



Figura 1. Niveles de una red industrial.

En una red industrial coexistirán dispositivos de todo tipo, los cuales suelen agruparse jerárquicamente para establecer conexiones lo más adecuadas a cada área. Tradicionalmente se definen cuatro niveles dentro de una red industrial:



- **Nivel de gestión:** es el más elevado y se encarga de integrar los niveles siguientes en una estructura de fábrica, e incluso de múltiples factorías. Las máquinas aquí conectadas suelen ser estaciones de trabajo que hacen de puente entre el proceso productivo y el área de gestión, en el cual se supervisan las ventas, stocks, etc. Se emplea una red de tipo LAN (Local Area Network) o WAN (Wide Area Network).
- **Nivel de control:** se encarga de enlazar y dirigir las distintas zonas de trabajo. A este nivel se sitúan los autómatas de gama alta y los ordenadores dedicados al diseño, control de calidad, programación, etc. Se suele emplear una red de tipo LAN.
- **Nivel de campo y proceso:** se encarga de la integración de pequeños automatismos (autómatas compactos, multiplexores de E/S, controladores PID, etc.) dentro de sub-redes o "islas". En el nivel más alto de estas redes se suelen encontrar uno o varios autómatas modulares, actuando como maestros de la red o maestros flotantes. En este nivel se emplean los buses de campo tradicionales, aunque también tienen cabida redes superiores como Ethernet Industrial bajo ciertas premisas que aseguren el determinismo en la red.
- **Nivel de E/S:** es el nivel más próximo al proceso. Aquí están los sensores y actuadores, encargados de manejar el proceso productivo y tomar las medidas necesarias para la correcta automatización y supervisión. Se trata de sustituir los sistemas de cableado tradicionales por buses de campo de prestaciones sencillas y sistemas de periferia descentralizada.

Esta estructura, sin embargo, no es universal, habrá casos en los que conste de un número mayor o menor de niveles, dependiendo del tamaño del proceso y la propia industria.

## 1.1. Nociones sobre Arquitecturas de Red

Para la interconexión de sistemas abiertos se construyen arquitecturas de red. Se define un **sistema abierto** como: "Un sistema capaz de interconectarse con otros de acuerdo con unas normas establecidas". La **Interconexión de Sistemas Abiertos**: "se ocupará del intercambio de información entre sistemas abiertos y su objetivo será la definición de un conjunto de normas que permitan a dichos sistemas cooperar entre sí".

El diseño de una red de ordenadores es un problema suficientemente complejo como para que deba estructurarse si se quiere resolver con éxito. Como en otros aspectos de la computación, la técnica empleada es la división en **capas o niveles**. Estas capas están jerarquizadas y dividen el problema en partes más sencillas. Cada capa añade nuevas características a partir de los servicios que proporciona la capa inmediatamente inferior. De esta manera cada capa resuelve problemas de los cuales ya no se tienen que preocupar las funciones de las capas superiores.

Cuando el intercambio de datos entre equipos se realiza a través de un sistema de comunicaciones, es importante definir el sistema de transmisión común que se va a utilizar. También es necesario definir informaciones relativas al establecimiento de enlaces o conexiones y como se va a mantener el diálogo durante esas conexiones. Los convenios que establecen el lenguaje para el diálogo dentro de cada capa se denominan **protocolos**.



## 1.1.1. Modelo OSI de ISO

El modelo OSI (Open Systems Interconnection) de ISO (International Standards Organization) fue una propuesta para la estandarización de las redes de ordenadores que permite interconectar sistemas abiertos y ofrece al usuario la posibilidad de garantizar la interoperatividad de los productos entre sí. Este modelo tiene siete capas, diseñadas con arreglo a los siguientes principios:

1. Una capa se creará en situaciones en las que se requiera un nivel diferente de abstracción.
2. Cada capa deberá realizar una función bien definida.
3. La función que realiza cada capa deberá seleccionarse tomando en cuenta la minimización del flujo de información a través de las interfaces entre capas.
4. El número de capas será suficientemente grande como para que funciones diferentes no estén en la misma capa, y suficientemente pequeño para que la arquitectura no sea difícil de manejar.

El modelo OSI por sí mismo, no es una arquitectura de red puesto que no especifica el protocolo que debe usarse en cada capa. Posteriormente, estos protocolos fueron implementados por los fabricantes de software de comunicaciones, ajustándose a las funciones de cada una de las capas.

A continuación se describen las funciones de cada una de las 7 capas:

- **Nivel 1:** define las condiciones físicas como son los niveles de corriente, tensión, modulación, frecuencia, etc. que son necesarias para hacer efectiva la comunicación sobre un medio de transmisión cableado o aéreo.
- **Nivel 2:** se define el mecanismo de acceso al medio de transmisión y el direccionamiento de las estaciones, de forma que durante un tiempo definido sólo una estación podrá enviar datos a través del medio de transmisión que se utilice. Los datos se estructuran en tramas para su correcta interpretación y se comprueba la transmisión sin errores de los mismos.
- **Nivel 3:** encargado de conectar y encaminar los datos que han de viajar a través de varias subredes y controlar los posibles problemas de congestión de la red.
- **Nivel 4:** garantiza la seguridad en el transporte y la coherencia de los datos transmitidos. Es el encargado de coordinar tareas como el control de flujo, la segmentación en bloques y la confirmación o acuse de recibo correcto de los datos. Para realizar estas funciones se establecen conexiones que garantizan que ambos extremos están preparados para el intercambio de datos.
- **Nivel 5:** se encarga del control de comunicación. Se hace cargo de la sincronización de la misma y del control del uso que hace cada usuario de la red.
- **Nivel 6:** en él los datos se codifican en un lenguaje común.
- **Nivel 7:** incluye los servicios de usuario, es decir, aplicaciones de comunicación a las que el usuario puede acceder directamente o a través de un interfaz de usuario (programa de comunicaciones).

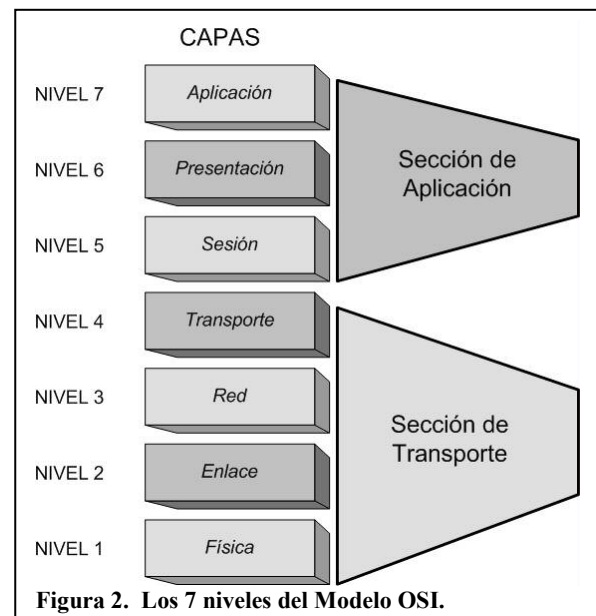


Figura 2. Los 7 niveles del Modelo OSI.

Nivel	Designación	Función	Características
7	Capa de aplicación	Funciones de aplicación	Leer/Escribir – Recibir/Enviar Transferencia de archivos
6	Capa de presentación	Representación de datos	Lenguaje común
5	Capa de sesión	Sincronización Control de comunicación	Coordinación de la comunicación (inicio, fin)
4	Capa de transporte	Establecimiento/terminación de conexiones Confirmaciones Segmentación	Transmisión asegurada de información
3	Capa de red	Encaminamiento hacia otras subredes	Interconexión entre distintas subredes
2	Capa de enlace	Método de acceso Estructuración de los mensajes en tramas	Comprobación CRC (errores) Control del acceso al medio de transmisión.
1	Capa física	Soporte físico de transmisión	Señales que codifican la información Medio de transmisión (cable, aéreo)

Tabla 1. Características de las capas de comunicación según ISO.

### 1.1.2. El modelo TCP/IP

Este modelo es el usado actualmente en la red Internet. Este modelo se puede considerar de cuatro capas y es el estándar de facto por su enorme difusión y eclipsó al modelo OSI cuya implantación ha sido mucho menor.

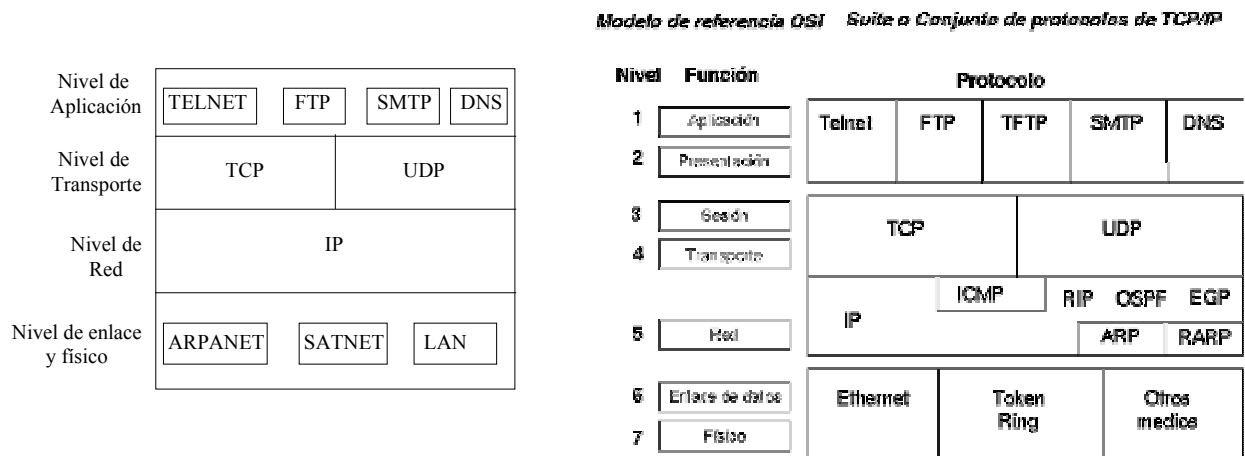


Figura 3: Modelo TCP/IP y algunos de sus protocolos. Comparación con el modelo OSI.

#### La capa de enlace y física

Es equivalente a las capas físicas y de enlace del modelo OSI. El medio de transmisión puede ser cualquiera que soporte el transporte de las unidades de datos que genera el protocolo IP de la capa de red.

#### La capa Internet (capa de Red)

Su función es permitir que el equipo inserte paquetes en cualquier red, y que estos viajen independientemente hacia su destino (que quizá sea una subred distinta). Incluso pueden llegar en distinto orden del que fueron enviados, en cuyo caso, es obligación de las capas superiores reordenarlos si fuese preciso.



La capa internet define un tipo oficial de paquete (datagrama IP) y un protocolo llamado IP (internet protocol). La principal obligación de la capa es distribuir los paquetes hacia su destino, por ello su función es el encaminamiento de los mensajes y evitar atascos, aunque sus mecanismos de control de congestiones son bastantes limitados. Equivale a la capa de red del modelo OSI.

## La capa de transporte

Es la siguiente capa en el modelo TCP/IP. Está diseñada para permitir el diálogo entre equipos extremo a extremo, igual que la capa de transporte de modelo OSI, pudiendo estar estos equipos situados en la misma habitación o a miles de kilómetros de distancia.

Utiliza dos protocolos: TCP (Transmission Control Protocol) y UDP (User Datagram Protocol). El primero es un protocolo orientado a conexión, libre de errores, que permite enviar bloques de bytes de una máquina a otra por un canal libre de errores. TCP también administra el control de flujo. El protocolo UDP es un protocolo sin conexión basado en datagramas simples que no asegura la llegada de los datos a su destino. Se pensó para aquellos casos se necesite una transmisión de datos ágil donde la pérdida de parte de los mismos no suponga un grave problema.

## Capa de aplicación

El modelo TCP/IP no tiene las capas de presentación ni de sesión. La experiencia ha demostrado que esta aproximación es la correcta. Esta capa contiene todos los protocolos de alto nivel como por ejemplo: TELNET (terminal remoto), FTP (transferencia de ficheros), SMTP (correo electrónico), DNS (servidor de nombres), NNTP (news), HTTP (Web) y todos aquellos nuevos protocolos que se van incorporando.

## 2. Redes LAN industriales

Son las redes más elevadas jerárquicamente. Los estándares más extendidos son dos:

- MAP (Manufacturing Automation Protocol): nació como un producto especialmente diseñado para el entorno industrial, proporcionando un medio de transmisión determinista. Fue impulsado por General Motors y normalizado por el IEEE. No actúa a nivel de bus de campo, pero establece pasarelas hacia estos buses mediante terminales. También permite integración en redes WAN. Se desarrollo paralelamente con la arquitectura OSI y su implementación es compatible con los siete niveles de ese modelo.
- ETHERNET: diseñada por Xerox Corporation y registrada posteriormente junto con Digital e Intel. Es compatible con el modelo OSI en los niveles 1 y 2. Es uno de los estándar de red que más rápidamente evolucionan, debido a su uso masivo en redes ofimáticas. Posteriormente, a pesar de sus deficiencias para su aplicación industrial por no ser originalmente un medio de transmisión determinista, ha ido ganando mercado como red para dispositivos industriales. Puede soportar el transporte de datos de diferentes protocolos de la capa de red, pero lo más común es que las capas superiores estén compuestas por los protocolos del modelo TCP/IP.

NOTA: Un medio de transmisión es **determinista** cuando, bajo condiciones normales de trabajo, permite determinar el tiempo máximo que un mensaje enviado a través de él va a tardar en llegar a su destino.



## 2.1. Ethernet Industrial

Ethernet es una especificación para redes de área local que comprende el nivel físico y el nivel de enlace del modelo de referencia ISO/OSI. Se implementa en principio sobre una topología bus serie con mecanismo CSMA/CD para el control del acceso al medio (MAC).

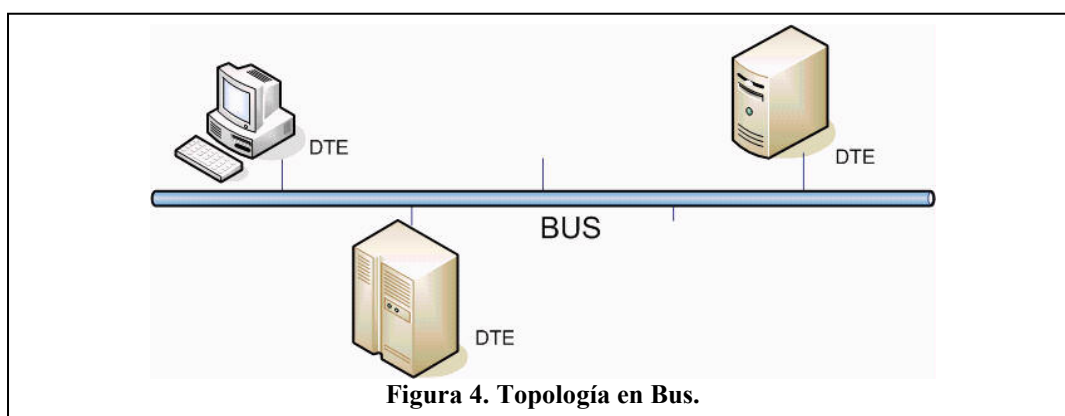
Fue desarrollada inicialmente por Xerox Corporation con el apoyo de Intel Corporation y Digital Equipment Corporation, y ha sido la base para el desarrollo del estándar IEEE 802.3 que difiere ligeramente de la especificación Ethernet.

Ethernet se ha convertido rápidamente en un estándar “de facto” por el gran número de equipos que existen en el mercado y la gran cantidad de software desarrollado para esta red.

Se implementaba originalmente sobre cable coaxial, codificándose la señal en banda base mediante el código Manchester. Sin embargo se han desarrollado especificaciones para que la red Ethernet se pueda implementar sobre otros soportes físicos: par trenzado, fibra óptica, etc. y soportando mayores velocidades de transmisión. Es más, el original control de acceso al medio CSMA/CD ha sido prácticamente desplazado por las técnicas de conmutación (Ethernet conmutada), que agilizan el tráfico de la red, aumentan el ancho de banda de transmisión disponible, aumenta el número de nodos que se pueden conectar a una misma red local y minimizan tanto la posibilidad de pérdida de mensajes como el retardo de propagación de estos hacia su destino. Este hecho ha provocado que Ethernet se haya incorporado definitivamente al entorno industrial como un medio de transmisión fiable, rápido y prácticamente determinista.

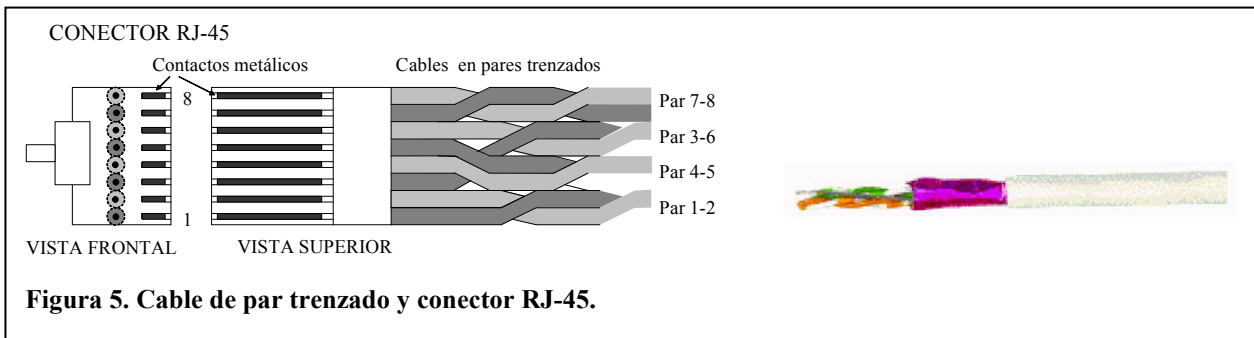
### 2.1.1. Medio de transmisión de la red Ethernet

Inicialmente Ethernet fue una red en bus basada en cables coaxiales. Pero estos cables planteaban problemas de fiabilidad, limitaban el alcance geográfico de la red a uno o dos kilómetros e impedían el aumento de la velocidad de la red por encima de los 10 Mbps (megabits por segundo) originales.

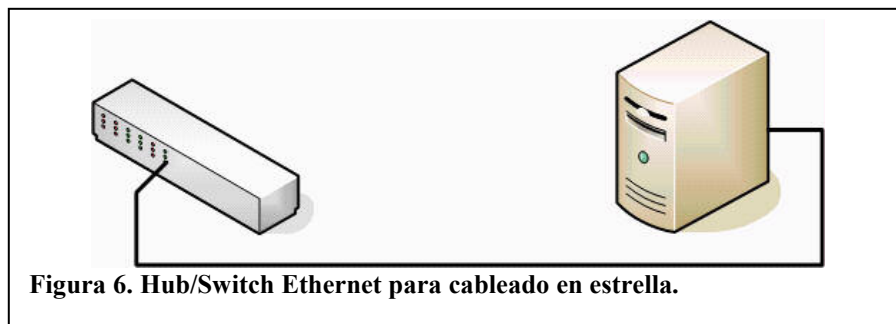


Actualmente el cableado más popular es el par trenzado bajo las denominaciones 10BASE-T y 100BASE-TX (para 10 y 100 Mbps respectivamente). En ambos casos se trata de cables de cobre formados por cuatro pares trenzados apantallados o sin apantallar (STP y UTP, respectivamente). El cable de Categoría 5 es el más habitual ya que proporciona la calidad suficiente para la transmisión hasta 100 Mbps. Los cables se conectan a los equipos de la red mediante conectores RJ-45.

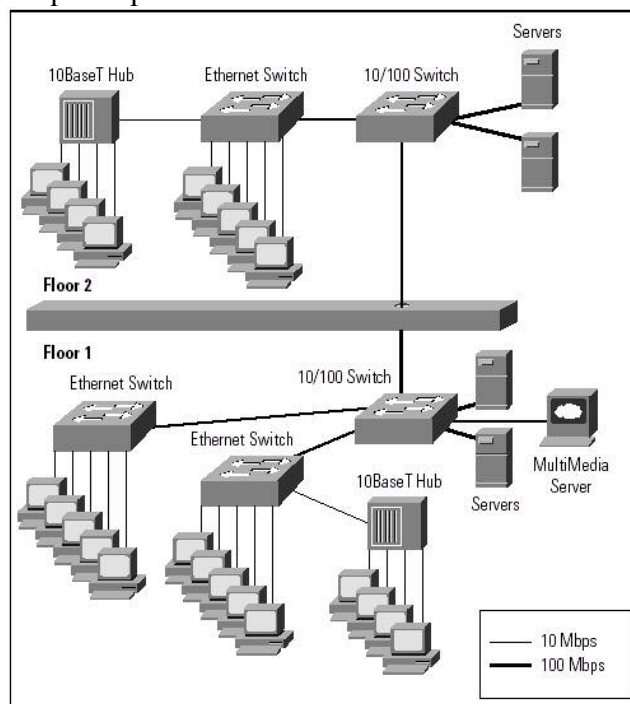




También se utiliza la fibra óptica (10BASE-FL o 100BASE-FX). El cable de fibra óptica es más caro, pero puede ser útil en áreas donde hay grandes interferencias electromagnéticas, como en la planta de una fábrica. También cuando la distancia a salvar supera los 100 metros, que es aproximadamente el alcance máximo de los cables de cobre 10BASE-T o 100BASE-TX, pudiendo llegar hasta los dos kilómetros.



Tanto con el cable de par trenzado como con la fibra óptica, la topología es en estrella. La unidad central de la red puede ser un repetidor (hub) o conmutador (switch). Todas las conexiones de una red en estrella son enlaces punto a punto implementados con par trenzado o con cable de fibra óptica. Estos enlaces pueden unir también repetidores o conmutadores entre sí para ampliar el alcance y número de nodos que se pueden conectar a la red.



**Figura 7: Red Ethernet con repetidores (hubs) y conmutadores (switches).**

## 2.1.2. Formato de las tramas Ethernet e IEEE 802.3

Por ser una red broadcast los mensajes enviados por una estación se difunden por todo el árbol de la red formado por los repetidores y segmentos (cuando no existen conmutadores), llegando a todas las estaciones de la red. Esto permite la emisión de mensajes destinados a todas las estaciones (Broadcast).

El paquete de un mensaje Ethernet (trama Ethernet) consta de los siguientes campos:

Preambulo	Dir. destino	Dir. origen	Tipo	Datos	CRC
8	6	6	2	46-1500	4

Figura 8: Trama Ethernet.

- **Preámbulo** (8 bytes): Es una cadena de bits empleada para la sincronización de la codificación de fase y para determinar el comienzo de la trama. Consta de siete bytes (10101010) de preámbulo y un delimitador de comienzo de la trama (10101011).
- **Dirección de destino** (6 bytes): La dirección FF:FF:FF:FF:FF:FF (todos los bits a 1) es la dirección broadcast que significa que el mensaje se dirige a todas las estaciones.
- **Dirección de origen** (6 bytes): Las direcciones Ethernet tienen 48 bits, de manera que cada estación tiene una dirección única grabada en el hardware con lo que no puede haber coincidencias de dirección entre dos estaciones distintas. Los rangos de direcciones Ethernet son otorgados como parte de la licencia de Xerox a los fabricantes de tarjetas de interfaz Ethernet. Cada fabricante se puede identificar mediante los 3 primeros octetos de la dirección Ethernet, y los otros 3 numeran de forma única cada interfaz, de tal manera que nunca puedan existir dos tarjetas de interfaz Ethernet con la misma dirección.
- **Tipo** (2 bytes): En este campo se indica cual es el protocolo del nivel inmediatamente superior (el de Red) encapsulado en el campo de datos. Este valor ha de ser superior al valor 05EE en hexadecimal, si es inferior, se trata de un campo de longitud utilizado en tramas de tipo IEEE 802.3.
- **Datos** (46 a 1500 bytes): Contiene los datos de nivel de enlace transmitidos por la trama.
- **CRC** (4 bytes): Código de redundancia cíclica para detección de errores en la trama.

El mecanismo de acceso al medio empleado por Ethernet es el CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) que se describe brevemente a continuación. Es sobradamente conocido y está recogido en una abundante bibliografía y por las normas Ethernet e IEEE 802.3.

Una estación que quiere transmitir escucha para ver si está en curso otra transmisión, si es así espera a que esta transmisión termine antes de comenzar a transmitir, si no es así trasmite inmediatamente. Es posible que dos o más estaciones encuentren el bus libre y transmitan simultáneamente, se produce entonces una colisión. El transceptor de cada estación escucha la línea mientras transmite y compara la señal con el mensaje a transmitir o detecta niveles elevados de tensión. Si se detecta colisión se aborta la transmisión y se emite una señal de

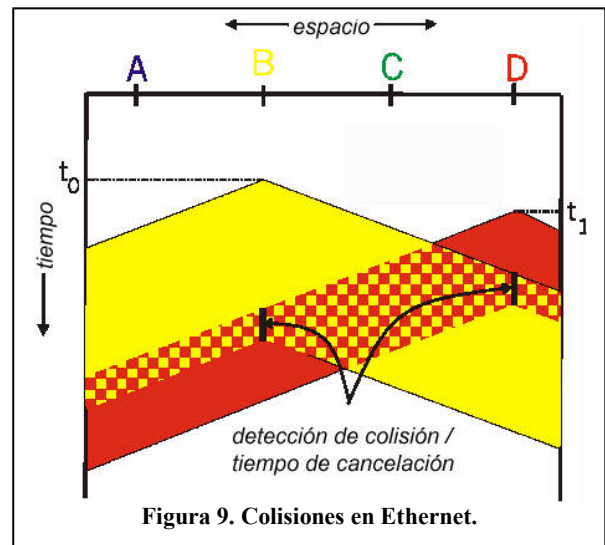


Figura 9. Colisiones en Ethernet.

“jamming” (atasco) para asegurarse de que las demás estaciones detectan la colisión y dejan de transmitir.

Después de que ocurre una colisión, el tiempo se divide en ranuras discretas llamadas “ventanas de colisión”. El estándar Ethernet establece, para una red a 10 Mbps, el valor de la “ventana de colisión” en 512 bits (51.2  $\mu$ s).

Con el fin de facilitar la distinción entre las tramas “basura” resultantes de una colisión y las válidas, se establece que la longitud mínima de una trama válida ha de ser de 64 octetos, por lo cual si la parte de datos de la trama tiene menos de 46 octetos, se completa el campo con octetos de relleno para alcanzar la longitud mínima requerida.

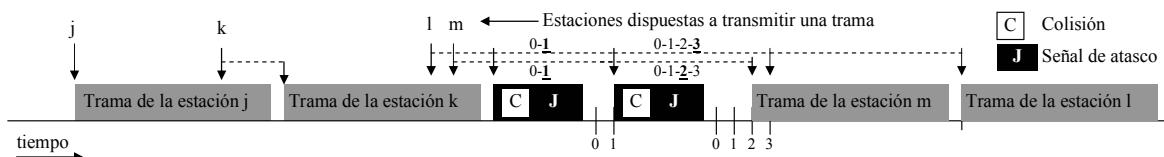


Figura 10: Resolución de colisiones en Ethernet.

Tras la primera colisión cada una de las estaciones selecciona aleatoriamente esperar 0 ó 1 ranuras antes de intentar de nuevo la transmisión. Si las dos eligen el mismo número de ranuras, tendrá lugar una nueva colisión. Después de esta segunda colisión, cada estación selecciona un número de ranuras que puede ser 0, 1, 2 ó 3, de forma aleatoria y espera dicho número de ranuras. Si ocurriera una tercera colisión, el número de ranuras que tendrá que esperar para la próxima ocasión, será elegido de forma aleatoria entre 0 y  $2^3-1$ .

En general, tras  $i$  colisiones se seleccionará un número aleatorio cuyo valor oscilará entre 0 y  $2^i-1$ , y se esperará ese mismo número de ranuras. Sin embargo, si se han producido 10 colisiones seguidas, el intervalo de aleatoriedad se congela a un valor de 0 a  $2^{10}-1=1023$  ranuras. Si llegasen a producirse 16 colisiones, el controlador desiste de intentar enviar la trama e informa a la estación del fallo, dejando la recuperación del error en manos de las capas superiores. Como el algoritmo que calcula el tiempo aleatorio es función del número de colisiones que ha producido la trama, cuanto más sobrecargada esté la red, más colisiones habrá y mayores serán los intervalos de espera. Este algoritmo se conoce como **disminución exponencial binaria**, y se diseñó con el objetivo de adaptarse dinámicamente al número de estaciones que intentan emitir.

La principal desventaja de Ethernet, sobre todo en lo que se refiere a su utilización en entornos que trabajan en tiempo real, es que no se puede garantizar que una trama se va a enviar en un tiempo máximo conocido, no es determinista, debido a la posibilidad de que la colisiones se repitan reiteradamente. Otros métodos de control de acceso al medio como el caso de las redes en anillo (Token-Ring), el bus con paso de testigo (Token-Bus) o los sistemas con un único maestro (Maestro-Esclavo) si son deterministas. Ha de tenerse en cuenta que un método sólo es determinista cuando el canal de transmisión está libre de errores, ya que los errores convierten cualquier sistema de comunicación en probabilístico. Con bajas cargas de trabajo, la probabilidad de errores en una red Ethernet es similar a la de que se produzcan colisiones. Otro inconveniente es que no se puede establecer prioridad alguna entre las tramas Ethernet, característica que es muy apreciada para sistemas en tiempo real donde se diferencia entre tráfico de alta y baja prioridad.

En conclusión, un sistema Ethernet compartido jamás puede ofrecer determinismo. No existen garantías de que los datos lleguen a su destino en un tiempo razonable compatible con aplicación con requisitos en tiempo real.

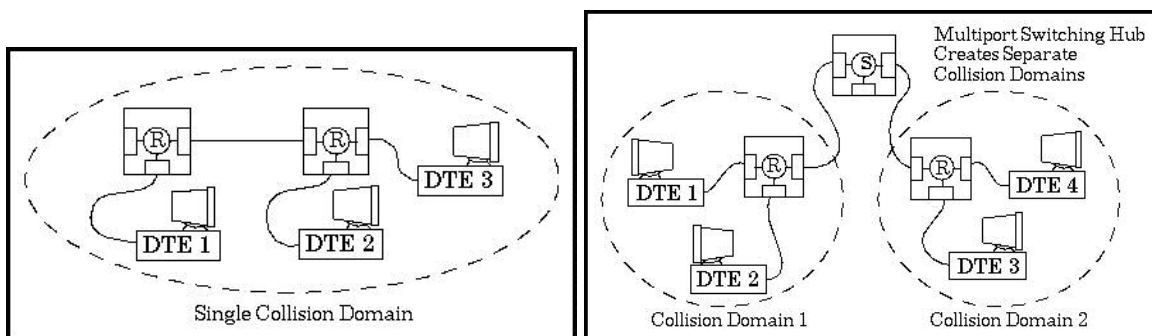
### 2.1.3. Red Ethernet conmutada

A medida que se añaden más estaciones a una red Ethernet, el tráfico aumentará, pudiendo llegar a saturar la red. Una solución a este problema consiste en emplear una red conmutada. En este modelo, la configuración típica de la parte central del sistema es un conmutador (*switch*) de tráfico con espacio para varias tarjetas de conexión (de 4 a 16). Cada tarjeta está conectada en un *backplane* de alta velocidad y tiene hasta 48 conectores, habitualmente para cableado 10BASE-T o 100BASE-TX, a través de los que se unen las estaciones al sistema. En otros casos cada tarjeta es un equipo independiente, interconectados entre si, cuando proceda, por algún sistema de cableado externo que hace las funciones de *backplane*.



Cuando una estación quiere transmitir una trama, la envía al *switch*. La tarjeta que recibe la trama comprueba si está destinada a una de las estaciones conectadas en la misma tarjeta. En ese caso, la trama es copiada en dicha conexión. Si no, la trama se envía por el *backplane* de alta velocidad (1Gbps aproximadamente) a la tarjeta que tiene conectada la estación de destino.

El puerto de entrada tiene un buffer, de modo que las tramas que llegan se almacenan en la RAM de la tarjeta según llegan. Este diseño permite que todos los puertos reciban y transmitan tramas simultáneamente. Con este diseño, cada puerto es un dominio de colisiones separado, de modo que no hay colisiones. La capacidad del sistema puede aumentar un orden de magnitud con respecto a un sistema basado en repetidores (hubs), que proporciona un único dominio de colisión para todo el sistema.



Como el conmutador sólo espera tramas en cada puerto de conexión, es posible usar algunos como puentes entre otros conmutadores o repetidores. De esta forma, cuando las tramas llegan al repetidor, estas compiten por el canal según el mecanismo CSMA/CD. La estación que se apodere del canal emitirá una trama hasta el conmutador, y allí es tratada como cualquier otra. Si todas las

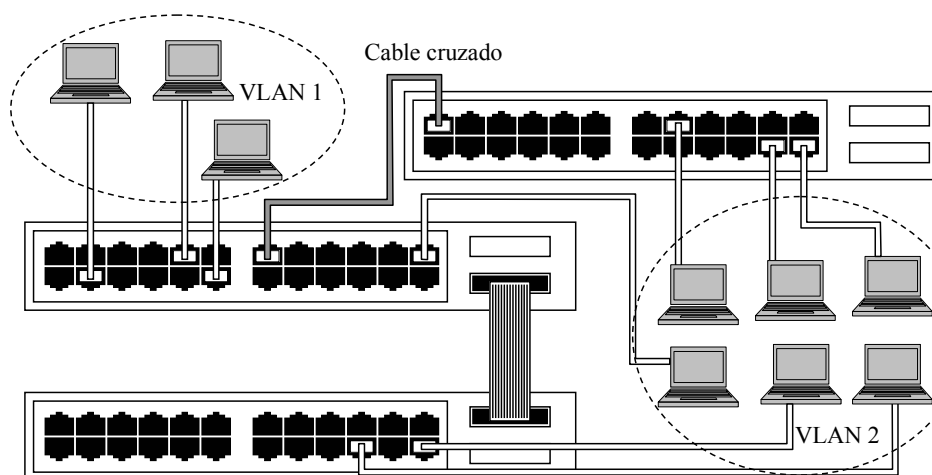
conexiones en el conmutador son entre repetidores, éste puede ser considerado como un puente entre distintas redes locales CSMA/CD. Sin embargo, en la actualidad las redes Ethernet se construyen sólo con conmutadores, dado el bajo coste de estos, y los repetidores han desaparecido prácticamente del mercado.

Para conocer cuál o cuáles estaciones se encuentran conectadas a cada uno de los puertos, el conmutador mantiene una tabla de direcciones por cada puerto donde se registran de forma dinámica las direcciones Ethernet de las estaciones conectadas a ese puerto o a los conmutadores o repetidores que cuelgan de él, simplemente observando las direcciones que aparecen en las cabeceras de las tramas que llegan a él. Estas tablas tienen capacidad generalmente para almacenar hasta 64.000 direcciones, según la calidad del equipo. El administrador del conmutador puede definir el carácter de cada puerto del conmutador, bloquearlo, activarlo, hacer que transmita todas las tramas recibidas en el conmutador o sólo las dirigidas a las direcciones de la tabla correspondiente, hacer que estas tablas sean dinámicas o estáticas, definir las direcciones de cada tabla, etc. Todas estas funciones y muchas más generalmente disponibles en un conmutador (de gama media o alta), hacen de estos equipos unos elementos muy flexibles, que proporcionan una gran seguridad a la red y que aumentan considerablemente el rendimiento de la misma. A continuación se describen algunas de estas características.

### 2.1.3.1. Redes virtuales: VLAN

La norma IEEE 802.1Q recoge las funciones que permiten la configuración de redes locales virtuales en sistemas basados en conmutadores que soportan esta norma. Una VLAN es un conjunto de ordenadores conectados mediante un sistema de conmutadores Ethernet que funcionan como una red local independiente, aunque compartan estos conmutadores con otros ordenadores cuyo tráfico les es invisible al igual que para estos resulta invisible el tráfico de los ordenadores que constituyen la VLAN.

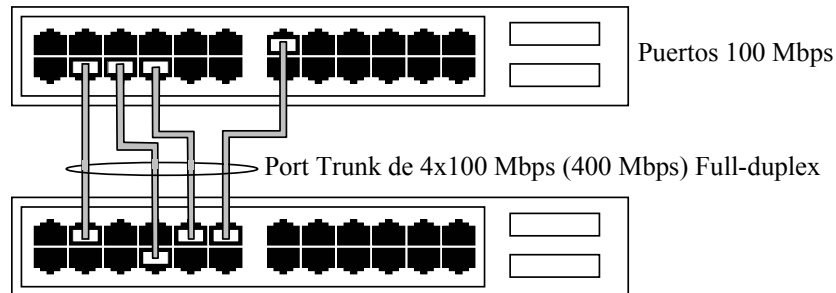
Una VLAN puede agrupar varios puertos de un solo conmutador, o integrar puertos distribuidos por varios conmutadores de la red, más o menos próximos. En configuraciones más complejas, se puede hacer que un mismo puerto de un conmutador pueda pertenecer a más de una VLAN.



### 2.1.3.2. Agregación de puertos: Port trunks

Para conectar conmutadores entre sí se utilizan puertos de conexión de alta velocidad que pueden ser estándar (puertos a 100 Mbps o 1 Gbps) o propietarios del fabricante mediante cableados especiales. Cuando se desea una conexión de alta velocidad y no se dispone de estos sistemas,

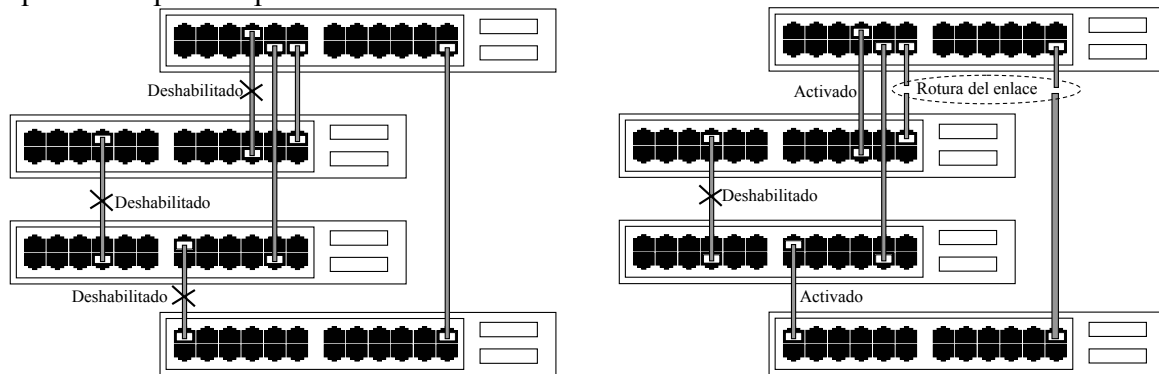
algunos conmutadores proporcionan la posibilidad de agregar el tráfico de varios puertos para conseguir una unión de más alta velocidad.



### 2.1.3.3. Redundancia de conexiones: Spanning tree

La norma 802.1D define entre sus funciones la posibilidad de gestionar conexiones redundantes entre los conmutadores de una red. En principio estas conexiones redundantes no pueden existir en una red Ethernet, ya que se crearían bucles que propagarían de manera incontrolada las tramas Ethernet por la red.

Por lo tanto, el sistema Spanning tree debe reconocer de forma automática esta redundancia de conexiones y mantener deshabilitadas las necesarias para que no existan caminos duplicados en la red. Generalmente el sistema sigue unos criterios mediante los cuales ante dos conexiones redundantes deshabilita la menos óptima. Una vez configurada la red, si falla alguna de las conexiones seleccionadas, se habilitará o habilitarán aquellas conexiones desechadas en principio pero que ahora pueden permitir el mantenimiento de la conectividad de la red.



### 2.1.3.4. Gestión de la calidad de servicio

Originalmente el grupo de trabajo IEEE 802.1p desarrolló la definición del soporte de calidad de servicio (QoS, Quality of Service) en conmutadores para cualquier estándar 802. Finalmente este trabajo quedó recogido en la norma IEEE 802.1D junto otras funcionalidades de los conmutadores.

Este estándar busca dos objetivos:

1. Mejorar el soporte de tráfico crítico en la red.
2. Limitar la propagación del tráfico multicast en una red de conmutadores.

Para hacerlo se define un método para establecer prioridades de tráfico. En estándares como 802.4 u 802.5 esto es relativamente sencillo porque el formato de trama ya dispone de campos para el establecimiento de prioridades. Pero en el formato de las tramas Ethernet no existen estos campos. Se utiliza el sistema de señalización del IEEE 802.1Q empleado para la clasificación del tráfico de



diferentes VLANs (LAN virtuales) para permitir la etiquetación de las tramas con diferentes prioridades. Pero esto obliga a introducir dos nuevos bytes en la trama Ethernet que la mayoría de los dispositivos de red actuales no son capaces de soportar (hay que observar también que el tamaño máximo de la trama Ethernet se verá también incrementado en 2 bytes).

Sólo los conmutadores Ethernet con soporte 802.1D y 802.1Q serán capaces de gestionar correctamente este tipo de tramas y, por lo tanto, la prioridad de distintas tramas con distintas exigencias de calidad de servicio. Una red que de soporte QoS deberá estar integrada en su totalidad por conmutadores con estas capacidades.

### **2.1.3.5. Funciones de seguridad**

#### ***Monitorización de puertos***

Los conmutadores, por su forma de funcionamiento, hacen que la red sea más segura, al impedir la propagación de las tramas Ethernet por toda la red. Esto limita la capacidad de cualquier dispositivo que se conectase a la misma con el objeto de monitorizar el tráfico de toda la red a sólo aquellas tramas que el conmutador propague hacia el puerto en el que se encuentra conectado ese dispositivo.

En otras ocasiones esta monitorización del tráfico de la red es útil para el administrador para detectar y corregir problemas en la red. Para facilitar este trabajo al administrador, muchos conmutadores ofrecen la posibilidad de reflejar el tráfico que pasa por uno de sus puertos en otro donde el administrador tendrá conectado el dispositivo que le permita monitorizar y analizar el tráfico.

#### ***Estadísticas RMON***

Mediante el protocolo RMON muchos conmutadores permiten la consulta de su estado y estadísticas de tráfico. Esto facilita tanto la detección de situaciones anómalas en la red como la previsión de situaciones de congestión. En base a esta información se puede mejorar la seguridad, la organización de los enlaces o prever nuevas inversiones necesarias para mantener el servicio.

#### ***Asignación fija de direcciones Ethernet a puertos del conmutador***

Una medida elemental que puede impedir la conexión de un ordenador intruso al puerto de un conmutador, es la asignación fija a este puerto de la dirección Ethernet del dispositivo que tiene conectado. Una vez que el administrador configure esta situación ningún equipo que no tenga esa dirección Ethernet podrá transmitir o recibir tramas a través de ese puerto.

#### ***Protección contra tormentas broadcast***

Las tramas dirigidas a la dirección broadcast de Ethernet, FF:FF:FF:FF:FF:FF (todos los bits de dirección a 1) se propagan en principio hacia todos los puertos de un conmutador. Si este tráfico es provocado artificialmente por una máquina conectada a la red con el propósito mal intencionado de degradar las prestaciones de la red, puede llegar a colapsarla. Por ello muchos conmutadores están capacitados para limitar el tráfico de tramas broadcast en el caso de que el número de estas sea excesivo, protegiendo así a la red del colapso. La agrupación de puertos en VLANs también limita el que tramas broadcast de una VLAN se propaguen a otra.



## 2.1.4. Requisitos del conmutador para el entorno industrial

El interfaz general que provee acceso al medio y administración de redundancia en una red Ethernet industrial es el conmutador. A continuación se detallan los factores a tener en cuenta para la correcta elección del mismo:

- Tasa de transferencia.  
Influye directamente en la latencia y el tiempo de respuesta aunque la instalación de una red más rápida no garantiza un comportamiento determinista.
- Capacidad de diálogo FullDuplex.  
Ethernet conmutada con enlaces full duplex donde cada nodo existe en un único dominio de colisión, es la solución preferida para las redes deterministas. Para usar Full Duplex, los dos interfaces de red usados entre las estaciones de trabajo y el conmutador deben soportar operación en modo Full Duplex. De este modo, dobla el ancho de banda potencial en ese enlace y proporciona 20 Mbps. en Ethernet y 200 Mbps. para Fast Ethernet.
- Retraso por transferencia.  
Los conmutadores incurrir en retrasos por almacenamiento en el buffer y por transferencia. Estos últimos dependen del procesador interno del conmutador. Pueden ser minimizados mediante conmutadores que operan a velocidad del cable. Se dice que un conmutador trabaja a "velocidad del cable" (wire speed) si tiene bastante potencia de proceso para manejar la velocidad total que Ethernet permite para los tamaños de paquete mínimos.
- Retraso por almacenamiento.  
Este retraso aumenta con la congestión de la red. Un buen sistema en tiempo real debe evitar en lo posible esta circunstancia. Además, el número de conmutadores entre nodos que requieren un alto grado de determinismo debe ser minimizado.
- Redundancia de conexiones.  
Hace al sistema más tolerante a posibles fallos por cortes de cables o fallos en las conexiones.
- Configuración de redes virtuales.  
Las VLAN's (LANs virtuales) son otra ventaja para la gestión en un conmutador. Una VLAN permite a la red agrupar nodos en LAN's lógicas que se comportan como una red, independientemente de las conexiones físicas. La principal ventaja está en la gestión de los broadcast y el tráfico multicast. Un conmutador no gestionado retransmitirá estos paquetes a todos los puertos. Si la red tiene una agrupación lógica, diferente de las agrupaciones físicas, un conmutador basado en VLAN puede ser la mejor apuesta para la optimización de tráfico.
- QoS.  
Es la habilidad que posee el conmutador para establecer prioridades más altas a algunos paquetes. La prioridad se puede determinar a través del puerto origen o por medio de etiquetas específicas insertadas en los paquetes.

En conclusión, las soluciones de red con conmutación presentan las siguientes características para contribuir al desarrollo de las aplicaciones industriales en tiempo real.

- El ancho de banda es específico (aunque todavía se puede compartir con arquitecturas mixtas).
- La conmutación de puertos hace innecesario el arbitraje del bus.
- El funcionamiento dúplex completo elimina la colisión.
- El ancho de banda es escalable (10, 100, 1000 Mbps).
- Fast Ethernet proporciona 200 Mbps de ancho de banda en la red de estructura básica por medio de la transmisión de dúplex completo.





Las arquitecturas de red con conmutación que utilicen QoS explícita (mediante lenguajes de programación, módulos de función y tipos de datos), proporcionarán estos servicios adicionales:

- Cumplen las normas IEEE 802.1p/Q para asignar prioridad y campos de QoS a la estructura de datos estándar de Ethernet.
- Las normas SVP, ISSLL, IEEE802.1p/Q proporcionan técnicas explícitas para solicitar resolución de QoS.
- La prioridad de datos y las colas múltiples de datos aseguran que el tráfico en tiempo real se desarrollará por la ruta más rápida de la red.

## 2.1.5. Capas TCP/IP sobre Ethernet

Por lo general, los equipos conectados a una red Ethernet tienen capacidad soportar los protocolos TCP/IP. Esto les permite conectarse a una red como Internet, si se tiene acceso, o establecer cuando menos un red TCP/IP interna con otros dispositivos próximos (Intranet). En cualquier caso, cada dispositivo pasará a tener un nuevo identificador, la dirección IP (ejemplo: 140.186.90.3) asignado por el responsable o administrador de la red.

Estas posibilidades y la asignación de la dirección IP, permitirán a cualquier equipo establecer conexiones con dispositivos muy remotos (incluso al otro lado del planeta) y por lo tanto ser monitorizado, controlado, modificado, etc. desde cualquier punto de la Intranet o de Internet. Los aspectos relativos a garantizar la seguridad en el acceso a los dispositivos industriales toman entonces una relevancia fundamental.

## 3. Buses de campo

“Bus de campo” es un término genérico que describe un conjunto de redes de comunicación para uso industrial, cuyo objetivo es sustituir las conexiones punto a punto entre los elementos de campo y el equipo de control a través del tradicional bucle de tensión o de corriente de 4-20 mA. Típicamente son redes digitales, bidireccionales, multipunto, montadas sobre un bus serie, que conectan dispositivos de campo como PLCs, transductores, actuadores y sensores. Cada dispositivo de campo incorpora cierta capacidad de proceso, que lo convierte en un dispositivo inteligente, manteniendo siempre un coste bajo. Cada uno de estos elementos será capaz de ejecutar funciones simples de autodiagnóstico, control o mantenimiento, así como de comunicarse bidireccionalmente a través del bus.

El objetivo es reemplazar los sistemas de control centralizados por redes para control distribuido con las que mejorar la calidad del producto, reducir costes y mejorar la eficiencia. Para ello se basa en que la información que envían y/o reciben los dispositivos de campo es digital, lo que resulta mucho más preciso que si se recurre a métodos analógicos. Además, cada dispositivo de campo es un dispositivo inteligente y puede llevar a cabo funciones propias de control, mantenimiento y diagnóstico. De esta forma, cada nodo de la red puede informar en caso de fallo del dispositivo asociado, y en general sobre cualquier anomalía asociada al dispositivo. Esta monitorización permite aumentar la eficiencia del sistema y reducir la cantidad de horas de mantenimiento necesarias.

### 3.1. Ventajas de los buses de campo

La principal ventaja que ofrecen los buses de campo, y la que los hace más atractivos a los usuarios finales, es la **reducción de costes**. El ahorro proviene fundamentalmente de tres fuentes: ahorro en



coste de instalación, ahorro en el coste de mantenimiento y ahorros derivados de la mejora del funcionamiento del sistema.

Una de las principales características de los buses de campo es una significativa reducción en el cableado necesario para el control de una instalación. Cada célula de proceso sólo requiere un cable para la conexión de los diversos nodos. Se estima que puede ofrecer una reducción de 5 a 1 en los costes de cableado. En comparación con otros tipos de redes, dispone de herramientas de administración del bus que permiten la reducción del número de horas necesarias para la instalación y puesta en marcha.

El hecho de que los buses de campo sean más sencillos que otras redes de uso industrial como por ejemplo MAP, hace que las necesidades de **mantenimiento de la red** sean menores, de modo que la fiabilidad del sistema a largo plazo aumenta. Además, los buses de campo permiten a los operadores monitorizar todos los dispositivos que integran el sistema e interpretar fácilmente las interacciones entre ellos. De esta forma, la detección de las fuentes de problemas en la planta y su corrección resulta mucho más sencilla, reduciendo los costes de mantenimiento y el tiempo de parada de la planta.

Los buses de campo ofrecen mayor **flexibilidad** al usuario en el diseño del sistema. Algunos algoritmos y procedimientos de control que con sistemas de comunicación tradicionales debían incluirse en los propios algoritmos de control, radican ahora en los propios dispositivos de campo, simplificando el sistema de control y sus posibles ampliaciones.

También hay que tener en cuenta que las prestaciones del sistema mejoran con el uso de la tecnología de los buses de campo debido a la **simplificación** en la forma de obtener información de la planta desde los distintos sensores. Las mediciones de los distintos elementos de la red están disponibles para todos los demás dispositivos. La simplificación en la obtención de datos permitirá el diseño de sistemas de control más eficientes.

Con la tecnología de los buses de campo, se permite la **comunicación bidireccional** entre los dispositivos de campo y los sistemas de control, pero también entre los propios dispositivos de campo.

Otra ventaja de los buses de campo es que reducen a 3 el número de capas del modelo OSI (Física, Enlace y Aplicación) para hacer más ágil su funcionamiento. Proporcionan además un conjunto de **servicios de administración**. Al usuario sólo se le exige tener un conocimiento mínimo de los servicios de administración de la red, ya que parte de la información generada por dichos servicios puede ser necesaria para la reparación de averías en el sistema.

## 3.2. Buses de campo existentes

La estandarización es aún una asignatura pendiente. Las firmas del mundo de la automatización industrial asumen el apoyo a uno u otro estándar, imponiendo así su uso a aquellas empresas a las que venden sus productos. Por lo tanto, en cualquier aplicación industrial, es necesario asegurarse que todos los componentes de la red soporten un mismo bus de campo, para que la comunicación no presente problemas o haya que realizar pasarelas entre buses.

Debido a la falta de estándares, diferentes compañías han desarrollado diferentes soluciones, cada una de ellas con diferentes prestaciones y campos de aplicación. En una primera clasificación podríamos dividirlos en los siguientes grupos:



### 3.2.1. Buses de alta velocidad y baja funcionalidad

Diseñados para integrar dispositivos simples como finales de carrera, fotocélulas, relés y actuadores simples, funcionando en aplicaciones de tiempo real, y agrupados en una pequeña zona de la planta, típicamente una máquina. Suelen especificar las capas física y de enlace del modelo OSI, es decir, señales físicas y patrones de bits de las tramas. Algunos ejemplos son:

- CAN: Diseñado originalmente para su aplicación en vehículos.
- SDS: Bus para la integración de sensores y actuadores, basado en CAN
- AS-I: Bus serie diseñado por Siemens para la integración de sensores y actuadores.

### 3.2.2. Buses de alta velocidad y funcionalidad media

Se basan en el diseño de una capa de enlace para el envío eficiente de bloques de datos de tamaño medio. Estos mensajes permiten que el dispositivo tenga mayor funcionalidad de modo que permite incluir aspectos como la configuración, calibración o programación del dispositivo. Son buses capaces de controlar dispositivos de campo complejos, de forma eficiente y a bajo coste. Normalmente incluyen la especificación completa de la capa de aplicación, lo que significa que se dispone de funciones utilizables desde programas basados en PCs para acceder, cambiar y controlar los diversos dispositivos que constituyen el sistema. Algunos incluyen funciones estándar para distintos tipos de dispositivos (perfiles) que facilitan la interoperabilidad de dispositivos de distintos fabricantes. Algunos ejemplos son:

- DeviceNet: Desarrollado por Allen-Bradley, utiliza como base el bus CAN, e incorpora una capa de aplicación orientada a objetos.
- LONWorks Red desarrollada por Echelon.
- BitBus: Red desarrollada por INTEL.
- DIN MessBus: Estándar alemán de bus de instrumentación, basado en comunicación RS-232.
- InterBus-S: Bus de campo alemán de uso común en aplicaciones medias.
- UNI-TELWAY: Desarrollado por Telemecanique.
- Modbus: Define un protocolo de comunicación de topología maestro-esclavo.

### 3.2.3. Buses de altas prestaciones

Son capaces de soportar comunicaciones a nivel de toda la factoría, en muy diversos tipos de aplicaciones. Aunque se basan en buses de alta velocidad, algunos presentan problemas debido a la sobrecarga necesaria para alcanzar las características funcionales y de seguridad que se les exigen. La capa de aplicación oferta un gran número de servicios al usuario, habitualmente un subconjunto del estándar MMS. Entre sus características incluyen:

- Redes multi-maestro con redundancia.
- Comunicación maestro-esclavo según el esquema pregunta-respuesta.
- Recuperación de datos desde el esclavo con un límite máximo de tiempo
- Capacidad de direccionamiento unicast, multicast y broadcast.
- Petición de servicios a los esclavos basada en eventos.
- Comunicación de variables y bloques de datos orientada a objetos.
- Descarga y ejecución remota de programas.
- Altos niveles de seguridad de la red, opcionalmente con procedimientos de autenticación.
- Conjunto completo de funciones de administración de la red.



Algunos ejemplos son:

- Profibus: impulsado por fabricantes alemanes.
- FIP (Factory Instrumentation Bus): impulsado por fabricantes y organismos franceses.
- Fieldbus Foundation: El mayor intento de estandarización internacional.

### 3.2.4. Buses para áreas de seguridad intrínseca

Incluyen modificaciones en la capa física para cumplir con los requisitos específicos de seguridad intrínseca en ambientes con atmósferas explosivas. La **seguridad intrínseca** es un tipo de protección por la que el aparato en cuestión no tiene posibilidad de provocar una explosión en la atmósfera circundante. Un circuito eléctrico o una parte de un circuito tienen seguridad intrínseca, cuando alguna chispa o efecto térmico en este circuito producidos en las condiciones de prueba establecidas por un estándar (dentro del cual figuran las condiciones de operación normal y de fallo específicas) no puede ocasionar una ignición. Algunos ejemplos son HART, Profibus PA o FIP.

## 3.3. Comparativa entre buses actuales

Las tablas siguientes recogen las características generales, topológicas y de cableado de los distintos estándares y las compara con la red Ethernet industrial.

### 3.3.1. Comparativa general

GENERAL	AS-Interface	Interbus	Profibus	DeviceNet	Modbus-1	Ethernet
Disponible desde	1995	1988	1990	1995	1979	1975
Fabricante	AS-Interface Consortium (Germany)	Phoenix (Germany)	Profibus Consortium (Germany)	Omron, Rockwell	Modicon / Gould / Groupe Schneider	Xerox (US)
Estándar	EN 50295, IEC 62026/2, IEC 947	DIN 19258, EN 50254/1, IEC 61158 Type 8	DIN 19245, EN 13321/1 (FMS), EN 50254/2, EN50170/2, IEC 61158 Type 3, SEMI E54.8 (DP)	ISO 11898	No international standard.	IEEE 802.3
Website	<a href="http://www.as-interface.net">www.as-interface.net</a>	<a href="http://www.interbusclub.com">www.interbusclub.com</a>	<a href="http://www.profibus.com">www.profibus.com</a>	<a href="http://www.odva.org">www.odva.org</a>	<a href="http://www.modbus.org">www.modbus.org</a>	
Variantes	V1.0, V2.0, V2.10, V2.11	V1, V2, V3, V4, Interbus/Loop	FMS, PD, PA		ASCII, RTU (Remote Terminal Unit)	10BaseT, 100BaseTX
Aplicable para E/S sensores / actuadores	Sí (especialmente dedicado para ello)	Sí	No (demasiado complejo, y hardware excesivo)	Sí	No	Hardware excesivo
¿Aplicable a E/S remotas?	Limitado a 4 E/S digitales o 2 analógicas	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Aplicable para comunicación entre controladores o equipos inteligentes	No	Limitado	Sí	Sí	Sí	Sí
Variante más empleada	V2.0	V4	DP/V1		RTU	10BaseT, 100BaseTX
Áreas de aplicación	Industria discreta (DP), Industria de proceso (PA) parcialmente.	Industria discreta.	Industria discreta (DP), Industria de proceso (PA).	Industria discreta (DP), Industria de proceso (PA).	Industria discreta (DP), Industria de proceso (PA).	Niveles medio y alto de automatización industrial.
Competidor más importante	Ninguno	Profibus	Interbus, CAN, Foundation	Profibus, Modbus	Profibus, Devicenet	Ninguno



			Fieldbus, DeviceNet			
<b>Interfaz para PC</b>	Sí, varios vendedores	Sí, vía Phoenix	Sí, varios vendedores	Sí	Sólo para RS 422/485	Incluida en cualquier PC

Tabla 2. Comparativa general entre buses de campo actuales.

### 3.3.2. Comparativa de cableado

CABLEADO	AS-Interface	Interbus	Profibus	DeviceNet	Modbus-1	Ethernet
<b>Cable</b>	2 hilos	4 hilos	2 hilos	4 hilos	RS-232, RS-422/485	par trenzado (10BaseT, 100Base Tx)
<b>Posibilidad de cableado redundante</b>	No	No	No	No	Depende del proveedor	Sí
<b>Posibilidad de uso de fibra óptica</b>	No	Sí	Sí (con repetidores)	Sí	Sí	Sí
<b>Alimentación de los nodos</b>	Incluida en la red (30V/8A)	Conexión independiente	Conexión separada (DP) o incluida en la red (PA)	Incluida en la red	No especificada	Conexión independiente
<b>Conector</b>	Conexiones vampiro	9-pins sub-D connector.	9-pins sub-D el más común	Conector específico	No especificado	RJ45
<b>Topología</b>	Tree, bus, star.	Bus, tree, star.	Bus, Chicken Feet	Bus	Bus	Star
<b>Transmisión de la señal</b>	Específico AS-Interface	De acuerdo con RS485.	De acuerdo con RS485 or IEC 61158/2	Especificación CAN	De acuerdo con RS232, RS422/485, o Ethernet.	Específico de Ethernet
<b>Longitud máxima entre nodos (sin repetidores)</b>	100m	No aplicable	1200 m	100 con cable fino, 250 y 500m con cable grueso	15-60 m (RS-232); 1200m (RS-422/485)	100m
<b>Velocidad de transferencia</b>	Siempre 167 Kbit/s	500 Kbaud/s or 2 Mbit/s con la nueva versión	500 kbit/s (FMS); 12 Mbit/s (PA); 31.25 kbit/s (PD)	125kbit/s (100m); 250 kbits/s (250m); 500 kbit/s (100 m)	No especificada; normalmente no superior a 38,4 Kbit/s.	10 Mbit/s 100 Mbit/s

Tabla 3. Comparativa de cableado entre buses de campo actuales.

### 3.3.3. Comparativa de número de nodos y acceso al medio

NODOS	AS-Interface	Interbus	Profibus	DeviceNet	Modbus-1	Ethernet
<b>Máximo número de nodos (sin repetidor)</b>	31 V2.0 o 62 V2.1	512	32 (limitación RS485)	2048	2 (RS232), 10 (RS422), 32 (RS 485)	Prácticamente, sin límite
<b>Máximo número de nodos con repetidor)</b>	31 V2.0 o 62 V2.1	512	126	2048	2 (RS232), 250 (RS422/485)	Sin límite
<b>Tipo de comunicación entre nodos</b>	Maestro/esclavo	Maestro/esclavo	Maestro múltiple (FMS), Maestro/esclavo (DP, PA)	Maestro múltiple, maestro/esclavo, punto a punto con multicast	Maestro/esclavo	Maestro multiple, limitable por protocolos de capas superiores
<b>Destino de los mensajes</b>	Punto a punto	Punto a punto	Punto a punto, multicast y broadcast	Punto a punto	Punto a punto, broadcast	Punto a punto, multicast y broadcast
<b>Gestión de acceso al</b>	Maestro/esclavo	Maestro/esclavo	Token Ring entre	CSMA/CD/ND A	Maestro/esclavo	CSMA/CD, herramientas software

medio			maestros, maestro/esclavo			pueden aportar otros modos de gestión
Máximo número de maestros	1	1	Sin límite (en la práctica sólo 1)	1	1	Sin límite

Tabla 4. Comparativa de nodos y MAC entre buses de campo actuales.

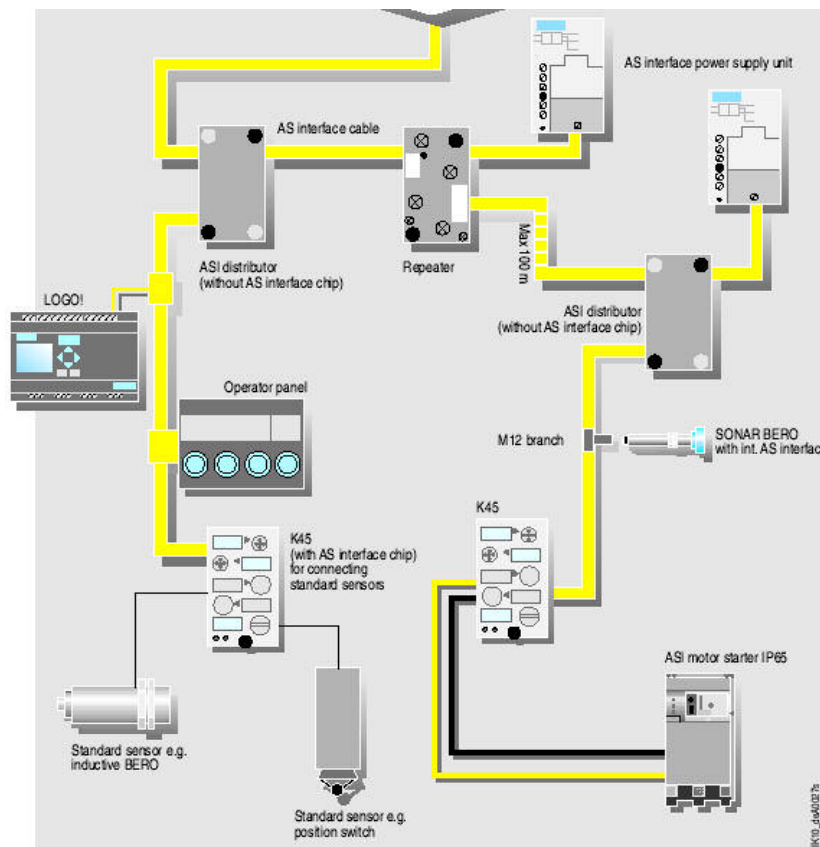
### 3.3.4. Comparativa de tamaño de mensajes y detección de errores

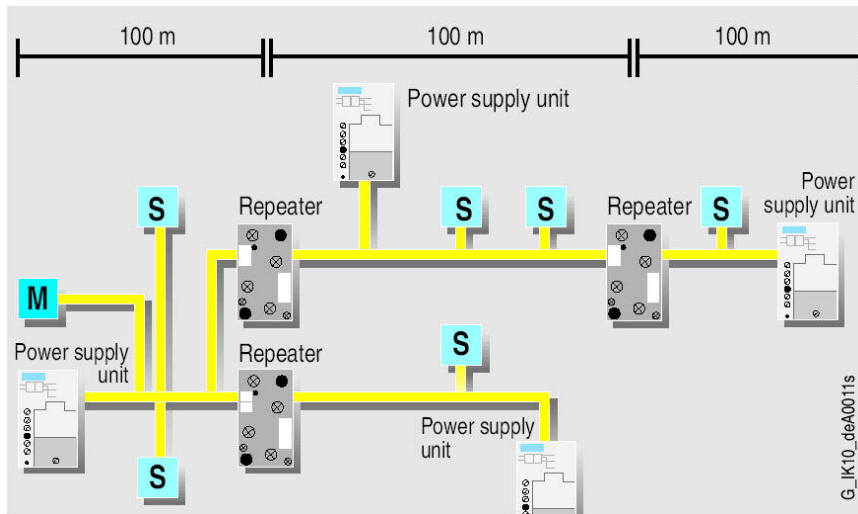
MENSAJES	AS-Interface	Interbus	Profibus	DeviceNet	Modbus-1	Ethernet
Tamaño máximo de los datos	4bits para entradas y 4 para salidas	8192 bits	241 (FMS), 244 (DP,PA), a veces limitado a 32 bytes	8 bytes	250 bytes	1500 bytes
Tamaño mínimo	4 bits	4 bits	0 bytes	0 bytes	0 bits	46 bytes
Detección de errores	Paridad y codificación Manchester	Transmisión equilibrada, CRC de 16 bits	Paridad, checksum de 8 bits y Hamming	CRC	Paridad, checksum de 8 bits y CRC de 16 bits	CRC de 32 bits

Tabla 5. Comparativa de tamaño de mensajes y detección de errores entre buses de campo actuales.

## 3.4. AS-i: Aktuator Sensor Interface

AS-i es un bus de campo desarrollado inicialmente por Siemens, para la interconexión de actuadores y sensores binarios ([www.as-interface.com](http://www.as-interface.com)). Actualmente está recogido por el estándar IEC TG 17B.





A nivel físico, la red puede adoptar cualquier tipo de topología: estructura en bus, en árbol, en estrella o en anillo. Permite la interconexión de un máximo de 31 esclavos en la versión 2.0 o 64 en la versión 2.1. La longitud máxima de cada segmento es de 100 metros. Dispone de repetidores que permiten la unión de hasta tres segmentos, y de puentes hacia redes Profibus. Como medio físico de transmisión, emplea un único cable que permite tanto la transmisión de datos como la alimentación de los dispositivos conectados a la red. Su diseño evita errores de polaridad al conectar nuevos dispositivos a la red. La incorporación o eliminación de elementos de la red no requiere la modificación del cable.

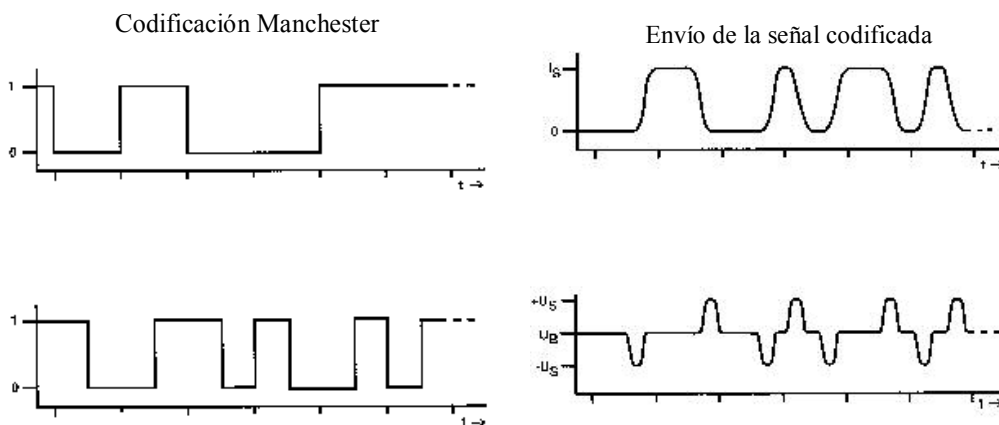
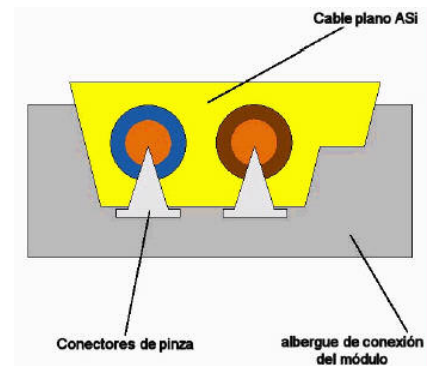
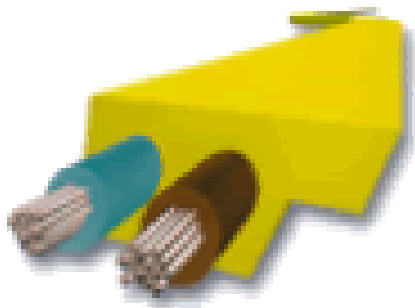


Figura 18: Codificación de la información en el bus AS-i

El cable consta de dos hilos sin apantallamiento. Para lograr inmunidad al ruido, la transmisión se hace basándose en una codificación Manchester. La señal con la codificación Manchester se traduce en pulsos de corriente, que producen pulsos positivos y negativos en la tensión de alimentación, que indican las transiciones en la señal. A partir de la detección de dichas transiciones se reconstruye la secuencia de bits transmitida.

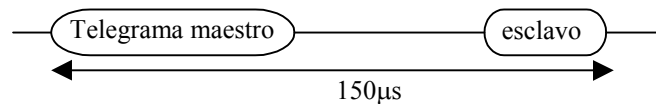


Figura 19: Comunicación maestro - esclavo

Cada esclavo dispone de hasta 4 entradas/salidas, lo que hace que la red pueda controlar hasta 124 E/S digitales. La comunicación sigue un esquema maestro - esclavo, en la cual el maestro interroga a las estaciones enviándoles mensajes (llamados telegramas) de 14 bits y el esclavo responde con un mensaje de 7 bits. La duración de cada ciclo pregunta-respuesta es de 150  $\mu$ s. En cada ciclo de comunicación se deben consultar todos los esclavos, añadiendo dos ciclos extras para operaciones de administración del bus (detección de fallos). El resultado es un tiempo de ciclo máximo de 5ms. para 31 esclavos.

Los telegramas tienen un formato sencillo. El telegrama del maestro contiene los siguientes campos:

St	SB	A4	A3	A2	A1	A0	I4	I3	I2	I1	I0	PB	EB
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

- St: bit de start. 0 indica comienzo de la trama.
- SB: Tipo de telegrama. 0 indica trama de datos y 1 indica trama de comandos
- A0...A4: Dirección del esclavo
- I0...I4: Información
- PB: Bit de paridad
- EB: Bit de fin

El esclavo responde con un telegrama de 7 bits de la forma:

St	I3	I2	I1	I0	PB	EB
----	----	----	----	----	----	----

- St: bit de start. 0 indica comienzo de la trama.
- I0...I3: Información
- PB: Bit de paridad
- EB: Bit de fin

### 3.5. INTERBUS

INTERBUS es un bus de campo para la interconexión de sensores y actuadores. Las partes claves de INTERBUS han sido estandarizadas en Alemania por la DKE (Deutsche Elektrotechnische Kommission para DIN y VDE). En 1993, se publicó la norma DIN E 19 258. Esta norma cubre los protocolos de transmisión y los servicios que necesita para la comunicación de datos de proceso. Las especificaciones para la transmisión de parámetros han sido publicadas en el DIN Report 46 (1995).

INTERBUS se basa en un esquema maestro-esclavo. El maestro del bus actúa simultáneamente como interfaz con los niveles superiores de la jerarquía de comunicaciones. La topología de



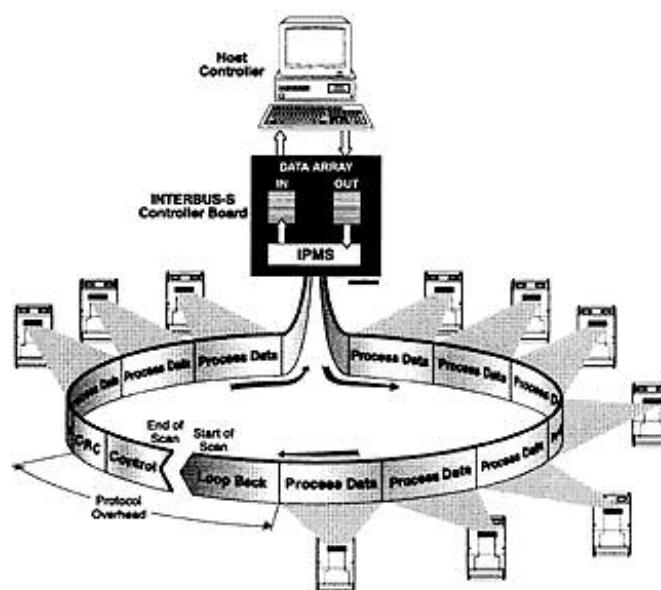


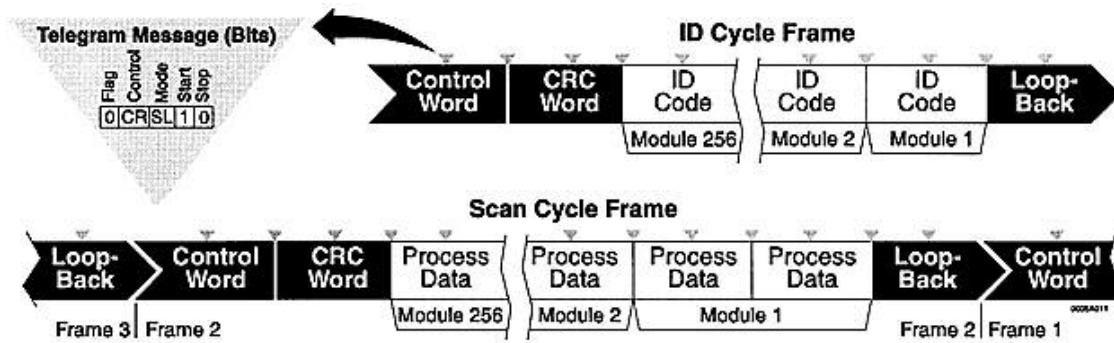
funcionamiento interno es en anillo, es decir, todos los dispositivos están conectados formando un camino cerrado aunque el aspecto del cableado es un bus. El anillo principal es el que parte del maestro, aunque pueden formarse otros anillos para adaptarse a la estructura particular de cada sistema. Este tipo de conexiones se lleva a cabo mediante unos equipos denominados módulos terminadores de bus.

Un rasgo distintivo de INTERBUS es que las líneas de envío y recepción de datos están contenidas dentro de un mismo cable que une todos los dispositivos. De esta forma, el sistema tiene el aspecto físico de un bus o un árbol. Típicamente, la capa física se basa en el estándar RS-485. Debido a la estructura de anillo y a que es necesario transportar la masa de las señales lógicas, INTERBUS requiere un cable de cinco hilos para interconectar dos estaciones. Con velocidades de transmisión de 500 Kbps, pueden alcanzarse distancias de hasta 400 m entre dispositivos. Cada dispositivo incorpora una función de repetidor que permite extender el sistema hasta una longitud total de 13 Km. Para facilitar el funcionamiento de INTERBUS, el número máximo de estaciones está limitado a 512.

La estructura punto a punto de INTERBUS y su división en anillo principal y subanillos es ideal para la incorporación de distintos medios de transmisión en distintas zonas de la planta si esto fuese necesario. La estructura de anillo ofrece dos ventajas. La primera es que permite el envío y recepción simultánea de datos (full duplex). En segundo lugar, la capacidad de autodiagnóstico del sistema se ve mejorada, ya que la conexión de cada nodo a la red es activa. INTERBUS permite la detección preventiva de errores por medio de una evaluación estadística de la calidad de las transmisiones. La determinación de la frecuencia de los errores de transmisión permite prever la aparición de fallo en un componente de la red.

Para facilitar la detección de errores y la puesta en marcha del sistema, INTERBUS permite la desconexión transparente de los subanillos conectados al anillo principal. El direccionamiento se basa en la posición física de cada sistema dentro del anillo, aunque opcionalmente se dispone de la posibilidad del empleo de direcciones lógicas para acceder a dispositivos individuales independientemente de su posición.





El protocolo de transmisión de INTERBUS se estructura en tres capas que se corresponden con capas del modelo OSI. La capa 1 es la capa física. Especifica aspectos como la velocidad, modos de codificación de la señal física, etc. La capa 2 se corresponde con la capa de enlace. Garantiza la integridad de los datos y permite el soporte de dos tipos de datos, por una parte los datos correspondientes a procesos cíclicos, y por otra parte datos que aparecen asíncronamente. La capa de enlace es determinista, es decir, garantiza un tiempo máximo para el transporte de datos entre dispositivos. El control de acceso al medio se encuadra dentro de los mecanismos TDMA (Time Division Multiple Access), eliminando así la posibilidad de colisiones. Cada dispositivo tiene reservado un slot de tiempo adecuado para su función dentro del sistema. El tiempo de ciclo es la suma de los tiempos asignados a cada dispositivo. Pueden definirse slots adicionales para la transmisión de bloques de datos en modo conexión. De esta forma pueden enviarse grandes bloques de datos a través de INTERBUS, sin alterar el tiempo de ciclo para los datos de proceso. Otra ventaja importante que incorpora este tipo de control de acceso al medio, es que todos los elementos insertan sus datos en el bus simultáneamente, lo que garantiza que las mediciones en las que se basan los bucles de control, fueron realizadas simultáneamente.

Este mecanismo también reduce la sobrecarga con información correspondiente al protocolo, con lo que la eficiencia que se alcanza es alta.

La trama se forma por concatenación de los datos de cada estación. De forma física se realiza mediante un registro. Cada dispositivo se une al anillo mediante un registro cuya longitud depende de la cantidad de información que debe transmitir. Los datos provenientes de las distintas estaciones van llegando al master en función de su posición dentro del anillo. Cada ciclo de transmisión comienza con una secuencia de datos que contiene la palabra de “loopback” seguida de los datos de salida de los distintos dispositivos, en la línea de salida. Durante el envío de datos, el flujo de retorno entra el maestro como flujo de entrada. Tras el envío de la trama completa, se envía un CRC de 32 bits. Debido a la estructura de conexiones punto a punto, el cálculo del CRC siempre se hace entre cada dos nodos. Por último se envía una palabra de control para indicar el estado de cada dispositivo (detección de errores de transmisión, etc.). Si no hubo errores comienza un nuevo ciclo.

Además de los ciclos de datos, también hay ciclos de identificación. Este ciclo permite la administración del bus. Cada dispositivo tiene un código de identificación que indica el tipo de dispositivo de que se trata, y el tamaño de su bloque de datos. La configuración del bus se lleva a cabo por una secuencia de ciclos de identificación en los que el maestro comienza a leer en orden, la identificación de los dispositivos conectados. En función de estas lecturas se configura la trama que circulará en el ciclo de datos. Desde el punto de vista físico INTERBUS funciona según un procedimiento asíncrono de arranque y parada. Se envía una cabecera que contiene información adicional como por ejemplo los delimitadores de trama, código de función y tipo de mensaje, junto con ocho bits de datos adicionales. Los momentos de inactividad se ocupan con mensajes de estado. No contienen datos de la capa de enlace y sólo sirven para garantizar una actividad permanente en



el medio de transmisión. Si dicha actividad se interrumpe durante más de 20 ms, se interpreta por todos los dispositivos como una caída del sistema. En respuesta a esta situación, los dispositivos se desconectan de la red y van a un punto seguro definido con antelación.

La tercera de las capas de INTERBUS corresponde la capa de aplicación.

En el maestro se ejecuta de forma cíclica un programa que actualiza continuamente los datos correspondientes a los distintos procesos conectados a la red, y los deja accesibles para el sistema de control, de modo que por ejemplo un PLC puede acceder a ellos de forma sencilla mediante instrucciones de entrada/salida. El uso de técnicas de acceso directo a memoria evita el uso de servicios que necesitan grandes bloques de datos, lo que facilita la consecución del tiempo real. El acceso desde ordenadores se realiza mediante adaptadores adecuados para conectarlos al bus.

INTERBUS implementa en la capa de aplicación un subconjunto de servicios basados en MMS que se denomina PMS (Peripherals Message Specification). Incluye unos 25 servicios que permiten la comunicación con dispositivos de proceso inteligentes. Estos servicios permiten por ejemplo el establecimiento y monitorización de conexiones, lectura y escritura de parámetros o la ejecución remota de programas.

### 3.6. CAN: Controller Area Networking

CAN es un bus de comunicaciones serie estandarizado por ISO, que fue desarrollado inicialmente a finales de los 80 para la industria del automóvil. En su especificación básica, se exigía alta velocidad, alta inmunidad al ruido y capacidad para la detección de cualquier tipo de error. Con el tiempo, CAN ha pasado de la industria automovilística a la fabricación y a la industria aeronáutica. ([www.can.bosch.com](http://www.can.bosch.com), [www.can-cia.de](http://www.can-cia.de)).

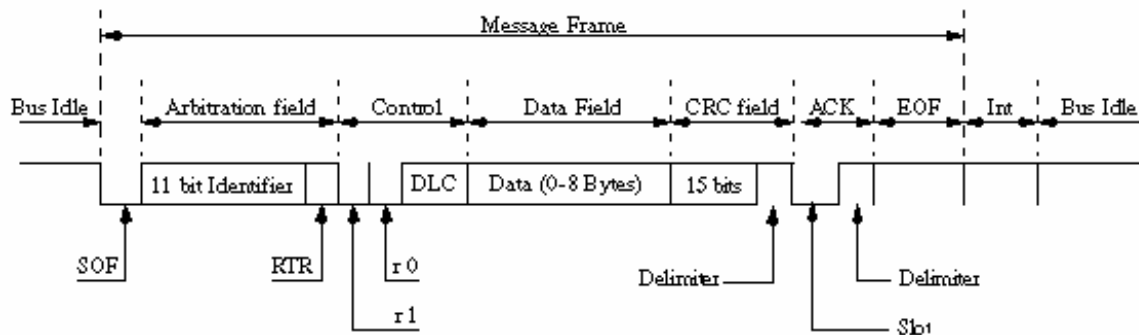
Los protocolos definidos por CAN se ajustan a la especificación OSI. CAN define sólo las dos capas más bajas: física y de enlace. Otras redes como SDS o DeviceNet proporcionan especificaciones de la capa de aplicación sobre la base de CAN.

El medio físico consiste en un cable de par trenzado con los terminadores adecuados. En la especificación básica de CAN, la velocidad máxima de transmisión es de 250 Kbps, mientras que en la versión ampliada alcanza velocidades de 1 Mbps.

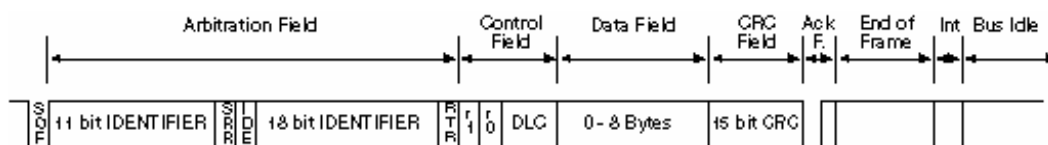
La implementación básica de CAN presenta una fuerte relación entre la CPU del dispositivo y el controlador CAN (que implementa los protocolos de capa física y de enlace). Los mensajes son difundidos por toda la red y son comprobados por la CPU de cada una de las estaciones que la forman. Este tipo de funcionamiento disminuye el aprovechamiento de la velocidad de transmisión de la red. En la versión conocida como "Full CAN", el controlador de red incorpora un filtro de selección de mensajes en base a un campo de identificación. De esa forma la CPU sólo recibirá aquellos mensajes que le interesen. Philips es el principal líder de la versión básica de CAN, mientras que Intel y Siemens lideran la versión completa.

Full CAN permite dos tamaños distintos de identificadores de mensajes: la versión A permite identificadores de 11 bits (2048 identificadores), mientras que la versión extendida (B) tiene identificadores de 29 bits.

## Trama tipo A



## Trama tipo B

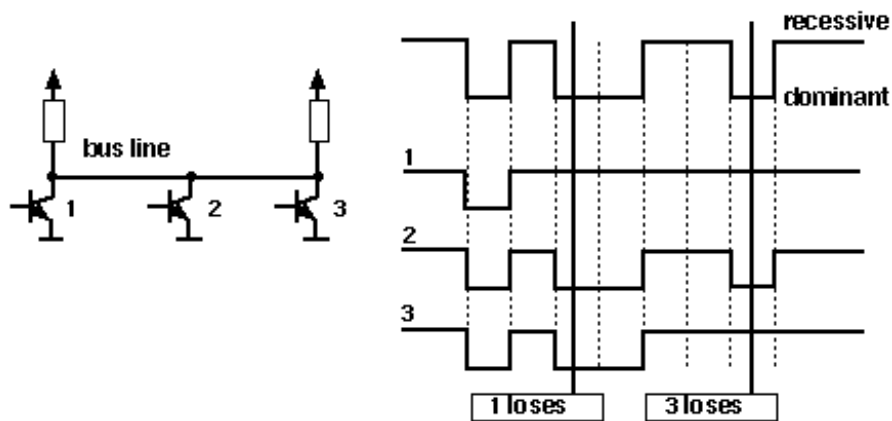


La capa de enlace define el formato y la temporización usada para la transmisión de los mensajes. Las tramas CAN tienen dos bytes descriptores y hasta 8 bytes de datos. Los descriptores definen la prioridad de los mensajes y su tipo. El primer campo, o campo de arbitraje está formado por los 11 bits del identificador (en tramas tipo A) y el bit RTR. Si RTR vale 0, indica que se trata de una trama de datos, mientras que si vale 1 indica que se trata de una petición de datos. En ese caso, el campo de datos indicará los bytes que formarán la respuesta.

El campo de control está formado por 6 bits. Los bits r1 y r0 están reservados para futuras ampliaciones del protocolo. Los cuatro bits que forman el DLC indican el número de bytes que forman la trama de datos y que van a continuación.

El campo de datos contiene de cero a ocho bytes. El bit más significativo de cada byte es el primero que se transmite. A continuación hay un campo de CRC, que contiene un código de redundancia cíclica de 15 bits y un bit delimitador que siempre vale 1. El campo de acuse de recibo consiste en dos bits. El primer bit se envía a 1 y es puesto a cero por las estaciones que reciben correctamente el mensaje. El segundo es un bit delimitador que vale 1. El delimitador de final de trama consiste en 7 bits a 1. Tras cada trama hay un período de tres bits (deben estar a 1), destinado a dar un tiempo mínimo a las estaciones a prepararse para la recepción o envío de otro mensaje.

Las tramas de tipo B se diferencian en el campo de arbitraje. En este caso hay un primer grupo de 11 bits similar al de las tramas de tipo A, y que actúa como valor base del identificador. La segunda parte del identificador (18 bits) es la extensión del identificador. Para distinguir ambos formatos, la trama tipo B incorpora dos bits que separan los dos trozos del identificador. El primero es el bit SRR (Substitute Remote Request). Se envía siempre a 1 para dar prioridad a las tramas de datos estándar de tipo A con el mismo identificador base. El bit IDE que sigue al bit SRR se envía siempre a 1, y permite distinguir tramas tipo A y tipo B.



Una característica fundamental de CAN es que cuanto menor sea el identificador del mensaje mayor es su prioridad. Si dos nodos intentan transmitir simultáneamente, el primero que envíe un cero cuando el otro intente enviar un 1 obtendrá el acceso al medio, ya que el valor cero es dominante frente al valor 1. Como cada estación es capaz de monitorizar el medio físico, podrá detectar si su trama ha sido sobrescrita por otra de mayor prioridad (que permanece inalterada). La estación que no ha podido enviar el mensaje, reintentará el envío en cuanto detecte un período de inactividad. Las ventajas de este mecanismo de acceso son la minimización del retardo en el acceso al no tener que esperar por el turno como sucede en un sistema de paso de testigo, y la mejora de la eficiencia al evitar las colisiones destructivas. Los mensajes son enviados por orden de prioridad.

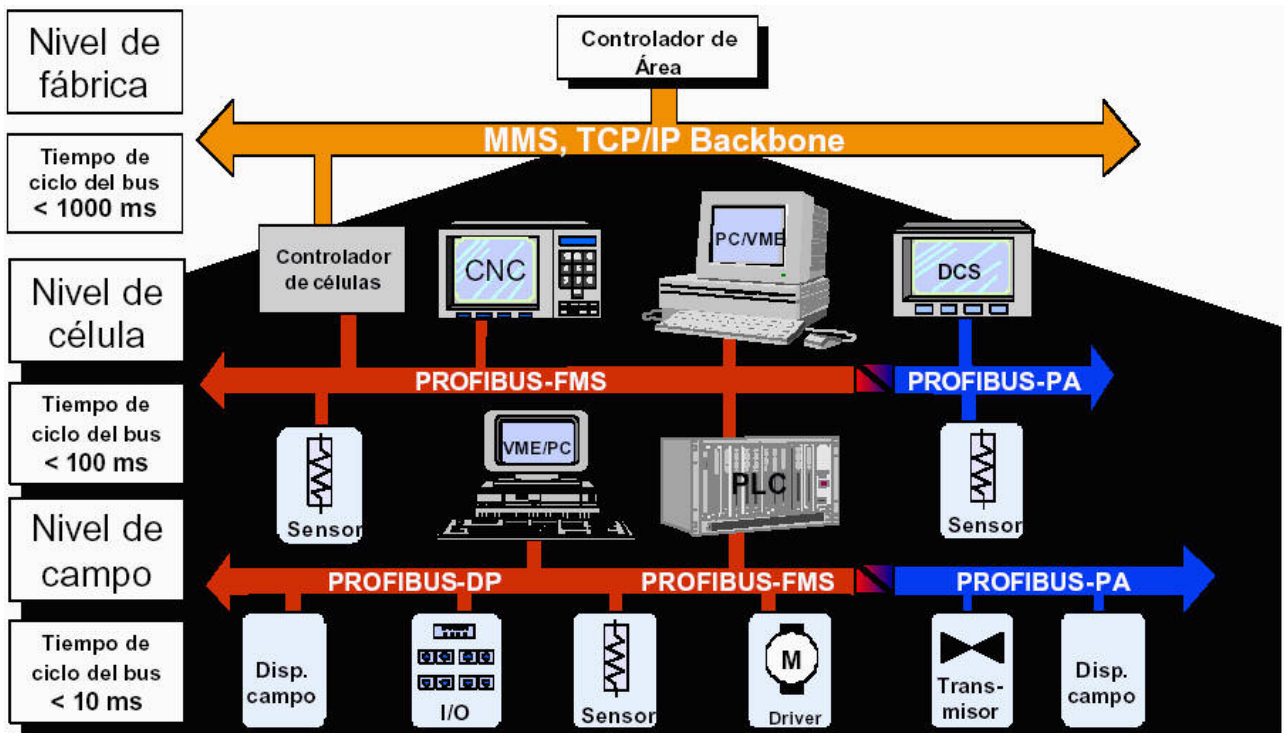
Un bus CAN puede tener un máximo de 32 nodos. El número de mensajes por segundo varía entre 2000 y 5000 en un bus de 250 Kbps, según el número de bytes por mensaje.

Aunque se ha dicho que CAN se basa en un medio físico de par trenzado, también existen interfaces para la conexión mediante fibra óptica. El método más común es el par trenzado, de modo que las señales se envían mediante una diferencia de tensión entre los dos hilos. Los hilos reciben los nombres de CAN\_H y CAN\_L, y en estado inactivo la diferencia de tensión entre ambos es de 2.5 V. Un '1' se envía colocando CAN\_H a más tensión que CAN\_L, mientras que un cero se envía colocando CAN\_L a más tensión que CAN\_H. El uso de tensiones diferenciales permite el uso de CAN incluso si una de las líneas está dañada, o en ambientes muy ruidosos.

## 3.7. Profibus

### 3.7.1. La Familia PROFIBUS

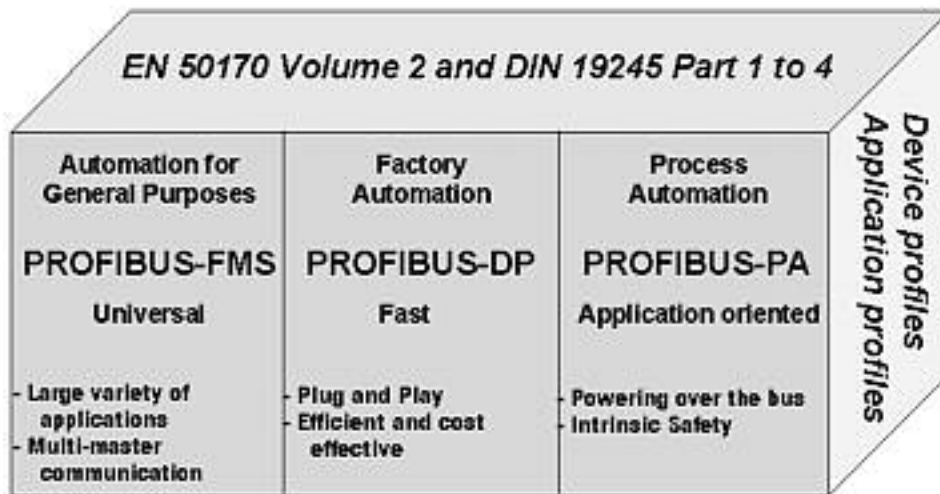
PROFIBUS es una especificación de bus de campo para una amplia gama de aplicaciones dentro de los campos de fabricación, industria de procesos o automatización de edificios ([www.profibus.com](http://www.profibus.com)). La estandarización de PROFIBUS según la norma EN 50 170 garantiza la independencia de los fabricantes y la interoperabilidad de dispositivos fabricados por distintas empresas. PROFIBUS puede ser usado tanto en aplicaciones en las que el tiempo de respuesta de las comunicaciones es crítico, como en redes de comunicaciones complejas que involucren un gran número de necesidades de comunicación. Existen tres versiones de PROFIBUS, todas ellas compatibles entre sí.



1. PROFIBUS-DP: Optimizado para aplicaciones de alta velocidad y bajo coste. Se diseñó específicamente para cubrir la comunicación entre sistemas de control automático y la periferia descentralizada al nivel de dispositivo. PROFIBUS-DP puede usarse para sustituir los antiguos bucles de corriente 0-20 mA.
2. PROFIBUS-PA: está diseñado especialmente para la automatización en la industria de procesos. Su principal diferencia con PROFIBUS-DP es que la capa física permite su utilización incluso en zonas de seguridad intrínseca. PROFIBUS-PA permite la comunicación de datos y la alimentación de los equipos a través de un único par de hilos siguiendo el estándar IEC 1158-2.
3. PROFIBUS-FMS: es la solución de propósito general para la comunicación al nivel de célula. Los servicios que incorpora PROFIBUS-FMS dotan al sistema de una gran flexibilidad.

### 3.7.2. Características Básicas

PROFIBUS especifica las características técnicas y funcionales de un bus de campo que permite la unión de los equipos de control con su periferia descentralizada, desde el nivel de campo hasta el nivel de célula. En los sistemas PROFIBUS se diferencian dos tipos de estaciones, Maestros y Esclavos.



Los dispositivos Maestro determinan las comunicaciones de datos a través del bus. Un maestro puede enviar mensajes sin necesidad de recibir una petición externa para que lo haga cuando logra el control de medio mediante la consecución del testigo. En terminología PROFIBUS, también se denominan estaciones activas.

Los dispositivos esclavo o dispositivos periféricos incluyen los dispositivos de entrada/salida, válvulas, accionadores o dispositivos de medida. No tienen capacidad para acceder directamente al bus y sólo pueden enviar acuses de recibo de mensajes enviados por algún maestro, o contestar a las peticiones de datos que éstos les hagan. Por ello, los esclavos también se denominan estaciones pasivas. Como sólo necesitan implementar una parte del control de acceso al medio, su fabricación resulta más barata.

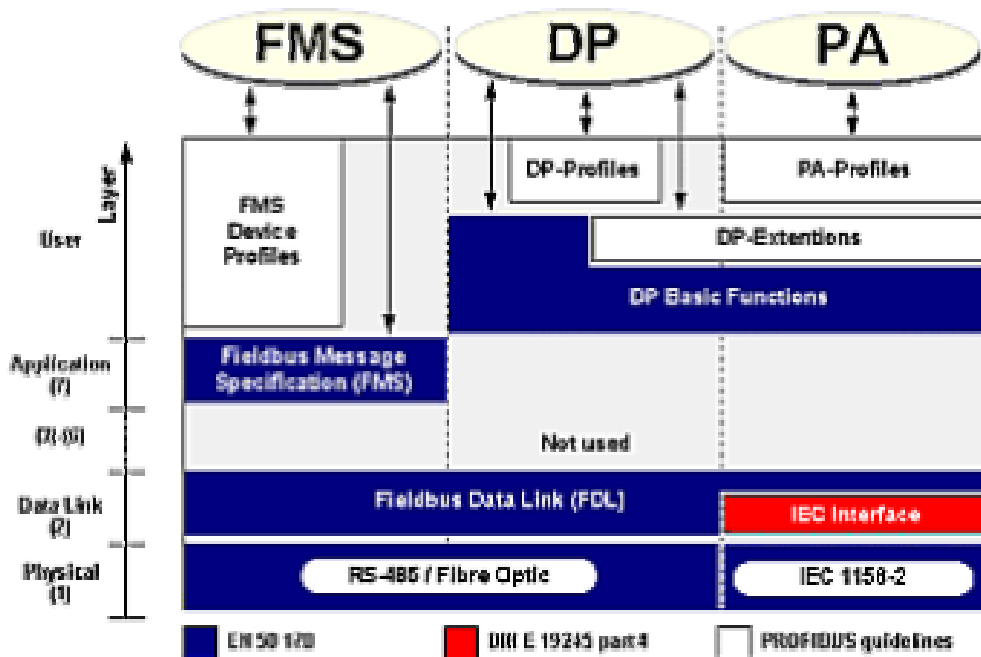
### 3.7.3. Arquitectura de Protocolos

La arquitectura de protocolos de PROFIBUS se basa en el modelo de referencia OSI, de acuerdo con el estándar ISO 7498.

PROFIBUS-DP define las capas física y de enlace, así como el interfaz de usuario. Las capas 3 a 7 no están definidas. El DDLM (Direct Data Link Mapper) proporciona un interfaz de usuario sencillo para el acceso a la capa 2. Como medio físico se usa la tecnología RS-485, fibra óptica o ambas.

En PROFIBUS-FMS se definen las capas física, de enlace y de aplicación. La capa de aplicación consiste en el FMS (Fieldbus Message Specification) y el LLI (Lower Layer Interface). FMS contiene el protocolo de aplicación y proporciona al usuario un amplio conjunto de servicios. LLI permite proporcionar a FMS una interfaz independiente del dispositivo con la capa de enlace. Dicha capa implementa el protocolo de acceso al bus y la seguridad de datos. Como medio físico se emplea RS-485, fibra óptica o ambas.

PROFIBUS-PA utiliza el protocolo de PROFIBUS-DP y le añade como característica particular la definición de los perfiles de dispositivo. Como medio de transmisión utiliza el estándar IEC 1158-2, lo que permite su utilización en zonas de seguridad intrínseca. Mediante un puente es posible acoplar fácilmente las redes PROFIBUS-DP con las redes PROFIBUS-PA.



Por su parte, PROFIBUS-DP y PROFIBUS-FMS usan las mismas tecnologías de transmisión y un protocolo uniforme de acceso al medio, por ello, ambas pueden operar simultáneamente sobre el mismo cable.

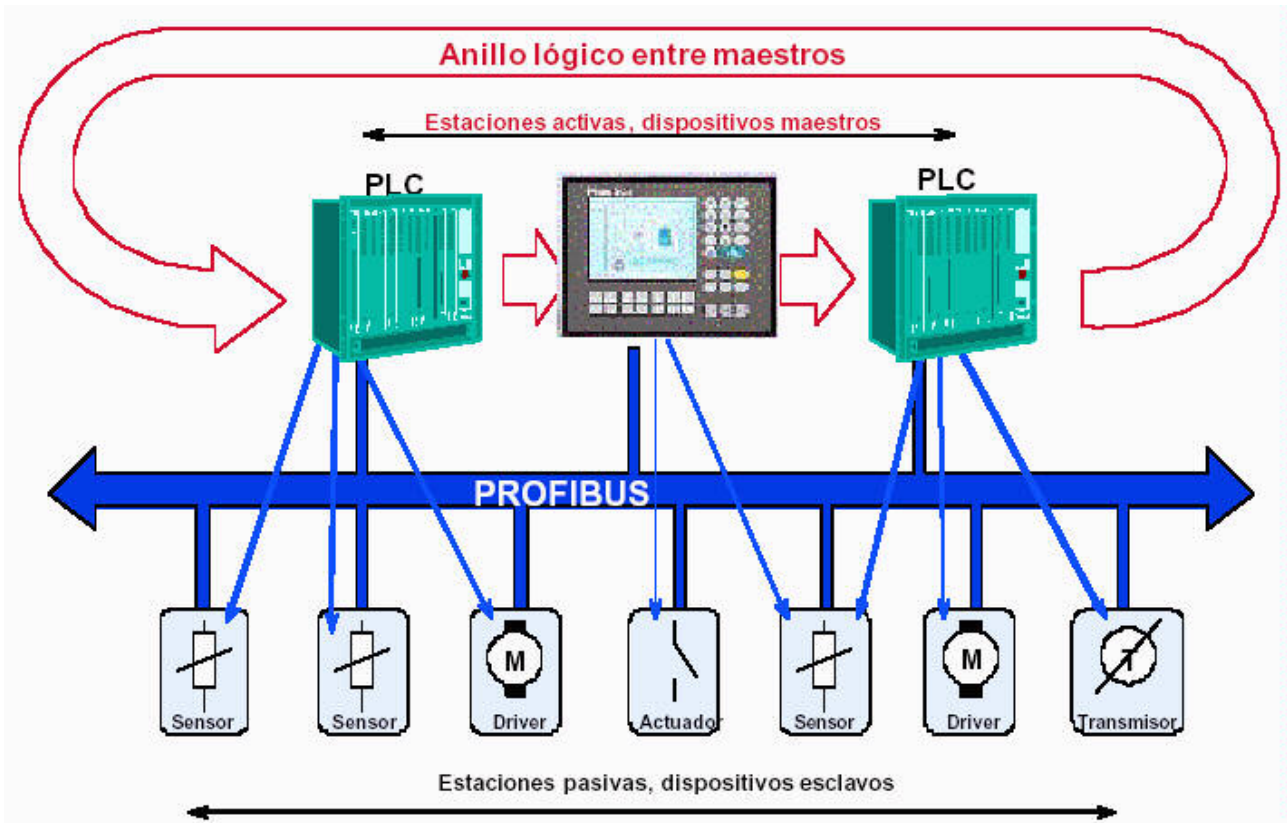
### 3.7.4. Control de Acceso al Medio en PROFIBUS

Las tres versiones de PROFIBUS usan el mismo control de acceso al medio, incluyendo los aspectos relacionados con la seguridad de los datos y el manejo de los protocolos de transmisión y los telegramas. En PROFIBUS, la capa 2 se denomina FDL (Fieldbus Data Link). El MAC es determinista, de modo que sólo una estación tiene derecho a transmitir en cada momento. En particular ha sido diseñado para cumplir dos objetivos:

- En las comunicaciones entre sistemas activos (maestros), encargados de tareas de control complejas, debe asegurarse que cada estación tenga suficiente tiempo para ejecutar sus tareas de comunicación dentro de un intervalo de tiempo definido.
- Las tareas de comunicación cíclicas se implementarán de la forma más sencilla posible para permitir la comunicación entre un maestro y uno o varios esclavos.

Por tanto, el control de acceso al medio de PROFIBUS incluye un sistema de paso de testigo en bus (Token-bus) entre los maestros, junto con un sistema de consulta maestro-esclavo para la comunicación entre cada maestro y su periferia.





El mecanismo de paso de testigo garantiza el derecho a acceder al bus de cada maestro durante un determinado período de tiempo. El paso de testigo es un telegrama especial que permite la cesión al nodo que lo recibe, del derecho a acceder al bus. El testigo sigue una secuencia según un anillo lógico, con un tiempo máximo predeterminado para la rotación completa del testigo.

La comunicación maestro-esclavo permite que el maestro que posee el testigo en un instante determinado se comunique con los esclavos que dependan de él. El maestro puede enviar mensajes a los esclavos y leer las contestaciones de éstos. De esta forma es posible tener un sistema con un único maestro y múltiples esclavos, un sistema formado sólo por estaciones activas, o un sistema híbrido.

La capa de enlace también es el encargado de la seguridad de los datos. Todos los telegramas tienen distancia Hamming 4, debido al uso de delimitadores de comienzo y fin de trama especiales, así como un bit de paridad para cada byte según se define en el estándar IEC 870-5-1.



El modo de funcionamiento es sin conexión. Permite tanto el direccionamiento unicast como direcciones multicast y broadcast.