

Tema 2. Redes de comunicación: Topología y enlaces.

2.1. El modelo ISO/OSI

Cuando se produce un intercambio de datos entre equipos a través de un sistema de bus es preciso definir el sistema de transmisión y el método de acceso, así como informaciones relativas al establecimiento de los enlaces. Por este motivo, la *International Standards Organization* (ISO) especificó el **modelo de referencia ISO/OSI**, convertido en un estándar esencial a la hora de describir redes de comunicación y sus diferentes partes en las que se divide. Este modelo propone una serie de niveles o capas para intentar reducir la complejidad de comprensión de estos sistemas. El estándar describe siete capas, de tal modo que una se fundamenta en la anterior, aunque no es necesario emplear todas ellas para construir un sistema de comunicación ya que eso depende de su complejidad y aplicación. Esta separación estructurada permite que exista una independencia de cada capa, de tal modo que cada una puede ser modificada internamente sin afectar al resto, siendo responsable de extraer la información de control contenida en los datos recibidos y necesaria para esa capa, así como de enviar los datos a la siguiente capa. Dentro de cada capa la comunicación se lleva a cabo siguiendo reglas y convenciones predefinidas, que constituyen lo que generalmente se conoce por **protocolo**. Entre las capas adyacentes debe existir un interfaz que permite el intercambio de información, lo que se conoce como **especificaciones de servicio**. El conjunto total de capas y protocolos constituye la arquitectura de una red. Este modelo es válido tanto para grandes flujos de información (intercambio de datos entre entidades bancarias) como aplicaciones muy sencillas (transmisión de estado de sensores todo/nada), por ello, no se establecieron restricciones de tiempo, ya que la prioridad principal es la exactitud de la datos recibidos. Esto supone una limitación para las aplicaciones industriales, pues en estos casos, además de la exactitud de los datos, resulta necesaria una caracterización temporal (condiciones de tiempo crítico), por lo que bajo el modelo OSI han nacido estándares que incluyen dichas restricciones de tiempo en la transmisión. También es necesario comentar que este modelo no es de obligado cumplimiento, sino que constituye un “manual de buenas prácticas” para que el sistema pueda formar parte de los “Sistemas Abiertos”. Estas capas del modelo OSI son las que deben ser implementadas en cada nodo de la red, donde la capa 1 constituye el medio físico de transmisión, y la capa 7 es la formada por la aplicación o interfaz de usuario. La tabla muestra una breve descripción de estas capas.

Tabla. Capas y descripción del modelo OSI.

Capa	Nombre	Función	Características
7	Capa de Aplicación <i>Application layer</i>	Funciones de usuario. Intercambio de variables. Servicios de comunicación específicos de usuario	Servicios de comunicación: Read/Write, Start/Stop
6	Capa de Presentación <i>Presentation layer</i>	Representación de datos. Conversión del tipo de representación del sistema de comunicación en un formato adecuado al equipo. Diagnóstico.	
5	Capa de sesión <i>Session layer</i>	Sincronización. Requerimiento de respuestas. Establecimiento, disolución y vigilancia de una sesión.	Coordinación de la sesión.
4	Capa de Transporte <i>Transport layer</i>	Establecimiento/disolución de enlace. Formación, repetición y clasificación de paquetes.	Transmisión asegurada de paquetes.
3	Capa de Red <i>Network layer</i>	Direccionamiento de otras redes y control de flujo. Rutas de comunicación.	Comunicación entre dos subredes.
2	Capa de Enlace de Datos <i>Data link layer</i>	Método de acceso. Gestión de colisiones. Limitación de los bloques de datos, transmisión asegurada, detección y eliminación de errores.	CRC-Check. CSMA/CD, Token
1	Capa Física <i>Physical layer</i>	Medio físico de transmisión. Test de errores a nivel de bit.	Cable coaxial/triaxial. Cable óptico. Cable bifilar. ITP

Nivel 1: Capa Física (*Physical Layer*). Este nivel procura la transmisión transparente de bits a través del soporte físico en el orden definido por el nivel de enlace (capa 2). Se definen las características eléctricas y mecánicas de la línea de transmisión (bus), así como conectores o medios de enlace hardware. También define los sistemas de modulación y demodulación de la señal transmitida/recibida, las señales de control que determinan la temporización y el orden de transmisión y realiza un diagnóstico de errores a nivel de bit. Entre otros estándares usados en este nivel, los más conocidos son el RS-232 y el RS-422. El cable de conexión no pertenece a este nivel ya que el modelo sólo se aplica a los nodos de la red y no a la red misma.

Nivel 2: Capa de enlace de datos (*Data Link Layer*). Este nivel tiene como función asegurar la transmisión de la cadena de bits entre dos sistemas. Este nivel es el encargado de recoger los datos del nivel de red (capa 3) para formar las tramas de envío (añadiendo datos de control), y viceversa. También impone los métodos de direccionamiento, detección y recuperación de errores, reenvío de tramas perdidas y regulación del tráfico de información en cuanto a velocidades de transmisión. En redes locales, el nivel de enlace procura también el acceso exclusivo al soporte de transmisión (acceso al medio). Para ello, dicho nivel se divide en dos subniveles, *Medium Access Control* (MAC) y *Logic Link Control* (LLC), que se designan también como niveles 2a y 2b respectivamente. Las normas más conocidas para los métodos de acceso aplicados en el subnivel MAC son IEEE 802.3 (Ethernet, CSMA/CD), IEEE 802.4 (Token Bus), IEEE 802.5 (Token Ring). Para el subnivel LLC se aplica generalmente la norma IEEE 802.2, aunque debido a las características de tiempo real exigidas normalmente a sistemas de bus de campo, éstos utilizan métodos de acceso considerablemente modificados.

Nivel 3: Capa de red (*Network Layer*). Este nivel se encarga de la operatividad de la red, controlando la ruta de la comunicación de datos entre sistemas finales (nodos y caminos), entendiendo por sistemas finales el emisor y el receptor de una información cuyo recorrido puede llevar bajo circunstancias a través de diversos sistemas de tránsito. Por ello, el nivel de red debe seleccionar la ruta a seguir, lo que normalmente se denomina encaminamiento (*Routing*). Las estaciones, por medio de este nivel añaden una cabecera indicando la dirección de destino, asegurando que el encaminamiento de los paquetes de datos es apropiado para poder llegar hasta su destino. Este nivel es encargado de traducir nombres lógicos en direcciones físicas y controlar la congestión en la red. Conforme la red posee una topología más compleja, esta tarea resulta más complicada. En un enlace punto a punto no entra en juego este nivel.

Nivel 4: Capa de Transporte (*Transport Layer*). Este nivel entra en juego una vez que se ha producido el enlace entre nodos en la red. La comunicación es ya independiente de la red, siendo el nivel que enlaza lo que quiere transmitir el usuario con la información que hay que enviar. Este nivel tiene como misión ofrecer al usuario un enlace entre nodos fiable, entregando datos libres de error al nivel 5. Puede dividir la conexión para hacerla más rápida (varias conexiones al nivel de transporte). Los servicios ofrecidos incluyen el establecimiento del enlace de transporte, la transmisión de datos, así como la disolución del enlace. Para ello el usuario puede exigir, en general, una determinada calidad en el servicio (*QoS, Quality of Service*). Parámetros de calidad son, por ejemplo, la velocidad de transferencia y la tasa de errores residuales.

Nivel 5: Capa de Sesión (*Session Layer*). La tarea principal del nivel de sesión es sincronizar las relaciones de comunicación, es decir, permitir establecer una sesión de comunicación entre dos capas de aplicación (nivel 7), una para cada nodo. El inicio de una sesión implica un conjunto de acciones de comunicación para establecer un proceso unitario (como transmitir un fichero, por ejemplo) que se distribuye en: control de comunicaciones uni ó bidireccional, administración del testigo, evitando que ambos lados traten de realizar la misma operación simultáneamente y establecimiento de puntos de chequeo en la información (puntos de sincronización). En caso de

error sólo es necesario retransmitir de nuevo desde el último chequeo. También permite configurar el tipo de diálogo (full-duplex o semi-duplex), así como realizar ciertas verificaciones de seguridad. Esta capa no aparece en numerosos sistemas de comunicación.

Nivel 6: Capa de Presentación (Presentation Layer). Resuelve el problema de semántica y sintaxis de la información transmitida. Generalmente, al intercambiar datos, diferentes sistemas utilizan lenguajes distintos. El nivel de presentación traduce los diversos lenguajes de las estaciones de comunicación a un lenguaje unificado con una sintaxis abstracta para permitir un diálogo entre diferentes sistemas. Así, este nivel convierte los datos del nivel 7 a un lenguaje que es el acordado para la transmisión (aquí también podría incluirse la encriptación y compresión de datos), y modifica los datos recibido para que la aplicación reciba los datos conforme a su criterio. Para ello se utiliza en la mayor parte de los casos el *Abstract Syntax Notation One* (ASN.1) definido en ISO 8824 y las *Basic Encoding Rules* (BER) asociadas.

Nivel 7: Capa de Aplicación (Application Layer). El nivel de aplicación comprende los servicios específicos de enlace con las diferentes aplicaciones de comunicación. Como existen multitud de aplicaciones, es particularmente difícil establecer estándares unificados, puesto que las aplicaciones propiamente dichas no forman parte del modelo. Habitualmente incluye protocolos de uso general tales como la forma de iniciar y cerrar una sesión de comunicaciones. Existen numerosas propuestas de protocolos orientados a determinados tipos de aplicaciones. Para aplicaciones de automatización se tiene el *Manufacturing Message Specification* (MMS), que describe los servicios y protocolos del nivel de aplicación (MAP, *Manufacturing Automation Protocol*). Los sistemas de bus de campo modernos se orientan fuertemente en MMS a la hora de diseñar el nivel de aplicación.



Figura 6. Modelo OSI para comunicación entre dos nodos.

Para lograr un entendimiento suficiente y seguro son imprescindibles los niveles 1, 2 y 4. El nivel 1 define las condiciones físicas, entre otras, los niveles de tensión y corriente. El nivel 2 define el mecanismo de acceso y el direccionamiento de la estación, para que en un determinado instante sólo pueda enviar datos una de las estaciones del bus. La seguridad y coherencia de los datos se garantiza gracias a la función del nivel 4, el de transporte. Este nivel también se ocupa de tareas de control de flujo de datos, de seccionamiento en bloques o paquetes y de los mecanismos de acuse o confirmación.

En resumen podemos decir que los niveles OSI 1 y 2 proporcionan el transporte de datos básico para una red simple. Los niveles 3 y 4 extienden estas funciones para una red compleja compuesta de muchas redes simples con diferentes propiedades. Los niveles 5 y 6 proporcionan un marco de trabajo para establecer y negociar las comunicaciones orientadas por el usuario y finalmente el nivel 7 proporciona los medios para comunicar la aplicación final con los procesos de envío y recepción. Se puede considerar que el flujo de los datos en un sistema de comunicación experimenta un tratamiento o “empaquetado” similar al de un objeto que se desea enviar por correo: a cada nivel del modelo OSI corresponde un tratamiento similar a las diversas fases de embalaje del objeto. La

transmisión a través de la red corresponde entonces al envío del paquete, mientras que a la recepción, cada nivel del modelo OSI se encarga de desempaquetar la información agregada al embalaje, procediendo en sentido inverso, iniciando del envoltorio externo a los más internos. Cada nivel a la recepción se ocupa de desempaquetar lo que fue agregado a los datos originales al momento de la transmisión del nivel correspondiente.

2.2. Topologías de red.

Se llaman topologías de red a las diferentes estructuras de intercomunicación en que se pueden organizar las redes de transmisión de datos entre dispositivos. Cuando componentes de automatización autónomos tales como sensores, actuadores, autómatas programables, robots, etc., intercambian información, éstos deben interconectarse físicamente con una estructura determinada. Cada topología de red lleva asociada una topología física y una topología lógica. La primera (topología física), es la que define la estructura física de la red, es decir, la manera en la que debe ser dispuesto el cable de interconexión entre los elementos de la red (Figura 7). La topología lógica es un conjunto de reglas normalmente asociado a una topología física, que define el modo en el que se gestiona la transmisión de los datos en la red. La utilización de una topología influye en el flujo de información (velocidad de transmisión, tiempos de llegada, etc.), en el control de la red, y en la forma en la que ésta se puede expandir y actualizar.

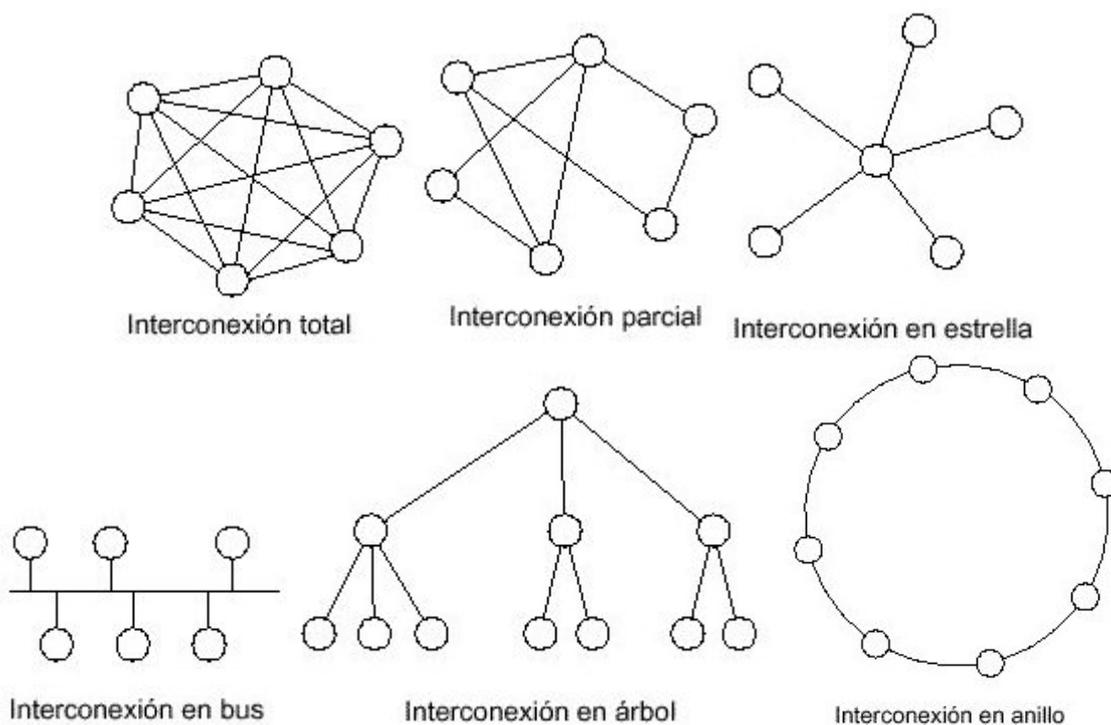


Figura 7. Topologías de red.

- ? **Interconexión total y parcial.** Este tipo de interconexión proporciona múltiples enlaces físicos entre los nodos de la red, de tal modo que no existen varios canales de comunicación compartidos y múltiples caminos de interconexión entre dos nodos. La interconexión es total cuando todos los nodos están conectados de forma directa entre ellos, existiendo siempre un enlace punto a punto para su intercomunicación. La interconexión es parcial cuando no todos los nodos pueden conectarse mediante un enlace punto a punto con cualquier otro nodo de la red.
- ? **Interconexión en estrella.** Cada nodo se conecta a un nodo central encargado del control de acceso a la red por el resto de nodos (colisiones, errores, etc.). En esta topología adquiere una importancia decisiva el nodo central que se encarga de controlar toda la comunicación,

pues cualquier perturbación en el mismo conduce, generalmente, al fallo de la red completa. Su implementación puede ser una decisión factible en el caso de que los nodos de la red no se encuentren muy distanciados del nodo central debido al coste que supone cablear cada nodo hasta el nodo central.

- ? **Interconexión en bus.** Todos los nodos se conectan a un único medio de transmisión utilizando los **transceiver**, encargados de controlar el acceso al bus. Los mensajes se envían por el bus y todos los nodos escuchan, aceptando los datos sólo en el caso de que vayan dirigidos a él (reconocimiento de su propia dirección). Esta topología permite la adición y sustracción de nodos sin interferir en el resto, aunque un fallo en el medio de transmisión inutiliza por completo la red (rotura del cable, por ejemplo). Suelen ser necesarios terminadores de red para poder adaptar impedancias y evitar reflexiones de las ondas transmitidas y recibidas. Los nodos se deben conectar a la línea de bus principal mediante segmentos cortos pues ello influye directamente en la velocidad de transmisión y recepción de datos para ese nodo. Esta es una de las topologías más utilizadas habitualmente. Puede cubrir largas distancias empleando amplificadores y repetidores. Poseen un coste reducido, siendo las más sencillas de instalar. La respuesta es excelente con poco tráfico, siendo empleadas en redes pequeñas y con poco tráfico
- ? **Interconexión en árbol.** Esta topología puede interpretarse como el encadenamiento de diferentes estructuras en bus de diferente longitud y de características diferenciadas, constituyendo diferentes ramas de interconexión. En este caso adquieren gran importancia los elementos que permiten duplicar y enlazar las diferentes líneas, ya que actúan como nodos principales de manera análoga a como lo hace el nodo principal de la interconexión en estrella. Dado que existen varias estructuras de bus, cada una debe incorporar sus terminadores y elementos asociados, así como los elementos de enlace.
- ? **Interconexión en anillo.** Los nodos se conectan en serie alrededor del anillo. Sería equivalente a unir los extremos de una red en bus. Los mensajes se transmiten en una dirección (actualmente ya existen topologías en red con envío en ambos sentidos), pasando por todos los nodos necesarios hasta llegar a su destino. No existe un nodo principal y el control de la red queda distribuido entre todos los nodos. Cuando la red es ampliada o reducida, el funcionamiento queda interrumpido, y un fallo en la línea provoca la caída de la red. También se la conoce como red "*testigo en anillo*" o "*Token ring*". Posee una relación coste – modularidad buena, en general, la instalación es complicada, aunque es fácil variar el número de estaciones. No influyen los fallos en las estaciones si no condicionan la capacidad del interfaz del anillo. Es muy sensible a fallos en los módulos de comunicaciones (interfaz) y en el medio de comunicación. El retardo grande para número de estaciones elevado.

Además de las topologías mencionadas, pueden conformarse diferentes topologías que mezclan varios tipos básicos de interconexión mediante la inclusión de elementos de enlace como repetidores, concentradores (hub), puentes (bridge), pasarelas (gateway) y/o encaminadores (router). Estos elementos pueden incluir cierto nivel de computación en el manejo de la información para poder adaptar dos tipos de redes diferentes, o bien pueden consistir en meros retransmisores de la señal a otros segmentos de la red.

- ? El **repetidor** (*repeater*) copia la información que recibe de un lado en el otro y amplifica su nivel. El repetidor es transparente a todos los niveles de las estaciones en comunicación, es decir, los niveles físicos de ambas redes deben ser idénticos. Por ello, los repetidores no se utilizan para acoplar subredes diferentes, sino para amplificar o prolongar una subred existente como por ejemplo una interconexión de bus.
- ? Los **puentes** (*bridge*) se utilizan para acoplar subredes que trabajan con el mismo protocolo en el nivel de enlace (Logical Link Control, LLC). Los soportes de transmisión y los métodos de acceso al bus (Medium Access Control, MAC) de las subredes a enlazar pueden

ser diferentes. Los puentes se utilizan principalmente para unir redes locales que tienen diferente topología o cuando, en base a aplicaciones especiales, es necesario añadir determinadas estructuras a subredes. Ese tipo de puentes se utilizan en subredes que, si bien utilizan un soporte de transmisión diferente (cable bifilar, fibra óptica), tienen la misma estructura.

- ? El **encaminador** (*router, enrutador, encauzador*) sirve para enlazar redes OSI con niveles 1 y 2 diferentes. El encaminador determina además el camino óptimo (ruta de comunicación) de una información a través de una red existente (*routing*). Criterios para definir el camino óptimo pueden ser, por ejemplo, la longitud del recorrido o el retardo de transmisión mínimo. Para cumplir su tarea, el encaminador modifica las direcciones de origen y destino del nivel de la red de los paquetes entrantes antes de volver a transmitirlos. Como los encaminadores tienen que ejecutar tareas sensiblemente más complejas que los puentes, trabajan a menor velocidad.
- ? Una **pasarela** (*gateway, puerta de enlace*) se utiliza para acoplar redes con diferentes arquitecturas, es decir, permite interconectar dos subredes cualesquiera. En base al modelo de referencia OSI, una pasarela tiene como misión convertir los protocolos de comunicación de todos los niveles. Permite también acoplar una red ISO con una no conforme a esta norma. Los enlaces de red materializados mediante pasarela suponen complicaciones y ofrecen una velocidad más reducida.

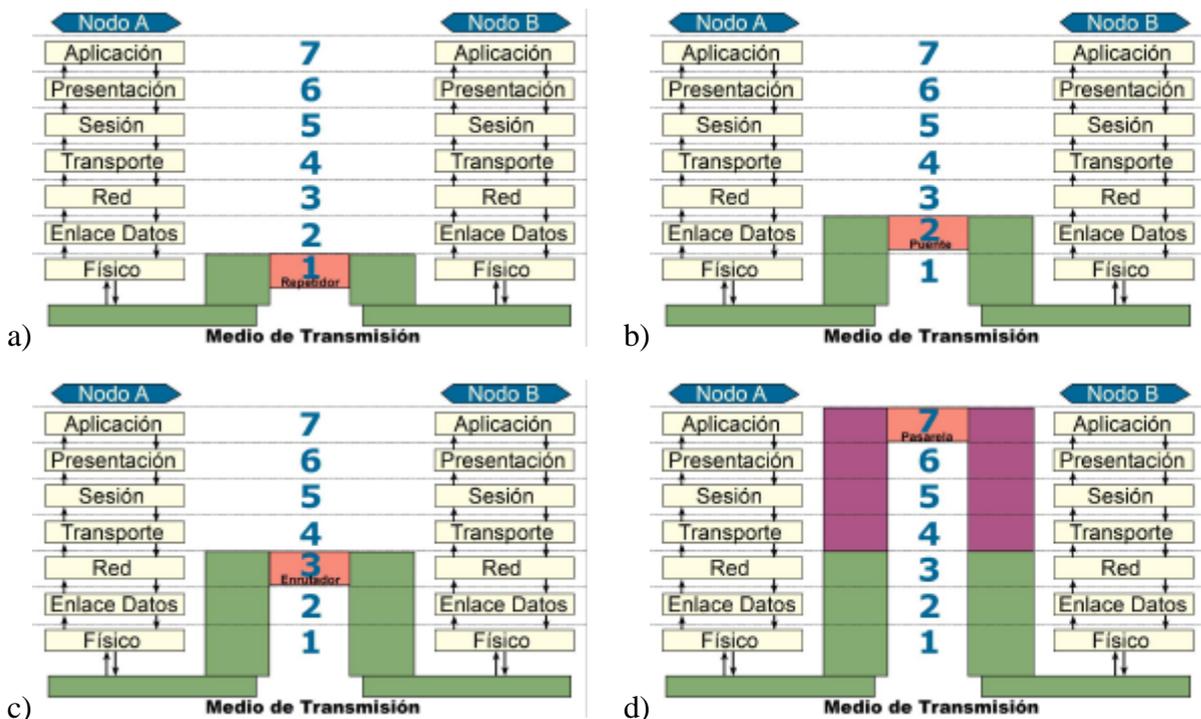


Figura 8. Niveles OSI donde se emplazan los diferentes elementos de enlace entre nodos o estaciones: repetidor, puerta de enlace, enrutador y pasarela.

Por otro lado, para comunicar dos nodos, existen dos métodos básicos de intercambio de información:

- ? **Conmutación de circuitos.** Las estaciones intermedias que intervienen en la comunicación conectan sus circuitos de entrada y salida hasta establecer un canal físico entre ambos extremos. Durante la transmisión, el circuito físico sólo puede ser utilizado por las 2 estaciones que establecieron la conexión.
- ? **Conmutación de paquetes.** Orientado a la transmisión de datos no continuada. Los mensajes se dividen en paquetes que son multiplexados por los canales de comunicación de los que dispone un nodo. Cada nodo encamina el paquete por el enlace adecuado, aunque

cada paquete puede seguir un camino distinto. Los enlaces pueden ser utilizados por paquetes de otras transmisiones. Con este sistema, la red de comunicación está ocupada por infinidad de paquetes, cada uno dirigido a un nodo diferente.

La elección de una topología de red suele estar determinada por ciertos factores como:

- ? **Coste – Modularidad:** Coste en medios de comunicación, sencillez de instalación y mantenimiento,
- ? **Flexibilidad:** Dificultad de incrementar o reducir el número de estaciones.
- ? **Fiabilidad – Adaptación:** Fallos en las estaciones o en el medio de comunicación, facilidad de mantener el servicio. Encaminamientos alternativos.
- ? **Retardo – Caudal:** Retardo mínimo introducido por la red. Factor determinante para comunicaciones de tiempo crítico.
- ? Tráfico de información que puede soportar.
- ? Aplicación a la que está destinado.
- ? Tecnología a emplear, dado que ciertos sistemas comerciales imponen su propia tecnología, que incorpora la topología por ellos diseñada, así como sus protocolos de comunicación.

2.3. Modelos de comunicación.

Además de las diferentes técnicas de acceso y los sistemas de comunicación, resulta importante conocer los dos modelos básicos en los que se enmarca cualquier sistema de comunicación. Estos modelos son “*fuente/destino*” y “*productor-consumidor*”.

Con el modelo *fuente/destino* un nodo emite un mensaje a cada nodo destino, debiendo repetir ese mensaje para cada uno de los nodos si es que desea que el mensaje llegue a varios nodos pues la trama del mensaje enviado contiene una cabecera donde figura el nodo fuente y el nodo destino. De este modo, no es posible la llegada simultánea del mismo mensaje a todos los nodos, utilizando la red de comunicaciones durante un largo periodo de tiempo. Además, el tiempo de emisión a todos los nodos cambia según el número de nodos a los que se desea hacer llegar el mensaje. Este modelo es empleado por protocolos como Ethernet, Profibus, Interbus-S, Seriplex y Modbus.

El modelo *productor/consumidor* emplea un sistema por el que todos los nodos reciben los mensajes que se transmiten, siendo la tarea de cada nodo decidir si ese mensaje debe aceptarlo. De este modo, todos los nodos reciben el mensaje simultáneamente y no es necesario repetirlo para cada uno de los nodos a los que está dirigido, con el consiguiente ahorro en el tiempo de utilización del bus. Así, el tiempo de transmisión resulta constante independientemente del número de nodos a los que se desea hacer llegar el mensaje. En este caso, la trama del mensaje incluye un identificador de mensaje; este identificador permite que los nodos receptores conozcan si deben aceptarlo o no. Este tipo de emisión es apropiado cuando se realizan mensajes en emisión de difusión completa (broadcast) o semidifusión (multicast).

Actualmente, la mayoría de protocolos intentan emplear ambos tipos de mensajes para así optimizar el funcionamiento de la red dependiendo del tipo de mensajes a enviar o recibir. La Figura 9 muestra el formato de los mensajes para cada uno de los modelos.

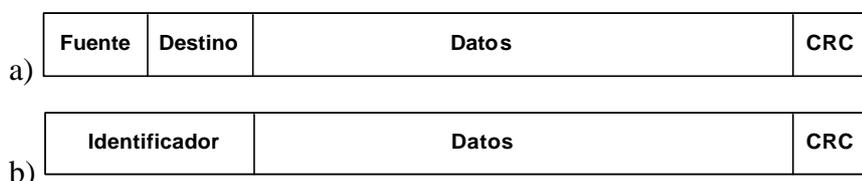


Figura 9. Formato de mensajes en los modelos: a) fuente/destino y b) productor/consumidor.

2.4. Control de acceso al medio.

El control de acceso al medio constituye la topología lógica de una red, y sirve para determinar qué nodo puede emplear la red en un instante determinado para enviar o recibir señales. Esta gestión se enmarca dentro de la segunda capa OSI. A menudo, se describe este proceso como MAC (Medium Access Control) o control de acceso al bus.

En una conexión punto a punto no se hace necesario el uso de técnicas de resolución de problemas ya que generalmente se dispone de un canal de recepción y otro de transmisión (full duplex), con lo que basta con enviar datos cuando sea necesario dado que no habrá nadie más que emplee el canal. En cambio, para cualquier otro sistema de bus donde existen varios nodos compartiendo el mismo medio de transmisión, es necesario resolver los problemas de utilización que pueden existir. La situación ideal sería la de un sistema de control que resuelva rápidamente las interacciones o problemas en general que se pueden dar cuando varios nodos acceden simultáneamente al bus, y que sea poco sensible a los fallos de las estaciones, viéndose poco afectado por ampliaciones o reducciones de la red. Si existen tramas de control de la red, el método de acceso debe ser capaz de asumir esta cantidad de tráfico añadida, siendo aconsejable que disponga de tiempos de espera para organizar mejor el tráfico de la red. Estas técnicas generalmente son asíncronas. Existen dos tipos principales:

- ? **Técnicas de repartición.** A cada usuario se le asigna una fracción de la unidad total a repartir. Pertenecen a este tipo las técnicas de multiplexación por división de frecuencia (MDF), multiplexación por división de tiempo (MDT). Son eficientes si los usuarios demandan servicios con regularidad
- ? **Técnicas de compartición.** Se produce una asignación del medio en función de la demanda, son eficientes cuando el tráfico no es estable y la demanda se produce a ráfagas, como ocurre en las LAN. Las técnicas empleadas son: colisión (ó contienda), reserva y selección.
 - o **Contienda:** Si el usuario necesita el canal de comunicación intenta tomarlo, produciéndose una contienda con los usuarios que tengan el mismo propósito. Se producirán colisiones y se debe incorporar algún algoritmo para resolver estas situaciones.
 - o **Reserva:** El usuario conoce con adelanto cuando va a poder utilizar el medio. No se producirán colisiones en la transferencia de información, pero podrán existir en el proceso de reserva.
 - o **Selección:** El usuario es avisado cuando llega su turno y toma el control del medio para transmitir. Los usuarios son seleccionados por algún tipo de turno y desconocen cuando van a serlo nuevamente.

2.4.1. Compartición del medio por contienda

Por lo que respecta a las técnicas de contienda, existen dos tipos principales, las técnicas de transmisión sorda (ALOHA) y las técnicas de transmisión con escucha (CSMA). La primera fue desarrollada por la Universidad de Hawai, se envía un mensaje al canal cuando se necesita, si hay colisión se produce una retransmisión del mensaje; existen variantes como el método ALOHA rasurado. En lo que respecta a las técnicas con escucha (CSMA, Carrier Sense Multiple Access) permiten acceso múltiple con detección de portadora. Antes de transmitir, el usuario averigua si el canal está libre, lo que evita colisiones con antelación aunque se pueden producir colisiones al transmitir. También existen diferentes variantes como CSMA no persistente, CSMA persistente, CSMA con retardo prioritario, etc.

La detección y resolución de colisiones resulta muy importante en los sistemas de acceso múltiple al bus, dado que esto es lo que permite que se produzca cierto orden en el vertido de señales al bus. Cuando se produce una colisión, se pone en marcha un sistema de resolución de colisiones para

asignar el control a un nodo, y éste debe volver a retransmitir la información deteriorada. Para intentar que la retransmisión no sufra otra colisión se utiliza un algoritmo para determinar el momento idóneo para enviar el paquete. Son dos los métodos habitualmente empleados para la detección de colisiones:

- ? **Detección de interferencias en el canal.** Se detecta por técnicas de comparación de la señal emitida con la que está circulando por el canal mediante técnicas de análisis de la señal en la línea. A este tipo pertenece el método CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection) utilizado por Ethernet y contemplado en el estándar IEEE 802.3 para transmisión a 10Mbps. Se detiene la transmisión tan pronto como se detecta la colisión. Otro método en el CSMA / CA (Carrier Sense Multiple Access / Collision avoidance), donde antes de transmitir se escucha el canal para ver si está ocupado, así, la posibilidad de colisión se reduce, aunque no se evita completamente dado que existe la posibilidad de que dos nodos inicien su emisión simultáneamente una vez detectado el canal libre.
- ? **No recepción de un mensaje de conformidad.** Se detectan errores de transmisión en general. Como inconveniente se tiene la lentitud, ya que el paquete se transmite completo

Existen diversos métodos de resolución de colisiones, la Figura 10 muestra los principales tipos.

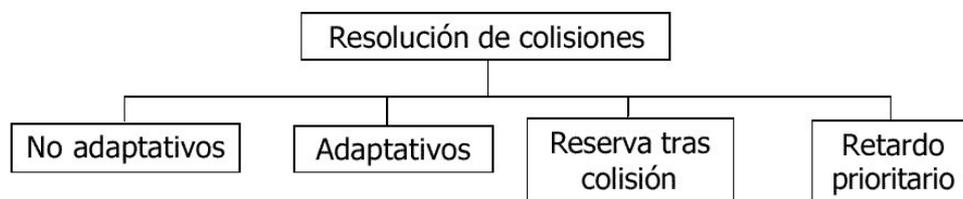


Figura 10. Técnicas principales de resolución de colisiones.

- ? **Algoritmos no adaptativos:** El retardo para la retransmisión no depende de la actividad anterior del canal o del número de colisiones. El retardo se obtiene mediante una distribución uniforme. Se utiliza en las redes ALOHA pura y ALOHA rasurado.
- ? **Algoritmos adaptativos:** El retardo depende de la actividad anterior del canal. La función de distribución del retardo varía dinámicamente según unas condiciones locales o globales.
- ? **Técnicas de retardo prioritario:** Detectada una colisión se retarda la retransmisión en un intervalo distinto para cada usuario. Se establece una prioridad que puede ser fija o “*round robin*”.
- ? **Reserva tras la colisión:** Cuando se produce una colisión los usuarios establecen entre sí un sistema de reservas para retransmitir sin conflictos. El sistema de contienda se convierte en un sistema de acceso al medio por reserva, este sistema de reservas puede ser gestionado de un modo centralizado o distribuido.

2.4.2. Compartición del medio por reserva.

El usuario conoce con adelanto cuando va a poder utilizar el medio dado que existen métodos de ordenación para la asignación del canal. La Figura 11 muestra la subdivisión en la que se clasifican estas técnicas.

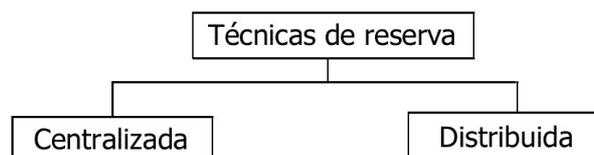


Figura 11. Clasificación de las técnicas de reserva del canal.

2.4.2.1. Control centralizado de reservas

Existe un controlador que gestiona (recibe y concede) las demandas de reserva del canal. Se puede disponer de dos canales distintos, uno para efectuar las reservas y otro para transmitir los datos. El método **SRMA** (Split channel Reservation Multiple Access) multiplexa los dos canales en frecuencia, pero se puede producir colisión en el canal de las reservas. El método **GSMA** (Global Scheduling Multiple Access) multiplexa en el tiempo el canal, asignando durante un tiempo el canal para transmisión de datos, a su vez, multiplexa el canal de reservas entre todas las estaciones, evitando colisiones. Se puede reservar el canal durante un determinado tiempo (reserva de conexión) o para cada mensaje a transmitir (reserva de mensaje).

2.4.2.2. Control distribuido de reservas.

Se trata de un control de acceso distribuido si todos los nodos intervienen en la decisión de qué nodo y en qué instante se va a disponer de acceso al bus. En la detección por colisión, cada nodo supervisa la red continuamente, esperando que quede libre para poder transmitir, pero en el momento que queda libre, seguramente más de un nodo comenzará a transmitir, produciendo una colisión y generando una distorsión de las señales emitidas, con lo que el nodo emisor debe saber que ha habido esta colisión y por tanto, debe esperar a poder transmitir de nuevo cuando la red quede desocupada.

Todas las estaciones reciben las solicitudes de reserva formuladas por las demás. Aplican un algoritmo que determina a quién y por cuanto tiempo se le concede el medio. El resultado debe ser función de las demandas aceptadas y pendientes de resolución.

- ? **Técnicas implícitas:** No existe un procedimiento de solicitud y resolución de reserva previa a la transmisión. La estación que pretende utilizar el canal intenta tomarlo. Si lo consigue, el resto de estaciones entiende que lo tiene reservado hasta que se señalice lo contrario. Se pueden producir colisiones.
- ? **Técnicas explícitas:** Existe un procedimiento previo de establecimiento de reservas. Hasta que no se resuelve una demanda, la estación no inicia la transmisión. Los procedimientos para realizar una reserva explícita son:
 - o Piggyback: la reserva se realiza para un mensaje de información completo.
 - o Subtrama: se destina una subtrama para la reserva de un paquete. Entre 2 subtramas sucesivas una estación sólo transmite un paquete.

2.4.3. Compartición del medio por selección.

Estas técnicas también pueden ser centralizadas o distribuidas, no se producen colisiones dado que no se accede al medio hasta que el canal es asignado al nodo, asegurando que un único nodo accede en cada momento al bus. Existen diversas técnicas, la Figura 12 muestra las variantes principales empleadas habitualmente.

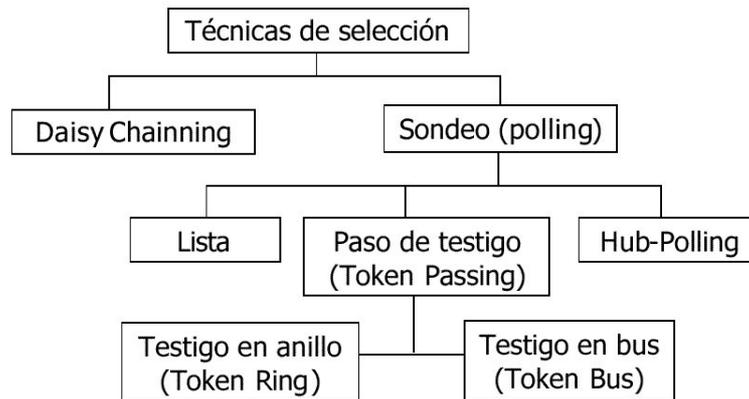


Figura 12. Técnicas de compartición del bus mediante selección.

- ? **Daisy Chain:** Es la misma que se utiliza en los buses internos de los ordenadores. Necesita un canal extra (hilo) que recorra en anillo las estaciones, siendo un bus el canal que utilizan para enviar los datos. A través de este hilo extra se envían pulsos, cuando una estación es seleccionada mediante un pulso, toma el control del medio para enviar sus mensajes, devolviendo el pulso a la siguiente estación física en el anillo al finalizar su transmisión. Si al recibir el pulso no tiene nada que transmitir, lo pasa a la siguiente estación. El usuario toma el control del canal, avisando cuando finaliza su utilización.

2.4.3.1. Sondeo (Polling).

Uno de los métodos más comunes es el conocido como **sondeo** (polling). En un sistema centralizado, un nodo es el encargado de gestionar todo el tráfico en la red, resolviendo posibles colisiones y asignando el control a nodos de la misma prioridad. Como principal desventaja que posee, se tiene que si falla el control central, la red no funciona. Con este sistema, el nodo central envía una trama especial mediante la que se pregunta al resto de nodos si necesitan acceder al bus, en caso afirmativo, se asigna un orden de acceso donde cada nodo dispone de un tiempo determinado en el que posee el control del bus. Se trata de un método equitativo, pues cada nodo dispone del mismo tiempo que el resto; el problema principal radica en la gestión de señales de tiempo crítico, ya que necesitan ser atendidas de forma inmediata, cosa que este método no suele contemplar, ya que el nodo debe esperar a que llegue su turno para poder enviar datos. En sistemas industriales del tipo maestro-esclavo a nivel de máquina es habitual este tipo de control, los nodos esclavos envían datos a otros nodos a través del nodo maestro, siendo equivalente a un enlace punto a punto entre el nodo maestro y cada uno de los nodos esclavos, pero estando activo un único enlace en cada instante. En un sistema distribuido, se produce un turno rotativo por el que cada nodo toma el control del bus durante un periodo de tiempo establecido.

- ? **Sondeo por lista:** Control centralizado. El controlador dispone de una lista de las direcciones de las estaciones. Se seleccionan las estaciones por orden de lista. Si se desea que un nodo posea mayor prioridad, éste se incluye varias veces en la lista.
- ? **Hub-Polling:** Control centralizado. El controlador inicia el proceso de sondeo. Cada estación selecciona la siguiente cuando acaba su transmisión. La última avisa al controlador, que reinicia el proceso.
- ? **Paso de Testigo:** Se utiliza una palabra clave o trama especial (testigo) para establecer los turnos de acceso al canal. El testigo consiste en una trama uniforme para todos los nodos, que dispone de varios campos predeterminados como por ejemplo: campo de testigo libre u ocupado, campo dirección destino del testigo, dirección origen del testigo, aceptación de trama y prioridad. Cuando un nodo posee la propiedad del testigo, éste puede acceder a la red para transmitir mensajes (o paquetes). Esta metodología es aplicable tanto a topologías

en bus como en anillo, y admiten control centralizado o distribuido, aunque generalmente es distribuido.

- **Testigo en anillo (Token ring):** Se utiliza en topologías en anillo y está definido por el estándar IEEE 802.5. El testigo circula cuando ninguna estación transmite: es recibido y retransmitido por cada estación. Si una estación tiene que transmitir, espera a recibir el testigo, y una vez recibido, modifica el campo de testigo libre, introduce el mensaje, la dirección de destino y la secuencia de reconocimiento y validación; entonces, retransmite el mensaje. Dado que el testigo pasa por todos los nodos, cuando llega al nodo destino, éste reconoce su dirección y recoge el mensaje cambiando el campo de reconocimiento y validación, retransmitiéndolo de nuevo, así, cuando llegue al nodo que inicialmente le envió el mensaje, éste reconoce que el mensaje ha llegado correctamente a su destino. Si no ha expirado el tiempo de posesión del testigo, el nodo transmisor puede enviar más mensajes, y si ha completado su envío, libera el testigo para que éste sea tomado por otro nodo. A pesar de que existe un tiempo límite de posesión, no se garantiza un tiempo máximo en el que un nodo puede tomar el testigo para enviar datos, ya que depende del número de nodos que deseen tomar el control. La topología impone el orden de paso. No hay prioridades.
- **Testigo en bus (Token bus):** Su funcionamiento está contemplado en el estándar IEEE 802.4. Hay un anillo lógico, de modo que cada nodo conoce la dirección del nodo anterior y posterior (no necesariamente colocados físicamente de ese modo) en el paso del testigo, este hecho se realiza al configurar la red, de este modo, se independizan la topología física y lógica, conociendo con antelación quién será el siguiente propietario del testigo. Cuando un nodo recibe el testigo, si éste está ocupado y la dirección de destino no es la suya, lo retransmite a la siguiente estación. Si el testigo que llega posee la dirección propia del nodo y el campo de aceptación ha sido validado, significa que ya se puede liberar el testigo pues el destino ha recibido correctamente los datos. Si al llegar a la estación el testigo está libre, el nodo puede introducir datos que desee enviar y retransmitir el testigo a la siguiente estación prefijada, aunque ésta no sea la destinataria (en este caso, se limitaría a retransmitir). Existe un tiempo límite de posesión del testigo para cada nodo, prefijado en un campo del testigo (puede haber prioridades modificando el tiempo para cada nodo), por lo que se asegura que la posesión del testigo llegará a un nodo en un tiempo máximo predeterminado, este hecho es muy importante para los sistemas de tiempo crítico, por ello, es empleado en numerosos sistemas de transmisión para redes industriales de automatización.

2.5. Integración y compatibilidad de sistemas.

Actualmente la mayoría de aplicaciones industriales implican el uso de una gran cantidad de elementos de campo como sensores y actuadores. Dados los requerimientos actuales de la integración dentro de un entorno totalmente automatizado, estos elementos de campo no solo deben ser capaces de realizar complicadas funciones sino que también deben ser capaces de comunicarse y trabajar en conjunto con otros equipos, de acuerdo a las necesidades finales del usuario. Los equipos por tanto, en principio, deben tener la conformidad de un estándar de comunicación. Estos dispositivos tienen que satisfacer primeramente las pruebas de conformidad del estándar de comunicaciones que implementarán, pero muchas veces esto no es un requisito suficiente para poder trabajar en conjunto porque entre implementaciones que tienen la conformidad de un estándar puede que sea imposible el funcionamiento conjunto. Por consiguiente, deben también ofrecer otras propiedades como las llamadas interoperabilidad o cooperación entre dispositivos. Cuando tratamos temas relativos a la integración de dispositivos de campo, es necesario en primer lugar poder

distinguir claramente los siguientes conceptos: conformidad, interconectividad, interoperabilidad, cooperación e intercambiabilidad.

2.5.1. Conformidad.

En la época en que las redes eran privadas, un fabricante definía su protocolo de comunicación para todos sus equipos y eventualmente para todos los equipos compatibles con él. Hoy en día con el gran auge del concepto de sistema abierto y específicamente para dispositivos de campo, teniendo en cuenta el gran número de fabricantes, los servicios y protocolos deben ser estandarizados. ISO define el concepto de prueba de conformidad y también la manera de realizarla. La prueba de conformidad es una operación que nos permite decir si una implementación particular de un protocolo o un grupo de protocolos se ajustan a lo expresado en el estándar. Aunque si N equipos son declarados conformes, existe la posibilidad de que ellos no puedan cooperar en la misma aplicación. Las razones para la no cooperación, entre dispositivos que tienen la conformidad son simples, primeramente el estándar presenta opciones, algunas veces ambiguas, y selecciones diferentes pueden hacer que productos tengan la conformidad sin ser compatibles entre ellos. En segundo lugar las pruebas nunca son exhaustivas. En tercer lugar las consideraciones de tiempo y recursos no son tomadas en cuenta en las pruebas de conformidad. Estas razones, expuestas precedentemente, originan la necesidad de introducir la noción de interoperabilidad.

2.5.2. Interconectividad

La interconectividad está proporcionada por las capas que definen el protocolo de comunicación. Cada dispositivo en el sistema debe soportar el mismo protocolo en término de número de capas definidas por el mismo; pero cada dispositivo tiene su propia definición de los servicios o elementos de información soportados. Los dispositivos que tienen solamente interconectividad pueden intercambiar datos pero no tendrán conocimiento de qué es lo que éstos representan.

2.5.3. Interoperabilidad

La interoperabilidad de dispositivos que tienen la conformidad de un mismo estándar es una propiedad que expresa la capacidad de éstos de comunicarse para cooperación y para participar de un objetivo común. Las razones por las cuales muchas veces no existe la interoperabilidad pueden resumirse en las siguientes:

- ? Imprecisión de límites.
- ? Especificaciones estándares ambiguas o equivocadas.
- ? Implementaciones con prestaciones temporales diferentes.
- ? Pruebas de conformidad no exhaustivas.

La prueba de interoperabilidad es vista como un complemento a la prueba de conformidad y su primera aproximación se puede realizar reuniendo equipos reales que habrían pasado las pruebas de conformidad en la misma plataforma y probar si tales equipos son capaces de comunicarse correctamente, y por consiguiente, si ellos pueden interoperar. Esta es una operación costosa y difícil dado lo heterogéneo de los dispositivos y el número de equipos. Esta metodología permite solamente verificar aquellos productos que podrían trabajar juntos bajo un cierto número de hipótesis seleccionadas. Si el usuario final toma otro producto con otras configuraciones, está claro que la prueba anterior no puede garantizar la interoperabilidad en todos los casos. La interoperabilidad de las comunicaciones sin embargo no está definida de una manera estándar. Algunas confusiones acerca de la interoperabilidad han surgido del hecho de que esta propiedad es parcialmente obtenida de una prueba global. Se puede entonces introducir el concepto de cooperación entre dispositivos para distinguirlo de la interoperabilidad. La interoperabilidad está

reservada a las capas de comunicación y a los perfiles de todas las partes estandarizadas. De esta manera podemos distinguir interoperabilidad de la cooperación entre dispositivos.

2.5.4. Cooperación entre dispositivos.

Podemos definir la cooperación entre dispositivos de campo como la propiedad que tienen las aplicaciones software o procesos de aplicación, de cada uno de los elementos que cooperan, para poder interactuar y satisfacer un objetivo determinado. Indudablemente esto presupone la interoperabilidad y por lo tanto la conformidad con un estándar común a todos estos dispositivos. Por lo tanto, podemos decir que los dispositivos cooperan cuando:

- ? Los servidores de procesos de aplicación interpretan correctamente los servicios requeridos realizados desde un cliente de procesos de aplicación.
- ? Clientes de procesos de aplicación interpretan correctamente los servicios de respuesta realizados por los servidores.
- ? Intercambios de datos realizados por los productores son interpretados por los consumidores.

Se dice que la interpretación de la información es correcta sí: la sintaxis es bien reconocida por todas las partes, la semántica es bien entendida y son respetadas las características de tiempo. Como ejemplo de elementos que no pueden cooperar, se puede citar el de dos o más dispositivos como uno que mide la presión y otro que la utiliza, que tienen definidas unidades de medición diferentes. En este caso la cooperación sólo es posible si uno de ellos es capaz de adaptarse a las características del otro con una operación de parametrización.

2.5.5. Intercambiabilidad

La intercambiabilidad puede definirse como la propiedad que presenta un dispositivo de ser reemplazado por otro, funcionalmente similar pero de fabricante diferente, sin tener que modificar el sistema. Cada equipo debe, obviamente, ser interoperable con los otros equipos del sistema global. Por ejemplo, si todas las características de los equipos A y B son similares entonces A y B son intercambiables. En el caso en que las características de A estén incluidas en las características de B, entonces A puede ser sustituido por B; pero B solamente es intercambiable con A si las características de este último son las utilizadas en la interoperabilidad del sistema y en las relaciones de cooperación.

2.6. Medios de transmisión.

Los medios de transmisión son los elementos por los que se transporta la información, haciendo que llegue con la menor cantidad de ruido y distorsión a todos los nodos (o estaciones) involucrados en el proceso de comunicación. A nivel de campo deben permitir mucha flexibilidad en cuanto a manejo físico del mismo y al incremento del número de nodos de manera simple. A continuación se presenta una breve descripción de los principales medios de transmisión utilizados en los entornos industriales.

De manera ineludible, asociado a los medios de transmisión se encuentran los conectores que permiten realizar la unión entre los nodos y elementos de la red y el medio de transmisión, debiendo ser “transparentes” al funcionamiento de la misma, sin entorpecer o atenuar el flujo de señales. Dependiendo del tipo de red a instalar, a menudo estos conectores suelen ser específicos, aunque existen conectores de uso general como los conectores DB9, DB15 y DB25 habitualmente empleados en transmisión de señales eléctricas.

En primer lugar, decir que existen dos clases principales de medios de transmisión, los **medios guiados**, y los **medios no guiados**. En el primer tipo existe un medio material por donde se transmite la información (cableado en general), y el segundo tipo utiliza el aire como medio de transmisión, es decir, suelen ser sistemas de transmisión inalámbricos. La elección de un tipo de red local conlleva la elección del medio de transmisión pues cada fabricante suele recomendar un tipo de medio de transmisión que mejor se adapta a la red, o bien aconseja varios medios de transmisión dependiendo de las distancias, velocidades de transmisión, ancho de banda, entorno de trabajo, etc.

2.6.1. Medios guiados.

La característica principal de un medio guiado es la existencia de un cable consistente en una envoltura de uno o más hilos conductores eléctricos u ópticos. Entre los medios de transmisión de señal eléctrica, uno de los parámetros a tener en cuenta es la impedancia característica, que debe mantenerse en todo el cable para asegurar una correcta transmisión, y la atenuación del cable, medida en dB (decibelios) por unidad de distancia. Respecto al cable óptico, se debe asegurar una buena transmisión del haz óptico, especialmente a través de los múltiples empalmes que se suelen realizar en cualquier instalación.

2.6.1.1. Par trenzado.

Es el medio de transmisión más antiguo. Está formado por dos hilos de cobre aislado entrelazados en forma helicoidal, uno para transmisión de datos y el otro referenciado a tierra. La utilización de la forma entrelazada tiene por objeto la reducción de la interferencia eléctrica con respecto a los pares de hilos cercanos, ya que como es sabido dos cables paralelos podemos asimilarlos a una antena. Existen los cables apantallados (STP, Shielded Twisted Pair) y no apantallados (UTP, Unshielded Twisted Pair); este último se clasifica en diferentes categorías (de la 2 a la 5) dependiendo de la calidad del mismo, actualmente ya existen cables de categorías 6 y 7, pues a veces es necesaria mayor calidad para soportar mayor velocidad y ancho de banda. También existen numerosas variantes de cables dependiendo de la envoltura plástica para adaptarse a cualquier aplicación o emplazamiento (exteriores, temperaturas extremas, etc.) sin perjudicar la calidad de transmisión.

Existen cables con diferente número de pares en su interior, ya que dependiendo de la aplicación o tipo de red son necesarios más o menos pares. Su utilización tiene cabida tanto en aplicaciones digitales como analógicas. La aplicación más conocida es la transmisión telefónica, con cable STP de dos pares y conectores RJ45 y RJ11. Otra aplicación habitual es la de redes para transmisión de datos (ethernet, por ejemplo), con el uso de cuatro pares trenzados y conectores RJ45 y RJ11.

2.6.1.2. Cable coaxial.

El cable coaxial está formado por un núcleo de cobre rodeado de material aislante y un conductor exterior trenzado denominado comúnmente malla, se dispone en una estructura concéntrica. Cubriendo a todo el conjunto encontraremos externamente una cubierta protectora de material plástico. Existen dos tipos principales, de banda base y de banda ancha, aunque este último, a pesar de poseer mejores cualidades, es menos empleado dada su mayor complejidad de instalación y mayor coste. Este tipo de cable suele ser robusto ante interferencias, sus aplicaciones más conocidas son para señales de televisión y datos.

2.6.1.3. Fibra óptica.

Constituida por un núcleo muy fino de fibra de vidrio circular (existen diferentes materiales plásticos que dotan a la fibra óptica de diferentes propiedades y calidades), que al tener un elevado

índice de refracción permite conducir la energía óptica en su interior. Este núcleo está envuelto por un recubrimiento opaco que aísla la fibra óptica de posibles interferencias. A diferencia del caso anterior, la transmisión no es digital sino analógica, por lo que se necesita disponer de amplificadores que refuercen la señal de forma periódica. Es el medio idóneo si se necesitan altas velocidades de transmisión, gran ancho de banda o cubrir largas distancias, pues la luz es más inmune a las interferencias electromagnéticas y posee tiempos de transición menores. Existen tres tipos básicos de fibra óptica, fibra monomodo, multimodo de índice gradual, y multimodo de índice discreto o escalonado, con diferentes grados de atenuación, velocidades de transmisión, y ancho de banda. Debido a la complejidad de la instalación y sus dispositivos asociados, resulta una opción muy cara, por lo que sólo se instala en lugares donde no sea posible otra alternativa.

2.6.2. Medios no guiados.

En emplazamientos donde resulta complicado trazar un tendido de cable, es conveniente utilizar un enlace inalámbrico. Actualmente, este tipo de enlaces está teniendo un gran auge debido a la aparición de sistemas de enlace como Wi-fi (IEEE 802.11b) y Bluetooth, que resuelven las comunicaciones entre dispositivos en distancias cercanas, pero donde se centran gran parte de las necesidades de los usuarios (por ejemplo, en una nave industrial). Sin embargo, los enlaces mediante medios no guiados ya se vienen realizando con anterioridad mediante ondas de radio para distancias cercanas, y mediante enlaces de microondas, usados generalmente en enlaces punto a punto que deben cubrir largas distancias (se usan para comunicaciones terrestres y vía satélite).

2.6.3. Criterios generales para la instalación de cableado.

En entornos industriales, y especialmente a nivel de campo, donde existen numerosos dispositivos y por tanto, gran cantidad de conexiones y entramado de cables, es recomendable utilizar medios de transmisión de sencilla instalación, fácil manipulación, y mantenimiento sencillo para facilitar la reparación por personal no especializado. La selección del medio de transmisión dependerá de:

1. Las distancias y accesibilidad de los dispositivos; normalmente en el nivel de campo, dentro de las células de producción y entre ellas, se utiliza cable de par trenzado, ya que permite cubrir sin dificultad las distancias promedio de este tipo de entorno.
2. El coste del medio a utilizar, pues si las distancias son considerables, como en planta, lo mejor es utilizar un medio de transmisión poco costoso (el más utilizado es el cable de par trenzado apantallado o no apantallado).
3. La flexibilidad que presente la inserción de nuevos nodos; nuevamente en este caso el más adecuado es el cable de par trenzado.
4. La facilidad de permitir llevar los conductores de alimentación a los nodos remotos; pues en sistemas industriales, la mayoría de dispositivos inteligentes de campo necesitan fuentes de alimentación externa en corriente continua. Por lo tanto, el medio de transmisión también debe considerar este requerimiento.

2.7. Estándares de comunicación básicos: RS-232, RS-422/485.

Estos dos tipos de comunicación entre equipos, a pesar de ser estándares establecidos hace varias décadas, siguen siendo empleados de forma habitual en cualquier tipo de aplicaciones electrónicas industriales. Esto es debido especialmente a la relativa sencillez en la intercomunicación, la incorporación de manera casi estándar dentro de los equipos, y a su probada robustez y adaptabilidad para satisfacer las necesidades de gran número de aplicaciones, sin necesidad de tener que recurrir a instalaciones más complejas. RS-232 está diseñado para comunicaciones punto a punto, mientras que RS422/485 permite una conexión de varios dispositivos sobre el mismo bus (punto-multipunto).

2.7.1. Comunicaciones RS-232.

El estándar RS-232 fue propuesto por primera vez en 1962, aunque ha sufrido diversas revisiones desde entonces. Actualmente, el nombre oficial es EIA/TIA-232-E, haciendo referencia al organismo que lo define (EIA, Electronics Industry Association y TIA Telecommunication Industry Association), el término RS hace referencia a su descripción inicial (Recommended Standard, estándar recomendado), pero que actualmente sigue siendo el más empleado. Además, el nombre que define el estándar es: “Interfaz entre equipos terminales de datos y equipos de terminación de circuito de datos empleando intercambio de datos binarios tipo serie”. Es decir, que ofrece un estándar de intercomunicación entre los comúnmente conocidos como DTE (equipos terminales de datos) y DCE (equipos de comunicación o de terminación de circuito de datos); los primeros, suelen ser los equipos encargados de generar y controlar los datos a transmitir (una computadora o un autómatas programable), y los segundos hacen referencia al dispositivo periférico encargado de recibir esos datos, ejemplos típicos de este tipo de dispositivos son un módem, una impresora, etc. la Figura 13 muestra esta descripción.

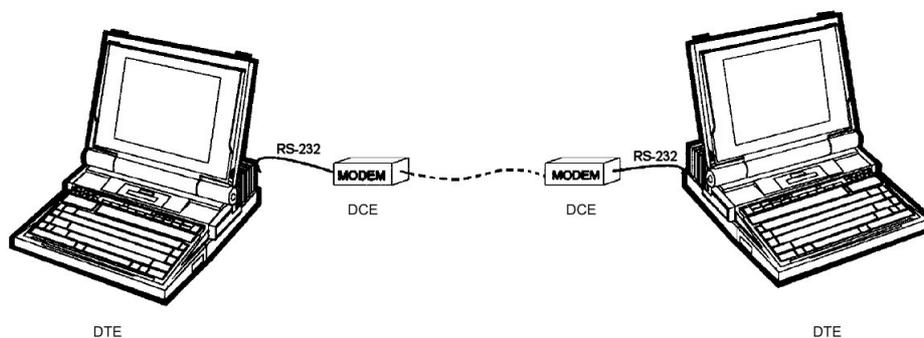


Figura 13. Enlace RS-232 entre equipo terminal (DTE) y de comunicaciones (DCE):

La especificación RS-232 describe tres ámbitos de la comunicación: Los niveles de tensión de las señales, el patillaje de las señales y la información de control que debe existir entre los equipos. Contrariamente a como hacen otros estándares, RS-232 describe, además de las características eléctricas, las características mecánicas y funcionales.

2.7.1.1. Características eléctricas.

Estas características definen los niveles de tensión, tiempos de bajada y subida de niveles, e impedancia de línea. Dado que en 1962 todavía no se había definido la lógica TTL, los niveles de tensión definidos no coinciden, pero este estándar deja un rango de tensiones amplio para la definición de niveles, con un espacio de margen de tensión entre niveles suficientemente amplio como para evitar confusiones. El nivel lógico alto (conocido como “espaciado”) está definido entre +5 y +15 Voltios representando el ‘0’ lógico, y el nivel bajo (conocido como “marcado”) entre -5 y -15 Voltios representa el ‘1’ lógico, pero un receptor puede aceptar un nivel alto a partir de +3V, y un nivel bajo a partir de -3V. En lo que respecta a las transiciones, para evitar problemas de interferencias, se impone un Slew Rate máximo de 30V/?s y una transferencia máxima de 20 kbits/segundo, aunque hoy en día existen numerosos dispositivos que ofrecen velocidades mayores (hasta 350 kbits/segundo). Inicialmente, existía una restricción en la longitud máxima del cable, pero en las últimas revisiones se ha cambiado por un límite máximo en la capacidad del cable (2500pF), así, dependiendo del cable: capacidad mutua entre conductores, capacidad de entrada del driver y capacidad por unidad de longitud, será posible alcanzar diferente longitud de conexión. Finalmente, también se impone una impedancia de carga para el driver (transmisor o receptor) de entre 3k? y 7k? . La Figura 14 muestra algunas de las características que definen a RS-232.

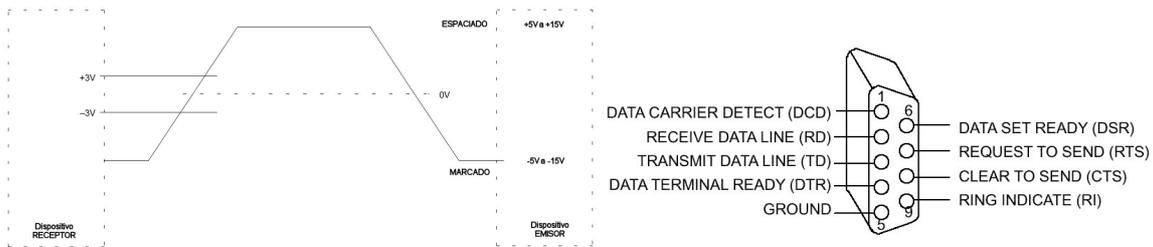


Figura 14. Niveles lógicos RS-232 y conexiones de señales en un DB9.

Dado que estos niveles no son compatibles con la lógica TTL ó CMOS actual, resulta obligada una conversión de niveles capaz de compatibilizar ambos sistemas. Para ello, existen circuitos integrados tales como el DS232A ó MAX232A que a partir de una sola tensión de alimentación (+5V que es la que habitualmente está disponible) y mediante bombas de tensión internas, son capaces de convertir los niveles lógicos habituales a niveles RS-232, y viceversa. De este modo, en conjunción con las llamadas UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) permiten el enlace con computadores, y en general, cualquier dispositivo al que se le quiera incorporar la transmisión serie.

2.7.1.2. Características funcionales.

Existen cuatro tipos de señales: de control, comunes, datos, y temporización. Esto proporciona un conjunto muy amplio de señales para poder adaptarse a una gran variedad de aplicaciones, en total, 24 señales están disponibles. Sin embargo, en las aplicaciones habituales se emplea un conjunto bastante reducido de éstas, pues para transmisiones asíncronas con envío y recepción, suele ser suficiente con 4 señales, una línea de envío, otra de recepción, y dos para control de la transmisión (Figura 15); a veces, incluso no son necesarias las líneas de control y sólo se emplean las de datos.

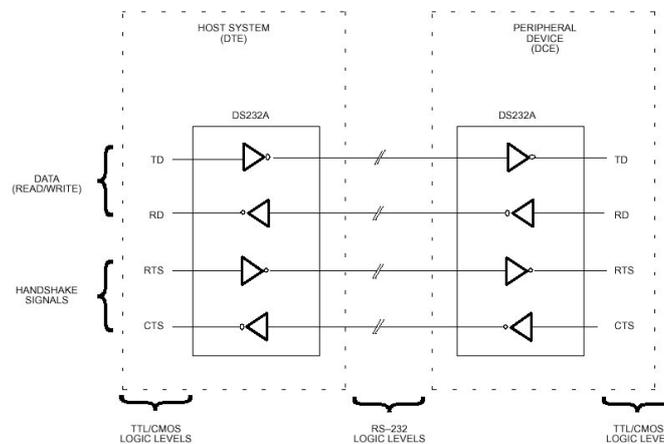


Figura 15. Enlace RS-232 empleando dos líneas de datos y dos de control.

2.7.1.3. Características mecánicas.

Inicialmente, dado el gran número de líneas definidas, la conexión se realizaba mediante un conector de 25 patillas (generalmente del tipo DB25), pero en la gran mayoría de aplicaciones se emplea una conexión de 9 líneas mediante un conector del tipo DB9.

2.7.2. Comunicaciones RS422/RS485.

Estos estándares surgieron como necesidad para ampliar la capacidad de comunicación de RS232 en aspectos como la velocidad de transmisión, inmunidad al ruido, longitud de conexión, y conexiones multipunto. Ambos tienen como principal característica la de trabajar con señales

digitales de voltaje balanceado (también llamado voltaje diferencial), evitando así problemas de referencia de niveles respecto a una tierra que a veces puede variar entre dispositivos, produciendo errores (Figura 16). Esto requiere el empleo de dos líneas (cables) para cada señal, generalmente un par trenzado. Si llamamos a una línea A y otra B, se tomará que se ha recibido un nivel bajo si $A > B$, y nivel alto si $A < B$, siempre y cuando esta diferencia supere un cierto umbral (típicamente 200 mV). De este modo, dado que la mayoría del ruido se induce por igual en ambas líneas (ruido en modo común), éste queda compensado a la hora de realizar la diferencia entre ambos y no produce alteraciones. Habitualmente, un emisor que quiere transmitir genera una diferencia de tensión de 2 a 5 voltios entre las líneas.

A pesar de la aparición de múltiples sistemas de transmisión, RS422/485 sigue siendo uno de los más empleados en comunicaciones industriales debido a su robustez y sencillez en la instalación. Ha sido empleado en infinidad de aplicaciones, desde la conexión entre varios puntos de venta en supermercados al enlace entre diferentes dispositivos industriales como drivers de motores, electroválvulas y autómatas programables, hasta los asientos de pasajeros de los aviones. La amplia difusión de estos estándares se debe en gran parte a su libertad absoluta en cuanto al protocolo de transmisión, ya que se limitan a especificar las características eléctricas de la línea así como las limitaciones que se imponen. Esto ha permitido que sobre el mismo medio físico, dependiendo del fabricante, se puedan encontrar multitud de protocolos diferentes. Incluso protocolos recientes como Profibus emplean este medio de transmisión en numerosas aplicaciones.

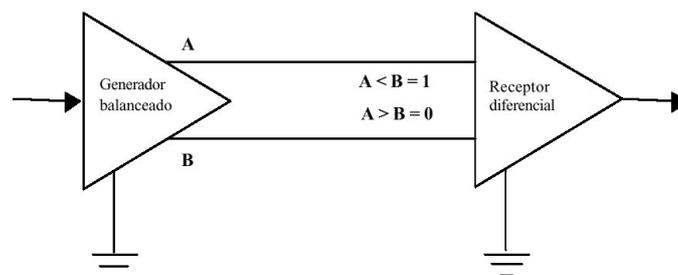


Figura 16. Principio de transmisión de niveles lógicos en un sistema balanceado (RS422 y RS485).

RS422 y RS485 poseen características muy similares en los aspectos de definición de líneas control y datos, pero la principal diferencia reside en que RS485 proporciona un mayor nivel de funcionalidad ya que en RS422 sólo es posible una comunicación multipunto de modo que sólo puede existir un emisor y hasta 10 receptores. En cambio, RS485 permite hasta 32 nodos en la misma red (actualmente, debido a la mejora de la circuitería electrónica, se llegan a admitir hasta 255 nodos), siendo posible que todos ellos ejerzan como iniciadores de la transmisión hacia el resto, es decir, tiene capacidad multimaestro. Estas capacidades añadidas que incorpora RS485 obligan a introducir elementos de gestión de la red, pues es posible la existencia de colisiones entre varios nodos, y a nivel hardware, es necesario añadir elementos triestado para disponer de alta impedancia en los nodos (en RS422 los nodos siempre están activos). Dado que estos estándares suponen una extensión de RS232, la conversión de una línea RS232 a RS422/485 es relativamente sencilla (Figura 17).

Otra diferencia importante entre ambos estándares reside en el número de líneas de transmisión necesaria para implementar la comunicación. En RS422, al igual que en RS232, es necesario dos líneas de datos (4 cables en caso de RS422), una para transmisión y otra para recepción, mientras que en RS485 existen dos posibilidades, emplear una única línea compartida para transmisión y recepción, o bien utilizar una implementación similar a RS422, lo que permite transmitir y recibir al mismo tiempo, incrementando la velocidad de transmisión. En el caso de una sola línea de comunicación, la sencillez del cableado es mayor, aunque existen mayores problemas en la gestión de las comunicaciones.

Comparativa entre los estándares RS422 y RS485.

ESPECIFICACIONES	RS485	RS422
Número total de emisores y receptores en una línea.	32 (Receptores o Emisores)	1 emisor 10 Receptores
Longitud Máxima de Cable	1.200 metros	1.200 metros
Velocidad de transferencia de datos máxima	10Mbit/s	100 kbit/s
Tensión de salida máxima	-7V a +12V	-0.25V a +6V
Nivel mínimo de salida con carga	+/-1.5V	+/-2.0V
Nivel máximo de salida sin carga	+/-6V	+/-6V
Impedancia de carga (Ohmios)	54	100
Corriente máxima del driver en alta impedancia con tensión de alimentación	+/-100?A	N/A
Corriente máxima del driver en alta impedancia sin tensión de alimentación	+/-100?A	+/-100?A
Rango de tensión de entrada del receptor	-7V a +12V	-10V a +10V
Sensibilidad del receptor	+/-200mV	+/-200mV
Resistencia de entrada del receptor (Ohms)	>=12k	4k min.

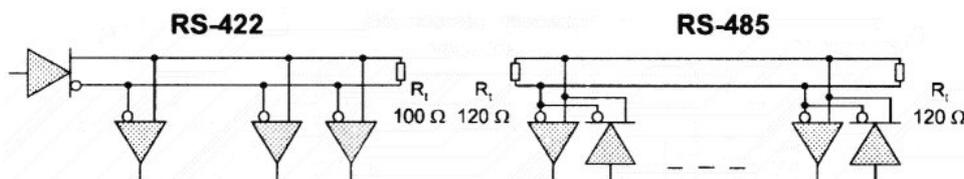


Figura 17. Estructuras de comunicación para RS422 y RS485.

Junto con RS422, existe otro estándar denominado RS423, con idénticas especificaciones eléctricas, pero empleando una conexión no balanceada. RS422 es la extensión directa de la conexión RS232, por ello, su estructura sólo admite que en cada línea (una línea está constituida por un par trenzado) exista un emisor y varios receptores. Actualmente, el nombre del estándar RS422 es EIA/TIA 422-B (también lo describe el estándar ITU-T v11), y para RS485, EIA/TIA 485-A (también definido en el estándar ISO 8482).

Para una correcta adaptación, es necesario disponer de una terminación de las líneas de transmisión (típicamente, 100-120 Ω). La velocidad máxima de transmisión depende de la longitud de la línea, a mayor longitud, menor velocidad de transmisión. En general, todos los elementos hardware que cumplen el estándar RS485 son compatibles con sistemas basados en RS422, en cambio, no es posible incluir elementos RS422 en instalaciones RS485, ya que existirán problemas de funcionamiento. Dado que RS485 es el bus más genérico y gran parte de su descripción es aplicable a RS422, vamos a describirlo un poco más en detalle.

2.7.2.1. Comunicaciones RS485.

A pesar de que la instalación de líneas de comunicación RS485 resulta sencilla, deben tenerse en cuenta ciertas consideraciones para evitar la aparición de problemas en la comunicación.

1. **Puesta a tierra.** Cada dispositivo puede estar conectado a una tierra diferente, pero debe tenerse en cuenta que existe un máximo de diferencia de potencial entre las tierras establecido por el estándar de -7V a +12V. Opcionalmente (aunque recomendado), existe la posibilidad de introducir una línea adicional de tierra para igualar niveles, y reducir las posibilidades de funcionamiento incorrecto.
2. **Protección contra cortocircuito.** Se debe establecer una protección para corrientes mayores de 150mA entre A ó B y tierra, o de 250 mA entre A y B.
3. **Protección contra sobretensiones y descargas.** En entornos industriales resulta habitual que existan cambios de tensión bruscos que pueden llegar a las centenas o miles de voltios

debido a la puesta en marcha de maquinaria, alumbrado, o descargas electrostáticas (ESD). Por ello también resulta apropiado incluir supresores de transitorios de tensión para eliminar estos transitorios momentáneos.

4. **Apantallamiento.** La utilización de cable apantallado no suele ser necesaria si el cable no está sometido a grandes campos que puedan afectar el funcionamiento, pues el uso de señales diferenciales evita gran parte del ruido que puede introducirse en la línea. Por tanto, sólo si el cable se emplaza junto a líneas de alimentación, o maquinaria de alto consumo de energía (robots de soldadura, motores de gran potencia, etc.), no es estrictamente necesario un apantallado. De todos modos, es recomendable considerar la decisión antes de la instalación para evitar futuros problemas.
5. **Terminación de la línea.** Este es un aspecto muy importante a la hora de evitar reflexiones de señal que introducen ruido en la línea y ello redonda en la posibilidad de obtener menores prestaciones (baja velocidad de transmisión y menores longitudes). Existen varias técnicas de emplazamiento de resistencias de terminación: Sin terminación, terminación paralela y terminación bidireccional (Figura 18). Si no se introduce terminación, las prestaciones bajan, pero para líneas cortas y sin muchos nodos puede ser una solución sencilla. La terminación paralela necesita de una única resistencia al final de la línea, pero sólo es apta en caso de que exista un único emisor. La terminación bidireccional permite que cualquier nodo sea emisor y/o receptor, pero necesita de dos resistencias (una en cada extremo).

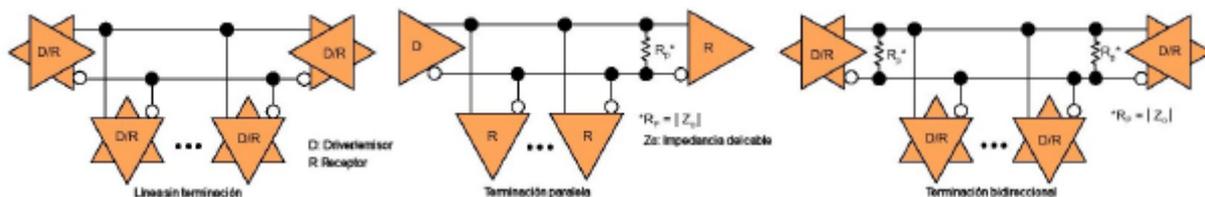


Figura 18. Tipos de terminación en una línea RS485

6. **Topologías.** Ciertas topologías de red no son admisibles debido a las reflexiones de la línea, por tanto, topologías como estrella o anillo no son admisibles. La mejor topología para estas redes es la de bus.
7. **Estados inactivos de la línea.** Cuando un emisor no emplea el bus, éste pone su salida en alta impedancia, dejando el bus al aire (flotante), lo que puede conducir a que se introduzca ruido considerado como señales. Por ello, habitualmente se pone una línea a tierra (A) y la otra a alimentación (B) a través de resistencias (pull-down y pull-up) para evitar esto. Pero estas resistencias también influyen a la hora de la transmisión, ya que producen variaciones en la impedancia de la línea. Para mejorar esto, es conveniente emplazar varias resistencias de pull-up y pull-down a lo largo de la línea en lugar de utilizar una sola resistencia de cada tipo para toda la línea.