3. INTRODUCCION A LAS REDES DE CAMPO DIGITALES

Se refiere a la conectividad que se requiere para que los dispositivos de campo: transmisores y actuadores primordialmente, se comuniquen entre sí. Las redes de campo digitales que se describen a continuación, en la mayoría de las situaciones prácticas no pretenden reemplazar las redes análogas, al menos no en una sola fase. Las redes análogas siguen allí, por el costo que implica el pretender reemplazarlas, o en aquellas aplicaciones donde las ventajas de las redes digitales no justifiquen la inversión en dinero y tiempo.

Ya se explicó que las redes análogas lo que hacen es enviar su información en la forma de señales de corriente comprendidas en el rango de 4 a 20 mA_{DC}. Solo una variable física (temperatura, humedad, presión, etc.) puede ser medida o controlada por un cable que no puede ser compartido. Esta última es una de las grandes ventajas de las redes digitales, que el medio físico de comunicación puede ser compartido por todos los dispositivos que conforman la red, con el consecuente ahorro en cable y en todos los accesorios que se emplean para tenderlo. Luego vienen las ventajas de poder transmitir una señal en forma digital, como son encriptación o compresión de los datos, por dar un ejemplo.

3.1. ARQUITECTURA DE LAS REDES DE CAMPO INDUSTRIALES

Las redes industriales, limitadas antes a comunicar los diferentes dispositivos de campo (transductores y transmisores con actuadores) han ido evolucionando para poder procesar los datos que una planta moderna debe generar para ser competitiva, segura, confiable. Así mismo, han tenido que desarrollarse para poder satisfacer las necesidades de información que ahora se tiene no solo a nivel de proceso sino también a nivel de gerencia.

Para poder satisfacer estos requerimientos, que implica que en una red industrial moderna deban coexistir equipos de todo tipo, es necesario agruparlos en una forma jerárquica, de tal forma que se optimice su uso, administración y mantenimiento.

Nivel de Gestión: Se encarga de integrar los niveles inferiores a una estructura organizada y jerárquica. Las máquinas en este nivel sirven de enlace entre el proceso productivo y el área de gestión, en la cual se requiere información sobre ventas, tiempos de producción, repuestos en bodega, etc. Emplean redes tipo LAN y WAN que funcionan bajo protocolos como Ethernet y TCP/IP.

Nivel de Control: Se encarga de enlazar y controlar los distintos procesos, líneas de producción de una planta industrial. A este nivel se sitúan los PLCs de gran desempeño y poder, así como computadoras destinadas a diseño, control de calidad, programación. Suelen emplear redes tipo LAN que funcionan bajo el protocolo Ethernet y/o Ethernet Industrial.

Nivel de Campo y Proceso: Aquí se realiza la integración de la información generada y requerida por los procesos de campo automáticos y controlados que utilizan PLCs y Controladores, multiplexores de Entrada / Salida (I/O), controladores PID, etc., conectados en sub – redes. Aquí es frecuente encontrar uno o varios autómatas modulares, actuando como maestros. En este nivel se emplean los buses

o redes industriales de campo que funcionan bajo protocolos como Fieldbus, Profibus, por mencionar algunos.

Nivel de I/O: Es el nivel más próximo a las variables físicas de la planta. Aquí se hallan los sensores (transmisores) y actuadores encargados de medir y controlar los procesos productivos, respectivamente. Basados en la información que se recoge en este nivel, aplicaciones de control toman las decisiones necesarias que garantizan una correcta automatización. En este nivel se emplean protocolos como: Seriplex, Hart, CanBus, etc.

Una planta industrial organizada de esta forma requiere de sistemas: SCADA, DCS, Muliplexores y HMIs. Vale indicar que un diagrama representativo de una planta organizada de esta forma suele parecer ser simple. Líneas que unen un bus con otro, ocultan la complejidad que en realidad existe. Desde ya debe entenderse que la unión no es solamente asunto de unir eléctricamente un bus con otro, sino lograr que dos protocolos diferentes puedan comunicarse entre si. Para esto hay dispositivos especialmente diseñados con este propósito cuyos protocolos (como el Ethernet/ModbusRTU) y funcionamiento se estudiará más adelante.

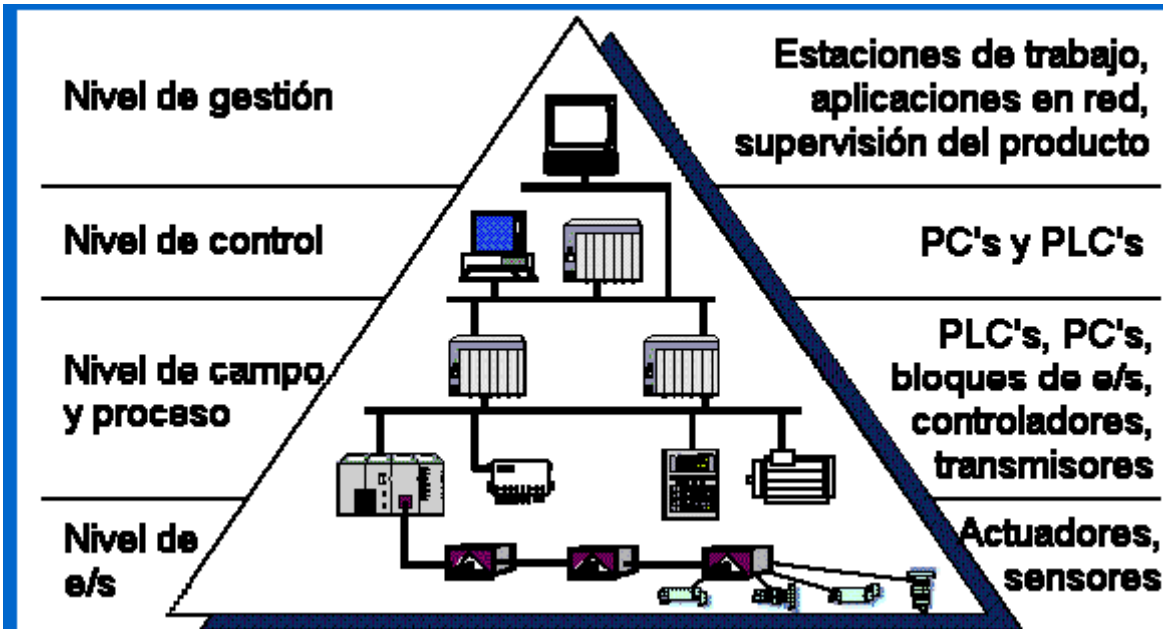


Figura 3.1. Niveles de una red industrial

En la estructura descrita, es importante recalcar lo siguiente: en algún punto deben unirse las redes de campo (CANBus, DeviceNet, etc.) con las redes Ethernet. ¿Con qué propósito? Ethernet es el protocolo de mayor difusión en las redes administrativo-financieras-educativas; por lo mismo, es la red a la que están conectados dueños de empresas, gerentes, administradores, economistas que inmediatamente podrían tener acceso a datos como: unidades vendidas, fallas en los procesos, cantidades de materia prima, etc., todos estos datos que posibilitan gerencias mejor una planta industrial.

Por otro lado, vía Ethernet se tiene un camino al INTERNET, lo que permite llegar a la tele-supervisión de un proceso industrial, con las ventajas que esto implica. A continuación se explica como se puede lograr este nivel de conectividad.

Para entender como opera una red digital, es necesario recurrir al modelo OSI que en la práctica sirve como una fuente de referencia o punto de partida general para todos los protocolos de comunicación, incluyendo los industriales.

3.1. EL MODELO OSI

En los comienzos de las redes digitales, muchas redes se desarrollaron utilizando hardware y software diferentes. Como resultado, muchas de las redes resultaron incompatibles y les resultó muy difícil poder comunicarse entre sí. Para solucionar este problema, la Organización Internacional para la Normalización (ISO) consideró que era necesario crear un modelo de red que pudiera ayudar a los diseñadores a implementar redes que pudieran comunicarse y trabajar en conjunto (interoperabilidad) y que sigan la filosofía de brindar una arquitectura abierta (Open). Del análisis realizado elaboraron el modelo de referencia OSI en 1984.

El problema a resolverse era cómo conectar varios nodos (computadoras, impresoras y, ahora PLCs) a un mismo medio físico y lograr que estos intercambien su información sin errores; esto es, lograr que se identifiquen entre si para que un mensaje o dato que sale de un remitente llegue al destinatario correcto. Para resolver el problema de las redes de medio compartido (Shared media) se recurrió a dividir el gran problema de la conectividad en varios problemas más simples. El resultado fue un modelo de conectividad por capas.

El número de capas, el nombre de las capas, su función defieren de una arquitectura de red a otra. En todo caso, la idea básica fue reducir un problema grande en varios problemas más pequeños, y más fáciles de entender e implementar.

Hacer un diseño por capas o niveles tiene como propósitos:

1. Reducir la complejidad del diseño de cada capa,
2. Aislar del resto de capas el proceso de diseñar e implementar los servicios proporcionados por una capa.
3. Mantener el concepto de que cada capa ofrece ciertos servicios a la capa superior, y
4. Que la capa n de una estación converse con la capa n de la otra estación (el **protocolo de la capa n**).

Las entidades que están en una misma capa de diferentes estaciones se relacionan como **SOCIOS (PEERS).** De aquí se dice que dos estaciones se comunican entre si logrando que cada capa se comunique con su igual en la otra estación, usando el protocolo de dicha capa. Esto es lo que se denomina una conexión peer-to-peer (par-a-par). Por otro lado, se dice que una capa se conecta con una superior a través de “interfaces”.

Si para cada capa están bien definidas las funciones que cada una debe hacer, se consigue consecuentemente:

1. Reducir la cantidad de datos que deben pasar de una capa a otra,
2. Reemplazar con facilidad la implementación de una capa por otra totalmente distinta, con tal que siga proporcionando el mismo juego de servicios. Es decir, se promueve el concepto de arquitectura abierta.

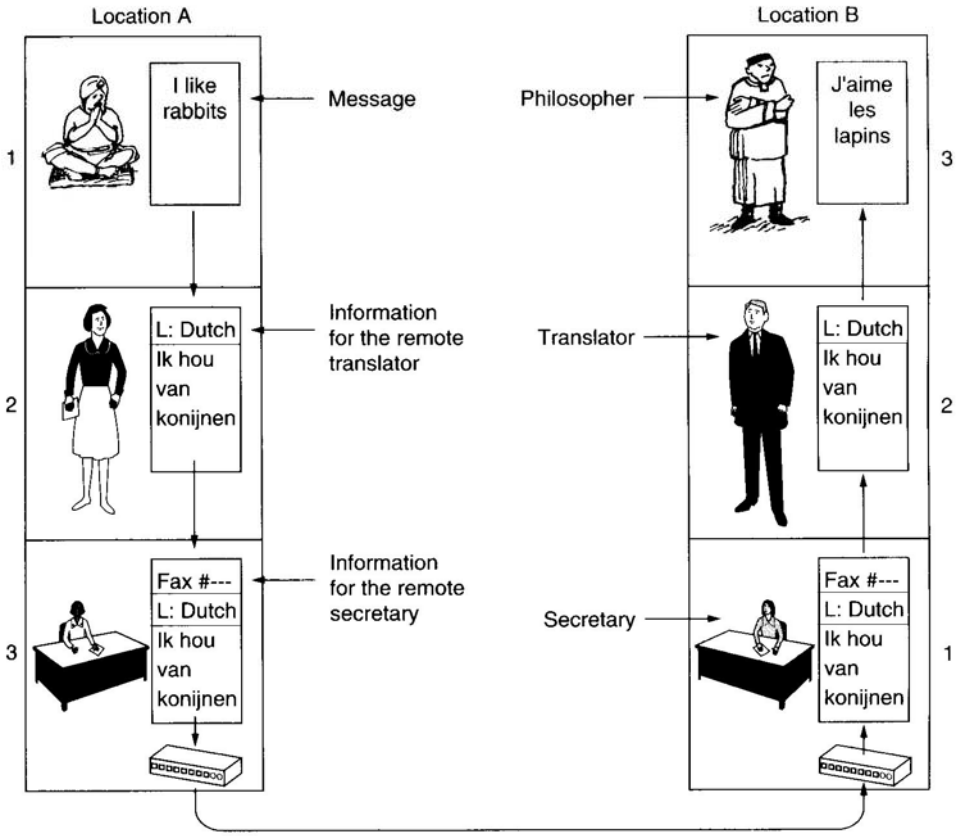


Figura 3.2. La arquitectura jefe-traductor-secretaria

La analogía típica jefe-traductor-secretaria sirve muy bien para explicar los conceptos de capas y protocolos.

En la analogía de la arquitectura jefe-traductor-secretaria, el servicio en la capa 2 es el de traducción y el protocolo es el lenguaje. Note que el protocolo de una capa es independiente del de las otras capas y se puede cambiar a voluntad (por ejemplo de holandés a alemán) siempre y cuando se siga proporcionando el mismo servicio (traducción). En la capa 3 el protocolo es el fax y bien se lo puede cambiar a correo electrónico o teléfono.

De la analogía presentada se puede ver que los datos podrán viajar desde el origen hasta su destino, a través de la red, siempre que estos dispositivos hablen el mismo lenguaje o *protocolo*.

Un *protocolo* es un conjunto de reglas que hacen que la comunicación en una red sea más eficiente. Un protocolo de comunicaciones de datos se dice que es: un conjunto de normas, o un acuerdo, que determina el formato y la transmisión de los datos.

El modelo de referencia OSI que la ISO propuso permite que los usuarios vean funciones simples implementadas en cada capa. Más importante aún, el modelo de referencia OSI es un marco de referencia que permite visualizar cómo la información o los paquetes de datos viajan desde los programas de aplicación (correo electrónico, hojas de cálculo, etc.), a través de un medio de red (cables, fibra, etc.), hasta otro programa de aplicación ubicado en otro computador de la red.

Al final, el problema de la comunicación entre computadoras se dividió en siete problemas más pequeños y de tratamiento más simple. Las siete capas del modelo de referencia *OSI* son:

OSI Layer Name	Functional Description	Examples
Application (Layer 7)	Interface between network and application software	Telnet, HTTP
Presentation (Layer 6)	How data is presented Special processing, such as encryption	JPEG, ASCII, EBCDIC
Session (Layer 5)	Keeping data separate from different applications	Operating systems and application access scheduling
Transport (Layer 4)	Reliable or unreliable delivery Multiplexing	TCP, UDP, SPX
Network (Layer 3)	Logical addressing, which routers use for path determination	IP, IPX
Data link (Layer 2)	Combination of bits into bytes, and bytes into frames Access to the media using MAC address Error detection and error recovery	802.3/802.2, HDLC
Physical (Layer 1)	Moving of bits between devices Specification of voltage, wire speed, and cable pinouts	EIA/TIA-232, V.35

Cada capa del modelo OSI ejecuta un conjunto de funciones para que los paquetes de datos puedan viajar por la red desde el origen hasta el destino. Cada capa añade un **encabezado (header)** al frente de cada mensaje, encabezado que es solamente para su socio en la estación destino, y pasa el resultado a la capa siguiente. En este curso no interesa detallar lo que contienen los headers, sino tan solo enfatizar que los datos son “encapsulados” por cada capa antes de ser entregados a la capa inferior.

La Figura 3.2 es una representación del encapsulamiento. Los datos originados por una aplicación en la estación remitente recorren todas las capas en sentido descendiente, y cada capa añade su propio header.

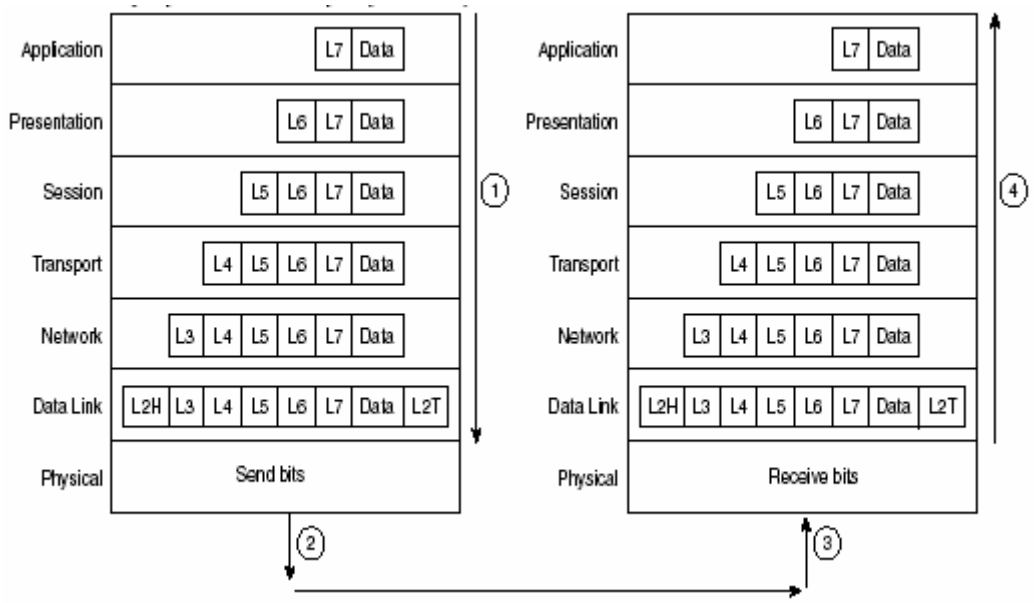


Figura 3.2. Ilustración del encapsulado

No es materia de este curso analizar lo que hacen las tres capas superiores del modelo OSI, aparte del encapsulamiento. Pero a partir de la capa de transporte ocurren hechos que es pertinente conocer.

Capa 4: La capa de transporte

En la capa de transporte, los datos que se envían de una máquina a otra se dividen en segmentos. Esto se hace para optimizar la respuesta de la red a los usuarios, al no permitir que uno de ellos acapare la red, particularmente si el archivo que está trasmitiendo es muy grande. Se dice que al segmentar un archivo se da oportunidad a que el resto de máquinas conectadas a la red tengan oportunidad de transmitir.

La segmentación coincide con la tecnología de conmutación de paquetes que se emplea en la conectividad entre redes. La capa de transporte segmenta los datos originados en el dispositivo emisor y en el dispositivo receptor los reensambla.

Puesto que en la transmisión por conmutación de paquetes, cada segmento puede ir por diferente camino, es posible que los paquetes lleguen en desorden. Un número secuencial que se añade en esta capa ayuda a reensamblar los paquetes en el orden correcto, así como identificar un paquete perdido que no llegue o llegue dañado.

Capa 3: La capa de red

En esta capa es donde se comienzan a fijar las condiciones para que las estaciones puedan diferenciarse e identificarse entre si, condición indispensable para que puedan enviar y recibir datos sin equivocación. Para conseguir esta identificación, en el encabezado se ingresa la así denominada dirección lógica, tanto del remitente como del destinatario. La dirección lógica que con más frecuencia se añade en la capa de red es la dirección IP.

El Protocolo Internet (IP) es el más popular para proveer de dirección a un dispositivo conectado en red. De hecho, IP es el protocolo de red que usa el Internet. En la capa de red, los datos (es decir los segmentos) se encapsulan y forman un paquete (también denominado datagrama). El protocolo IP incluye en el encabezado del paquete, entre otras cosas, las direcciones IP tanto del remitente como del destinatario.

Las direcciones IP son de la forma: 192.168.15.41; es decir, cuatro números decimales separados por un punto. Estos números varían de acuerdo a la clase de dirección.

Hay tres clases de direcciones IP que una organización puede recibir de parte del Registro Americano de Números de Internet (ARIN) que posee delegados en cada país, o del proveedor de INTERNET (ISP) de la entidad solicitante: Clase A, B y C.

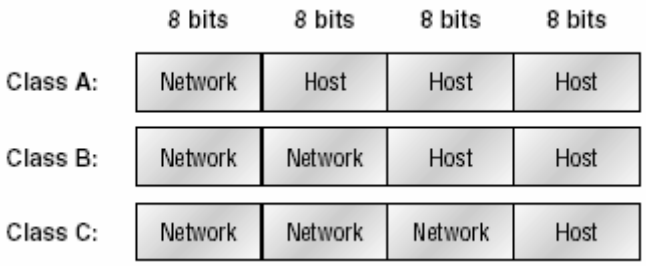


Figura 3.3. Clases de direcciones IP

En la actualidad, ARIN reserva las direcciones Clase A para los gobiernos de todo el mundo, las direcciones Clase B para las medianas empresas. Se otorgan direcciones Clase C para todos los demás solicitantes.

La capa de red, con la ayuda de las direcciones IP, proporciona conectividad entre dos estaciones que incluso pueden estar ubicados en redes geográficamente distintas.

Cabe aclarar que el empaquetamiento IP será necesario en las redes industriales siempre que se desee enviar los datos de un proceso a través de las redes LAN tipo ETHERNET.

3.1.1. EL PROTOCOLO TCP/IP

Este protocolo fue el resultado de la investigación y desarrollo realizado por el Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) sobre la red experimental con conmutación de paquetes ARPANET.

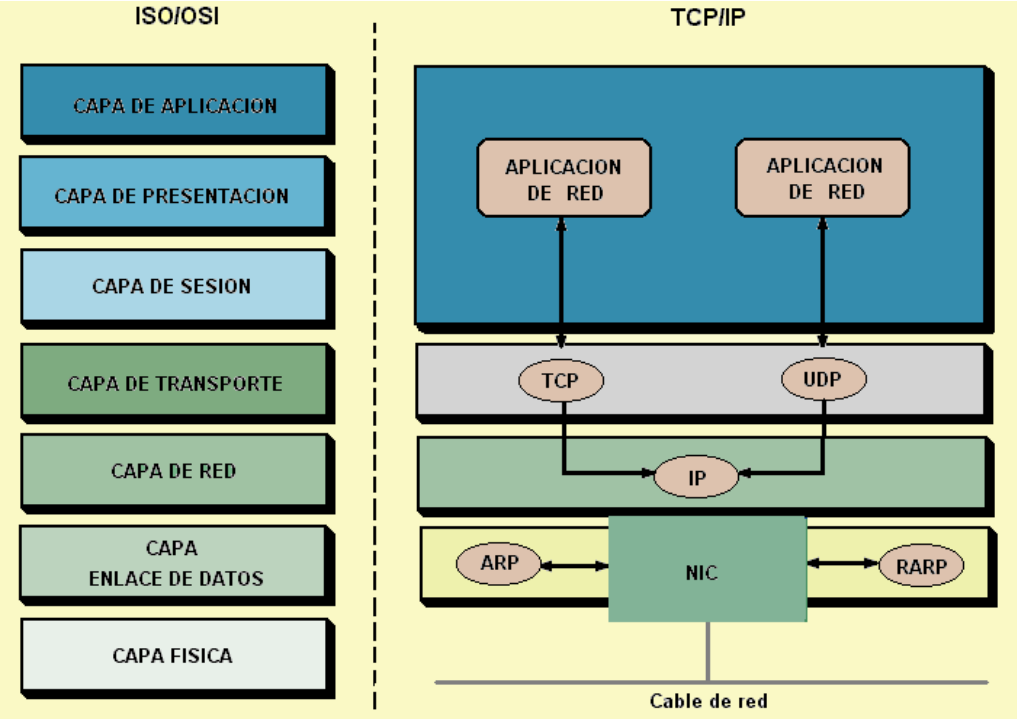


Figura 3.6. Comparación entre OSI y TCP/IP.

En realidad consiste de un juego de protocolos tal como se muestra en la Figura 3.6.

En comparación con el modelo OSI, se puede notar inmediatamente que las capas de: Presentación y Sesión no existen. La capa de aplicación del modelo TCP/IP en cierta forma realiza sus funciones. En lugar de la capa de red se tiene la capa Internet y las capas de enlace de datos y física se reemplazan con la capa de Acceso a la Red (Network Access).

Es obligatorio conocer al modelo TCP/IP pues la gran mayoría de las redes a nivel mundial funcionan bajo este protocolo. Si un dispositivo de una red industrial debe conectarse por medio de una red tipo Ethernet o Internet a otro dispositivo en otra red, deberá necesariamente encapsular sus datos con los estándares que se maneja en TCP/IP, en particular deberá usar las direcciones IP.

Capa 2: La capa de enlace de datos

La capa de enlace de datos añade información que procura el tránsito de datos confiable a través del enlace físico. Para hacerlo, esta capa recibe los datos y los pone en tramas (frames) previo a su envío. Dentro de la trama incluye la así denominada dirección física (no es lo mismo que la lógica) tanto del remitente como del destinatario. A las direcciones físicas se les conoce como dirección MAC pues en esta capa se ejecuta la importante tarea denominada: Control de Acceso al Medio (protocolo MAC) que se estudia más adelante. Sin estas direcciones no es posible enviar un dato al destinatario correcto, ni identificar al remitente en caso se requiera responderle. Si no existieran las direcciones MAC, se tendría un grupo de computadores sin nombre en una red.

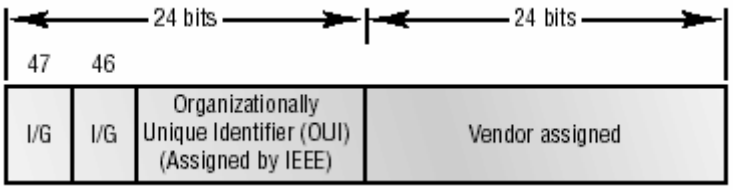


Figura 3.4. La dirección física MAC

La dirección física consta de 48 bits. El identificador: *Organizationally Unique Identifier (OUI)* es asignado por el IEEE a una organización que desee dedicarse a la fabricación de dispositivos de internetworking. Cada organización, a su vez, asigna una dirección (24 bits) que es única para cada adaptador que se manufacture, asegurándose que no haya dos números iguales. Esta dirección se programa en un chip de la NIC. Las direcciones MAC se escriben con números hexadecimales: 34-F3-A2-89-9F-BD

En las redes industriales no se usa la dirección MAC como tal para identificar a los PLCs o dispositivos de campo "inteligentes", pero si se usa su concepto. Las direcciones "tipo MAC" de los dispositivos de campo, como se verá más adelante, son números sencillos que se asignan o escogen de acuerdo al criterio del operador que administra la red. En otros casos los fabricantes asignan una misma dirección a sus dispositivos de campo, que debe ser modificada por el administrador de la red para hacerla única.

Pero, si un dispositivo de campo, desde una red de campo, desea comunicarse con una red tipo Ethernet, necesariamente deberá emplear una dirección MAC para los mensajes que desee transmitir. O, lo que es lo mismo, deberá encapsular sus datos en una trama que sea entendida por la red Ethernet o Ethernet Industrial (Industrial Ethernet). Este principio es muy vital y se le debe dar la importancia del caso si se desea entender como se produce la interconectividad entre redes que manejan protocolos diferentes. Más adelante se detallará más sobre este tema, cuando se habla sobre como los dispositivos de una red comparten

Para manejar un lenguaje común, es importante recalcar en los nombres para los grupos de datos que se manejan en ciertas capas en particular. Después de que las Capas 7, 6 y 5 han agregado sus respectivos headers, la Capa 4 agrega más información. Este agrupamiento de datos, la PDU de la Capa 4, se denomina "*segmento"*.

La capa de red a su vez encapsula los datos agregando su encabezado, con lo que crea un "paquete" (PDU de Capa 3).

La capa de enlace de datos encapsula la información de la capa de red y forma una *trama* (la PDU de Capa 2). Es la única capa donde también se añade una cola (trailer). El header y trailer están compuestos por una combinación especial de unos y ceros (bits) para su transmisión a través del medio (generalmente un cable) en la Capa 1, para lograr que se reconozca donde comienza y donde termina la trama.

A nivel de la capa física la unidad de trasporte es el bit.

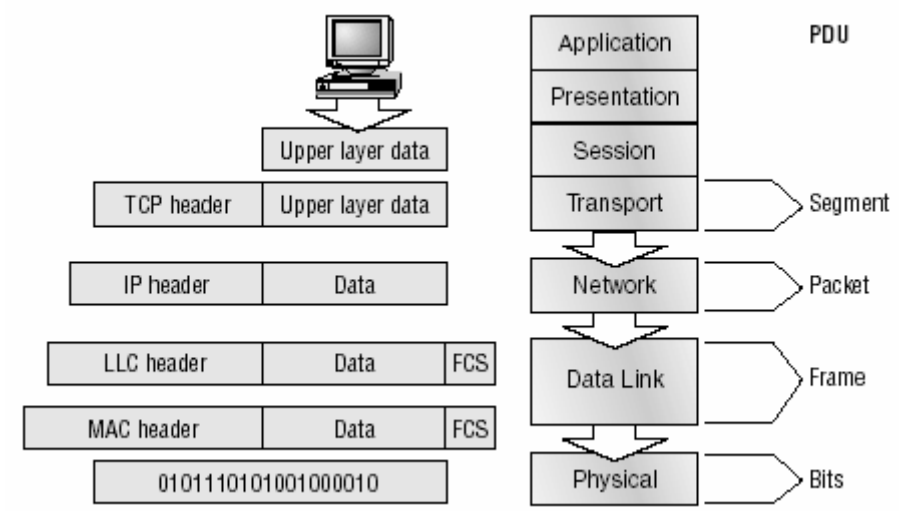


Figura 3.5. PDUs en las capas inferiores.

3.2. CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

Una vez que se han conectado las máquinas a un medio físico compartido, a más de las direcciones lógicas y físicas que identifican individualmente a cada estación, es necesario que se establezcan reglas entre los dispositivos que están compartiendo dicho medio, para ponerse de acuerdo en como usarlo. Estas reglas constituyen los protocolos de acceso al medio, o protocolos MAC (Media Access Control).

Dicho de otra manera, el control de acceso al medio se refiere entonces a los protocolos que determinan cómo y cuál de los computadores, PLCs o dispositivos de campo inteligentes en una red compartida puede transmitir los datos.

Hay tres métodos de Control de acceso al medio:

3.2.1. CSMA/CD

Los protocolos MAC no determinísticos utilizan una metodología de acceso que sigue la regla de *el primero que llega, el primero que se sirve* (*FCFS*). El ejemplo actual de este protocolo MAC es el denominado: acceso múltiple con detección de portadora y detección de colisiones (CSMA/CD).

CSMA/CD es un sistema sencillo. Todas las estaciones que pertenecen a la red esperan a que el medio esté libre (detección de la portadora), momento en el cual es posible realizar la transmisión. Sin embargo, si dos estaciones trasmiten al mismo tiempo se produce una colisión. En este caso, ambas transmisiones se dañan y las estaciones deben volver a transmitir más tarde.

Todas las demás estaciones que se encuentran en la red escuchan que se ha producido una colisión (detección de colisión), esperan hasta que todo esté en silencio, e intentan volver a realizar la transmisión luego de esperar un tiempo aleatorio. Las estaciones que provocaron la colisión tienen menor derecho para

volver a transmitir. Las estaciones que pertenecen a una red manejada de esta forma se dice que pertenecen a un mismo dominio de colisión.

Las colisiones son normales en las redes CSMA/CD, pero un número excesivo de estas puede afectar negativamente el rendimiento de la red en cuanto a velocidad de transmisión se refiere y por esta razón se han ideado equipos y mecanismos para segmentar las redes y así reducir las colisiones dividiendo un gran dominiode colisión en varios dominios de colisión más pequeños. Otra medida simple, por ejemplo, consiste en limitar el número de estaciones conectadas a un mismo dominio de colisión.

El método de acceso CSMA/CD es el adoptado por las redes Ethernet que, como se ha indicado varias veces, es la de más amplia difusión a nivel mundial.

Una red Ethernet se dice que es tipo “broadcast” en la que un mensaje que es generado por una estación es escuchada por todas las demás. Cada estación debe examinar todas las tramas que recibe para determinar si son el destino de esa trama. De ser así, la trama es aceptada y pasa a la capa superior para su adecuado procesamiento.

Si bien las redes de campo industriales no usan el protocolo Ethernet, es importante conocer al menos el resultado de encapsular los datos en este tipo de redes hasta formar la denominada “trama (Frame)” Ethernet.

La trama contiene los campos siguientes:

Ethernet						
7	1	6	6	2	46-1500	4
Preámbulo	Inicio de delimitador de trama	Dirección destino	Dirección origen	Tipo	Datos	Secuencia de verificación de trama

Figura 3.8. Trama Ethernet

Si los dispositivos de una red desean comunicarse con otros empleando Ethernet, deben hacerlo encapsulando sus datos en concordancia con la trama arriba descrita. De allí la importancia de al menos recordar el nombre y orden de los campos. Si las tramas que se envían desde una red a otra no son iguales, no es posible que haya comunicación entre ellas. De aquí que, como corolario, se debe entender que en Ethernet Industrial, las tramas deben ser encapsuladas siguiendo el formato indicado en la Figura 3.8.

Puesto que no se puede garantizar que una estación transmita en su primer intento, este mecanismo de acceso se evita en las redes de campo industriales. No se puede permitir que un sensor que acaba de detectar una situación peligrosa para un proceso, tenga que competir con el resto de dispositivos para enviar su información y se tomen las medidas de corrección necesarias. Si hay procesos críticos en una planta industrial, conviene hacer un segmento de red de campo o una celda (no una LAN) para el mismo, en el que las decisiones las tomaría un PLC o un controlador;

en otras palabras, se estaría hablando de un sistema de control distribuido, DCS, para esa parte del proceso.

Sin embargo, esta competencia sí puede ser tolerada en los niveles jerárquicos superiores de los sistemas SCADA, en donde se emplea la tecnología de las redes LAN (es decir, Ethernet) para el trasporte de la información.

Para las plantas industriales se ha desarrollado lo que se conoce como Ethernet Industrial que, siguiendo los estándares de Ethernet, ha sido adecuado, en particular en la parte física, para hacerle resistente a las rigurosidades de un ambiente de trabajo industrial. Las redes Ethernet industriales se conectan con facilidad a las LAN Ethernet tradicionales, para llegar al tope del nivel jerárquico de un sistema SCADA. Sin embargo, se debe aclarar que una red tipo Ethernet Industrial deberá implementarse en aquellas áreas de un proceso donde no sea crítica la detección de ciertas variables en tiempo real. O también, en aquellas áreas donde lo único qu se esté buscando es acoplar las redes de campo con las redes Ethernet administrativo – financieras.

3.2.2. TOKEN PASSING

Otro tipo de protocolos de acceso al medio son los determinísticos. Los protocolos MAC determinísticos utilizan la estrategia de "esperar hasta que le llegue su turno". El turno es determinado por una trama especial (el token) que pasa por cada estación dándole autorización para transmitir, si esta tiene que hacerlo.

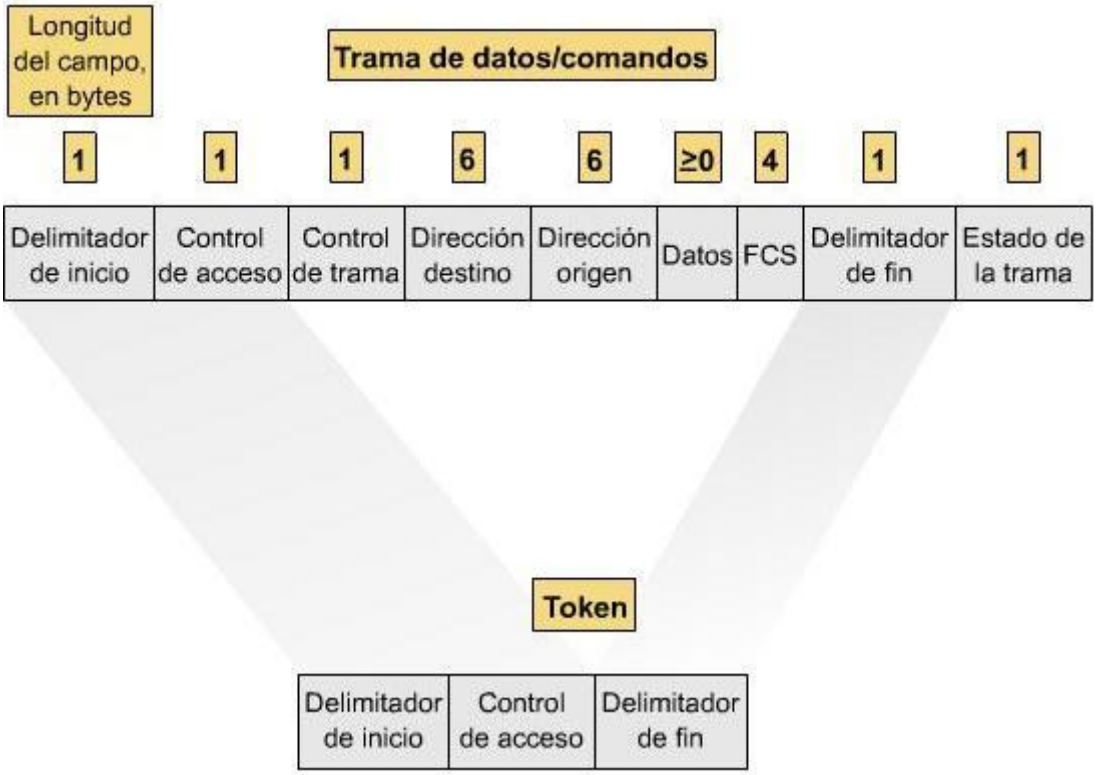


Figura 3.9. Trama Token Ring.

Los tokens tienen una longitud de 3 bytes y están formados por un *delimitador de inicio*, un *byte de control de acceso* y un *delimitador de fin*. El delimitador de inicio alerta a cada estación ante la llegada de un token o de una trama de datos/comandos. Este campo también incluye señales que distinguen al byte del resto de la trama al violar el esquema de codificación que se usa en otras partes de la trama.

Este método de acceso se ha implementado en las redes denominadas *Token Ring*. En una red Token Ring, las estaciones individuales se conectan formando un anillo y el token circula alrededor del anillo. Cuando una estación desea realizar una transmisión, toma el token y le modifica 1 bit. El token se transforma en una secuencia de inicio de trama. A continuación, la estación agrega al token la información para transmitir y envía estos datos a la siguiente estación del anillo. No hay ningún token en la red mientras la trama que trasporta los datos gira alrededor del anillo y las otras estaciones del anillo no pueden realizar transmisiones. Deben esperar a que el token esté disponible. Las redes Token Ring no tienen colisiones.

La trama con los datos gira alrededor del anillo hasta que llega a la estación destino, que copia la información para su procesamiento. También le cambia un bit para informar a la estación destino que el mensaje llegó a su destino correctamente. La trama con los datos gira alrededor del anillo hasta que llega a la estación emisora donde se elimina luego de verificar que la trama se recibió y se copió en el destino.

A diferencia de las redes CSMA/CD, las redes de transmisión de tokens son determinísticas. Esto significa que se puede calcular el tiempo máximo que transcurrirá antes de que cualquier estación terminal pueda realizar una transmisión. Esta característica, y otras de confiabilidad, hacen que las redes Token Ring sean ideales para las aplicaciones en las que cualquier demora deba ser predecible y en las que el funcionamiento sólido de la red sea importante. Esto es precisamente lo que se busca en los procesos industriales y de allí que token passing es una tecnología que si se usa a nivel de las redes de campo industriales.

Las redes Token Ring emplean la codificación Manchester diferencial para la transmisión de los datos. Por toro lado, si bien su topología lógica es en anillo, su topología física es en estrella.

3.2.3. Polling

Este protocolo de acceso es muy popular en las redes industriales. Una estación, que en un determinado momento hace de “Maestro”, secuencialmente va interrogando (polling) al resto de dispositivos que están en la red (esclavos) y recogiendo la información si el dispositivo interrogado tiene algún dato.

En este esquema el maestro tiene el control del acceso al medio, existiendo dos posibilidades: o es el maestro el que ocupa el medio físico, o la esclava que fue consultada por la maestra, que y esta respondiendo.

Las esclavas solo envían mensajes cuando la maestra así lo solicita. Hay dos tipos de transacciones:

Consulta –respuesta (Query-response): Cada esclava tiene una dirección (address) única.
Difusión sin respuesta (broadcast/no response) Todas reciben y ninguna contesta.

El maestro envía un mensaje específico al esclavo y espera un tiempo específico hasta que este responda. El esclavo debe responder sea enviando el dato o enviando un mensaje corto para indicar que no tiene datos a trasmitir. Si el dispositivo no responde dentro del tiempo fijado, el maestro asume que el esclavo tiene algún problema y continúa interrogando al resto de esclavos.

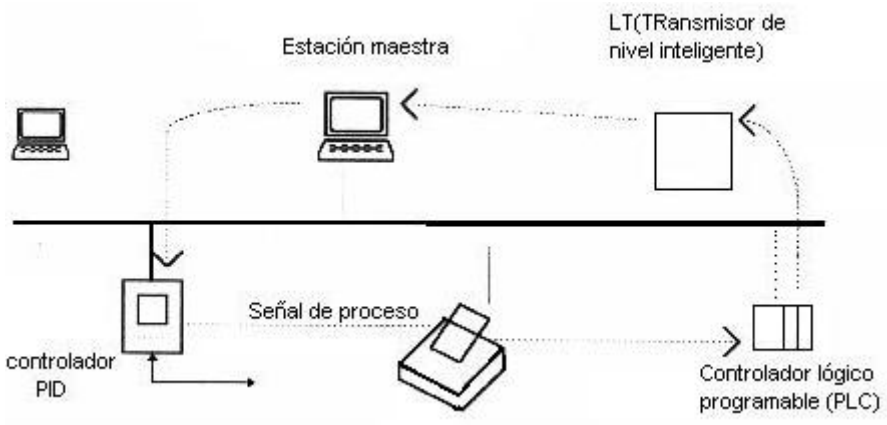


Figura 3.10. Esquematización de Pooling.

La comunicación de datos entre esclavos es ineficiente pues todo debe hacerse a través del maestro. Puesto que las configuraciones de comunicación Maestro / Esclavo utilizan este método de acceso, polling es referido a veces como método de acceso Maestro / Esclavo.

Vale aclarar que una red Maestro / Esclavo se diferencia de una tipo polling en que hay una estación Maestro definida, mientras que en polling cualquier estación puede actuar de maestro.

Capa 1: La capa física

La capa física es la que convierte los bits lógicos en bits eléctricos o de luz, dependiendo del medio empleado para la conexión. Aquí se define las especificaciones eléctricas, mecánicas, tipos de medio, niveles de voltaje, sincronización, velocidad de transferencia, distancias de transmisión máximas, conectores físicos. Este tema se amplia a continuación.

3.3. TOPOLOGÍAS FÍSICAS DE UNA RED

Desde el punto de vista físico, las redes pueden conectarse siguiendo una de las topologías que se indican a continuación:

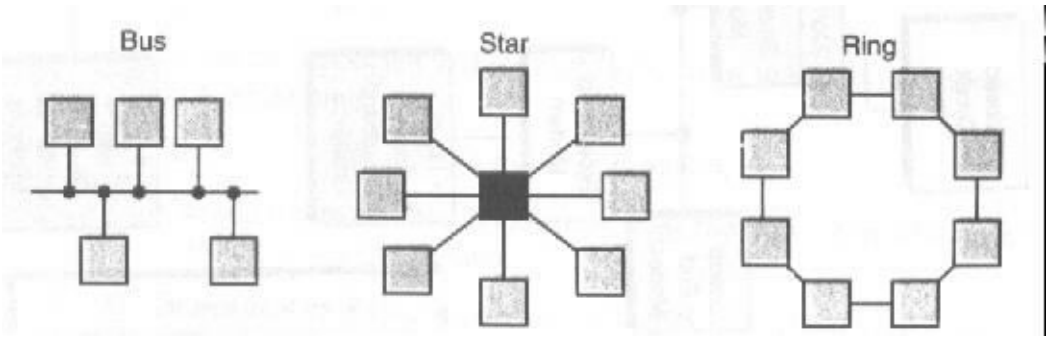
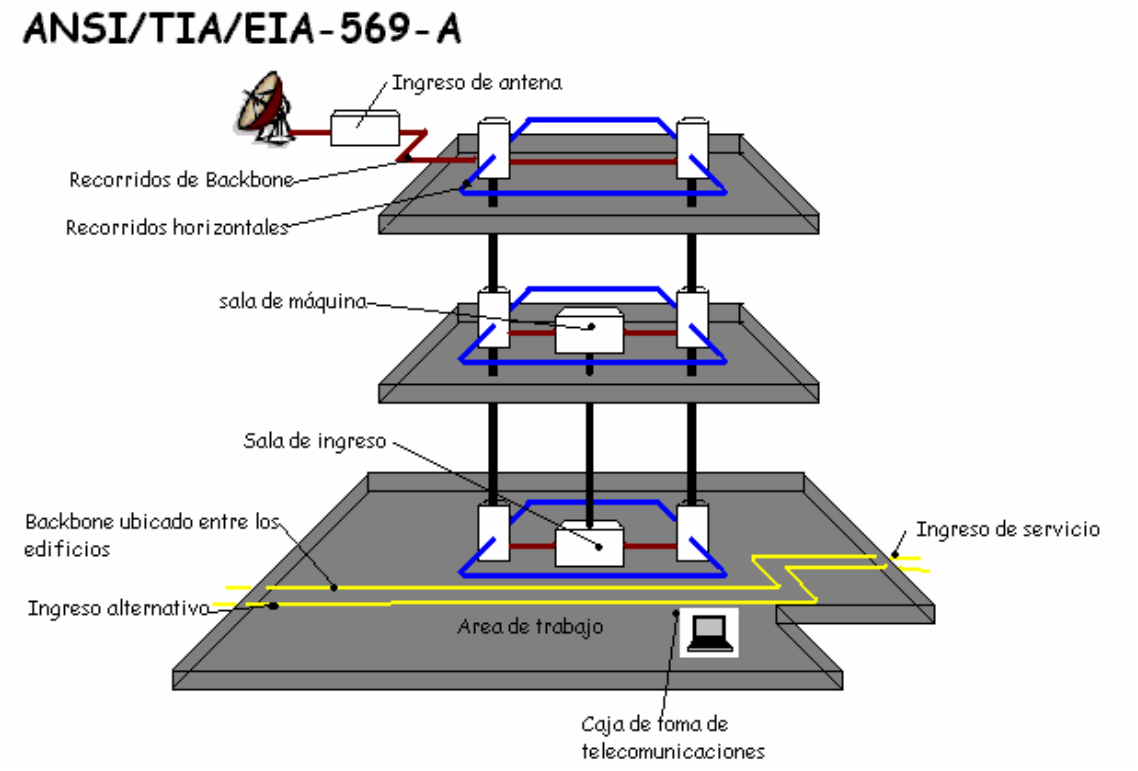


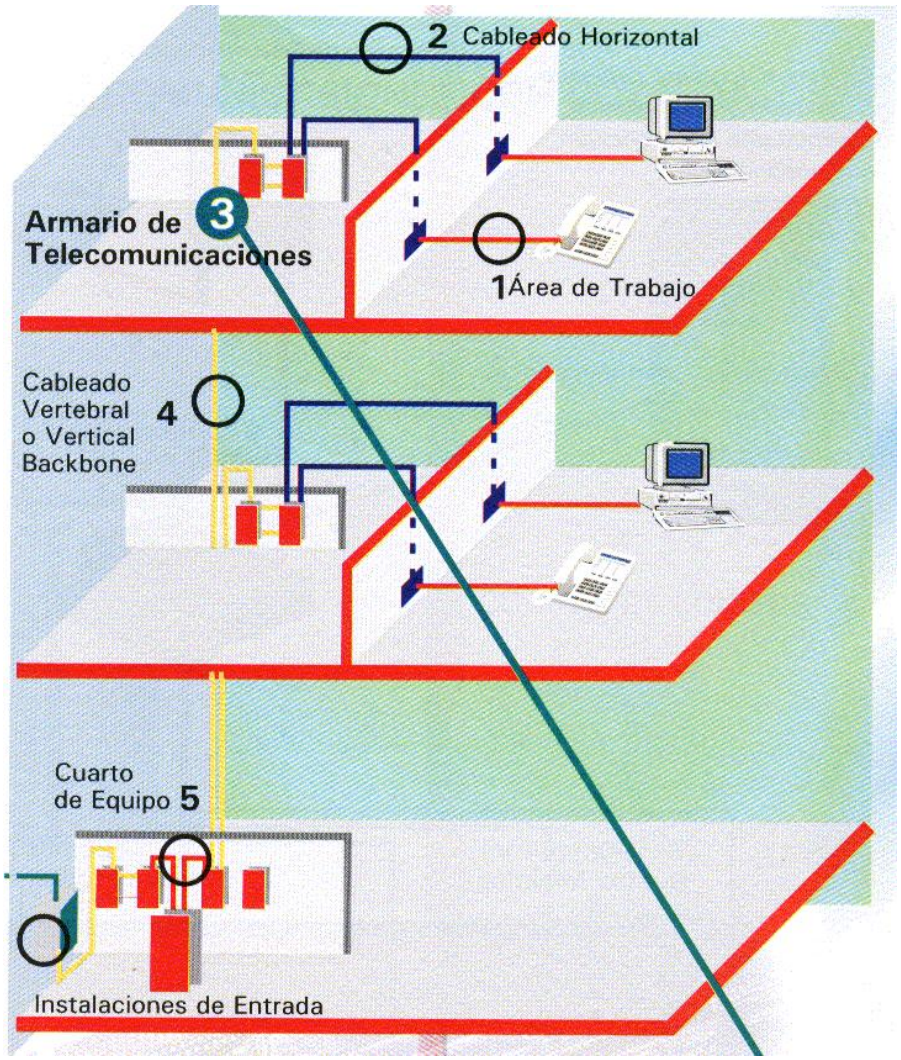
Figura 3.11. Topologías físicas de una red

Todas estas topologías todavía están vigentes en las redes de campo industriales, a diferencia de las redes administrativo financieras que han favorecido las topologías: Estrella y Estrella Extendida para las redes LAN.

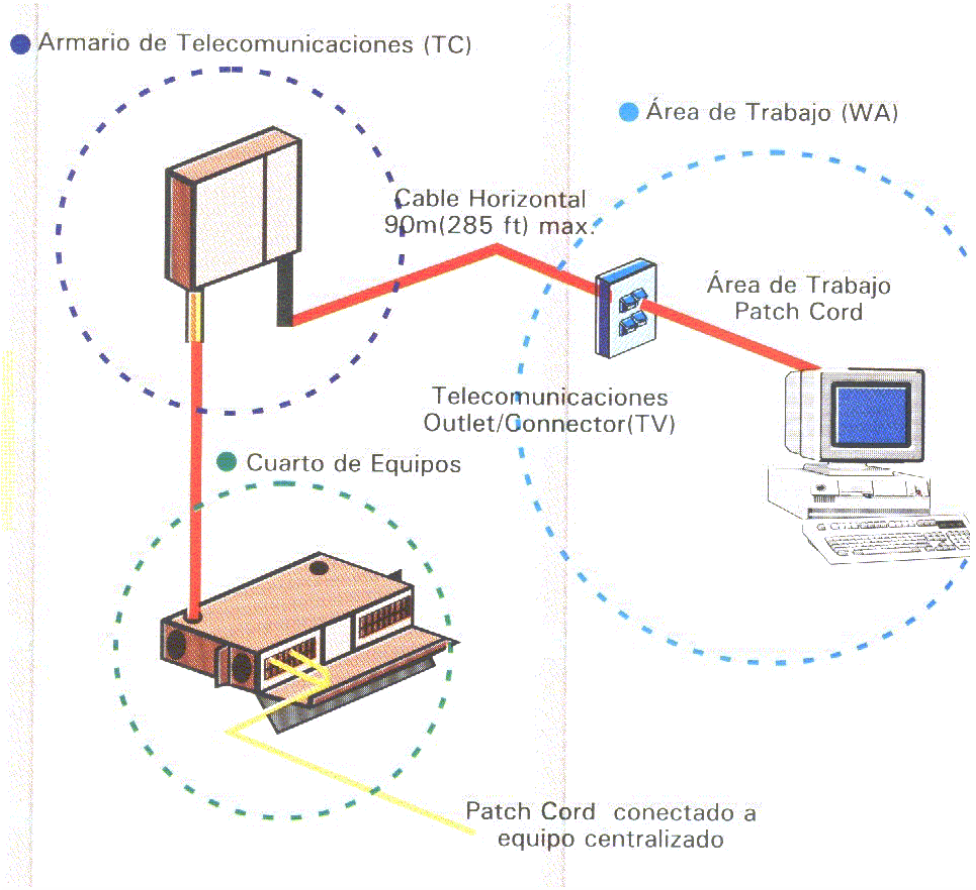
El estándar TIA/EIA-568-A especifica que en una LAN Ethernet, el tendido del cableado horizontal debe estar conectado a un punto central en una topología en estrella. El punto central es el centro de cableado y es allí donde se deben instalar el panel de conexión y el hub. El centro de cableado debe ser lo suficientemente espacioso como para alojar todo el equipo y el cableado que allí se colocará, y se debe incluir espacio adicional para adaptarse al futuro crecimiento.

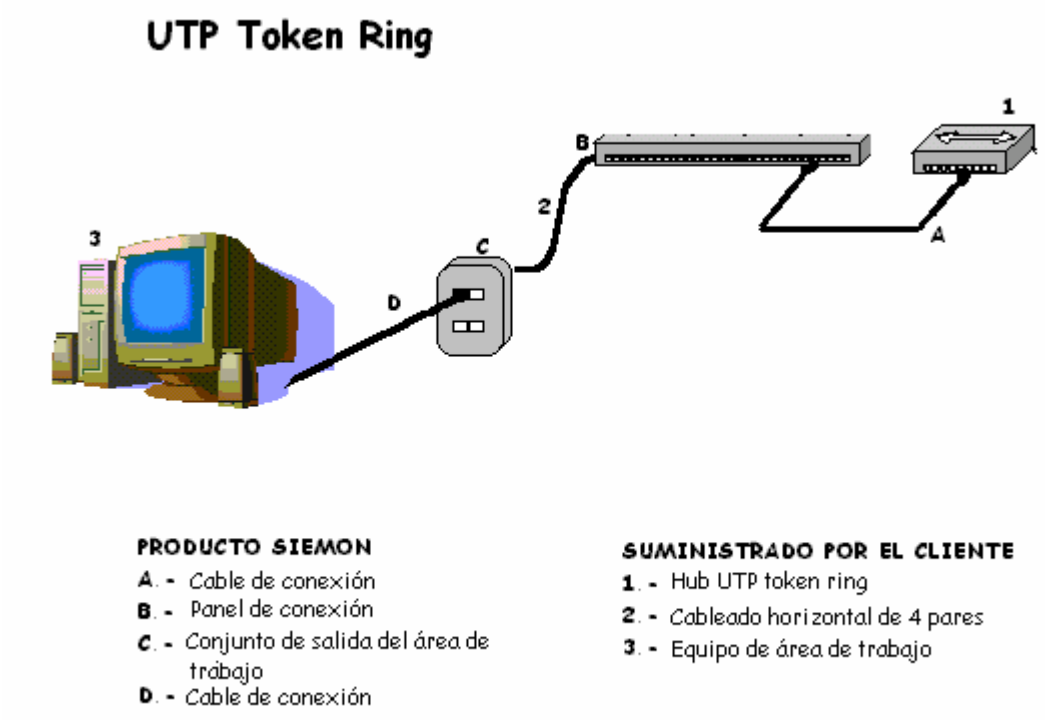
El estándar TIA/EIA-569 especifica que cada piso deberá tener por lo menos un centro de cableado y que por cada 1000 m ^{2} se deberá agregar un centro de cableado adicional, cuando el área del piso cubierto por la red supere los 1000 m ^{2} o cuando la distancia del cableado horizontal supere los 90 m.





Para conectar el cableado horizontal se especifica el uso de cable UTP y ya no es parte de la norma el empleo del cable coaxial, excepto para el backbone donde se puede utilizar el Thick Coaxial, aunque este está siendo desplazado por la fibra óptica.





La corrida (2) debe ser máximo de 90 m y los cables de empalme (match coros) tanto en el área de trabajo como en el cuarto de equipos debe ser tal que den una longitud total de 10 m.

En la Figura 3.16 se muestra dónde se usaría un cableado backbone y un cableado horizontal en una LAN Ethernet, en un edificio de varios pisos.

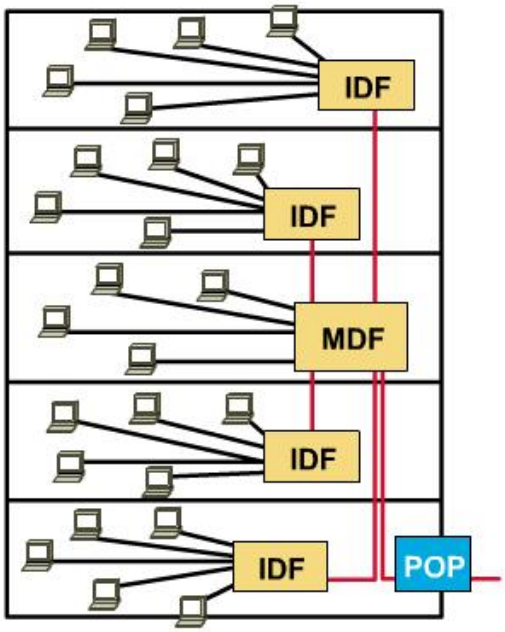


Figura 3.16. Ubicación MDF en edificio de varios pisos.

El cableado backbone (líneas verticales) conecta el POP al MDF así como también para conectar el MDF con los IDF que se encuentran ubicados en cada piso. Los tendidos de cableado horizontal se irradian desde los IDF de cada piso hacia las distintas áreas de trabajo. Cuando el MDF sea el único centro de cableado del piso, el cableado horizontal se irradiará desde allí hacia los PC de ese piso.

MULTIPLES CENTROS DE CABLEADO

Otro ejemplo de una LAN que requerirá probablemente más de un centro de cableado es la de un campus compuesto por varios edificios. La Figura ilustra las ubicaciones dónde se ha colocado el cableado backbone, horizontal y la ubicación del MDF en el medio del campus. En este caso, el POP se encuentra ubicado junto al MDF. El cableado backbone (líneas gruesas) se tiende desde el MDF hacia cada uno de los IDF. Los IDF se encuentran ubicados en cada uno de los edificios del campus. Note que el edificio principal tiene un IDF, además de un MDF, de manera que todos los computadores quedan ubicados dentro del área de captación.

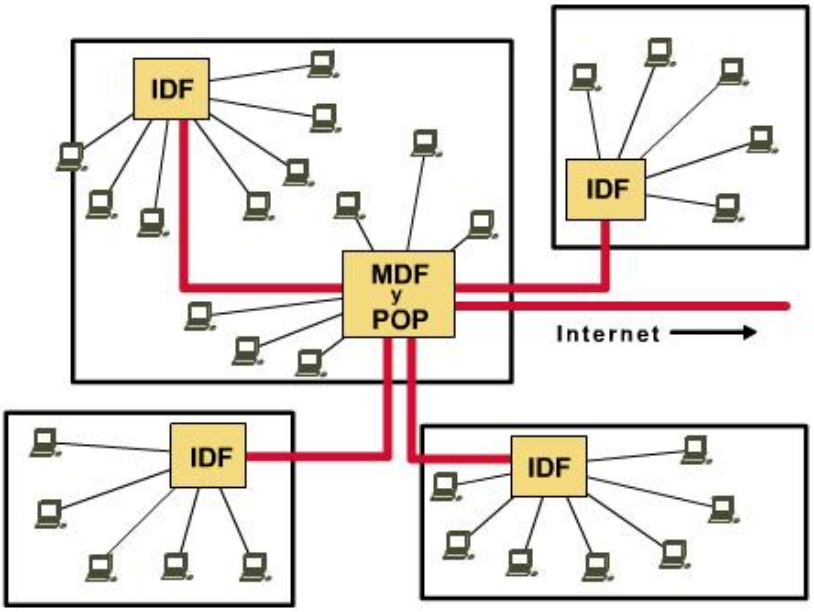


Figura 3.17. Ubicación de varios centros de cableado.

CABLEADO DE CONEXIONES PARA MDF E IDF

El cableado backbone incluye lo siguiente:

- Tendidos de cableado backbone
- Conexiones cruzadas (cross-connects) intermedias y principales
- Terminaciones mecánicas
- Cables de conexión utilizados para establecer conexiones cruzadas entre cableados backbone
    - Medios de networking verticales entre los centros de cableado de distintos pisos
    - Medios de networking entre el MDF y el POP

Medios de networking utilizados entre edificios en un campus compuesto por varios edificios.

Resumiendo, las redes ETHERNET se caracterizan por emplear como protocolo MAC el protocolo CSMA/CD. Los datos se agrupan en tramas ETHERNET versión 2 o IEEE 802.3. Emplea en la capa física cables UTP, conectores RJ45. Las corridas horizontales pueden ser da hasta 90 m, pero con los cables de empalme en las áreas de trabajo y el armario de telecomunicaciones se puede llegar hasta 100m. Se deben seguir las normas ANSI/TIA/EIA 569 A y 568 A/B para regular el tendido tanto del cable vertical como horizontal y el orden en que deben conectarse los 8 hilos del cable UTP. El protocolo CSMA/CD es probabilística, factor importante que debe ser tomado en cuenta para aplicaciones que dependan del envío de datos y que dependan del tiempo.

A continuación se estudiará lo relacionado con un nuevo estándar en uague: ETHERNET Industrial.

3.4. ETHERNET INDUSTRIAL

Prácticamente se puede decir que lo único que diferencia al Ethernet que se emplea en las redes administrativo financieras del Ethernet industrial es el cable. Mientras que para las LAN se estipula el cable UTP Cat5 p Cat 5e en Ethernet Industrial hay más opciones.

Los cables que se emplean en la industria son variantes más resistentes que los cables UTP o Fibra óptica que se usan en las redes LAN tradicionales. Esto es para poder resistir el ambiente industrial que es más agresivo. Una muestra de estos cables industriales se muestra en la Figura 3.12.

Figura 3.12. Cables Industriales.

EL CABLE ITP

El medio de transmisión más antiguo es el par trenzado cuyo uso se difundió con la telefonía. Este consiste en dos alambres de cobre aislados, en general de 1 mm de espesor, que se entrelazan en forma helicoidal.

La forma trenzada del cable se utiliza para reducir la interferencia eléctrica que puede venir desde otros cables o pares cercanos, o bien desde una fuente de interferencia EMI/RFI. La interferencia originada al tener varios pares trenzados colocados paralelamente recorriendo distancias considerables se conoce como Cross-Talk o diafonía. Los pares rechazan mejor las interferencias estando trenzados.

Por otro lado, un cable es una potencial antena simple cuando su longitud coincide con $\lambda/2$ (λ = longitud de onda de la frecuencia interferente). Este riesgo disminuye trenzando el par, pero aún así no se debe tender un par trenzado sin protección en un ambiente con bastante interferencia EMI/RFI.

Los pares trenzados se pueden utilizar tanto para transmisión analógica como digital, y su ancho de banda depende del calibre del alambre, del material del que están hechos, del tipo de alambre (unifilar, multifilar). Su rendimiento se deteriora con la distancia que recorren; en las redes LAN, por ejemplo, este efecto limita la longitud de las corridas a 100 m. Sin embargo, debido a su comportamiento adecuado y bajo costo, los pares trenzados, en la forma de variantes normalizadas, se utilizan ampliamente en las redes tanto LAN como industriales.

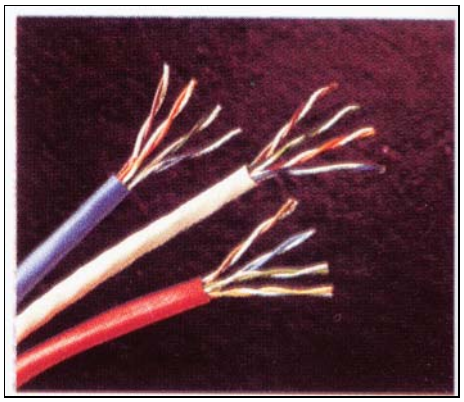


Figura 3.13. Cable UTP

Para transmisión de datos en las redes LAN se emplea una “variante” del par trenzado que se conoce como UTP (Unshielded Twisted Pair) y que tiene cuatro pares de cables (Figura 3.1.3). Una versión que se emplea en Europa, el (Shielded Twisted Pair) es un cable UTP pero con un blindaje para proteger los pares contra interferencias electromagnéticas y de radio frecuencia (EMI y RFI); por lo mismo, es más inmune al ruido y puede transportar datos a más velocidad que el UTP. La desventaja del STP es que es muy caro y difícil de manejarlo.

En las redes industriales el cable que se emplea es el ITP que se muestra en la Figura 3.14.

Figura 3.14. Cable ITP.

- 2 × 2 hilos.
- Cada dos hilos están cableados formando un par mediante dos elementos ciegos.
- Cada par está envuelto con una lámina de plástico y apantallado con láminas de aluminio forradas de plástico.
- La malla de pantalla exterior en torno a todos los pares es de hilos de cobre estañados.
- Cubierta de plástico (PVC).

El cable estándar ITP se ofrece preconfeccionado en las variantes siguientes:

- Cable estándar ITP 9/15 con un conector de 9 polos y un conector de 15 polos. Sirve para conectar directamente equipos terminales con puerto ITP a componentes de red Industrial Ethernet con puerto ITP.
- Cable estándarITP XP 9/9 con dos conectores de 9 polos. Está cruzado y sirve para conectar directamente dos componentes de red Industrial Ethernet con puerto ITP.
- Cable estándarITP XP 15/15 con dos conectores de 15 polos. Está cruzado y sirve para conectar directamente dos equipos terminales con puerto ITP.

Se caracterizan por tener doble blindaje de muy alta estanqueneidad para uso industrial donde se tiene bastante interferencia EMI/RFI y superan la categoría cinco del cable UTP de las LAN; lo que implica que se los puede emplear en aplicaciones de 100 Mbps. Se los puede utilizar, por ejemplo, para conexión entre armarios eléctricos.

Conector ITP (9 polos)

- Conector Sub-D de metal.
- Salida recta de cable.
- Para conexión de cable de instalación de 2 × 2 hilos a un acoplador en estrella, OSM, OLM o ELM.
- Montaje sencillo mediante destornillador.

Conector ITP (15 polos)

- Conector Sub-D de metal.
- Salida variable de cable.
- Para conexión de cable de instalación de 2 × 2 hilos a un termina.
- Puente enchufable interno para conmutación automática de modo AUI a modo par trenzado en CPs SIMATIC NET con transceptor de par trenzado integrado.
- Montaje sencillo mediante destornillador.

Industrial Ethernet: Cable estándar ITP / Cable TP — X (p. ej. RJ45) Y (p. ej. 15)
- Conector en el lado del terminal:
  - Conector sub D de 15 polos
  - Conector RJ45
- Conector en el lado al componente de red:
  - Conector sub D de 9 polos
  - Conector RJ45

Industrial Ethernet: Cable estándar ITP XP / Cable TP XP — X (p. ej. 9) Y (p. ej. 15 RJ45)
- Tipo de conector:
  - Conector sub D de 15 polos: acoplamiento directo de CPs Industrial Ethernet
  - Conector sub D de 9 polos: conexión en cascada de componentes de red Ind. Ethernet
  - RJ45: acoplamiento directo de terminales y conexión en cascada de componentes de red con puertos RJ45

Industrial Ethernet: Cable conversor TP — 15 RJ45
- Conector RJ45 en el lado del terminal
- Conector hembra sub D de 15 polos para conectar al cable estándar ITP 9/15

La nomenclatura de los cables ITP industriales se listan arriba.

Estos cables algunos fabricantes los venden con conectores Sub-D (Subminiatura), que ofrecen un método de conexión recio (adecuado para un ambiente industrial) para la conexión directa de estaciones y componentes de red. Los conectores pueden ser de 9 o 15 pines. Los cables vienen directos (ITP 9/15) o cruzados (ITP XP 9/9 o ITP XP 15/15) para conectar los equipos dotados de terminales también ITP.

Note que el ITP también permite hacer un cableado estructurado de acuerdo a las normas establecidas para LAN pues se pueden emplear transceivers que pasen de conectores D de 9 o 15 pines a RJ 45.

Para ambientes industriales sin mucha interferencia, se puede emplear el cable TP que tiene un calibre apto para montar directamente conectores RJ 45.

Figura 3.15. Cable TP.

Este cable se lo vende preconfeccionado con una longitud máxima de 10 m y cumple con las especificaciones de la categoría 5 de la ISO/IEC 11 801. Es un cable de cuatro hilos (trenzados) agrupados para formar un núcleo de cuatro. Posee dos pantallas globales de lámina compuesta de aluminio y una malla de pantalla de hilos de cobre estañados. Tiene una cubierta de plástico PVC. Viene con conectores sub-D de 9 pines (TP XP 9/9) o con una combinación de conector de 9 pines y RJ 45 (TP 9/RJ45) o 15 pines con RJ 45 (TP 15/RJ45). Hay también un cable convertidor (transceiver) de 15 pines a RJ45 que permite conectar equipos con conectores de 15 pines a un sistema con cableado ITP. Un ejemplo de empleo de estos cables se muestra a continuación en la Figura 3.16.

Con los cables ITP prefabricados con conectores Sub-D es posible realizar corridas de hasta 100 m sin recurrir a la tecnología de puenteo (patch technology).

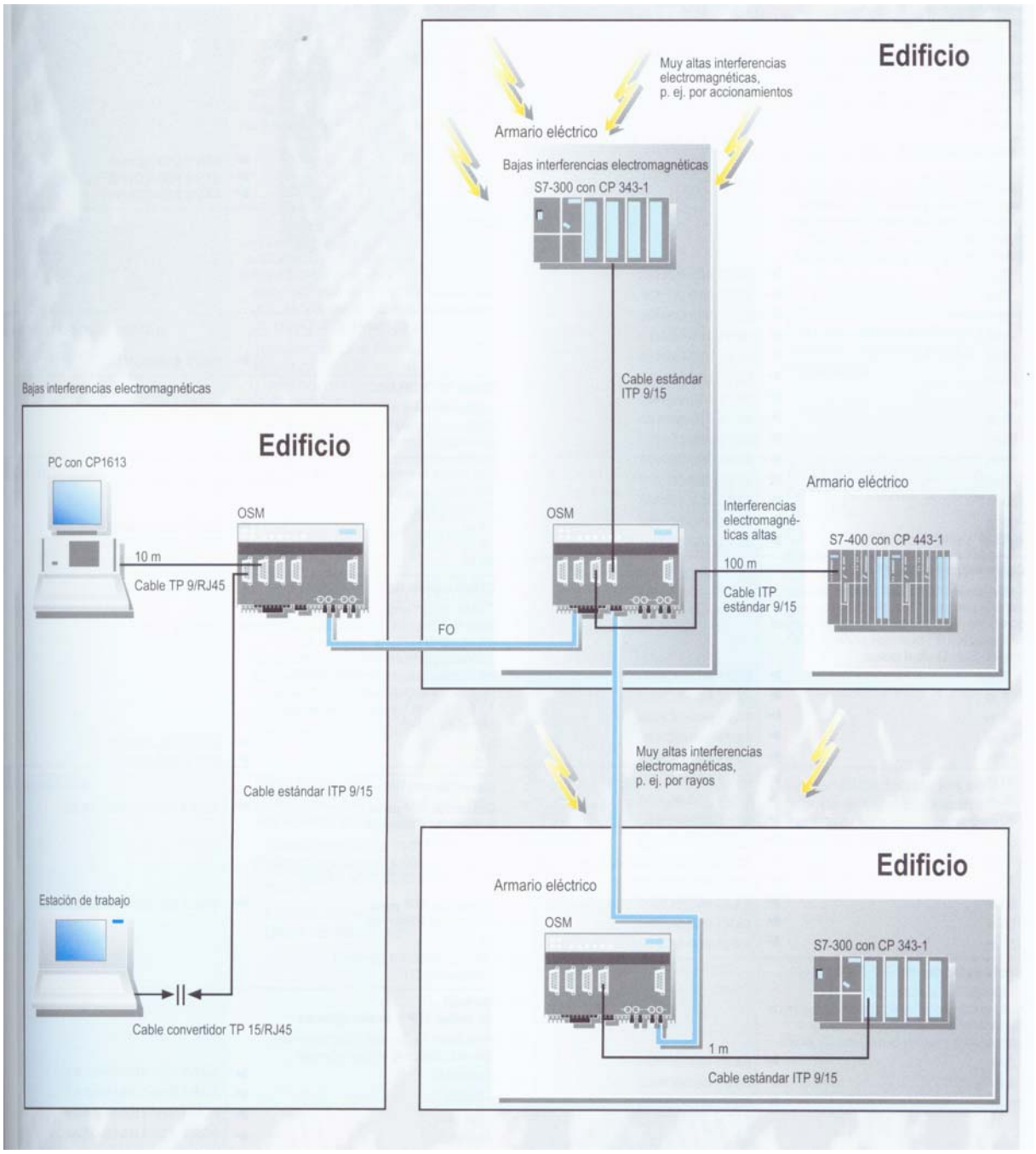


Figura 3.16. Ejemplo de conexión con cable ITP en un ambiente con alta interferencia.

Siemens ofrece el nuevo sistema de cableado FC Twisted Pair. Con este tipo de cable (Figura 3.17) se puede hacer redes industriales Ethernet que se ajustan a la norma que rige el cableado estructurado, al mismo tiempo que ofrece mejor resistencia a la interferencia y a los ambientes industriales. De esta forma el concepto de cableado estructurado de las oficinas se puede aplicar a aplicaciones industriales en las plantas industriales.

FC hace referencia a Fast Connect pues sus conectores estándar RJ-45, fabricados para ambientes industriales, permiten un ensamblaje rápido en el sitio de trabajo.

Figura 3.17. Sistema de cableado Fast Connect (FC).

El cableado estructurado de acuerdo a la norma EN 50 173 describe un sistema de cableado, aplicado a la industria, divido en tres partes:

Area Primaria:	Conexión entre los edificios de una planta.
Area Secundaria:	Conexión en los pisos de una planta.
Area Terciaria:	Conexiones IT de los terminales de los pisos.

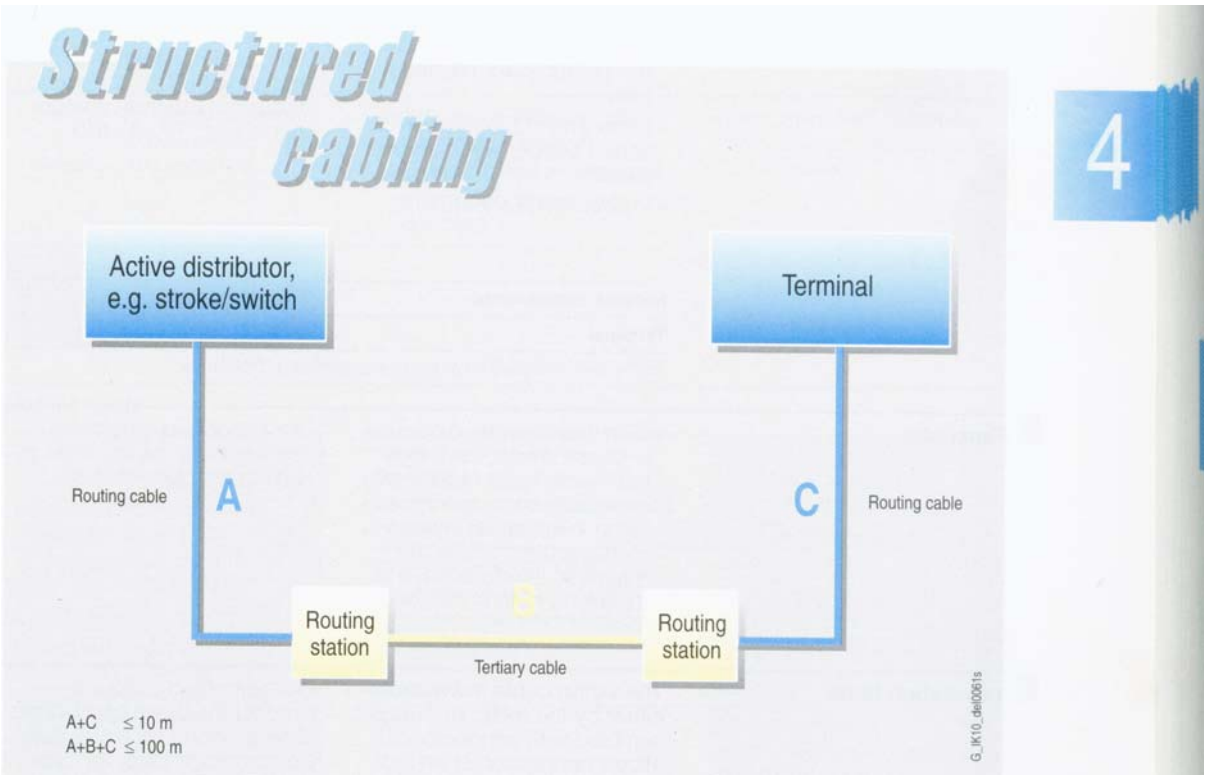


Figura 3.18. Cableado estructurado de acuerdo a la norma EN 50 173.

CABLE COAXIAL

El cable coaxial ("coax"), es otro medio típico de transmisión. Hay dos tipos de cable coaxial que se utilizan con frecuencia, uno de ellos es el cable de 50 ohmios, que se utiliza en la transmisión digital y es precisamente el coaxial de banda base; a diferencia del otro tipo, el cable de 75 ohmios, que se emplea en transmisión analógica.

El cable coaxial que se utiliza a nivel industrial (Figura 3.19) posee, a más de las características típicas de un cable coaxial, un blindaje adicional (de allí el nombre de cable triaxial) para darle más solidez.

Figura 3.19. Cable de bus triaxial.

La mejor característica del cable triaxial es su elevada resistencia a la interferencia, gracias a la capa de blindaje extra que al conectarse a tierra lo vuelve “hermético” a altas frecuencias. Cumple con la norma IEEE 802.3 lo que indica que se le puede emplear para construir segmentos de bus industrial Ethernet 10Base 5. Gracias a la pantalla de aluminio exterior este cable es idóneo para tendido subterraneo. Las longitudes de este cable, cuando se usa un segmento completo, puede variar desde 2,5 m hasta 500m. Sin embargo, si se unen diferentes partes, como cuando se ejecutan ampliaciones, cada pedazo debe ser un múltiplo impar de 23,4 m para evitar las reflexiones causadas por adaptaciones incorrectas.

Su gran rigidez debe tomarse en cuenta cuando se lo deba introducir en tubos protectores. Por este motivo, se recomienda medir los tramos de cable en el lugar de montaje y cortar de la bobina o tambor únicamente la longitud necesaria.

Los conectores que se acoplan al cable son del tipo Coaxial N.

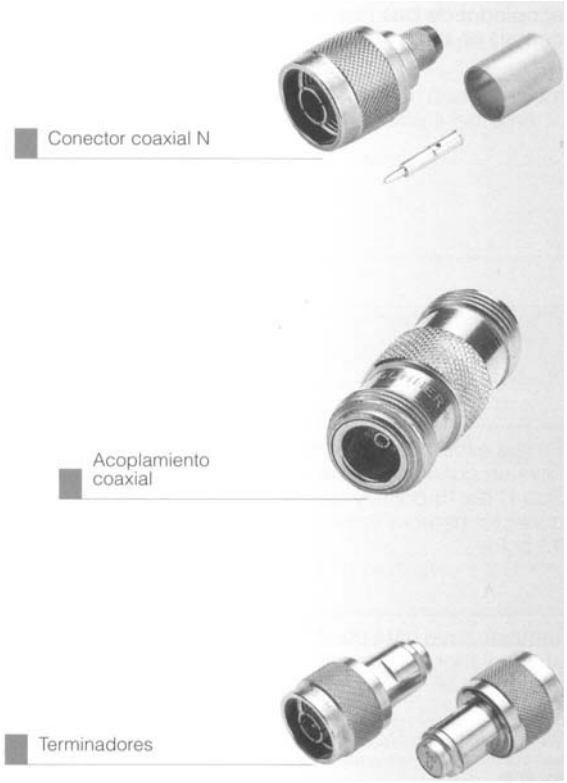


Figura 3.20. Conectores Coaxial N.

Aunque, algunas veces, se utilizan señales binarias en cables coaxiales de forma directa (es decir, 1 voltio para un bit de valor 1 y 0 voltio para un valor 0), este método no ofrece al receptor un medio ideal para sincronizarse con el transmisor, de aquí que se prefiere utilizar las técnicas que ya se mencionaron antes como codificación Manchester, o Manchester diferencial.

Para acoplar los dispositivos o redes tipo bus que empleen cable triaxial, existen diferentes cables y acopladores (transceptores o transceivers) que facilitan el enlace con las redes ITP. Por ejemplo el cable de la Figura 3.21 sirve para conectar estaciones al acoplador de bus en industrial Ethernet.

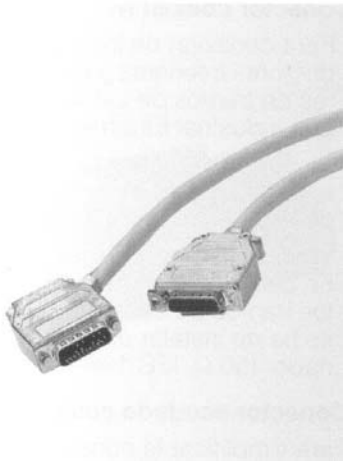


Figura 3.21. Cable de conexión a bus industrial Ethernet.

Está formado por cuatro pares de conductores transpuestos y blindados con una pantalla general adicional. En sus extremos, este cable lleva un conector macho Sub-D de 15 pines y un conector hembra Sub-D también de 15 pines.

Para conectar una estación a la red triaxial se cuenta con el acoplador que se muestra en la Figura 3.22.

Figura 3.22. Acoplador (transceptor) de bus triaxial con una interfaz.

Tienen una construcción robusta, apta para ambientes industriales. Por un lado posee conectores Sub-D de 15 pines para conectarse a los equipos terminales. Por el otro lado posee conectores hembra coaxiales N para conectarse al cable de bus industrial Ethernet.

Al igual que en las redes LAN de oficina, es posible también utilizar repetidores para industrial Ethernet.

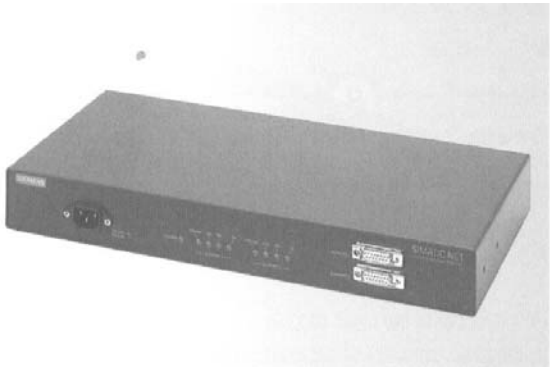


Figura 3.23. Repetidor para industrial Ethernet.

Cada repetidor permite acoplar un segmento (de derivación) de hasta 500 m a la red industrial Ethernet. Las configuraciones sugeridas se muestran a continuación.

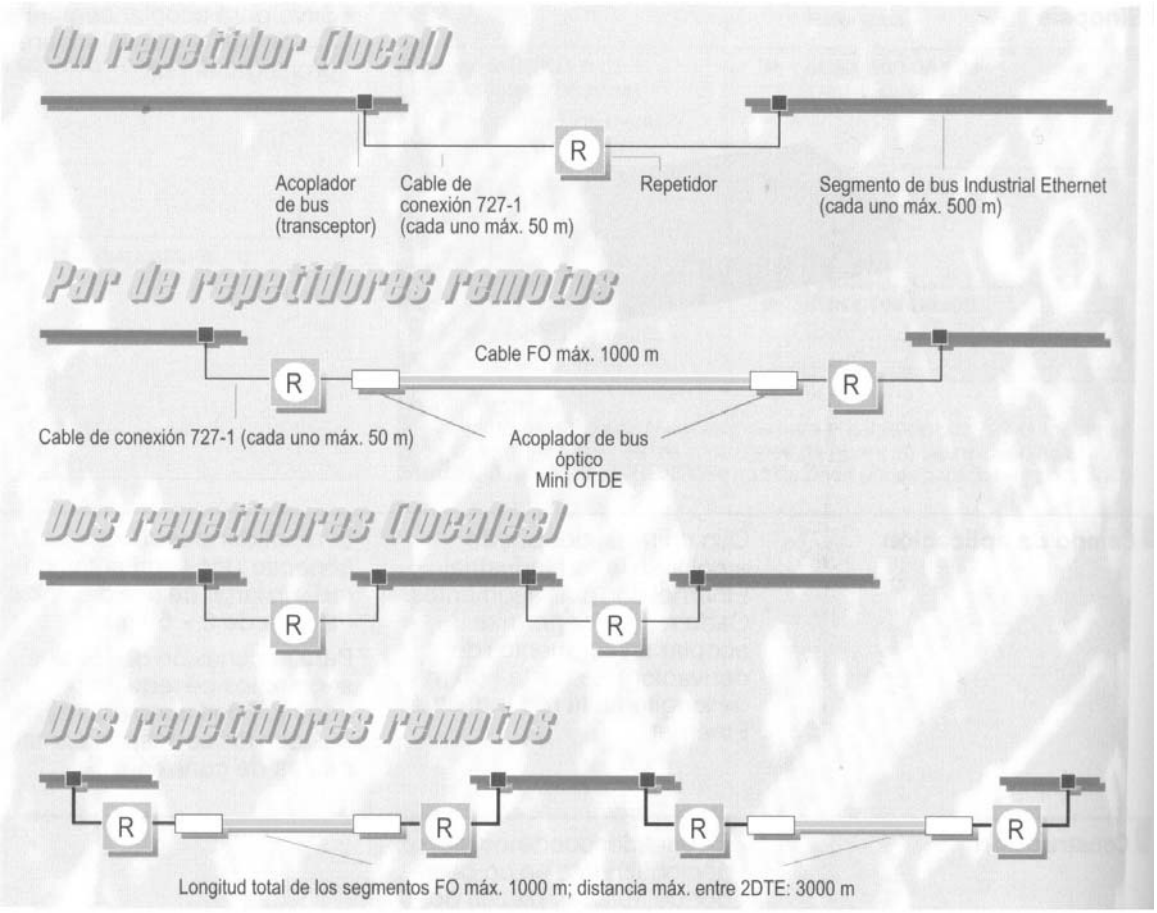


Figura 3.24. Configuraciones admitidas de repetidores.

3.3.3. FIBRAS OPTICAS

Los desarrollos recientes en el campo de la tecnología han hecho posible la transmisión de información mediante pulsos de luz. Un pulso de luz puede utilizarse

para indicar un bit de valor 1; la ausencia de un pulso indicará la existencia de un bit de valor 0. La luz visible tiene una frecuencia de alrededor de 108 MHZ, por lo que el ancho de banda de un sistema de transmisión de fibra óptica presenta un potencial enorme.

Para aplicaciones industriales se emplea un fibra óptica diferente a la que generalmente se emplea en las redes de oficinas como la que se muestra en la Figura 3.25 a continuación.

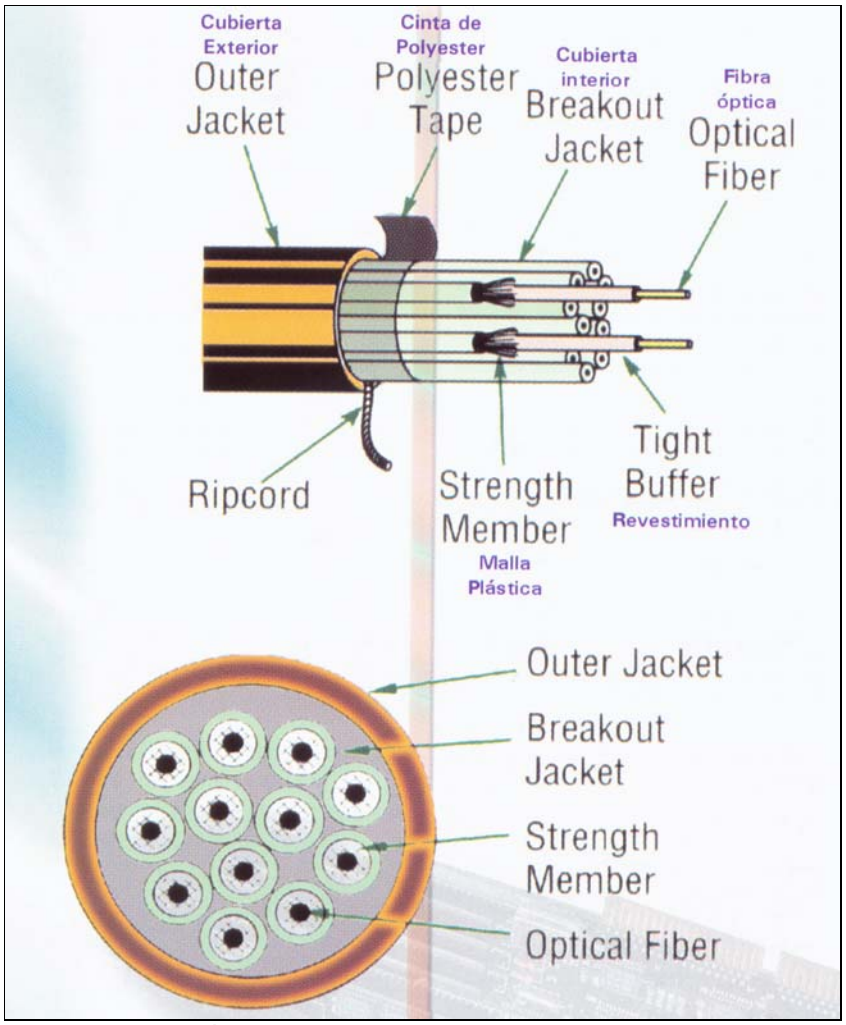


Figura 3.14. Características de la Fibra Optica para instalaciones tradicionales.

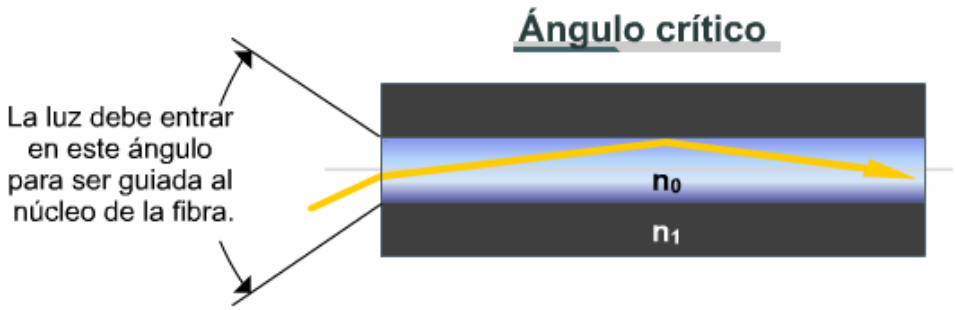
Un sistema de transmisión óptica tiene tres componentes: el medio de transmisión, la fuente de luz y el detector. El medio de transmisión es una fibra ultra delgada de vidrio o silicio fundido. La fuente de luz puede ser un LED (diodo emisor de luz), o un diodo láser; cualquiera de los dos emite pulsos de luz cuando se le aplica una corriente eléctrica. El detector es un fotodiodo que genera un pulso eléctrico en el momento en que recibe un rayo de luz. Al colocar un LED o un diodo láser en el extremo de una fibra óptica, y un fotodiodo en el otro, se tiene una transmisión de datos unidireccional que acepta una señal eléctrica, la convierte y la transmite por medio de pulsos de luz y; después, reconvierte la salida en una señal eléctrica, en el extremo receptor.

La transmisión de la luz por una fibra se basa en el principio de la física que dice que cuando un rayo de luz pasa de un medio a otro, por ejemplo, del silicio fundido al aire,

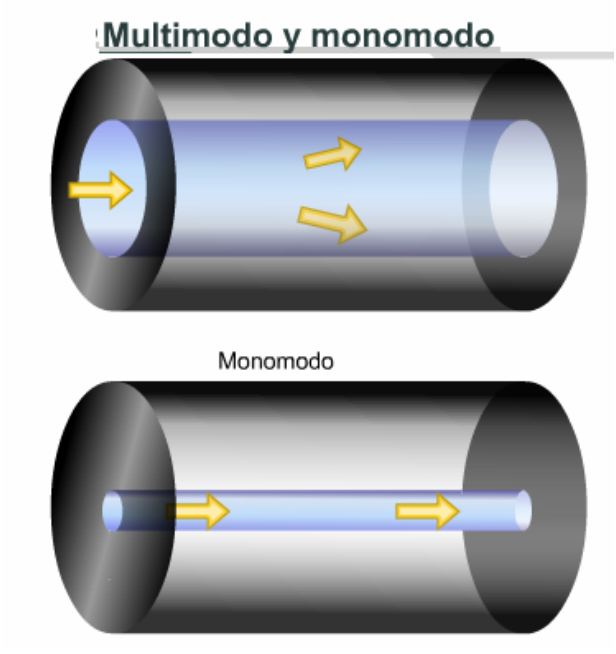
el rayo se refracta (se desvía) en la frontera silicio/aire. Para ángulos de incidencia que se encuentran por encima de un valor crítico, la luz se refracta y regresa al silicio; nada de ella escapa hacia afuera. Así, el rayo de luz que incida por encima del mencionado ángulo crítico, queda atrapado en el interior de la fibra y puede propagarse a lo largo de varios kilómetros sin tener, virtualmente, ninguna pérdida.

La explicación anterior es para la propagación de un rayo único, pero dado que cualquier rayo de luz incidente, por encima del ángulo crítico, se reflejará internamente, es posible tener varios rayos diferentes rebotando a distintos ángulos. A ésta forma de transmisión se conoce como multimodo.

La explicación anterior es para la propagación de un rayo único, pero dado que cualquier rayo de luz incidente, por encima del ángulo crítico, se reflejará internamente, es posible tener varios rayos diferentes rebotando a distintos ángulos. A ésta forma de transmisión se conoce como multimodo.



Sin embargo, si el diámetro de la fibra se reduce al valor de la longitud de la onda de luz, la fibra actúa como una guía de ondas, y la luz se propagará en línea recta, sin rebotar, produciendo así una fibra de un solo modo.



Las fibras monomodo necesita diodos láser (cuyo costo es elevado) para su excitación, y no un LED (que son más económicos), pero con aquellos se asegura una mayor eficiencia y pueden utilizarse en distancias muy largas. En la actualidad los sistemas de fibras ópticas son capaces de hacer transmisiones de datos de 1000 Mbps en 1 kilómetro. Experimentalmente se ha demostrado que un láser potente puede llegar a excitar a fibras de 100 Km de longitud sin necesidad de utilizar repetidores, aunque a velocidades de transmisión bajas.

Para la industria se emplean diferentes tipos de cable de fibra, todos con fibra de vidrio, dependiendo de la aplicación. Para tendido convencional o en edificios de emplea la fibra óptica estándar como la que se muestra en la figura 3.26.

Figura 3.26 Fibra óptica de vidrio estándar para aplicaciones industriales.

Su construcción es robusta lo que le permite ser empleada en aplicaciones industriales tanto interiores como exteriores.

Hay una versión de cable óptico arrastrable, flexible para aplicaciones especiales como, por ejemplo: guiado forzoso de desplazamiento en partes de máquinas en movimiento continuo (en cadena de arrastre) en interiores y exteriores.

Hay también cable óptico para interiores con fibra libre de halógenos, resistente a las pisadas y de difícil combustibilidad para instalaciones en edificios como galpones de fabricación y en la automatización de edificios.

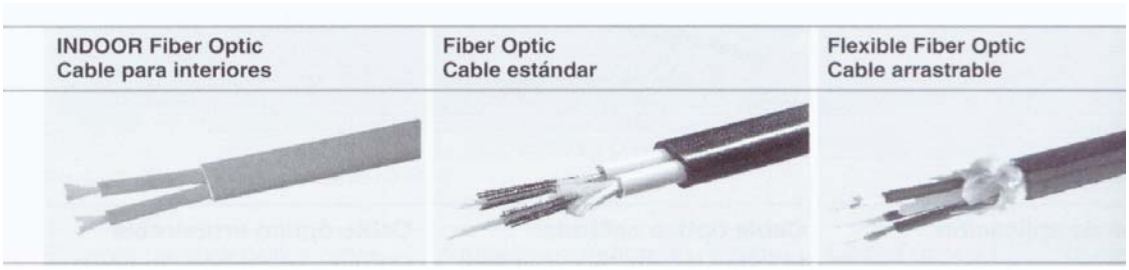


Figura 3.27. Tipos de Fibra.

Para conectar un equipo terminal dotado de puerto AUI a una red óptica se cuenta con transceptores ópticos como el MINI OTDE.

Figura 3.28. Acoplador a bus óptico.

Por un lado se conecta directamente al puerto AUI del equipo Terminal y por el otro al bus óptico. Este conector facilita la comunicación vía FO entre dos terminales como se muestra en el ejemplo.

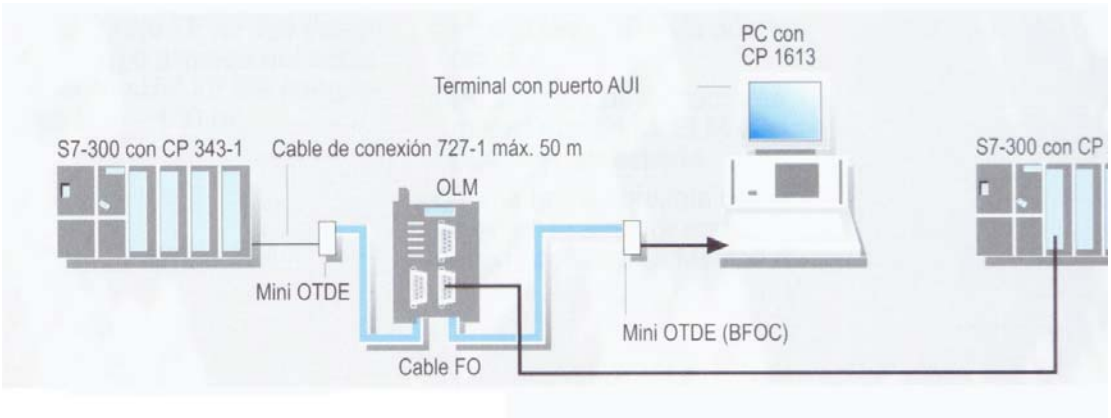


Figura 3.29. Ejemplo de conexión con MINI OTDE.

Si se desea realizar configuraciones tipo bus, anillo o estrella se tiene como ayuda dispositivos que facilitan la conexión como el módulo de enlace óptico (OLM) industrial Ethernet que es un repetidor con tres puertos ITP y dos puertos ópticos.

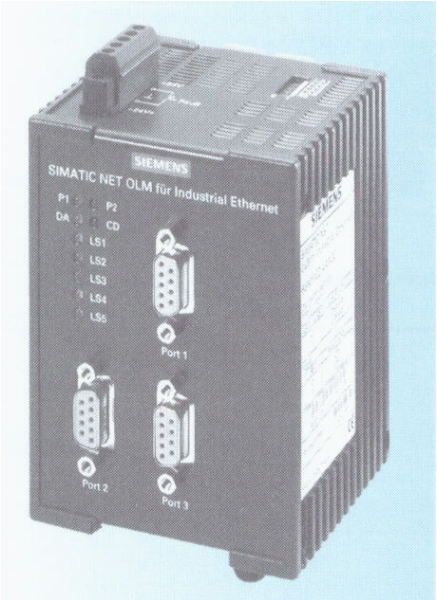


Figura 3.30. Módulo de Enlace Optico Industrial Ethernet.

Con OLMs es posible configurar topologías ópticas en bus o en anillo redundante.

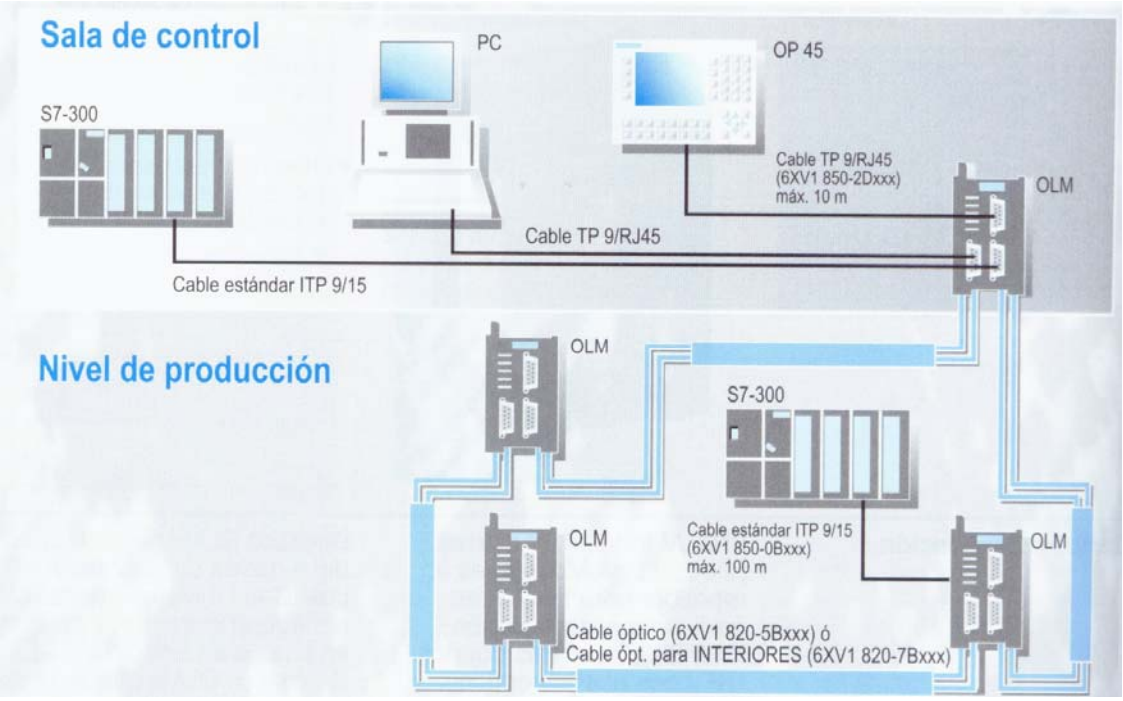


Figura 3.31. Anillo redundante en Ethernet Industrial.

En cuanto a las tarjetas de red, las de FO vienen equipadas con varios conectores (Figura 3.32) compatibles con ST para facilitar la configuración de dos segmentos de FO independientes como se muestra en el ejemplo de la Figura 3.33.

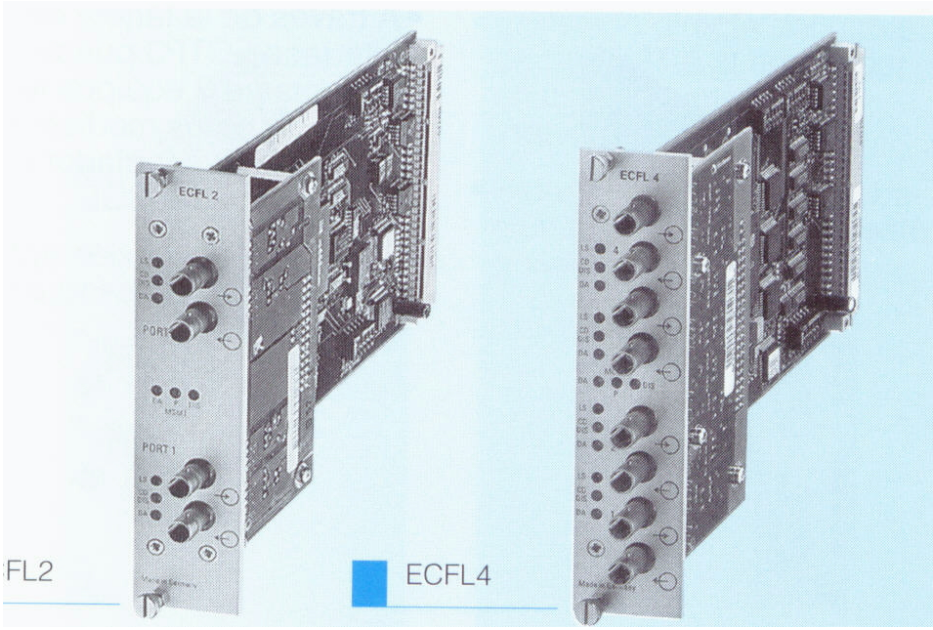


Figura 3.32. Tarjetas de red con conectores de FO (2 y 4).

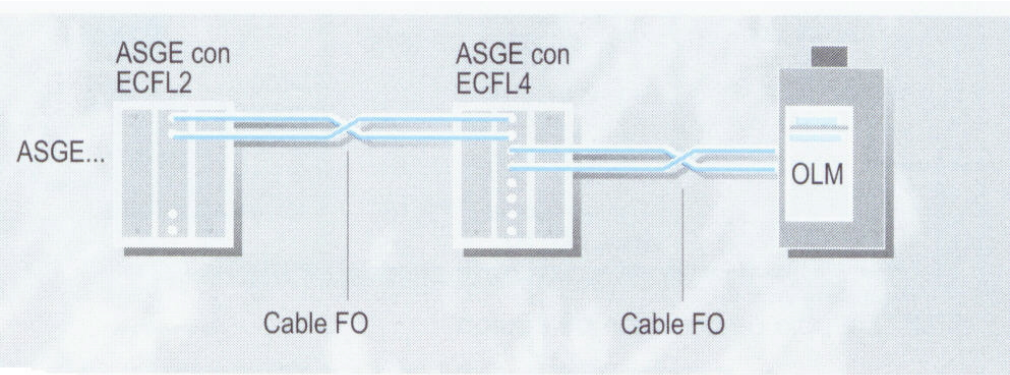
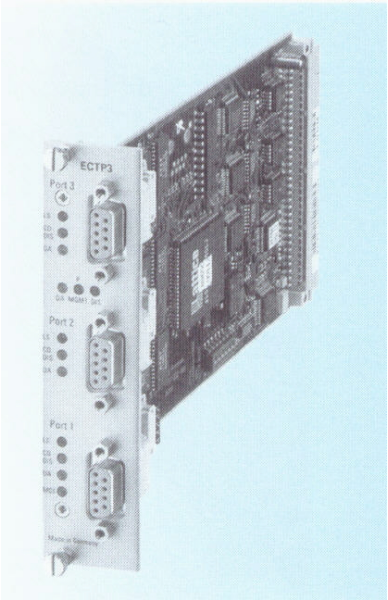


Figura 3.33. Interconexión de acopladores en estrella y OLM por medio de FO.



Las tarjetas ITP también vienen con varios conectores tipo Sub-D de 9 pines como la que se muestra en la Figura 3.34, a la izquierda, que viene con 3 conectores ITP hembra.

Esta tarjeta puede ser empleada para topologías como las que se muestra en la Figura 3.35

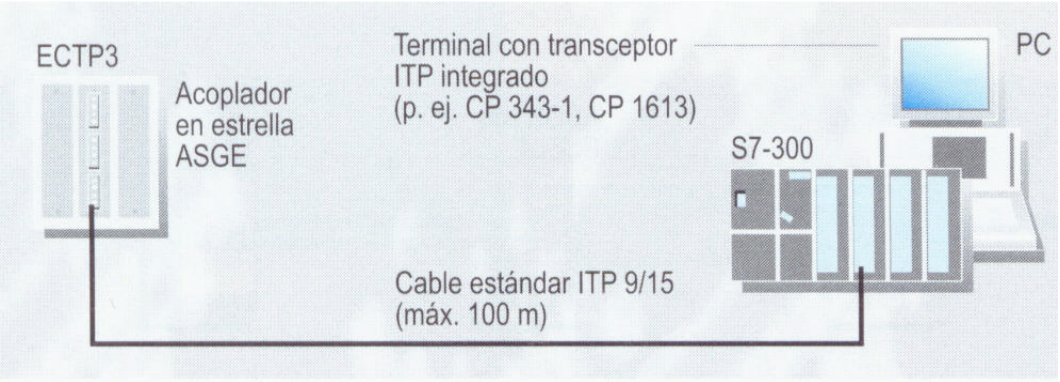


Figura 3.35. Ejemplo de conexión con NIC ITP.

Para el cable coaxial se tiene tarjetas de red con dos conectores hembra coaxiales N.

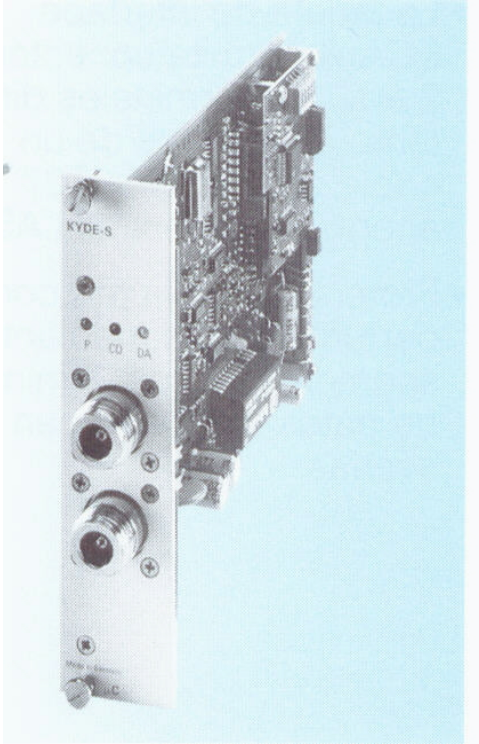


Figura 3.36. Tarjeta de red con salida coaxial.

Se puede conectar un bus de máximo 500 m. Si la tarjeta se conecta al final de un segmento de red, el conector hembra coaxial N libre debe cerrarse con un terminador de 50 Ohmios.

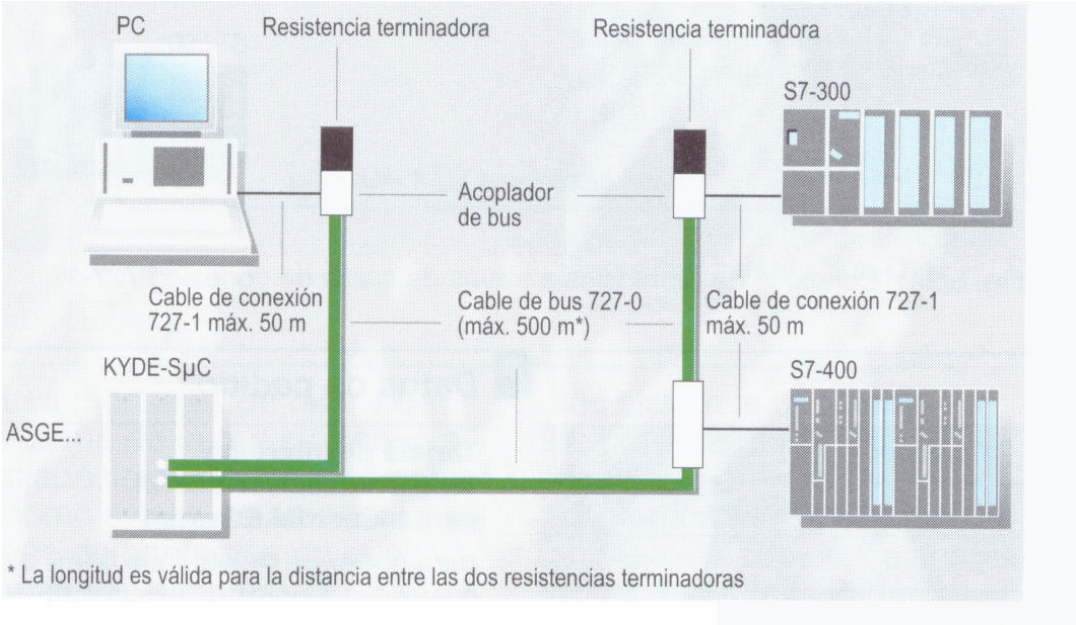


Figura 3.37. Conexión de segmentos coaxiales.

Fiablemente, se tiene también tarjetas dotadas de conectores tipo AUI (Sub-D de 15 pines) que facilita la conexión de los equipos dotados de estas tarjetas a terminales de datos o repetidores industriales.

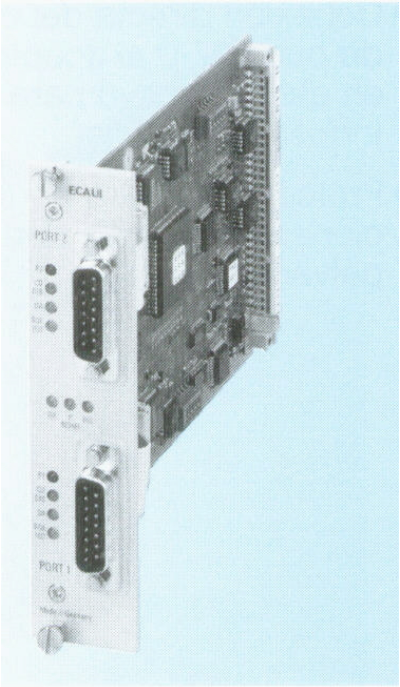


Figura 3.38. Tarjeta de red con conectores AUI.

Las ventajas de la fibra tienen un lado negativo: hay poca familiaridad con la tecnología de la fibra óptica, algo que felizmente en la actualidad ya se está superando con la ayuda de los conectores ya descritos. El empalme o unión de dos o más fibras es difícil, y más todavía su derivación. (Este último aspecto también se puede ver como una ventaja; la seguridad es excelente porque las fibras no radian y los interceptores de líneas telefónicas tendrán tantos problemas como los dueños de las redes al tratar

de derivarlas). Las fibras ópticas son inherentemente unidireccionales y el costo de las interfaces es mucho mayor que el de las respectivas interfaces de tipo eléctrico. Las ventajas de las fibras ópticas, sin embargo, son tantas que el empeño y trabajo que se está dando para mejorar su tecnología y reducir su costo es muy grande e importante.

Cuando se trabaja con fibra óptica, el protocolo que se emplea se conoce como FDDI *(Interfaz de datos distribuida por fibra)*. Para futura referencia, la trama FDDI se muestra a continuación:

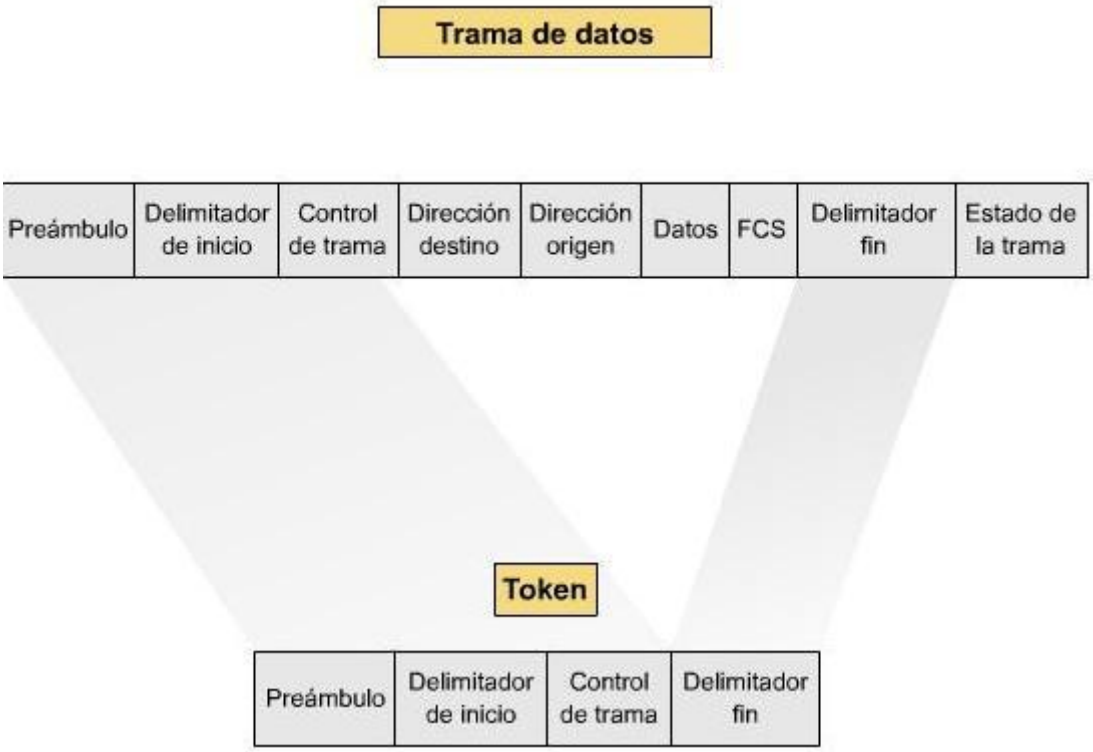


Figura 3.39. Trama FDDI.

FDDI o IEEE 802.3u usa un esquema de codificación denominado *4B/5B*. Cada grupo de 4 bits de datos se envía como un código de 5 bits.

La fibra óptica, presente ya desde hace mucho en las redes Ethernet o Token Ring, poco a poco está penetrando el ambiente de las redes de campo industriales, precisamente por su aislamiento eléctrico y su resistencia a la interferencia, aún a pesar de su elevado costo y la destreza que se requiere para realizar los empalmes.

También se está recurriendo cada vez más a enlaces inalámbricos, cuyos costos están cada día reduciéndose. De hecho, ya existen los módulos denominados Infrared Link Module que permiten una conexión inalámbrica hasta los 15 m.

Por supuesto, es posible, de acuerdo a la aplicación, combinarse los tres tipos de medios de transmisión.