



Incluye DVD

Comunicaciones industriales

Vicente Guerrero

Ramón L. Yuste

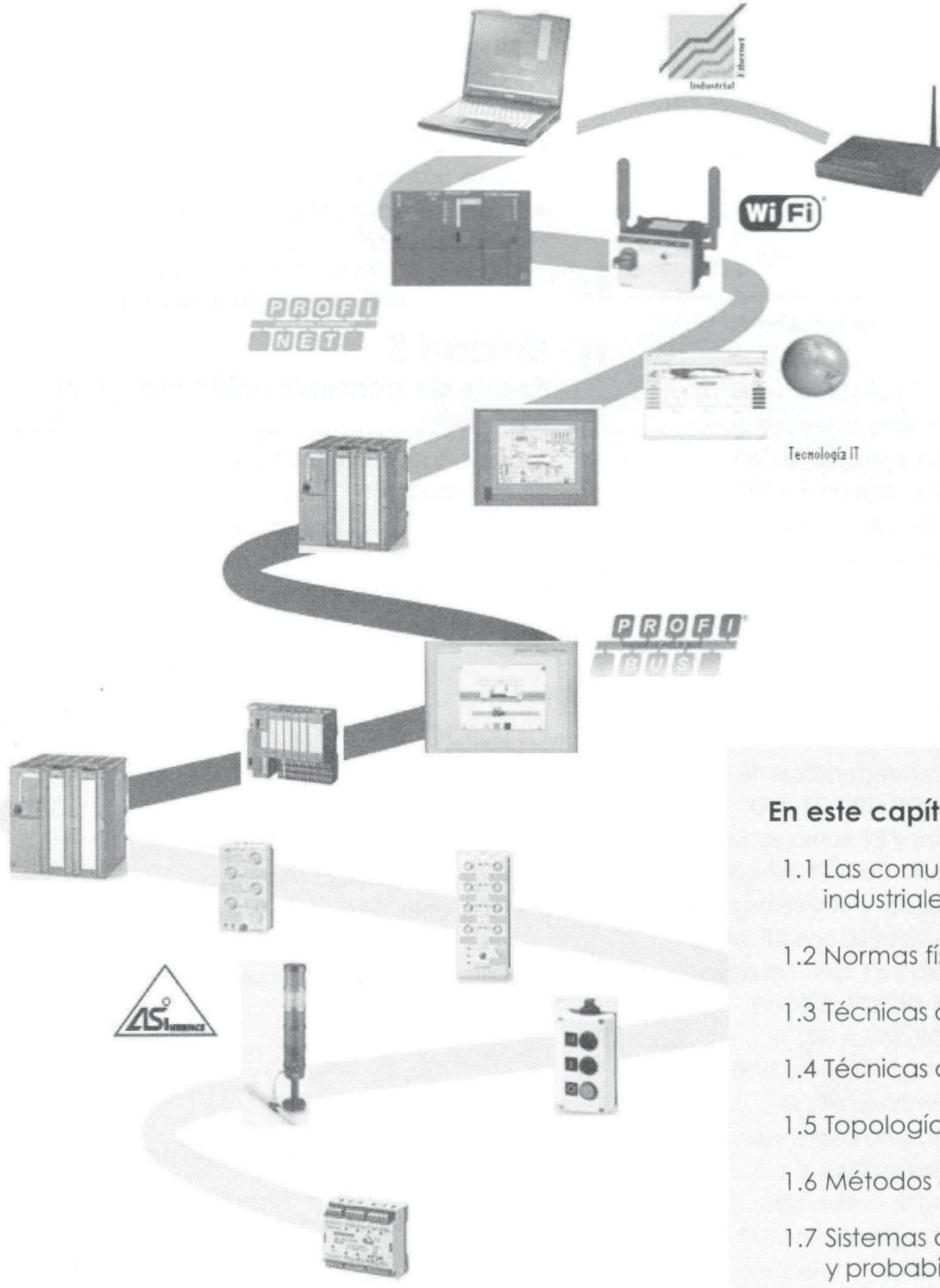
Luis Martínez



Alfaomega

 marcombo
ediciones técnicas

Unidad 1 Redes de comunicación industrial



En este capítulo:

- 1.1 Las comunicaciones industriales
- 1.2 Normas físicas
- 1.3 Técnicas de control de flujo
- 1.4 Técnicas de control de errores
- 1.5 Topología de redes
- 1.6 Métodos de acceso al medio
- 1.7 Sistemas determinista y probabilístico
- 1.8 Interconexión de redes

1.1 Las comunicaciones industriales

1.1.1 Introducción

Desde siglos pasados las comunicaciones han sido siempre un reto para nuestros antepasados. Posiblemente ya no nos acordemos de la forma de comunicarse entre los seres humanos mediante señales de humo, ya que es seguro que tan sólo lo hemos podido ver en las películas del lejano oeste americano. Otro tipo de comunicación, ya no tan lejano y que aún en nuestros días podemos encontrar, es que se realiza entre personas que se encuentran en el mar y otras que intentan enviarle una información desde tierra como son los faros luminosos. Estos dos ejemplos son tan sólo una muestra de otros tantos que podríamos ir describiendo.

Es posible que la invención del teléfono pudo ser una de las bases importantes sobre las que han ido desfilando los diferentes sistemas con los que hoy contamos, pero fue con la aparición de los ordenadores personales con lo que se empezaron a notar cómo las comunicaciones iniciaban un proceso de cambio total tanto en su concepción como en sus aplicaciones. Esto es debido a la utilización de la tecnología digital.

Si nos situamos en nuestros días, ¿quién no utiliza un teléfono móvil?, o ¿existe alguna persona que no haya escuchado hablar de Internet?, ¿hay algún joven estudiante que no se relacione con otras personas del planeta mediante correos electrónicos?, etc. Todo esto nos hace ver una evolución continua y constante cuyos límites se desconocen. Tecnologías como bluetooth, wifi, GPRS, etc. son algunos de los últimos sistemas de comunicaciones aplicados a dispositivos que la mayoría de personas utilizan en la actualidad.



Figura 1.1.1
Dispositivos de comunicación actuales.

Podríamos realizar una exposición totalmente paralela a la expuesta anteriormente cuando hablamos de la evolución experimentada en los dispositivos industriales. Por tanto, podemos observar cómo esas mismas tecnologías que poseen los dispositivos utilizados por las personas aparecen implementadas en la comunicaciones entre diferentes dispositivos industriales.

En la industria moderna, las comunicaciones de datos entre diferentes sistemas, procesos e instalaciones suponen uno de los pilares fundamentales para que ésta se encuentre en un nivel de competitividad exigida en los procesos productivos actuales.

En un sistema de comunicación de datos industrial es tanto más exigente cuanto más cerca del proceso nos encontramos. Si realizamos una comparativa entre tres de las principales características que determinan la aplicación de las diferentes redes de comunicación, como son:

- Volumen de datos: Cantidad de datos que viajan por la red en cada envío.
- Velocidad de transmisión: Velocidad a la que viajan los datos por la red.
- Velocidad de respuesta: Velocidad que hay entre el momento de dar la orden y la respuesta del dispositivo.

Observamos en la siguiente tabla cuáles serían sus valores:

	Volumen de datos	Velocidad de transmisión	Velocidad de respuesta	Aplicación
Red de ordenadores	Elevado	Elevado	Bajo	Lectura de datos
Detector de proximidad	Muy bajo	Bajo	Instantánea	Sistema de seguridad

Tabla 1.1.1

Si tratamos el ejemplo expuesto en la anterior tabla dándole una aplicación, es posible que nos aclare más estas tres características. Si queremos comunicar un proceso industrial con la red de ordenadores, estos ordenadores podrían ser utilizados para la lectura de bases de datos en donde se refleja el estado actual de la producción. En este caso la velocidad de respuesta es baja, ya que se debe tener en cuenta el tráfico de datos por esa red, en este caso los datos llegarán al sistema de destino con algún segundo de retardo, lo que no va a provocar ninguna disfunción en el sistema productivo, mientras que cuando un detector de proximidad cambie de estado la respuesta en el equipo de control, por ejemplo un autómata programable, ha de ser inmediata, algún milisegundo de retardo a lo sumo.

Está claro que después de la anterior exposición deben existir diferentes niveles de redes de comunicación de datos que cumplan en cada caso con las exigencias funcionales solicitadas. De ahí nace lo que se conoce como pirámide de las comunicaciones. Esta pirámide, reconocida por todos los fabricantes de dispositivos para las redes de datos, está formada por cuatro niveles, que son:

- Oficina: Formado básicamente por ordenadores tanto a nivel de oficina como de ingeniería.
- Planta: Son ordenadores con aplicaciones específicas para el control del proceso.
- Célula: Son todos los componentes inteligentes que intervienen directamente en el proceso.
- Campo: Son todos los dispositivos que provocan los movimientos en el proceso productivo.

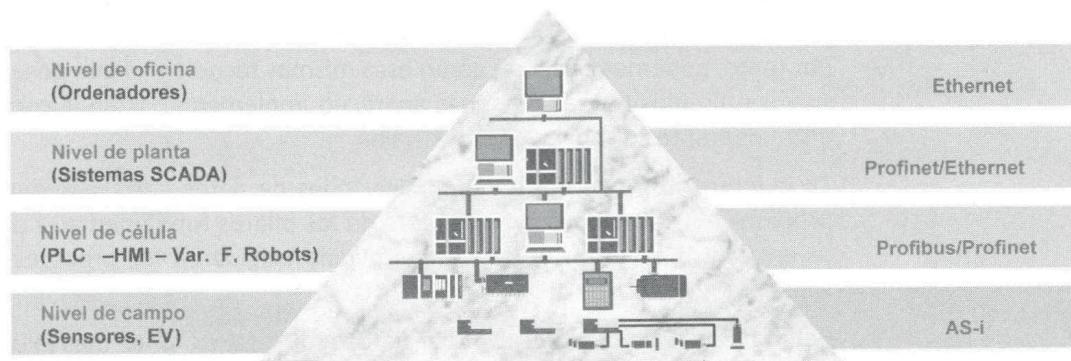


Figura 1.1.2

Pirámide de las comunicaciones.

Todos los fabricantes de dispositivos de redes de comunicación industrial conocen perfectamente las diferentes exigencias para cada tipo de red, por lo que ofrecen diferentes alternativas para cumplir con los requisitos funcionales de cada caso. En el caso de SIEMENS, ofrece para cada nivel una solución y es la que aparece en la figura 1.1.2 y que van a ser objeto de desarrollo en este libro.

En la figura 1.1.3 se realiza un estudio de las principales características de cada uno de los niveles. Además, se completa con otra característica, que es: cuanto más nos acercamos al proceso, mayor número de dispositivos intervienen en la red de comunicación para ese nivel, es decir, que a nivel de campo, que es el nivel más próximo al proceso, la red de datos que interviene engloba a los sensores y actuadores, mientras que al nivel más alejado del proceso, como es el nivel de oficina y que básicamente está compuesto por ordenadores, el número de equipos que interviene en la red se reduce considerablemente.

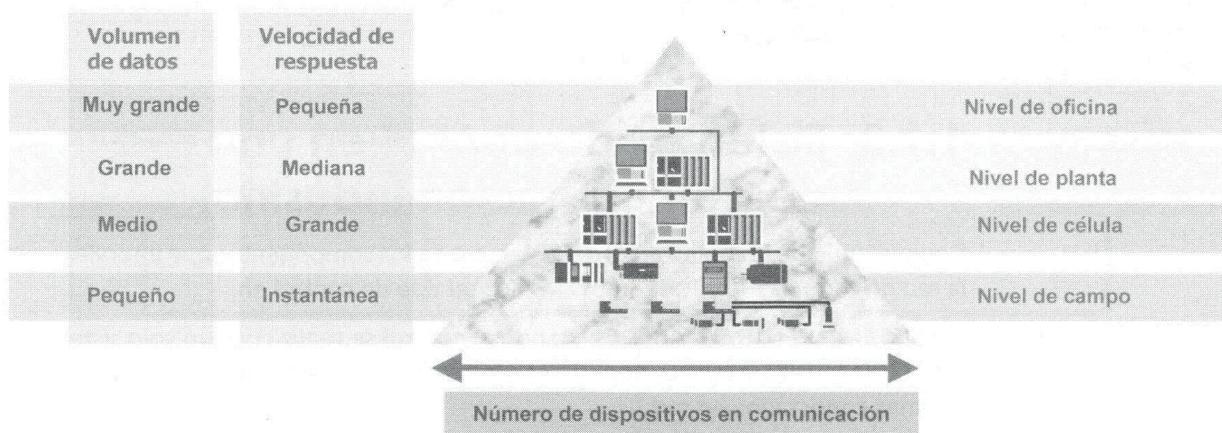


Figura 1.1.3
Velocidades en cada nivel.

1.1.2 ¿Por qué incorporar un sistema de comunicaciones en una empresa?

Una empresa se encuentra en la necesidad de incorporar un sistema de comunicaciones integrado para poder obtener un beneficio, como pueden ser:

- La reducción de costes de producción.
- La mejora de la calidad.
- La mejora de la productividad.
- La reducción del almacenaje.
- La mejora de la efectividad de sus sistemas.
- La reducción de los costes de mantenimiento.

Para conseguir estos objetivos el sistema de comunicaciones debe permitir:

- Sistemas de comunicaciones que enlacen la planta de producción con la de gestión e ingeniería de la empresa.
- La integración de las bases de datos de la empresa (producción, pedidos, almacén, etc.).
- Compartir las aplicaciones tanto a nivel de:
 - Software: GESTIÓN: Textos, hojas de cálculo, bases de datos, etc
 - DISEÑO: CAD/CAE.
 - PRODUCCIÓN: PLC, robots, CNC, etc.
 - Hardware: Impresoras.
 - Otros dispositivos.

Al integrar un sistema de comunicaciones se pueden conseguir ventajas como:

- Tras una orden de fabricación, todos los elementos de un sistema, proceso o planta reciben de forma simultánea la información.
- Permitir centralizar las señales de alarma de cada componente del proceso.
- Permitir el control de la producción, ya que todos los equipos de la planta pueden enviar información a otro sistema que almacenará y procesará dicha información.

Hoy en día, existen multitud de configuraciones de empresas, es decir, empresas con un único edificio, con varios edificios anexos o con varios edificios repartidos en diferentes poblaciones, países o continentes. Es por esta razón por la que podemos encontrar sistemas:

- SIMPLES: Comunicación dentro de una misma planta, a través de cableado eléctrico.
- COMPLEJOS: Comunicación entre diferentes plantas, a través de líneas telefónicas o satélites.

1.1.3 Sistemas de control en una red de comunicación industrial

Dependiendo de la complejidad del sistema o de los componentes que intervienen en la red de comunicación, podemos clasificar el tipo de control en:

- SISTEMA CENTRALIZADO. Es cuando el control se realiza por un solo sistema.
- SISTEMA DISTRIBUIDO. Cuando el control se realiza a través de diferentes sistemas conectados en red.

Las principales características de estos dos sistemas son:

CENTRALIZADO

- Es efectivo mientras el sistema no sea excesivamente grande ni complejo.
- Es fácil de mantener, ya que sólo hay un único controlador.
- Al existir un único controlador, no existen problemas de compatibilidad.
- Son muy delicados a los fallos; si el controlador falla, todo se detiene.

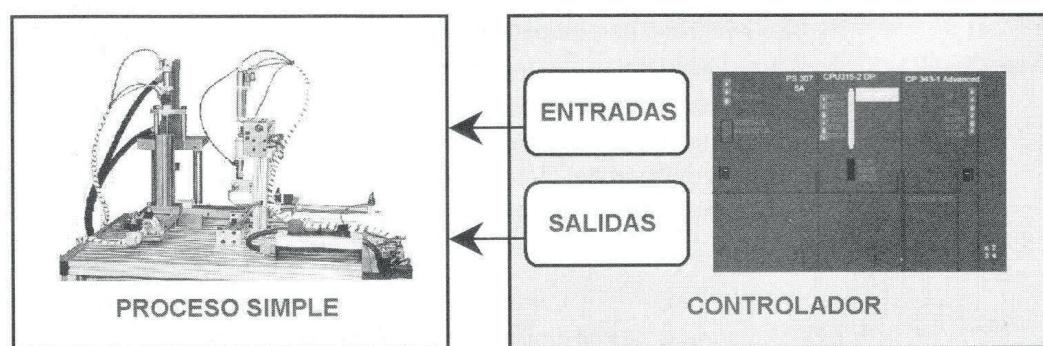


Figura 1.1.4

Sistema de control centralizado.

DISTRIBUIDO

- Para sistemas grandes o complejos.
- La responsabilidad es repartida entre diferentes controladores.
- Todos los controladores deben de comunicarse a través de una red.
- Su capacidad tiende a ser superior a un sistema centralizado.
- Se caracteriza por ser un sistema más flexible que el centralizado.
- Se pueden hacer ampliaciones con otros controladores. Cuando éstos están programados y con

un funcionamiento correcto, entonces se integra en la red de comunicaciones de los demás controladores.

- Se puede partir de un sistema básico e ir ampliando a medida que el sistema lo exija, añadiendo módulos u otros controladores.
- Permite la integración de dispositivos de diferentes fabricantes comunicables entre sí.

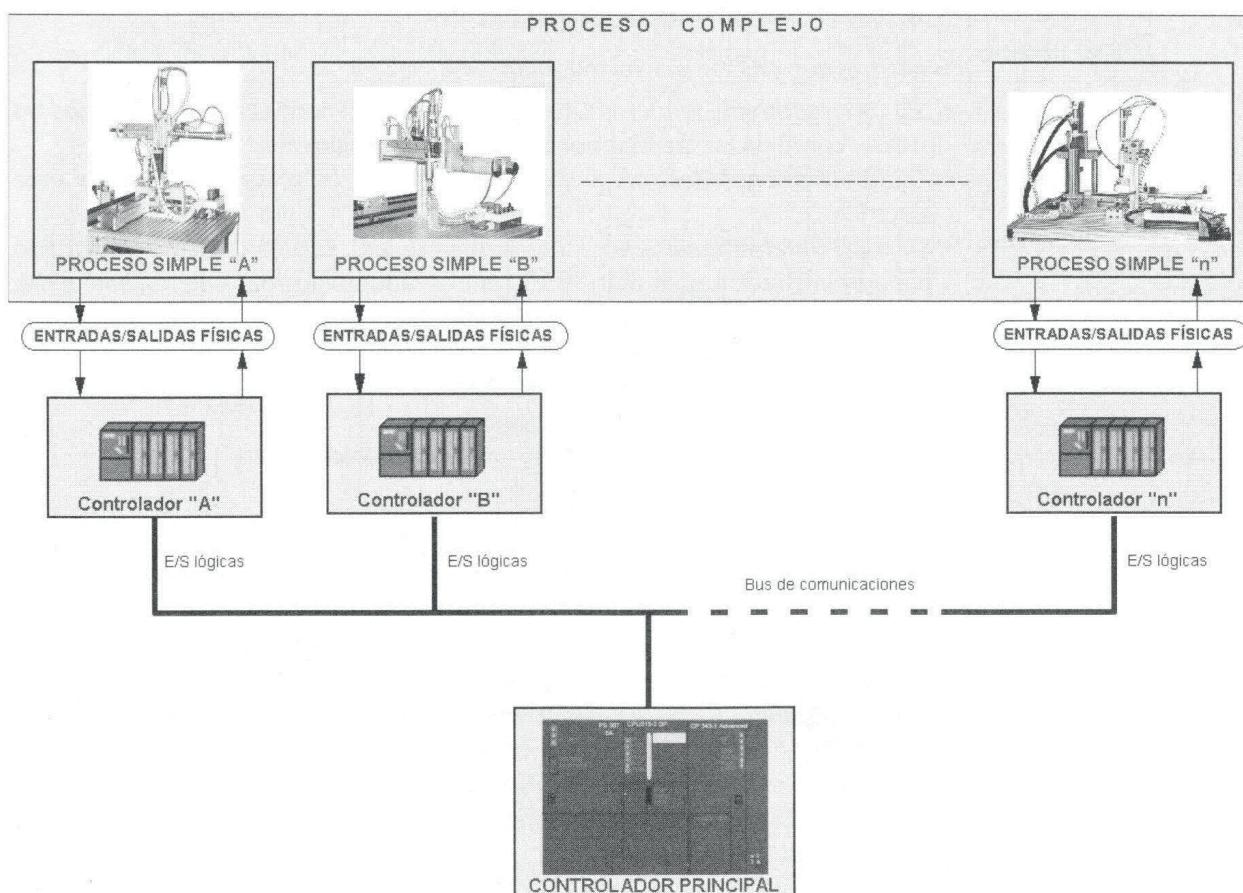


Figura 1.1.5
Sistema de control distribuido.

1.1.4 Normas sobre las comunicaciones

Cabe destacar que con la llegada de las normas todos los fabricantes han ido adaptando sus sistemas al cumplimiento de éstas, por lo cual cada día más los equipos de diferentes fabricantes son más compatibles entre sí, aunque existen multitud de normas y estándares no todas han nacido de una institución normalizadora como son las llamadas normas de facto, que son:

Sistemas realizados por grandes empresas (multinacionales) generalmente, y que de una forma u otra acaban de imponerse en el mercado. Se generan solas y acaban aceptándose.

Y también existen las llamadas normas de iure que son las que alguna organización o institución ha decidido promulgar, y que pueden ser las propuestas por:

- Gobiernos nacionales.
- Organismos nacionales o internacionales.

1.1.4.1 Organismos de normalización

Existen diferentes organismos cuyas normas afectan a diferentes ámbitos geográficos, es decir, normas que rigen a nivel mundial, a nivel continental o a nivel nacional.

1.1.4.1.1 Normas internacionales

Son normas que afectan a nivel mundial:

- ISO (*International Standards Organization*), que genera normas para todas las áreas y coordina las creadas por organizaciones regionales.
- IEC (*International Electrotechnical Commission*). Elabora normas para el área eléctrica.
- ITU o UIT (*International Telecommunication Union*). Es un organismo constituido por administraciones de más de 150 países, adopta normas que regulan el uso del espectro radioeléctrico en los ámbitos espacial y terrestre. Está estructurada en tres sectores, que son:
 - ITU-T para las telecomunicaciones.
 - ITU-R para la radiocomunicación.
 - ITU-D para el desarrollo de las telecomunicaciones.

1.1.4.1.2 Normas continentales

Quedan agrupadas en un determinado número de organismos nacionales de normalización y que a nivel europeo son:

- CEN (*Comité Européen de Normalisation*), es el encargado de generar todas las normas del tipo EN que son a nivel europeo.
- CENELEC (*Comité Européen de Normalisation Electrotechnique*), es la rama de las CEN que se encarga de las normas del ámbito electrotécnico.
- ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*). Organización europea creada a instancia de los operadores (PTT Post Telephone and Telegraph) y lo que hoy es la Unión Europea.

A nivel de Estados Unidos, las que afectan al campo de las comunicaciones son:

- ANSI (*American National Standards Institute*). Instituto americano de normas estándar que abarca todas las disciplinas.
- EIA (*Electronics Industries Associate*). Asociación de industrias del sector de la electrónica, que se ocupa de la definición de estándares acerca de la transmisión de señales eléctricas. El estándar más conocido es la RS-232.
- TIA (*Telecommunications Industries Associates*). Agrupación de fabricantes de equipos de telecomunicaciones.
- IEEE o IE³ (*Institute of Electrical and Electronic Engineers*). Es una organización profesional que ha elaborado importantes recomendaciones relativas a las comunicaciones industriales y redes de comunicación que han terminado por convertirse en normas de facto.

1.1.4.1.3 Normas nacionales

Son las normas creadas por organismos del propio país de aplicación y que en España son las normas UNE (normas españolas) y UNE-EN (normas españolas adaptadas a las europeas):

- AENOR (*Agencia Española de Normalización*). Es un organismo reconocido por la administración pública española para la normalización de productos, procesos y servicios de todos los sectores.

1.1.4.2 Normas que afectan a las comunicaciones

En la siguiente tabla se muestran tanto el organismo como la norma o recomendación que la contempla:

Organismo	Norma/Recomendación	Contenido
EIA	RS-232C	Norma física RS-232 de comunicación serie.
EIA/TIA	RS-422	Norma física RS-422 de comunicación serie.
EIA	RS-485	Norma física RS-485 de comunicación serie.
EIA/TIA	568	Cableado estructurado de redes de datos.
IEEE	802	Redes de área local (LAN).
IEEE	802.3	Métodos de acceso al medio en redes Ethernet.
IEEE	1284	Norma sobre las comunicaciones en paralelo.
UIT	V.92	Normas sobre los módems de 56 kbps.
AENOR	UNE-EN 50173	Cableado de sistemas de información.
AENOR	UNE-EN 50174	Redes de cableado estructurado.
CENELEC	EN 50170	Buses de campo industriales de propósito general.
CENELEC	EN 61131-5	Comunicaciones en los autómatas programables.
CENELEC	EN 61158-2	Vía de datos en los sistemas de control industriales
IEC	IEC 61158	Buses de campo industriales.

Tabla 1.1.2

1.1.5 Modelo OSI

El modelo OSI, que quiere decir Open System Interconnection o Interconexión de Sistemas Abiertos, fue definido por la ISO en el año 1983.

El modelo OSI está formado por siete capas o niveles.

Cada capa o nivel tiene unas funciones claramente definidas y que son las siguientes:

- Nivel 1. FÍSICA: Especifica cuál será el medio físico de transporte a utilizar. Señales eléctricas.
- Nivel 2. ENLACE: Estructuración de los datos dentro de la trama y control de errores.
- Nivel 3. RED: Interviene en el caso en el que intervenga más de una red.
- Nivel 4. TRANSPORTE: División de los datos en paquetes de envío.
- Nivel 5. SESIÓN: Para el control del inicio y finalización de las conexiones.
- Nivel 6. PRESENTACIÓN: Representación y encriptación de los datos.
- Nivel 7. APLICACIÓN: Utilización de los datos.

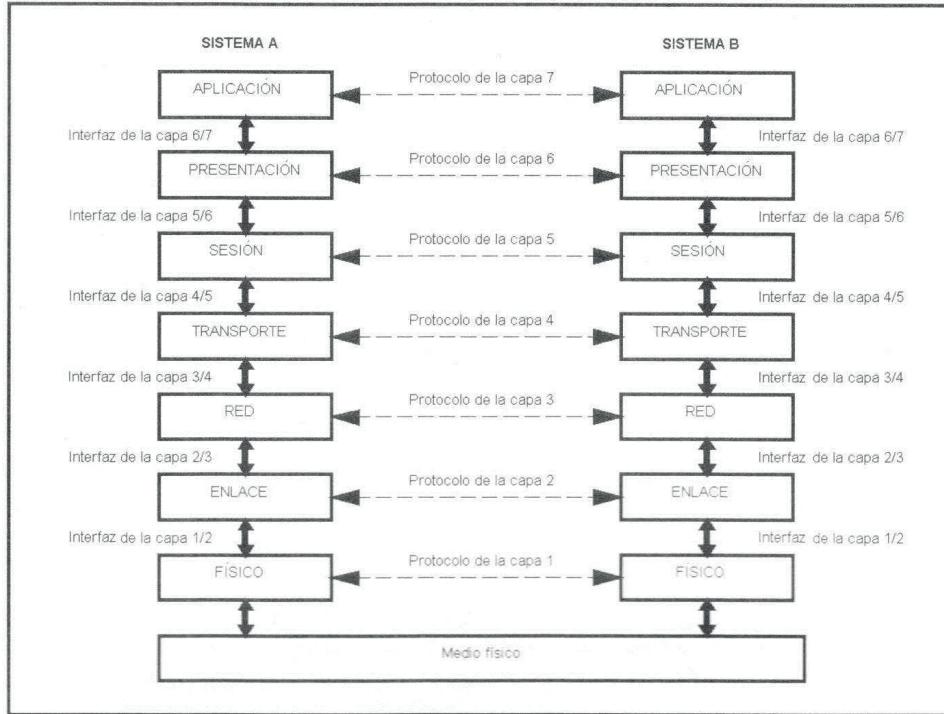


Figura 1.1.6
Sistema de control distribuido.

1.1.5.1 Modelo OSI para las comunicaciones industriales

A nivel de las comunicaciones industriales las capas utilizadas son:

FÍSICA: Se encarga de la transmisión de bits al canal de comunicación.
Define los niveles de la señal eléctrica con la que se trabajará.
Controla la velocidad de transmisión (duración de un bit).

Esta capa física contiene tres subniveles, que son los siguientes:

MEDIO: Canal de transmisión, si es cable, FO, radio, etc.
MAU (Media Attachment Unit): Contiene la electrónica donde se generan o donde se reciben los niveles eléctricos.
PLS (Physical Logical Signal): Codificación en la emisión de la información binaria a señales eléctricas y decodificación en la recepción de la señal eléctrica a señal digital binaria.

ENLACE: Se encarga de establecer una comunicación libre de errores entre dos equipos.

Forma la trama organizando la información binaria y la pasa a la capa física.

Esta capa física contiene dos subniveles, que son los siguientes:

MAC (Media Acces Control): Control del canal de transmisión para que en el momento que esté libre, pueda enviar la información.
LLC (Logical Link Control): Controla y recupera los errores, también codifica la información (hexadecimal o ASCII) a enviar a formato binario o decodifica la información binaria recibida a hexadecimal o ASCII.

APLICACIÓN: Es la capa más próxima al usuario y puede ofrecer servicios tales como correo electrónico, acceso a base de datos, transferencia de ficheros, videoconferencia.

1.1.6 Tipos de transmisión de datos

Para la transmisión de datos se pueden utilizar dos sistemas, como son la transmisión serie o la transmisión paralelo.

1.1.6.1 Transmisión serie

El tipo de transmisión serie se caracteriza por los siguientes aspectos:

- Los datos son transmitidos bit a bit, utilizando una única línea de comunicación.
- Es la forma clásica de transmitir los datos a larga distancia.
- Se utiliza cuando el volumen de información es relativamente pequeño.

En la figura 1.1.7 se esquematiza este tipo de transmisión. Para enviar, por ejemplo, el carácter ASCII “S”, la señal en binario es **0101 0011B = 83D = ASCII “S”**.

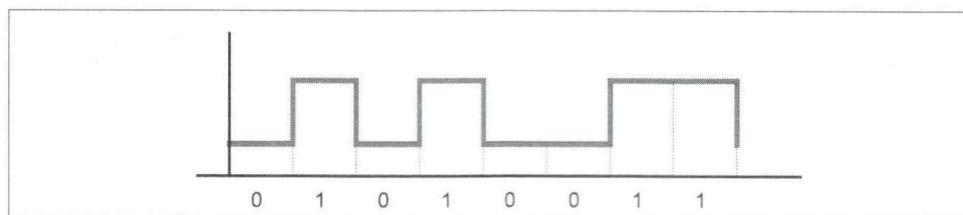


Figura 1.1.7
Señal binaria del carácter ASCII “S”.

Para este tipo de transmisión se necesita un canal de comunicación para el envío de los datos y una señal de reloj para la sincronización entre emisor y receptor.

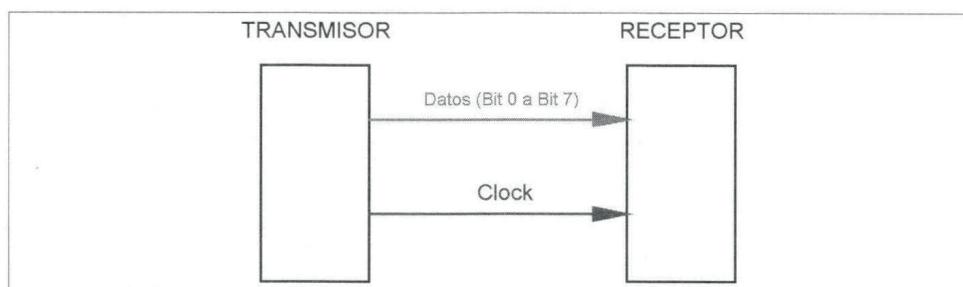


Figura 1.1.8
Esquema transmisión-recepción serie de un dato.

1.1.6.2 Transmisión paralelo

El tipo de transmisión serie se caracteriza por los siguientes aspectos:

- La información se transmite carácter a carácter.
- Todos los bits del mismo carácter se envían simultáneamente.
- Necesita tantas líneas de información como bits tenga el carácter.
- Su empleo queda restringido a enlaces de corta longitud (de 15 a 20 metros como máximo).
- Es adecuado para una comunicación local.

Las aplicaciones que cubren son:

- Enlaces ordenador-impresora (tipo Centronics).
- El bus IEEE-488 o bus GPIB, que a fin de cuentas no es más que un enlace paralelo destinado a comunicar aparatos de medida (instrumentación electrónica).

La velocidad de transferencia puede ser más elevada que en el tipo serie.

Para el envío de 8 bits, el enlace paralelo los puede enviar a la vez, mientras que el enlace serie tardaría 8 veces más tiempo.

Para este tipo de transmisión y comparando con el ejemplo de transmisión serie, se necesitan ocho canales de comunicación para el envío de los datos y una señal de reloj para la sincronización entre emisor y receptor.

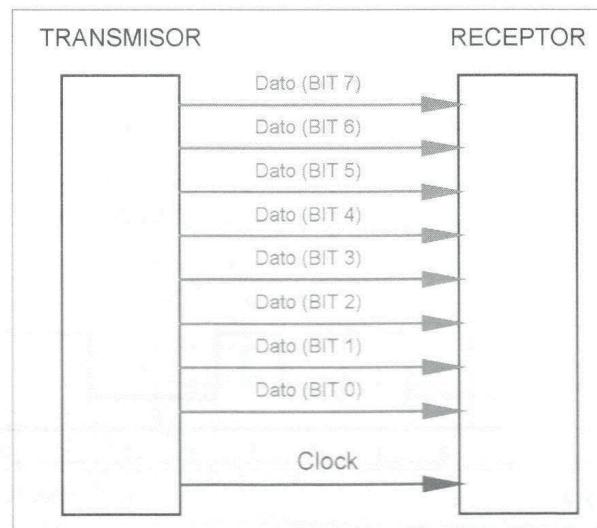


Figura 1.1.9

Esquema transmisión-recepción paralelo de un dato.

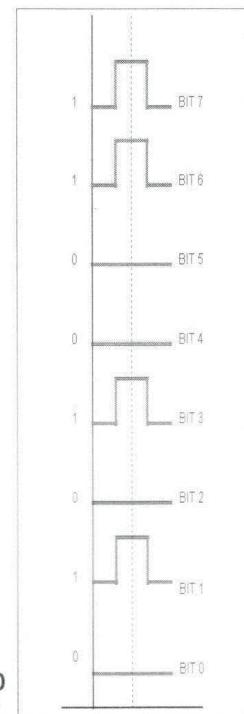


Figura 1.1.10

Señal bit a bit del carácter ASCII "S".

En la figura 1.1.9 se esquematiza este tipo de transmisión. Para enviar, por ejemplo, el carácter ASCII "S", la señal en binario es **0101 0011B = 83D = ASCII "S"**.

El código ASCII es el utilizado actualmente en las comunicaciones. En la figura 1.1.10 se muestra la tabla ASCII que corresponde a datos de 7 bits (128 caracteres) y 8 bits (256 caracteres).

Código ASCII															
0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4
1	!	“	”	;	‘	’	‘	’	‘	’	‘	’	‘	’	‘
2	“	”	;	‘	’	‘	’	‘	’	‘	’	‘	’	‘	’
3	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	:	;	<	=	>
4	@	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
5	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	[]	`	~
6	“	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n
7	“	“	“	“	“	“	“	“	“	“	“	“	“	“	“
8	ç	ú	é	â	ã	ç	é	é	é	í	í	í	í	í	í
9	É	æ	Æ	ô	ô	ó	ó	ó	ó	ó	ó	ó	ó	ó	ó
A	á	í	ó	ú	ñ	ñ	ñ	ñ	ñ	ñ	ñ	ñ	ñ	ñ	ñ
B	ß	ß	ß	ß	ß	ß	ß	ß	ß	ß	ß	ß	ß	ß	ß
C	ç	ç	ç	ç	ç	ç	ç	ç	ç	ç	ç	ç	ç	ç	ç
D	ð	ð	ð	ð	ð	ð	ð	ð	ð	ð	ð	ð	ð	ð	ð
E	é	é	é	é	é	é	é	é	é	é	é	é	é	é	é
F	é	é	é	é	é	é	é	é	é	é	é	é	é	é	é
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E

Figura 1.1.11

Caracteres de la tabla ASCII.

1.1.7 Tipos de sincronización en la transmisión de datos serie

La sincronización de los diferentes equipos que intervienen en una red de comunicación serie se realiza a través de una señal de reloj. Para la configuración del reloj existen dos sistemas, que son el asíncrono y el síncrono.

1.1.7.1 Tipo de sincronización asíncrona

Este sistema se basa en la necesidad de configurar de forma local los parámetros de comunicación en cada una de las estaciones participantes en la red. No existe una señal de reloj que una los diferentes equipos. Cuando se envía una información, ésta se inicia con una señal de START. En el momento en que el equipo receptor detecta la señal de START, pondrá en funcionamiento su reloj para ir leyendo los datos a la misma velocidad con la que fueron enviados. El equipo emisor, una vez transmitida la información, enviará una señal de STOP indicando la finalización del envío. Cuando el equipo receptor detecte la señal de STOP, detendrá la lectura de datos.

Esto nos indica que en cada equipo que interviene en la red se deberá realizar una configuración en la que los datos de los parámetros configurados deberán coincidir para una correcta transmisión y recepción de la información.

Esta configuración viene definida por los siguientes parámetros:

- **Velocidad de transmisión.** Es la velocidad a la que se van a transmitir y, como consecuencia, recibir los datos. Debe ser la misma en todas las estaciones que intervienen en la red. Viene dada en bps o en alguno de sus múltiplos, como kbps o Mbps.
- **Bit de start o inicio.** Es la señal que envía el emisor de datos al resto de participantes para indicarle que a continuación van empaquetados los datos. Es un bit siempre en estado "0" lógico.
- **Bits de datos.** Se indica la longitud de bits que tendrá cada carácter utilizado en la transmisión. Este dato viene dado según si se utilizan caracteres de todo el código ASCII (256 caracteres) o la mitad de caracteres de esa misma tabla ASCII (128 caracteres). Por tanto, los valores de su configuración será de 7 u 8 bits.
- **Bit de paridad.** Existe un bit que se envía justo después de los bits de datos y antes del bit de stop, que es el llamado bit de paridad y sirve para realizar un simple control de errores. Este bit puede tener varios estados diferentes:
 - Paridad PAR o EVEN.
 - Paridad IMPAR o ODD
 - Sin paridad o NONE.

El control que hace el bit de paridad consiste en observar cuántos bits se encuentran a nivel alto, donde podemos encontrar varios casos:

Nº. de "1" en los bits de datos	Paridad elegida	Estado del bit de paridad
3 (nº. impar)	PAR	1
3 (nº. impar)	IMPAR	0
2 (nº. par)	PAR	0
2 (nº. par)	IMPAR	1

Tabla 1.1.3

En el ejemplo que se representa en la figura 1.1.12 aparece como un “1” el bit de paridad, ya que el número de bits que está a nivel alto son tres y la configuración dada es par.

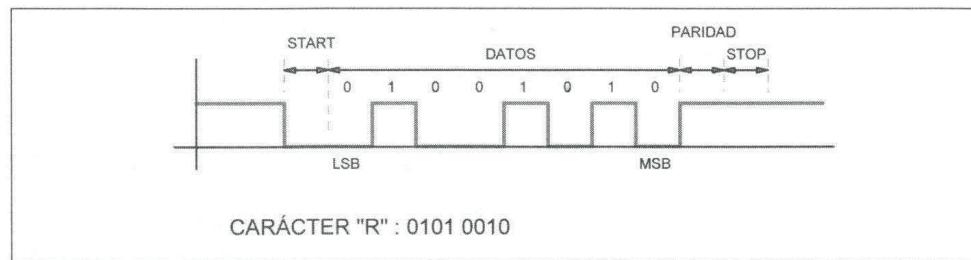


Figura 1.1.12

Representación correcta de un bit de paridad.

Si mientras se está enviando la información se produce una alteración en uno de los bits por un efecto externo, en el momento de la comparación del bit de paridad por parte del equipo receptor, entre el recibido y el calculado, se detectaría que no coincide, por lo que se daría como errónea la información.

En la figura 1.1.13 queda reflejado que si el equipo receptor recibe esa información, al contabilizar los bits “1” de recibidos comprobaría que son 4; por tanto, como la configuración dada es par, le correspondería un “0” al bit de paridad, por lo que al realizar la comparación observa que en la información recibida aparece un “1”, y, por tanto, información errónea.

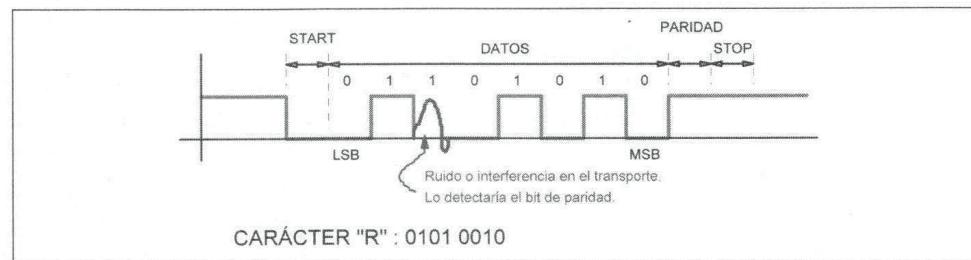


Figura 1.1.13

Detección de un error en el bit de paridad.

- **Bits de stop o parada:** Es el bit que se envía al final de la información y del bit de paridad, si existe, y trata de poner la señal eléctrica a nivel alto, que es el estado normal de la señal en el canal de comunicación cuando no se está transmitiendo ninguna información. Puede ser 1, 1,5 o 2 bits. Tanto en la figura 1.1.12 como en la 1.1.13 se observa cómo el bit de STOP se encuentra a “1”.

1.1.7.2 Tipo de sincronización síncrona

En este sistema no es necesaria la configuración del reloj de forma local en cada equipo participante, tal y como sucedía en el tipo asíncrono. Existen dos formas de configurar la señal del reloj, que son:

- No incorporada en los datos. En el que existe una señal independiente que une el equipo emisor con los demás equipos participantes en la red y que servirá para la sincronización entre el envío y la recepción de los datos.

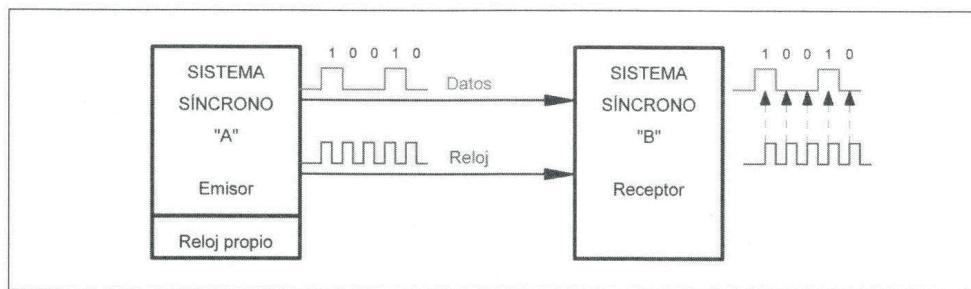


Figura 1.1.14
Sistema de transmisión síncrona con señal de reloj.

- Incorporada en los datos. En este caso existen sistemas para la detección de la velocidad de transmisión con la propia información recibida. Para ello, se realiza una codificación previa de la información para asegurar que en cada bit existan cambios de nivel como es el método de codificación Manchester.

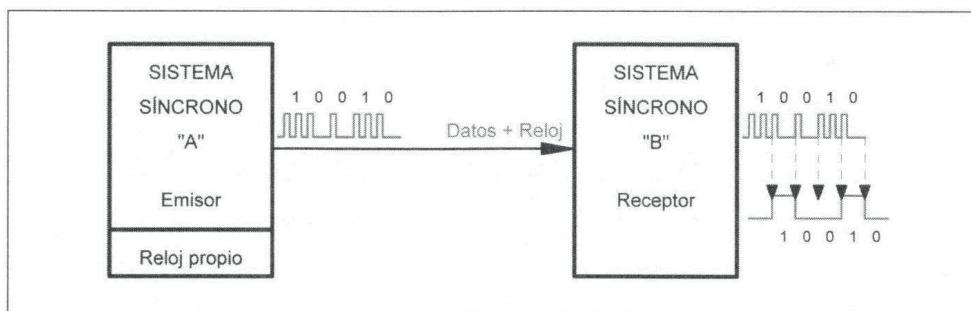


Figura 1.1.15
Sistema de transmisión síncrona con señal de reloj incorporada.

- Para poder incorporar el reloj dentro de la información enviada, el equipo emisor enviará una serie de caracteres al inicio de la transmisión, llamados caracteres de sincronismo (ASCII 22), con los que los equipos receptores detectarán la velocidad para que cuando tenga que leer los datos lo haga a la velocidad adecuada. Estos caracteres de sincronismo son enviados tanto al inicio como al final de la transmisión, de forma que los equipos receptores podrán conocer cuándo debe iniciar y cuándo finalizar la recepción de los datos.

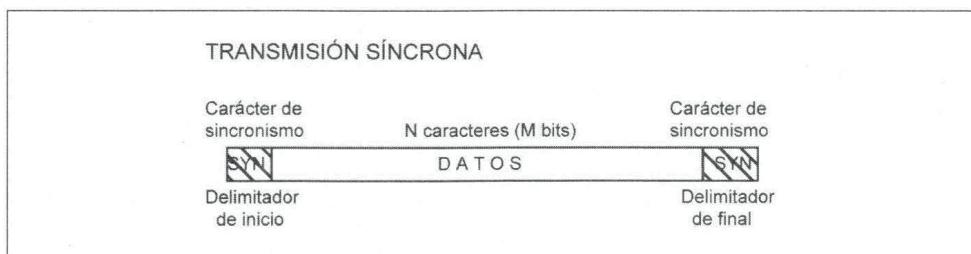
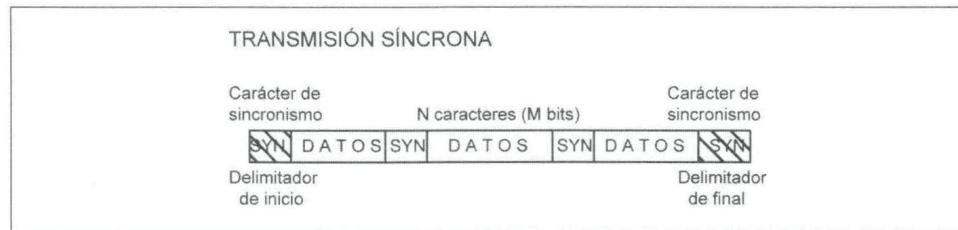


Figura 1.1.16
Sistema de transmisión síncrona con señal de reloj incorporada.

Cuando se debe enviar un volumen de información elevado, ésta se empaquetará entre diferentes caracteres de sincronismo.

**Figura 1.1.17**

Transmisión síncrona con gran volumen de datos.

1.2 Normas físicas

Dentro de lo que es el nivel físico del modelo OSI, y al igual que otros aspectos de la comunicación, el enlace de datos también se encuentra normalizado. Las principales normas utilizadas en las comunicaciones industriales son:

- RS-232.
- RS-422.
- RS-485.

1.2.1 Norma física RS-232

La norma **RS-232C** fue definida por la Asociación de Industrias en Electrónica, **EIA** (*Electronic Industries Association*), en 1969 en lo que es la definición del conector y del cable. Esta norma es idéntica a la norma **V.24** definida por el **UIT** (*International Telecommunication Union*).

También se ha de destacar que aunque la norma RS-232C fue creada para comunicar un ordenador con un módem, hoy en día este estándar se utiliza también a nivel industrial para comunicar punto a punto diferentes componentes y equipos, como reguladores, autómatas programables, lectores de códigos de barras, variadores de frecuencia, etc.

La revisión que se realizó en 1987 a la norma **RS-232C** fue creada como **RS-232D**, donde se introducen nuevas señales destinadas a la especificación de determinadas condiciones de prueba; dos de esas señales utilizan las conexiones 18 y 25 que en el antiguo estándar (RS-232C) estaban sin asignación.

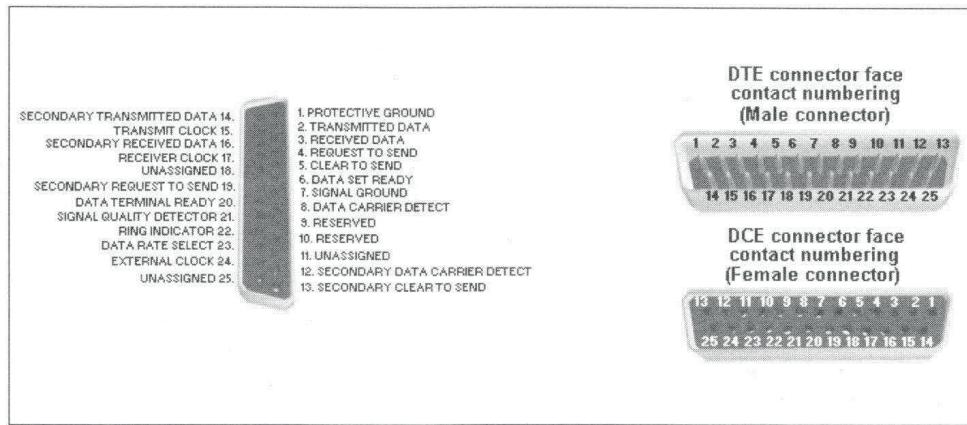
El estándar RS-232C cubre cuatro áreas, que son:

- Características mecánicas de la interface.
- Paso de señales eléctricas por la interface.
- Función de cada señal y subconjunto de señales para ciertas aplicaciones.

1.2.1.1 Características mecánicas de la interface

De lo que se ocupa la sección mecánica es definir:

- La asignación de señales a los 25 contactos del conector.
- Qué parte del equipo contiene el conector hembra (el DCE u ordenador). Por tanto, el conector macho para el DTE o módem.
- La longitud máxima recomendada del cable (15 metros).
- La máxima capacidad del cable (2500 pF).

**Figura 1.2.1**

Conector para comunicación bajo norma RS-232.

1.2.1.2 Paso de señales eléctricas por la interface

El estándar RS-232 fue creado para realizar comunicaciones serie punto a punto a velocidades ≤ 20 kbps. Lo que realmente está limitado es la longitud del pulso, siendo esta longitud inversamente proporcional a la velocidad, por lo que podemos aumentar la velocidad si disminuimos la longitud del cable o bien aumentar la longitud del cable si disminuimos la velocidad de transmisión.

Señales de la interface. La recomendación RS-232 establece que la señal de cualquier contacto puede estar según se indica en la siguiente tabla:

Señales de la interface RS-232		
	Negativo	Positivo
Tensión RS-232C (v)	-3 a -15	+3 a +15
Tensión RS-232D (v)	-3 a -25	+3 a +25
Tensión de transición (v)	- 3 a +3	
Estado binario	1	0
Condición de señal	Marca	Espacio
Función	No activa (off)	Activa (on)

Tabla 1.2.1

Conector para comunicación bajo norma RS-232.

El estándar RS-232 utiliza tensiones de - 12 y +12 voltios para definir los distintos estados de la señal.

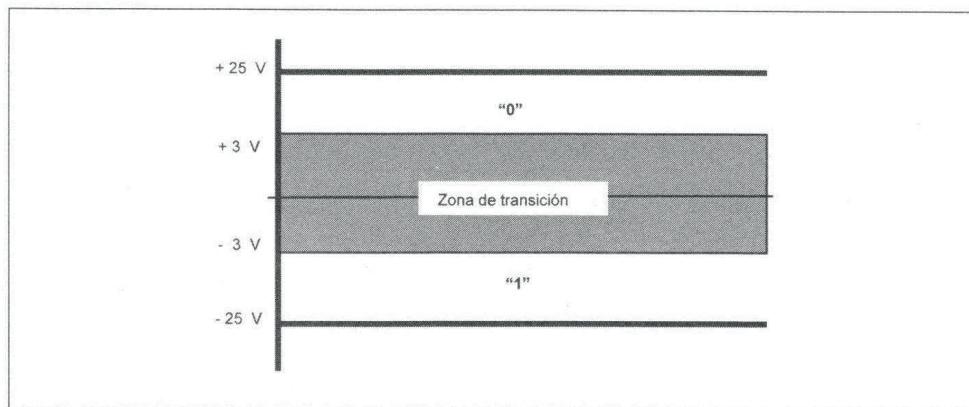


Figura 1.2.2
Señales por la interface RS-232.

Sólo el 4% del tiempo de cada periodo de bit es el que se debe utilizar para realizar una transición (paso de -3 a +3 voltios, o viceversa).

La capacidad del conductor se comporta como un freno a los cambios de tensión. Si la velocidad es muy rápida, la capacidad del conductor puede provocar lecturas erróneas de la información transmitida. La norma establece que la velocidad máxima es de 20 kbps y que la capacidad del cable no debe superar los 2.500 pF, como los cables que se suelen utilizar tienen una capacidad de entre 130 y 170 pF por metro de longitud.

$$\begin{aligned}
 \text{Longitud máxima} &= \text{Capacidad máxima} / \text{Capacidad del conductor por metro} \\
 &= 2.500 \text{ pF} \quad / \quad 170 \text{ pF/m} \\
 &= 14,7 \text{ metros}
 \end{aligned}$$

Veamos un ejemplo de qué es lo que llegaría al equipo receptor en el peor de los casos si se incluye en el canal de comunicación el efecto capacitivo y los ruidos externos. En primer lugar, representamos la señal binaria que queremos enviar desde el equipo transmisor al equipo receptor. En este ejemplo se representa en código ASCII el carácter "H" que en binario es **01001000**.

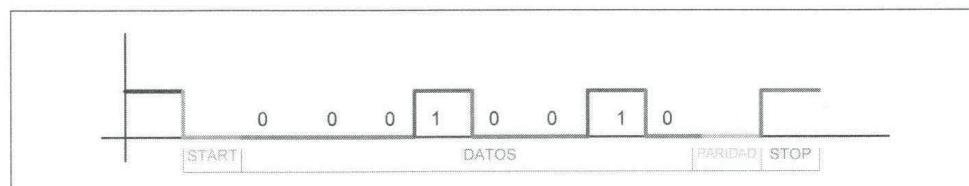
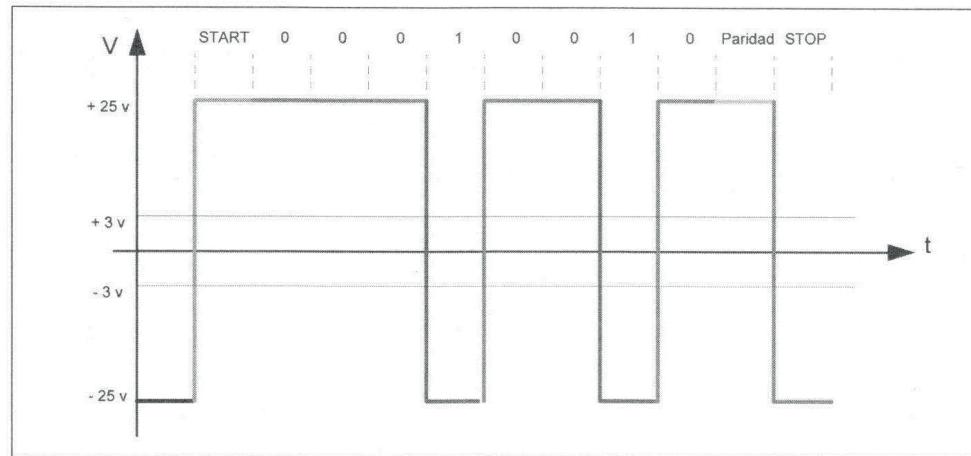


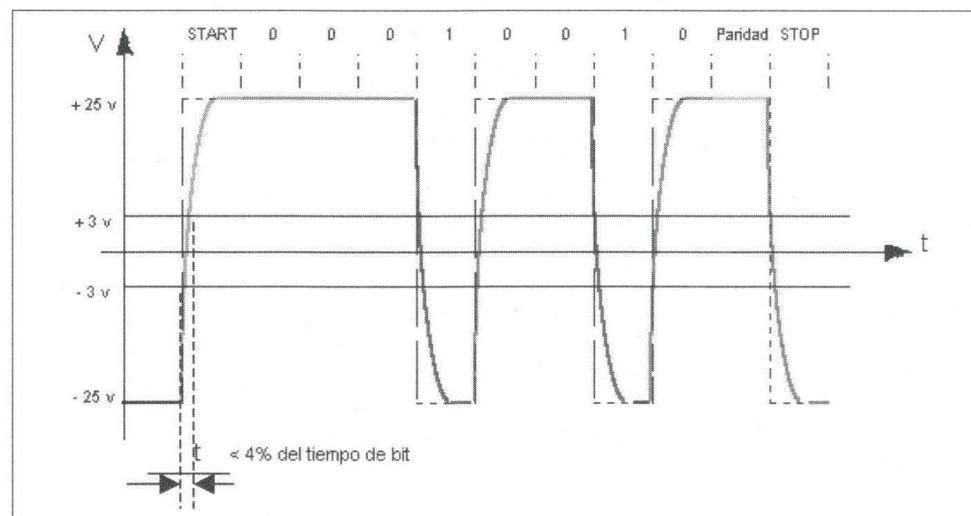
Figura 1.2.3
Señal digital del ASCII "H" por la interface RS-232.

El siguiente paso es representar la **señal eléctrica ideal** sin ninguna interferencia, es decir, que si se quiere enviar un nivel alto ("1" lógico) la tensión a enviar será de -25 voltios; y si por el contrario es un bit de nivel bajo ("0" lógico), la tensión deberá ser de +25 v.

**Figura 1.2.4**

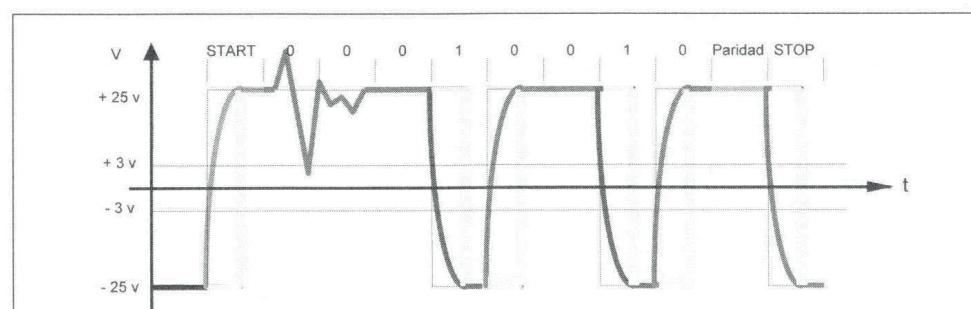
Señal eléctrica ideal del ASCII "H" por la interface RS-232.

Ahora representamos la señal aplicándole el efecto capacitivo del medio de transmisión. A mayor capacidad, el flanco de subida y bajada se hace más plana y por tanto mayor tiempo en la zona de transición.

**Figura 1.2.5**

Señal eléctrica real del ASCII "H" por la interface RS-232.

Y por último, representamos la señal real que llegará al equipo receptor si además de lo anterior queda modificada por los ruidos acoplados al canal de comunicación.

**Figura 1.2.6**

Señal eléctrica real con interferencias del ASCII "H" por la interface RS-232.

1.2.1.3 Función de cada señal y subconjunto de señales para ciertas aplicaciones

En la siguiente tabla se muestra la asignación de patillas de los conectores estandarizados para la comunicación serie RS-232C relacionando la señal y la función que realiza.

Contacto	Señal	Función	Origen de la señal	Tipo de señal
1	GND	Tierra de protección	DCE	Menos usadas
2	TD	Transmisión de datos	DTE	Datos
3	RD	Recepción de datos	DCE	Datos
4	RTS	Petición de envío	DTE	Control de flujo
5	CTS	Preparado para transmitir	DCE	Control de flujo
6	DSR	Módem preparado o línea de datos preparada	DCE	Control de flujo
7	SG	Tierra de señal		Tierra común
8	CD	Detector de portadora	DCE	Líneas de módem
9	NC	Reservado para pruebas (+Vcc)		Pruebas
10	NC	Reservado para pruebas (-Vcc)		Pruebas
11	NC	Selección de la frecuencia de transmisión		
12	SCD	Detector de portadora secundaria	DTE	Menos usadas
13	SCS	Listo para envío secundario	DTE	Menos usadas
14	STX	Transmisión de datos secundario	DCE	Menos usadas
15	TC	Temporización de transmisión por DCE	DCE	Menos usadas
16	SRD	Recepción de dato secundario	DCE	Menos usadas
17	RC	Temporización de recepción	DTE	Menos usadas
18	NC	No asignado		Pruebas
19	SRS	Solicitud envío secundario	DCE	Menos usadas
20	DTR	Terminal de datos preparado	DTE	Control de flujo
21	SQ	Detector de calidad de la señal	DTE	Menos usadas
22	RI	Indicador de señal de llamada acústico	DCE	Líneas de módem
23	DRS	Selector de frecuencia de portadora	DTE	Menos usadas
24	ETC	Selector de frecuencia de portadora	DCE	Menos usadas
25	NC	No asignado		

Tabla 1.2.2

Hasta ahora todas las especificaciones a nivel de contactos que se han descrito coinciden con la norma RS-232 de 25 contactos (DB-25). Sin embargo, se suele encontrar con bastante frecuencia esta norma pero reducida a 9 contactos (DB-9).

Equivalencias de conectores DB-9 y DB-25			
RS-232	DB-25	DB-9	Dato E/S
SG	7	5	
TD	2	3	S
RD	3	2	E
RTS	4	7	S
CTS	5	8	E
DSR	6	6	E
DTR	20	4	S
CD	8	1	E
RI	22	9	E

Tabla 1.2.3

El DB-9 utiliza los nueve contactos que para una comunicación asíncrona son necesarios y, a su vez, realizan las mismas funciones que el estándar de 25 contactos.

1.2.1.3.1 Señales interconectadas entre emisor y receptor

Las señales que se intercambian entre el terminal (DTE) y el módem (DCE) en el proceso de una comunicación son las siguientes:

GND (contacto 1). *Tierra de protección (Protective Ground)*.

- Conectado generalmente al chasis del equipo.
- En algunas ocasiones incluso a una señal de tierra externa.
- También se utiliza para apantallar un cable protegido de forma que minimice las interferencias producidas por altos niveles de ruidos.

SG (contacto 7). *Tierra de señal (Signal Ground)*.

- Es la referencia del resto de señales de la interface como son las señales de datos, de reloj, de control, etc.
- La tensión que debe tener este contacto debe ser siempre de 0 voltios.
- A pesar de que esta señal es totalmente independiente de la del contacto 1, en algunas ocasiones éstos se encuentran unidos formando una tierra común.

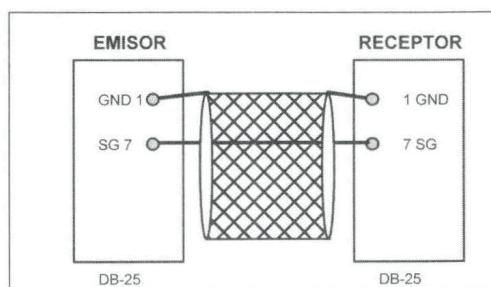


Figura 1.2.7
Conexión de las señales GND y SG.

TD o TxD (contacto 2). Transmisión de datos (Transmited Data).

- Por esta línea se envían las señales de datos desde el equipo emisor al transmisor.
- Cuando no se transmite ningún dato, este contacto debe encontrarse a nivel lógico 1.

RD o RxD (contacto 3). Recepción de datos (Receive Data).

- Por esta línea se reciben las señales de datos que se transmiten desde el equipo emisor.
- Cuando no se recibe ningún dato, este contacto debe encontrarse a nivel lógico 1 por efecto del TxD del transmisor.

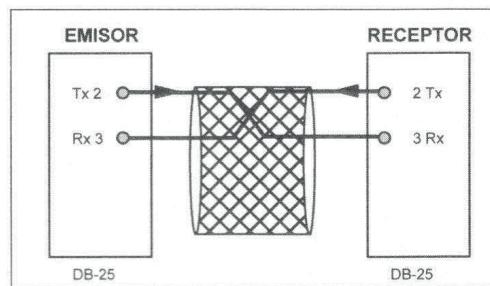


Figura 1.2.8
Señales para el intercambio de datos.

RTS (contacto 4). Petición de envío (Request to send).

- Esta señal es enviada desde el emisor al receptor para indicarle que tiene datos para enviar.
- Antes de empezar a transmitir datos, el emisor debe recibir la señal de CTS del receptor, por su contacto 5, que le indica que éste está listo para recibir.

CTS (contacto 5). Preparado para transmitir (Clear To Send).

- Cuando se tiene activado este contacto, indica que el equipo con el que nos queremos comunicar está preparado.
- En el receptor se activará esta señal después de que el emisor active su señal de RTS.
- Las señales de RTS y de CTS también se pueden utilizar como control de flujo de datos entre emisor y receptor. Para que estas señales puedan ser reconocidas como indicadores de flujo de datos, el software de comunicaciones debe estar configurado para mantener un control de flujo RTS/CTS también llamado control de flujo hardware.

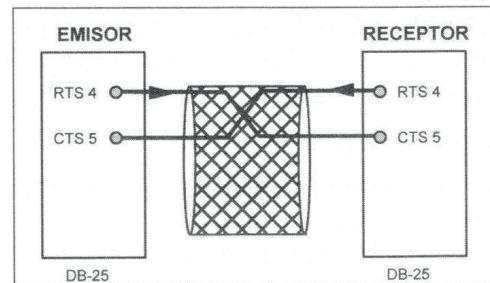


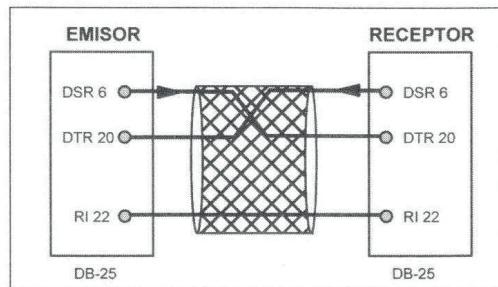
Figura 1.2.9
Señales para el control de flujo de datos.

DSR (contacto 6) DCE preparado (Data Set Ready).

- Este contacto indica el estado en el que se encuentra el DCE.
- Cuando está a nivel lógico 0, es decir circuito activo, indica que el DCE está listo para transmitir datos.

DTR (contacto 20) Terminal de datos preparado (Data Terminal Ready).

- Cuando este contacto está con señal activa, le indica al DCE que el DTE está preparado para la comunicación.
- Si la señal no está activa, el receptor cortará la comunicación en curso.

**Figura 1.2.10**

Señales para el control de los equipos.

RI (contacto 22) Indicador de llamada (Ring Indicator). Este contacto indica al DTE que se está recibiendo una llamada por el canal de comunicaciones. En respuesta a esta señal de llamada, el DTE le envía una tensión al contacto 20 (DTR), que le indica al DCE que atienda la llamada.

CD (contacto 8) Detección de portadora (Carrier Detect).

- También se le conoce como detector de la señal de la línea recibida o como detección de una portadora de datos. Con una señal en este contacto el receptor indica al emisor que está recibiendo una señal de portadora, que no es más que un tono a una frecuencia determinada.
- Esta señal debe estar presente durante todo el tiempo que dure la comunicación.

1.2.1.3.2 Proceso seguido para una comunicación

Cuando dos equipos se quieren comunicar realizan el siguiente proceso:

- Comprobación de que tanto el emisor (DTE) como el receptor (DCE) están preparados, alimentados, sin ningún error, etc. (señales DTR/DSR).
- El emisor (DTE) quiere enviar datos y le pregunta al receptor (DCE) si está preparado para recibir (señal RTS del emisor (DTE) al CTS del DCE).
- El emisor (DTE) espera que el receptor (DCE) le responda, activando éste la señal CTS del emisor (DTE) mediante el contacto RTS del receptor (DCE).
- El emisor (DTE) envía la señal de datos del contacto Tx al receptor (DCE) que la recibe por el contacto Rx.

Tanto si se utiliza el conector DB-9 como el DB-25, nos podemos encontrar con cables de comunicaciones en los que las conexiones pueden ser diferentes, dependiendo de los equipos a comunicar. A continuación se muestra un ejemplo, la siguiente conexión permite conocer si hay algún dispositivo conectado en el otro extremo y además realizar un control del flujo por hardware por las líneas RTS/CTS.

Cable conexión Null Modem (2)								
DTE (emisor)			Canal comunicaciones			DCE (receptor)		
DB9	DB25	Señal		Sentido		Señal	DB25	DB9
3	2	TX		X	X	TX	2	3
2	3	RX		↔		RX	3	2
5	7	SG				SG	7	5
4	20	DTR		X	X	DTR	20	4
6	6	DSR		↔		DSR	6	6
1	8	CD				CD	8	1
7	4	RTS		X	X	RTS	4	7
8	5	CTS		↔		CTS	5	8
9	22	RI				RI	22	9

Tabla 1.2.4

1.2.1.3.3 Tipo de transmisión

En la norma RS-232 se utiliza el tipo de transmisión simple, también llamado *Single-Ended*, que se caracteriza por:

- Utilizar un único hilo o cable, referenciado a una masa común (no balanceado o equilibrado).
- El dato se obtiene de la señal que llegue por ese hilo.
- Se emplea para distancias cortas y bajas velocidades de transmisión.

A continuación se muestra cómo afecta el posible ruido, que se pueda incorporar al canal de comunicación, a los equipos que como la norma RS-232 son del tipo de transmisión simple.

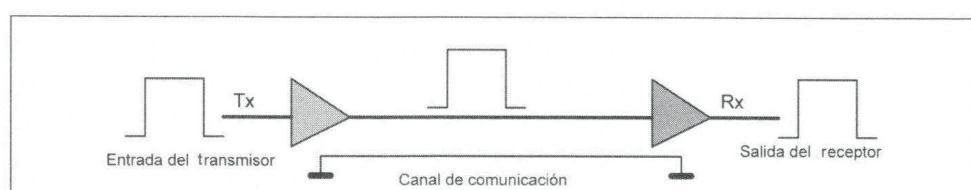


Figura 1.2.11

Transmisión RS-232 sin interferencias en el canal de comunicación.

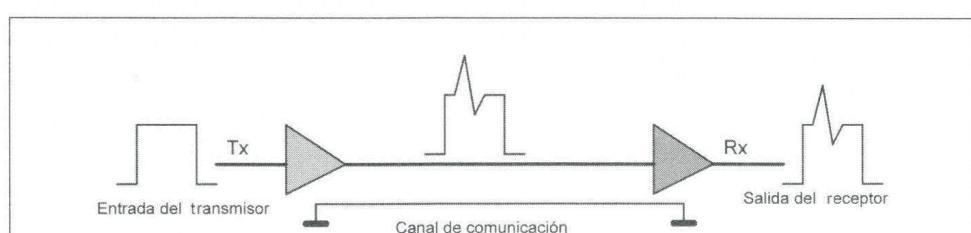


Figura 1.2.12

Transmisión RS-232 con interferencias en el canal de comunicación.

Lo que nos indica que es un sistema bastante vulnerable a las posibles interferencias y, por tanto, se limita a comunicaciones de cortas distancias.

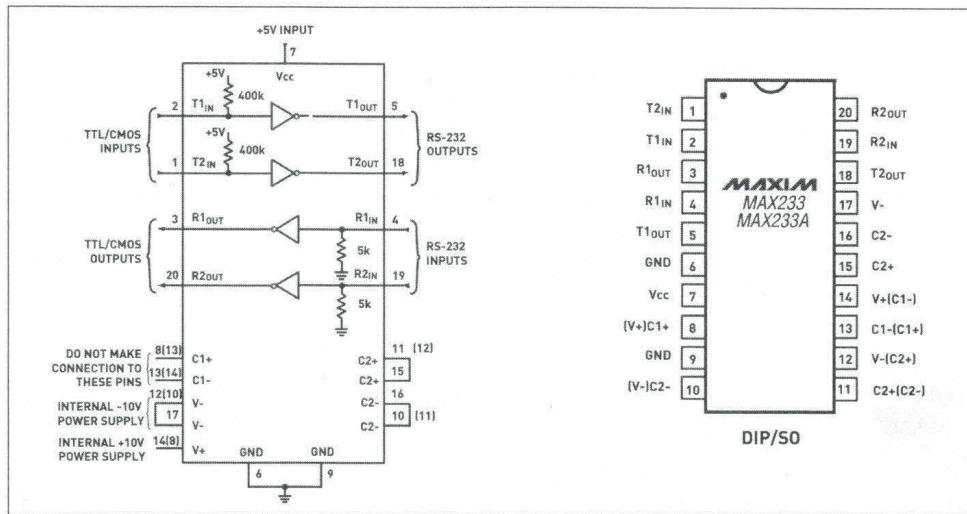


Figura 1.2.13

Circuitos comerciales que integran la norma RS-232.

1.2.2 Norma física RS-422

Para mayores velocidades, sobre distancias grandes y bajo condiciones de elevado ruido, la transmisión de datos entre componentes y periféricos utilizando la norma RS-232 con una sola línea de datos se hace muy difícil. La solución que se planteó ante las nuevas exigencias de la industria fue la de utilizar una línea diferencial que ofrece las siguientes características:

- Utiliza dos hilos respecto a una masa.
- El dato recibido se obtiene de la diferencia de tensiones entre dos hilos.
- Permite mayores distancias de transmisión que la transmisión simple.
- Es más inmune al ruido eléctrico.

Por otro lado, mientras la norma RS-232 establece una diferencia de tensión de salida entre el estado activo y no activo de 6 voltios, es decir, zona de transición entre +3 y -3 voltios, la norma RS-422 disminuye esta diferencia hasta los 4 voltios (entre +2 y -2 voltios). Esto hace posible el hecho de poder transmitir datos a mayor velocidad por un mismo cable, ya que la característica eléctrica de la capacidad tiene menos tiempo para frenar los cambios de estado y por tanto los tiempos de los períodos de cada bit pueden ser menores. Otra de las ventajas radica en el hecho de poder interconectar equipos transmisores y receptores que utilicen la alimentación de 5 voltios disponible en los ordenadores, por lo que no es necesaria una alimentación auxiliar.

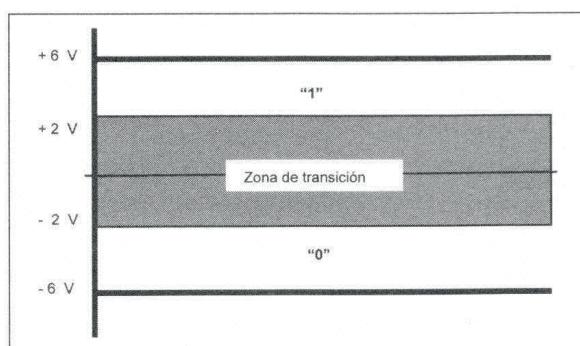


Figura 1.2.14

Señales eléctricas por la interface RS-422.

Las señales que utiliza esta norma son las siguientes:

Señal	Definición
Tx+ o TD+	Señal no invertida transmitida al canal de comunicaciones
Tx- o TD-	Señal invertida transmitida al canal de comunicaciones
Rx+ o RD+	Señal no invertida recibida a través del canal de comunicaciones
Rx- o RD-	Señal invertida recibida a través del canal de comunicaciones
FG	Masa de protección

Tabla 1.2.5

En la norma RS-422 se utiliza el tipo de transmisión diferencial Full-Duplex que se caracteriza por:

- Utilizar dos hilos o cables, referenciado a masa.
- El dato se obtiene de la diferencia de la señal eléctrica entre los dos hilos que componen el canal de comunicación.
- El hecho de que el tipo de transmisión sea Full-Duplex indica que cada equipo puede enviar y recibir de forma simultánea al utilizar canales diferentes.
- Esta norma RS-422 permite velocidades de hasta 10 Mbps y distancias de hasta un máximo de 1.200 metros.
- Esta norma física permite la configuración de una red con un máximo de 32 estaciones de trabajo.

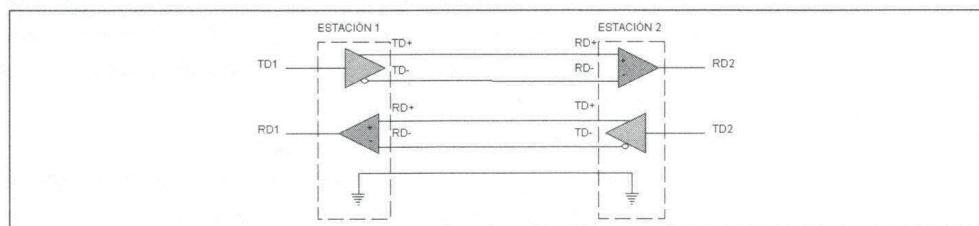


Figura 1.2.15

Transmisión diferencial aplicada a la norma RS-422.

A continuación se muestra cómo se elimina el efecto del posible ruido que se pueda incorporar al canal de comunicación.

Un sistema diferencial permite eliminar los posibles ruidos que se puedan incorporar en el canal de comunicación, ya que realiza la diferencia entre los valores de la señal eléctrica en cada momento. Por tanto $RD = [TD+] - [TD-]$. En la figura 1.2.16. se observa cómo se realiza el sistema para la obtención de la señal que leerá el receptor.

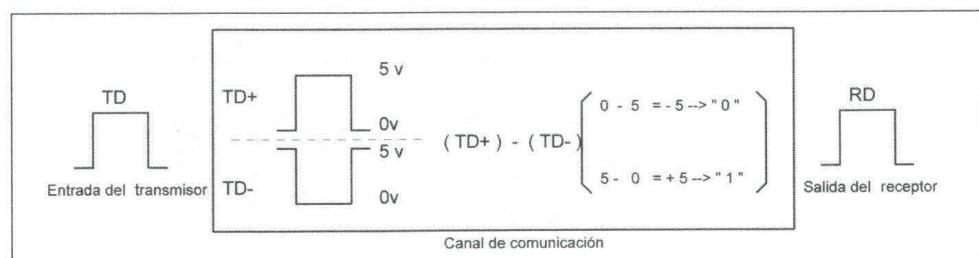


Figura 1.2.16

Transmisión sin interferencias en un sistema diferencial.

En el supuesto de que se incorporaran ruidos en el canal de comunicación, tal ruido quedaría incorporado de igual manera tanto en la señal TD+ como en la TD-, ya que se produce dentro de la línea. Por tanto, aplicando la misma técnica para la obtención de la señal en el receptor, tendríamos:

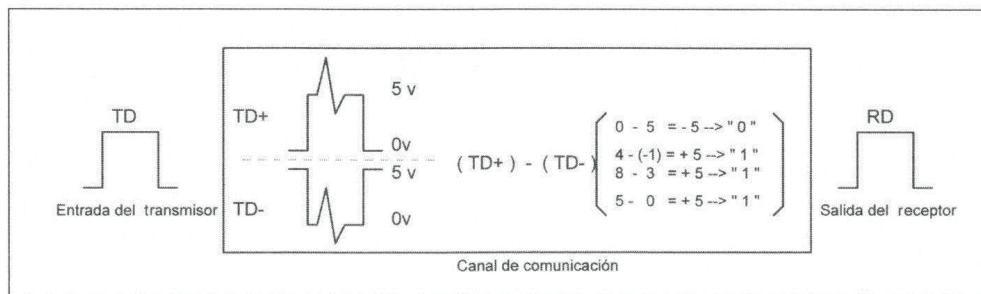


Figura 1.2.17

Transmisión con interferencias en un sistema diferencial.

Otra de las grandes diferencias que se incluyó en esta norma RS-422 con respecto a la RS-232 es el hecho de poder pasar de trabajar de forma punto a punto entre dos equipos a poder realizar una red con un máximo de 32 equipos compartiendo el canal de comunicaciones.

En una configuración en red trabajando bajo la norma RS-422 se debe asignar a un equipo el estatus de estación principal o primaria, siendo el resto de equipos participantes estaciones secundarias.

Como sucede en la mayoría de redes, se deberá colocar resistencias terminadoras (R_t) en los extremos de cada canal para mantener en todo momento la impedancia en la línea.

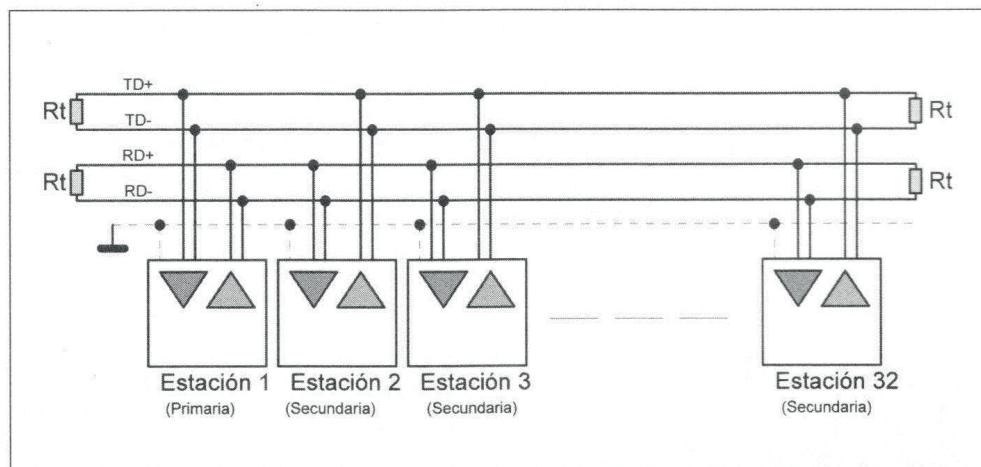
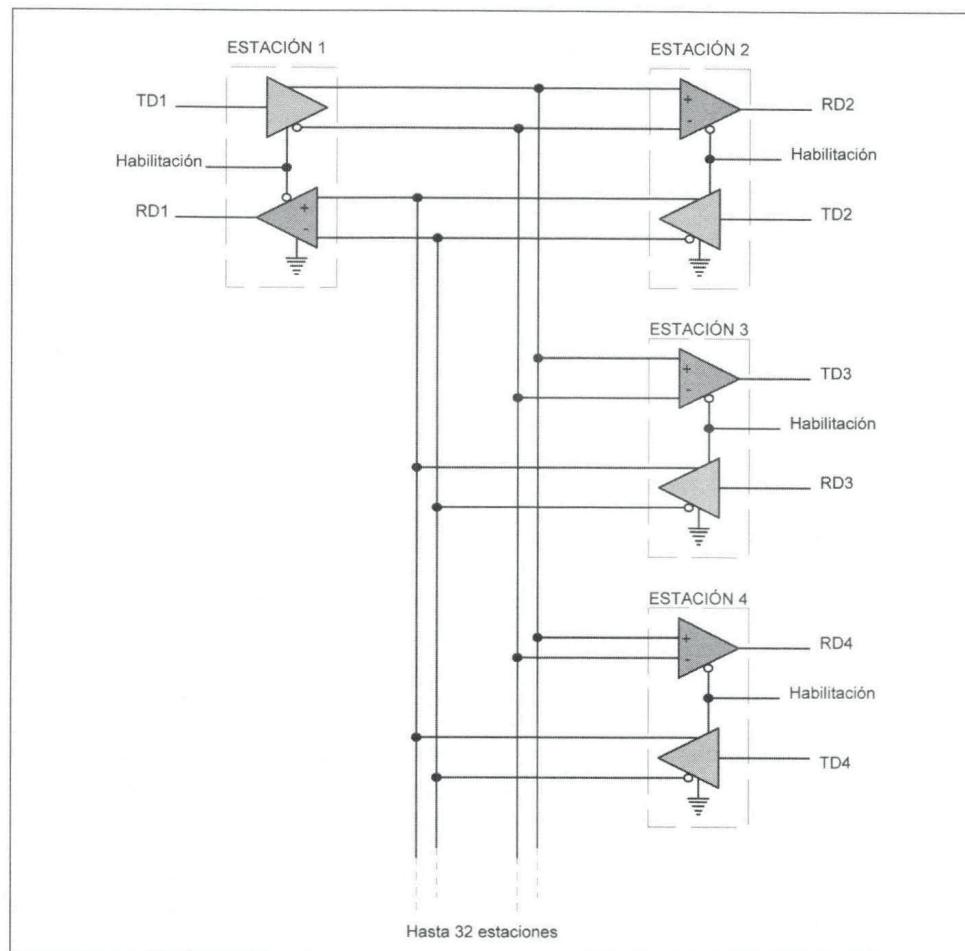


Figura 1.2.18

Configuración esquemática de una red en la norma RS-422.

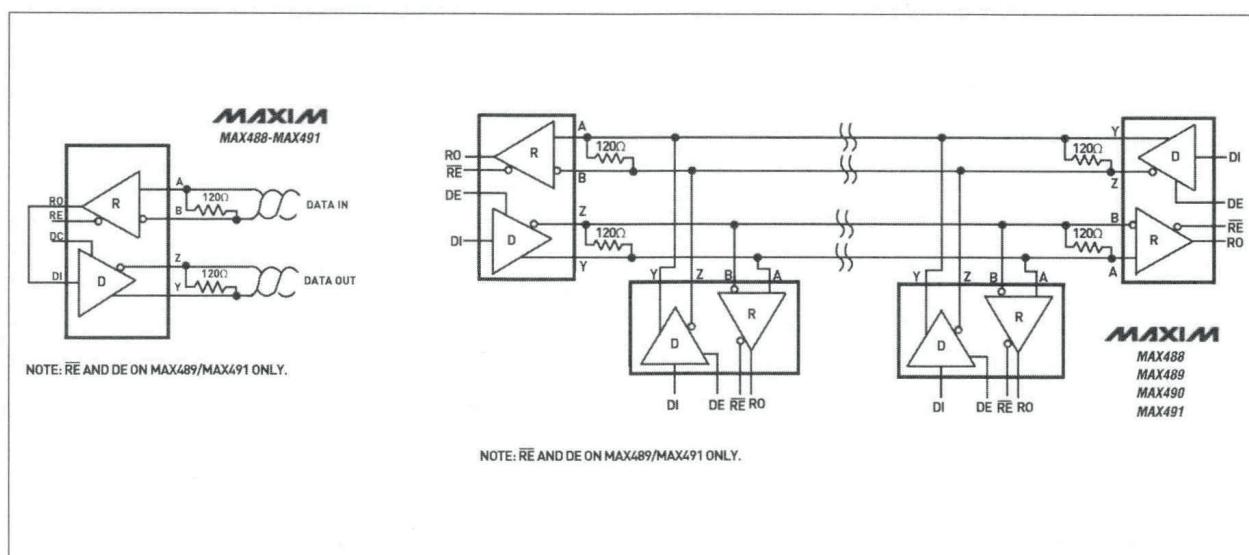
Como se puede observar en la figura 1.2.19, las posibilidades de comunicación son las siguientes:

- La estación primaria puede comunicarse directamente con el resto de estaciones, tanto para enviar como para recibir.
- Las estaciones secundarias no pueden comunicarse directamente entre sí, ni para enviar ni tampoco para recibir. Para poder realizar esta operación, deberá pasar previamente por la estación primaria.

**Figura 1.2.19**

Configuración multifilar de una red en la norma RS-422.

Existen en el mercado diferentes circuitos electrónicos que integran la norma RS-422 que facilitan la construcción de éstos en equipos industriales, como por ejemplo los que se muestran en la figura 1.2.20.

**Figura 1.2.20**

Circuitos comerciales que integran la norma RS-422.

1.2.3. Norma física RS-485

Para solventar algunos de los problemas que presentaban las anteriores normas, la EIA definió un nuevo estándar: la RS-485. Introducida en 1983, es una versión mejorada de la RS-422. Se considera como interface multipunto y permite la comunicación de hasta 32 equipos emisores-receptores en un bus de datos común, por lo que dispone del tercer estado (habilitación) para que no existan colisiones en el canal de comunicación, satisfaciendo al mismo tiempo los requerimientos de la RS-422.

La norma RS-485 se basa también, y al igual que la RS-422, en un sistema diferencial que permite eliminar los posibles ruidos que se puedan incorporar en el canal de comunicación (ver figuras 1.2.16 y 1.2.17).

A efectos eléctricos, son compatibles totalmente con la norma RS-422. Los niveles lógicos referidos a los eléctricos son:

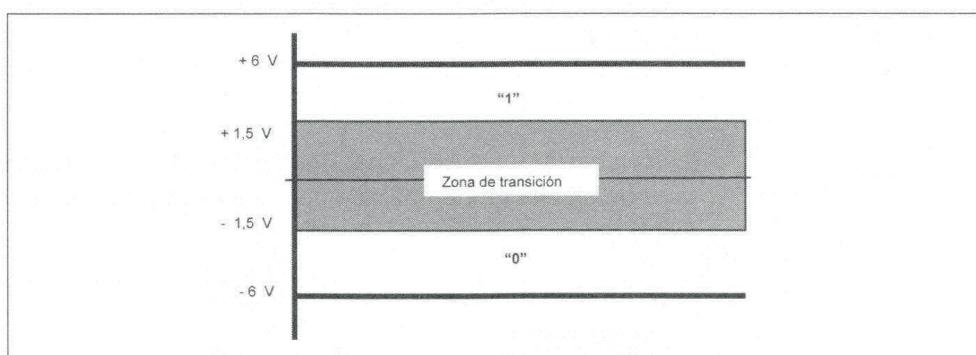


Figura 1.2.21
Señales eléctricas por la interface RS-485.

Las señales que utiliza esta norma son las siguientes:

Señal	Definición
A o D+	Señal de emisión/recepción no invertida transmitida al canal de comunicaciones
B o D-	Señal de emisión/recepción invertida transmitida al canal de comunicaciones
FG	Masa de protección

Tabla 1.2.6

En la norma RS-485 se utiliza el tipo de transmisión diferencial Half-Duplex que se caracteriza por:

- Utilizar dos hilos o cables, referenciado a masa.
- El dato se obtiene de la diferencia de la señal eléctrica entre los dos hilos que componen el canal de comunicación.
- El hecho de que el tipo de transmisión sea Half-Duplex indica que cada equipo puede enviar y recibir, pero no de forma simultánea.
- Esta norma RS-485 permite velocidades de hasta 10 Mbps y distancias de hasta un máximo de 1.200 metros.
- Esta norma física permite la configuración de una red con un máximo de 32 estaciones de trabajo.

La norma RS-485 incorpora un tercer estado que permite que un equipo se pueda colocar en estado de alta impedancia, y por tanto no lee nada, es como si se encontrara desconectado de la línea.

Normalmente la habilitación se encuentra en estado de recepción “0”. Si se quiere transmitir, bastará con poner un “1” en la entrada de habilitación correspondiente.

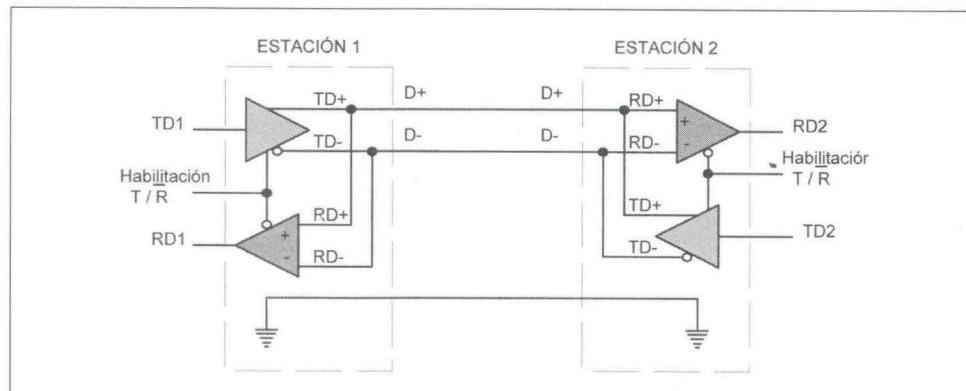


Figura 1.2.22
Transmisión diferencial aplicada a la norma RS-485.

Existen bastantes aplicaciones dentro de las comunicaciones industriales en las que la norma RS-485 es la utilizada para transmisión de datos, como es el caso de PROFIBUS.

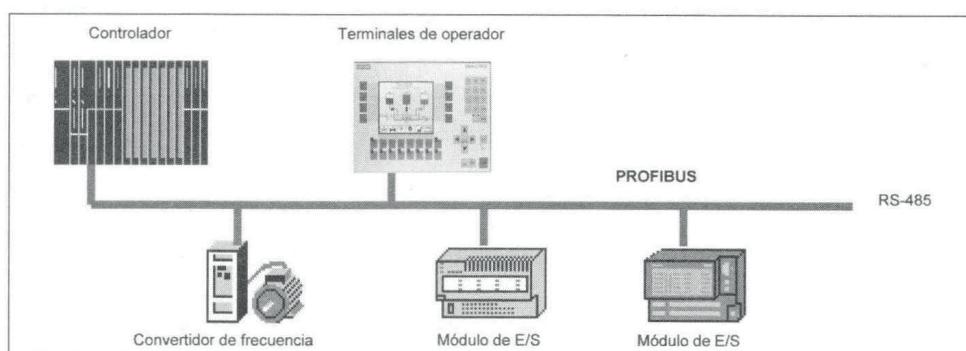


Figura 1.2.23
Ejemplo de una red Profibus con diferentes componentes.

Las principales características son que la longitud máxima es de aproximadamente 1.200 metros a una velocidad de 90 kbps, y la velocidad máxima del enlace es de 10 Mbps. Como en cualquier sistema de comunicaciones, la velocidad y longitud del enlace están inversamente relacionadas: si deseamos obtener la máxima velocidad, el cable deberá ser de unos pocos metros y viceversa.

La norma establece que el número máximo de equipos será de 32, pero con receptores de alta impedancia se pueden alcanzar los 256 equipos. Los adaptadores RS-485 utilizan una fuente de alimentación de 5 voltios para sus circuitos.

En la figura 1.2.24 se puede observar que cada equipo del enlace dispone de un adaptador con las líneas TD/RD y habilitación (T - /R) para controlar el modo de funcionamiento del equipo:

- Cuando esta entrada tiene un “0”, el equipo se encuentra en modo recepción y puede escuchar el tráfico en la red.
- Cuando esta entrada de control se pone a “1”, el equipo se pondrá en modo transmisión y es cuando éste está en disposición de poder enviar datos a la red.

En una configuración en red trabajando bajo la norma RS-485 cualquier equipo puede comunicarse con el resto, lo que representa una ventaja con respecto a la RS-422, aunque por otro lado complica el control de acceso a la red.

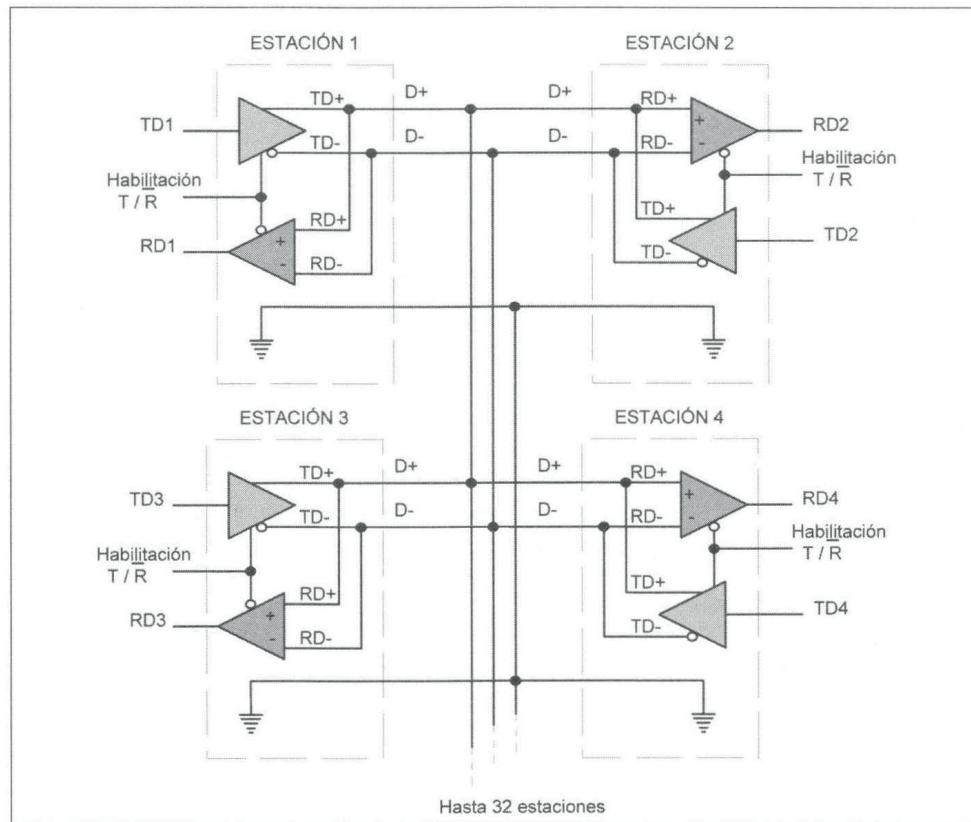


Figura 1.2.24
Configuración multifilar de una red en la norma RS-485.

Al igual que sucedía en la norma RS-422, y como también sucede en la mayoría de redes, se deberán colocar resistencias terminadoras (R_t) en los extremos del canal de comunicaciones para mantener en todo momento la impedancia en la línea y que es del orden de los 120 ohmios.

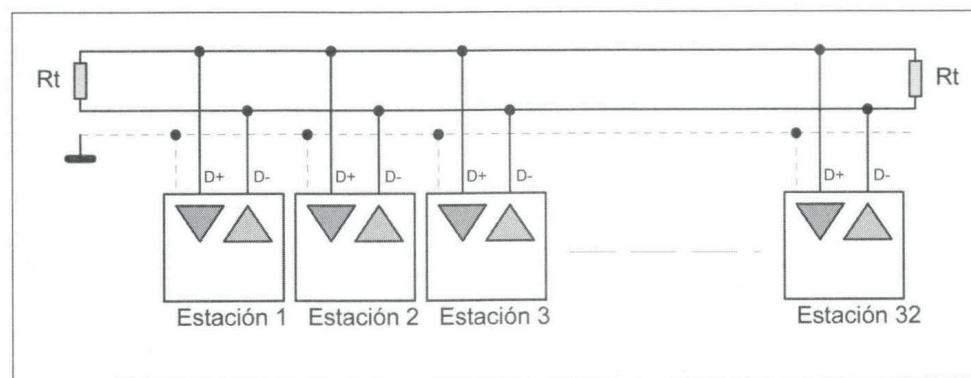


Figura 1.2.25
Configuración esquemática de una red en la norma RS-422.

Existen en el mercado diferentes circuitos electrónicos que integran la norma RS-422 que facilitan la construcción de éstos en equipos industriales, como por ejemplo los que se muestran en la figura 1.2.26.

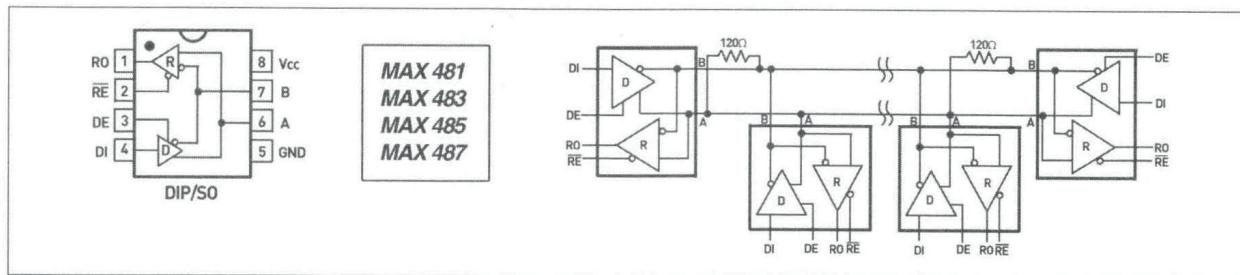


Figura 1.2.26
Circuitos comerciales que integran la norma RS-485.

A continuación se presenta una tabla, a modo de resumen, de las diferentes normas físicas desarrolladas en este capítulo.

Parámetros	RS-232C	RS-422-A	RS-485
Modo de trabajo	Unipolar	Diferencial	Diferencial
Número de emisores y receptores	1 emisor 1 receptor	1 emisor 32 receptores	32 emisores 32 receptores
Longitud máxima del cable	15 metros	1.200 metros	1.200 metros
Velocidad de transmisión máxima	20 kbps	Hasta 10 mbps	Hasta 10 mbps
Número de líneas	Hasta 25 (datos y control)	Hasta 4 (datos y control por software)	2 (datos y control por software)
Tipo de cable	Cable específico (hilos tantos como señales)	Par trenzado (2 pares)	Par trenzado (1 par)
Topología que admiten	Punto a punto	Multipunto (punto a punto desde principal a secundarias) Anillo	Punto a punto Multipunto Anillo Bus
Simultaneidad en la transmisión	Simplex Half duplex Full duplex	Full duplex	Half duplex
Tensión de salida del emisor	Sin cargar Cargado	+/- 5 V +/- 15 V	+/- 2 V +/- 6 V
			+/- 1,5 V +/- 6 V

Tabla 1.2.7

1.3 Técnicas de control de flujo

En muchas ocasiones el equipo emisor es más rápido en enviar la información que el equipo receptor en procesarla. El ejemplo más claro es el de un ordenador conectado a una impresora. En estos casos el equipo receptor no es capaz de procesar los datos a la misma velocidad que le están llegando. El equipo emisor ha de estar informado de esta situación para que deje de enviar información al equipo receptor. A esto se le conoce como control de flujo. Para solucionar de forma más eficaz este problema existen dos mecanismos, que son:

- Control de flujo por hardware o hardware flow control.
- Control de flujo por software o software flow control.

1.3.1 Control de flujo por hardware

Cuando un equipo emisor se dispone a enviar datos a otro receptor, se realiza la siguiente secuencia:

- El emisor le envía al equipo receptor una señal de petición de transmisión conocida como RTS (*Request to Send*). Esta señal consiste en poner a “1” el contacto 4 de la interface RS-232 del equipo emisor.
- Esta señal será recogida por el receptor a través de su contacto 5 CTS (*Clear to Send*).
- Si el equipo receptor está preparado para recibir, responde activando su contacto 4 RTS (*Request to Send*)
- Esa señal será recogida por el emisor a través de su contacto 5 CTS (*Clear to Send*).
- Llegado a este punto, se inicia la transmisión de la información desde el emisor hacia el receptor.

Se conoce como control de flujo por hardware al hecho de que el control se realiza mediante un cable físico que une el emisor con el receptor y que son los siguientes:

Transmisión / recepción de datos: Tx / Rx

Listo para enviar / recibir: RTS / CTS

Equipos preparados: DTR / DSR

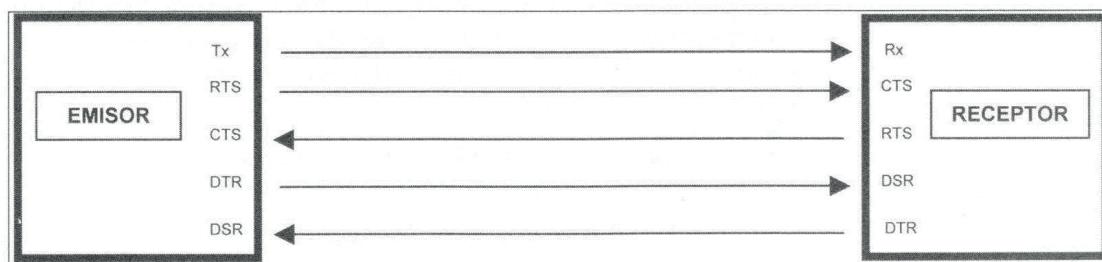


Figura 1.3.1

Conexiones entre emisor y receptor para el control de flujo por hardware.

1.3.2 Control de flujo por software XON/XOFF

En este caso no es necesario utilizar una línea de control física (cable entre emisor y receptor), sino que se utilizan dos caracteres especiales de control, que son:

XOFF: ASCII 19 CTRL+Q DC1 o Device Control 1

XON: ASCII 17 CTRL +S DC3 o Device Control 3.

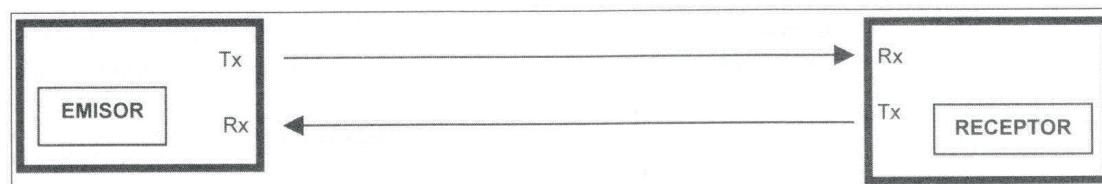


Figura 1.3.2

Conexiones entre emisor y receptor para el control de flujo por software.

Estos caracteres de control son utilizados por el receptor para indicar al emisor que detenga o reanude el envío de datos.

A este tipo de control de flujo se le conoce como Software Flow Control o Software Handshaking, control de flujo por software, ya que los caracteres Xon y Xoff son generados por software.

El carácter de control Xoff lo utiliza el receptor para detener el flujo de datos. Por su parte, el carácter Xon permite reanudar el envío de datos.

1.4 Técnicas de control de errores

Se define como error el hecho de que un bit de un mensaje sufra una inversión durante una transmisión. Esto convierte un mensaje en ilegible, y por tanto puede inutilizar todo el costoso proceso de transmisión. Los errores pueden ser debidos al hecho de que los circuitos físicos por los que se establece una comunicación están sometidos a multitud de ruidos y distorsiones que hacen que la señal que el terminal emisor introduce por un extremo no sea exactamente igual a la señal que el circuito le entrega al terminal receptor.

Hay dos problemas que resolver mediante:

- *Métodos de detección de errores.*
- *Métodos de corrección de errores.*

En aplicaciones industriales solamente se utilizan métodos de detección de errores acompañados de la petición de retransmisión, ya que los métodos de corrección de errores son bastante complejos y tan sólo se utilizan en situaciones extremas, generalmente cuando la propagación es muy grande como son las comunicaciones espaciales, resultando más eficaz la aplicación de estas técnicas que volver a retransmitir el mensaje erróneo.

Se han desarrollado varias técnicas para detectar y corregir errores. Pueden distinguirse dos grupos:

- *Métodos basados en el control de la paridad.*
- *Métodos algebraicos.*

1.4.1 Métodos de detección de errores

1.4.1.1 Códigos de control de paridad

Este método, llamado también geométrico, se basa en añadir un bit (de paridad) a cada uno de los caracteres transmitidos. Este bit debe tener el valor cero o uno, de forma que haga que el número total de unos del carácter, contando el bit de paridad, sea un número impar (paridad impar) o un número par (paridad par). El terminal receptor cuenta el número de bits unos de cada carácter, comprobando que dicha suma dé como resultado un número impar si el método utilizado es de paridad impar, o par si el método utilizado es de paridad par. Si todo es correcto, se continúa con la transmisión; de lo contrario, se le indica al terminal emisor que le vuelva a retransmitir la trama errónea.

A continuación se muestran varios ejemplos del control de paridad. En este primer caso se ha configurado como parámetro de comunicación que el bit de paridad sea “impar”:

Carácter	Estado del bit de paridad
0101 1110	0
0111 0000	0
0010 1010	0
0000 1100	1

Tabla 1.4.1

Si, por el contrario, se ha configurado el bit de paridad como “par”, entonces será:

Carácter	Estado del bit de paridad
0101 1110	1
0111 0000	1
0010 1010	1
0000 1100	0

Tabla 1.4.2

Puede darse el caso de que se elija el tercer tipo de paridad: que en lugar de par (even) o impar (odd), sea ninguna (none) queriendo decir que no se añadirá ningún bit de paridad; por tanto, en este caso no existirá control del error.

1.4.1.2 Suma de comprobación

El método anterior tan sólo sirve para detectar el error que se pueda producir en un bit, pero no si existen errores en un número par de bits, es decir, que si en un mismo carácter se modifican el estado de dos bits, este método no lo detectará. Para evitar esto, algunos protocolos incluyen al final de cada trama un carácter de comprobación de error, carácter conocido como *carácter de comprobación horizontal*. Lo que contiene es el bit de paridad de cada posición de los caracteres enviados. Si aplicamos esto al ejemplo en el que configuramos como paridad “impar”, tendremos lo siguiente cuando no existe error en la transmisión:

Carácter	Estado del bit de paridad
0101 1110	0
0111 0000	0
0010 1010	0
0000 1100	1
1111 0111	0

Tabla 1.4.3

Para el mismo caso en el que sí existe un error en la transmisión, el carácter sería:

Carácter	Estado del bit de paridad
0101 1110	0
0111 0000	0
0010 1010	0
0100 1100	0
1011 0111	1

Tabla 1.4.4

Un sistema que utilice la paridad vertical y la horizontal podría llegar a detectar y corregir todos los errores de un bit en un solo carácter.

1.4.1.3 Ecoplexión

La técnica de la ecoplexión consiste en que el receptor devuelve cada carácter en cuanto lo recibe. De esta manera el emisor puede comprobar si los caracteres efectúan todo el recorrido sin ser modificados.

Este sistema no es muy correcto, ya que cuando el emisor recibe con errores un carácter devuelto no es posible determinar si el receptor lo recibió en buenas condiciones y se introdujeron los errores en el trayecto de vuelta, o si el dato ya contenía errores al llegar al destino. De cualquier forma, el emisor sabe que hay anomalías en el sistema. No es un método altamente utilizado.

1.4.1.4 Códigos de redundancia cíclica o CRC

Este código de redundancia cíclica es el más utilizado. Es un método algebraico, también llamado convolucional o polinómico, que consiste en agregar al final de cada trama una secuencia de bits, llamada secuencia de verificación de trama, SVT, la cual habilita al receptor a comprobar si se ha producido un error en la transmisión. La SVT está ligada matemáticamente con los datos de la trama, por lo que el receptor tan sólo deberá recalcular el valor y compararlo con el recibido. Si el valor comparado resulta diferente, el receptor notificará al emisor que le vuelve a transmitir la trama.

A este método llamado código de redundancia cíclica o CRC (*Cyclic Redundancy Check*) y a los valores añadidos a la trama, se les llama carácter de comprobación de bloque o BCC (*Block Check Character*) o simplemente redundancia.

Este método consiste en considerar las series de bits de los datos como un polinomio $P(x)$, y efectuar una división con otro polinomio conocido tanto por el emisor como por el receptor, llamado polinomio generador $G(x)$. Por ejemplo el CRC (CCITT) es $X^{16} + X^{12} + X^5 + 1$. El cociente de esta división se desecha y el resto de ésta se añade a la trama, transmitiéndose a continuación toda.

Existen varios polinomios generadores normalizados:

Norma	Polinomio
CRC - 12	$X^{12} + X^{11} + X^3 + 1$
CRC -16 (ANSI)	$X^{16} + X^{15} + X^5 + 1$
CRC - 16 (CCITT)	$X^{16} + X^{12} + X^5 + 1$

Tabla 1.4.5

Los CRC - 16 son códigos de redundancia que utilizan un SVT de 16 bits, detecta todas las cadenas erróneas con longitudes iguales o menores a 16 bits y aproximadamente un 99,997% de las cadenas erróneas de más de 16 bits. Este sistema, aunque parezca complicado, es fácilmente implementable tanto a nivel de software, aplicando el cociente de los polinomios, como a nivel de hardware, realizando un circuito electrónico basado en funciones lógicas XOR (o-exclusiva). Hoy en día los diferentes CRC normalizados se encuentran en circuitos integrados.

Este método no necesita añadir un bit a cada carácter, tal como sucedía en el método de paridad, por lo que el número de bits necesarios para detectar los errores es bastante menor.

SELECT CODE			POLYNOMIAL	REMARKS
S ₂	S ₁	S ₀		
L	L	L	$X^{16} + X^{15} + X_2 + 1$	CRC-16
L	L	H	$X^{16} + X^{14} + X + 1$	CRC-16 REVERSE
L	H	L	$X^{16} + X^{15} + X^{13} + X^7 + X^4 + X^2 + X^1 + 1$	
L	H	H	$X^{12} + X^{11} + X^3 + X^2 + X + 1$	CRC-12
H	L	L	$X^8 + X^7 + X^5 + X^4 + X + 1$	
H	L	H	$X^8 + 1$	LRC-8
H	H	L	$X^{16} + X^{12} + X^5 + 1$	CRC-CCITT
H	H	H	$X^{16} + X^{11} + X^4 + 1$	CRC-CCITT REVERSE

Figura 1.4.1

Circuito integrado que incorpora el cálculo del CRC.

1.4.2 Métodos de corrección de errores

Si un error ha sido detectado en el mensaje recibido, se impone tratar de corregirlo. Existen dos filosofías de corrección:

- Corrección hacia delante o intentando reconstruir el posible error. Utilizando información redundante que el emisor introdujo en el mensaje, el receptor localiza los bits erróneos y reconstruye el mensaje original. Su inconveniente reside en que el número de bits necesarios para reconstruir la cadena de bits original es muy grande, perdiendo eficiencia el sistema. Se utilizan métodos especiales, como los llamados:

Método de Hamming.

Método de Orchard.

Método de Reed-Muller.

- Corrección hacia atrás o retransmisión de la trama. El receptor no dispone de medios para corregir. Lo que hace es pedir al emisor que retransmita el mensaje erróneo. A cambio, se mantiene ocupada durante más tiempo la línea de comunicación, con lo que el coste de la transmisión crece. Éste es el sistema utilizado en las comunicaciones industriales por ser un volumen de datos relativamente pequeño.

1.5 Topología de redes

La topología de las redes es el aspecto físico que forman los equipos y el cableado de los mismos. Se pueden encontrar sistemas industriales con las siguientes topologías:

- Punto a punto.
- Bus.
- Árbol.
- Anillo.
- Estrella.

1.5.1 Punto a punto

Es la más sencilla, ya que se basa en la conexión directa de dos equipos. Sus principales características son:

- No es necesario que dentro de la trama del mensaje se incluyan las direcciones, tanto de origen como la de destino.

- Se pueden llegar a comunicar mediante sistemas Half-Duplex (RS-485) o Full-Duplex (RS-422). En este último caso también es innecesario el tema del acceso al medio, ya que se pueden comunicar bidireccionalmente y de forma simultánea.
- El sistema de cableado utilizado es sencillo y a veces sin necesidad de adaptadores de red (interfaces).

Ventajas:

- Topología simple en su instalación.
- Fácil control de acceso a la red.
- Si un nodo falla, el resto puede funcionar.
- Su evolución fue hacia el tipo estrella.

Inconvenientes:

- Válido para pocos nodos, por su complejidad en el cableado.
- Múltiples tarjetas de comunicaciones.

Aplicaciones:

- Pocas estaciones y distancias cortas.

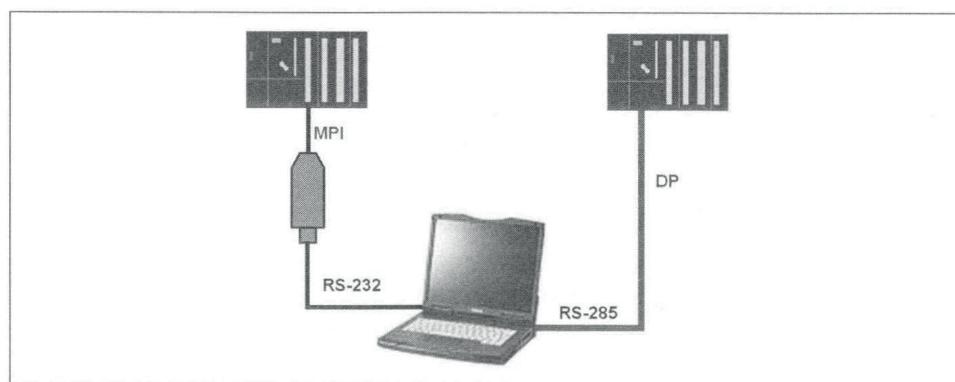


Figura 1.5.1

Estructura de red en forma de punto a punto.

1.5.2 Bus

Una única línea, compartida por todos los nodos de la red.

Al ser un bus compartido, antes de enviar un mensaje cada nodo ha de averiguar si el bus está libre.

Tan sólo un mensaje puede circular por el canal en cada momento.

Si una estación emite su mensaje mientras otro mensaje está en la red, se produce una colisión.

Ventajas:

- Coste de la instalación bajo.
- El fallo de un nodo no afecta al funcionamiento del resto de la red.
- Control del flujo sencillo.
- Todos los nodos pueden comunicarse entre sí directamente.
- La ampliación de nuevas estaciones o nodos es sencilla.

Inconvenientes:

- Limitado en la distancia (10 km), necesidad de repetidores por problemas de atenuación.

- Posibilidad elevada de colisiones en la red.
- Acaparamiento del medio cuando un nodo establece una comunicación muy larga.
- Dependencia total del canal. Si éste falla, la red se paraliza.

Aplicaciones:

- Redes industriales.
- Redes LAN Ethernet (obsoleto).

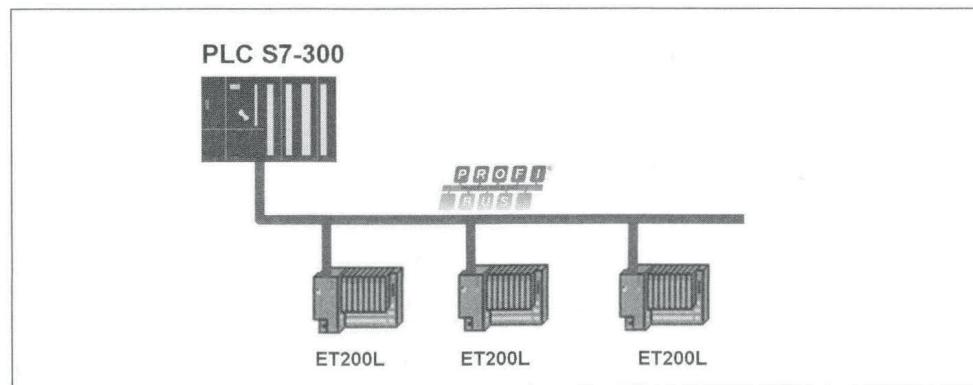


Figura 1.5.2
Estructura de red en forma de bus.

1.5.3 Árbol

Está formado por un grupo de buses conectados entre sí, dando lugar a una estructura arbórea. Con este sistema se consigue mayor alcance que el proporcionado por un bus simple, aunque se incrementa el problema de la atenuación.

Este tipo de red puede aplicarse para dotar de una red por departamentos o zonas independientes dentro de una empresa.

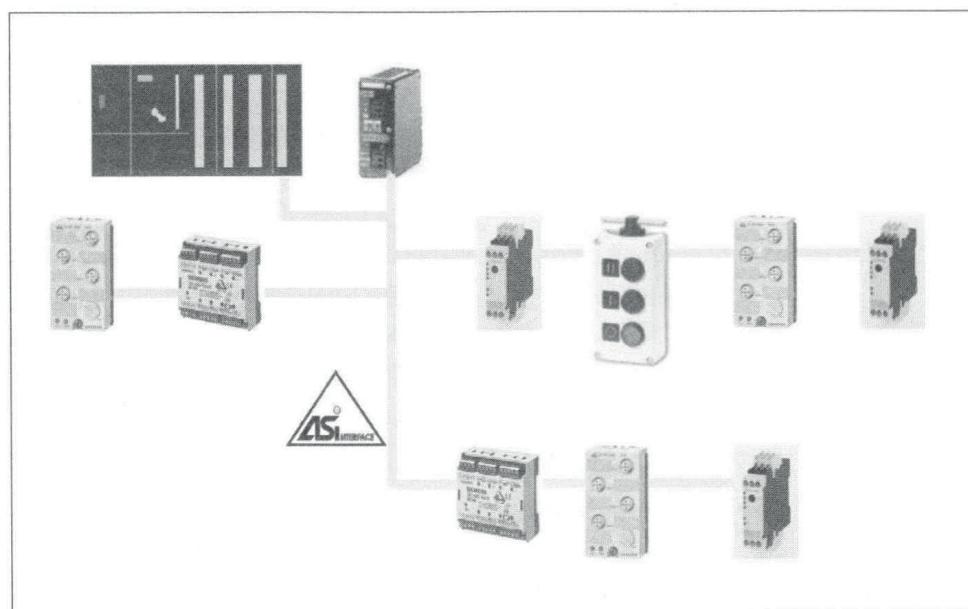


Figura 1.5.3
Estructura de red en forma de árbol.

1.5.4 Anillo

Es un caso especial de la conexión en bus, en el que los dos extremos se unen para formar un bus cerrado en forma de anillo. Sus características principales son:

- La información fluye en un único sentido.
- El mecanismo de transmisión es dejar el mensaje y éste circula por el anillo hasta llegar al receptor.
- Puede circular más de un mensaje por el anillo.
- La inserción de un nuevo equipo al anillo es fácil, tan sólo es necesario conectarlo físicamente al medio de transmisión.
- El rendimiento de la red puede ser muy elevado, la velocidad la marca el equipo más lento.
- El control es bastante simple desde el punto de vista hardware y software.

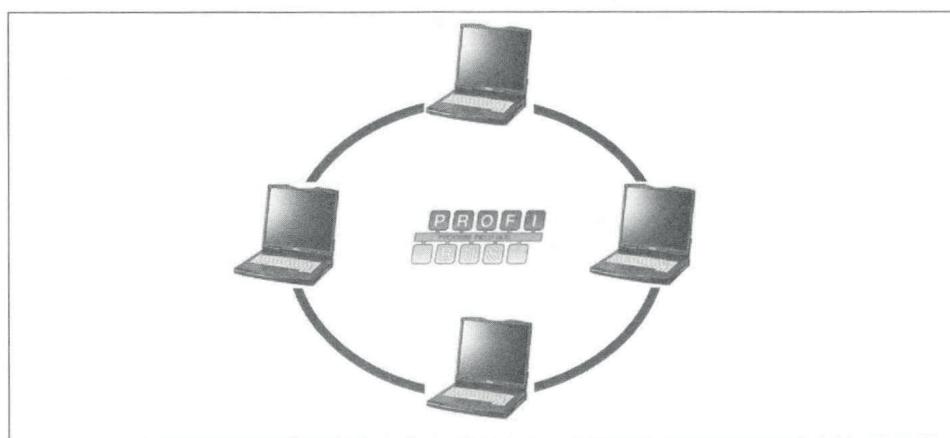


Figura 1.5.4
Estructura de red en forma de árbol.

Ventajas:

- No existen problemas de encaminamiento, todos los mensajes circulan por el mismo camino.
- La inserción de un nuevo nodo es fácil.
- No se producen colisiones.
- El rendimiento es alto, aunque la velocidad la marca el nodo más lento.
- No hay problemas de atenuación, cada nodo actúa como repetidor de la señal.

Inconvenientes:

- El fallo de un equipo deja el anillo fuera de servicio y por tanto la red deja de funcionar.
- IBM lanzó al mercado la red tipo "TOKEN RING" que hace que cuando un equipo falle, éste se cortocircuite provocando que la red siga funcionando.
- Es válido para distancias cortas.

1.5.5 Estrella

Todos los puestos de trabajo están conectados a un mismo nodo de la red, llamado concentrador o HUB (repetidor de la información).

Este nodo central es el que controla toda la transferencia de información, con lo cual se crea una dependencia total de este elemento, puesto que si falla dicho elemento, cae con él toda la red.

Ventajas:

- Mayor rendimiento, ya que la información va directamente del emisor al receptor sin pasar por nodos intermedios (excepto el HUB).
- Podemos añadir o suprimir nodos con suma facilidad.
- Fácil conexionado y mantenimiento.
- Admite diferentes velocidades.

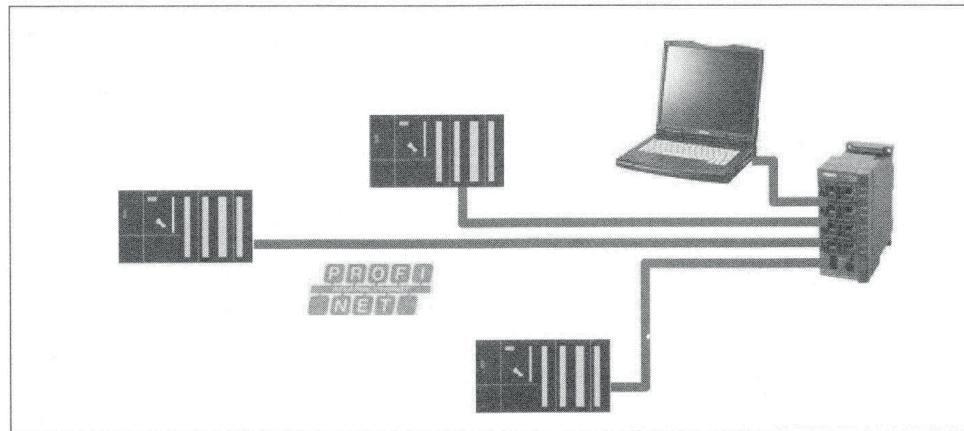


Figura 1.5.5

Estructura de red en forma de estrella.

Inconvenientes:

- Dependencia total del HUB; si éste falla, la red no funciona.
- Si el HUB no es suficientemente potente, se pueden producir retardos importantes que pueden llevar a paralizar la red (efecto "cuello de botella").

Aplicaciones:

- Redes LAN, Ethernet y Fast Ethernet

1.6 Métodos de acceso al medio

En el diseño de una red se ha de tener en cuenta si puede darse el caso de que varias estaciones puedan transmitir de forma simultánea a través del mismo canal de comunicaciones, ya que esto provoca colisiones que pueden ocasionar:

- Información errónea en la recepción.
- Pérdida de la información.

Para evitarlo, se han desarrollado diferentes técnicas conocidas como métodos de acceso al medio. Estos métodos están basados en dos sistemas:

- Métodos de acceso a la red con control, llamados centralizados.
- Métodos de acceso a la red aleatorios, llamados de contienda.

1.6.1 Métodos de acceso a la red con control, llamados centralizados

Se aplican a sistemas en los que un equipo realiza la función de centro de control. Todos estos sistemas los podemos englobar en dos grupos:

- Métodos de sondeo y selección.
- Métodos de paso de testigo.

1.6.1.1 Métodos de sondeo y selección

Este método se utiliza en redes del tipo Master/Slave, también conocido como Polling o Sondeo, está basado en dos procedimientos:

- **SONDEO o POLLING:** La estación central (Master) interroga al resto de estaciones de forma secuencial una tras otra (Poll). Cuando una estación Slave tiene el "Poll" es cuando se le permite transmitir la información, si es que dispone de ella.
- **SELECCIÓN:** La estación Master envía un "Select" a la estación Slave para decirle que tienen información para enviarle. Esta le contesta si está o no preparada; si lo está, le envía el mensaje.

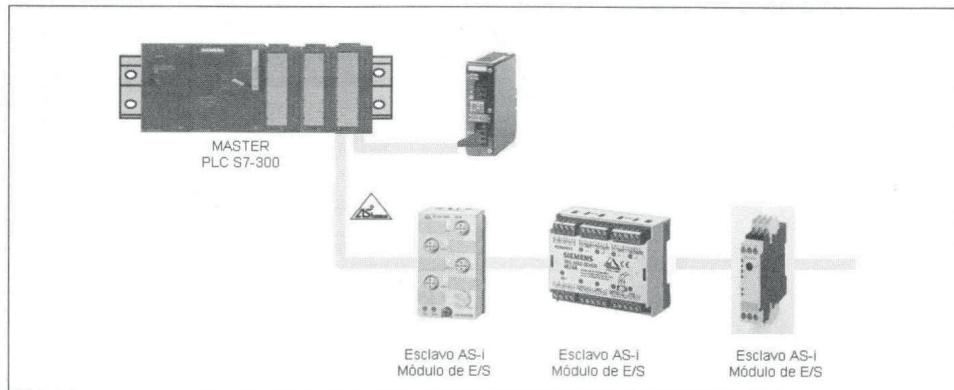


Figura 1.6.1
Bus AS-I como ejemplo de aplicación del método de sondeo y selección.

El gran inconveniente de este sistema es que es un poco “lento”, por lo que se suele utilizar en sistemas con poco volumen de información en las transmisiones.

1.6.1.2 Métodos de paso de testigo

Este otro método se utiliza en redes donde todas las estaciones disponen de la misma prioridad. También es conocido como Token-Ring o Token-Bus.

Dependiendo de la topología de la red se pueden encontrar dos tipos que aplican este mismo método, son:

- Paso de testigo en bus o Token-Bus (IEEE 802.4).
- Paso de testigo en anillo o Token-Ring (IEEE 802.5).

1.6.1.2.1 Paso de testigo en bus o token-bus

Este método necesita la configuración de la red antes de su puesta en marcha, ya que ha de determinar cuál será la estación anterior y posterior de cada una de ellas para la circulación del testigo.

Es totalmente independiente la configuración o disposición físicas de las estaciones a la configuración lógica de dar a cada estación su dirección.

Una estación será la encargada de poner en circulación la trama testigo, y ésta irá recorriendo cada una de las estaciones según sea la lista de direcciones.

Dentro de lo que es la trama de información, existe un campo que es de “control”. Dependiendo del dato que contenga ese campo, la trama actuará como de “trama testigo” o “trama de datos”.

La trama de información se compone de los siguientes campos:

**Figura 1.6.2**

Campos de la trama de paso de testigo.

PREÁMBULO: Para sincronizar el emisor con el receptor (1 byte).

CONTROL: Tipo de trama Testigo – Datos – Otras (1 byte).

DIRECCIÓN DESTINO: Dirección MAC física de la tarjeta de red (6 bytes).

DIRECCIÓN ORIGEN: Dirección MAC física de la tarjeta de red (6 bytes).

DATOS: Información a transmitir (De 0 a 8174 bytes).

CRC: Control de error (4 bytes).

FIN DE TRAMA: La misma información que en el campo de inicio de trama.

Una estación lanza la “trama testigo”. En ese momento se pueden dar las siguientes situaciones:

- Si la trama no va destinada a ella misma, retransmite la misma a la siguiente estación.
- Si la trama llega como testigo, quiere decir que la podemos utilizar para enviar información a la estación que se quiera.
- Si el testigo ha vuelto a la estación emisora con un ACK en los datos, quiere decir que la información ha sido recibida correctamente por la estación destino. A continuación se libera el testigo y se pasa a la siguiente estación.

Existe un tiempo límite de posesión del testigo para las estaciones. Si este tiempo es superado, se ha de liberar el testigo a la estación siguiente. Este tiempo puede ser igual o diferente para cada estación o conjunto de estaciones. De esta manera se pueden asignar diferentes prioridades a cada una de ellas.

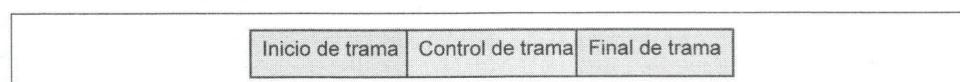
1.6.1.2.2 Paso de testigo en anillo o token-ring

Aplicado a sistemas en los que no existen estaciones con diferentes rangos de prioridad, sino que cualquier estación puede poner en funcionamiento el sistema.

Existen dos tipos de tramas:

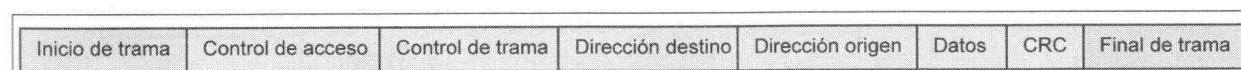
- Una trama de control llamada testigo.
- Una trama diferente de datos.

La trama testigo tiene la siguiente estructura:

**Figura 1.6.3**

Campos de la trama testigo.

Y la trama de datos esta otra:

**Figura 1.6.4**

Campos de la trama de datos.

INICIO DE TRAMA: Para sincronizar las estaciones (1 byte).

CONTROL DE ACCESO: Contiene información en cada bit de tipo de trama, monitor y de prioridad (1 byte). En un bit se indica el tipo de trama (0=Trama testigo, 1=Trama de datos).

CONTROL DE TRAMA: Sirve para distinguir las tramas de datos de las de control, como ACK, etc. (1 byte).

DIRECCIÓN DESTINO: Dirección MAC física de la tarjeta de red (6 bytes).

DIRECCIÓN ORIGEN: Dirección MAC física de la tarjeta de red (6 bytes).

DATOS: Información a transmitir sin límite de longitud.

CRC: Control de error (4 bytes).

FIN DE TRAMA: La misma información que en el campo de inicio de trama.

ESTADO DE TRAMA: Es un campo de 1 byte en el que se contienen entre otros los bits denominados "A" y "C" que indican lo siguiente:

A: Destinatario encontrado o no.

C: Si se ha realizado la copia de la información.

Según esto se pueden dar los siguientes casos:

A=0 y C=0: El destinatario no ha sido encontrado, por ejemplo porque esté apagado o ausente de la red.

A=1 y C=0: El destinatario está presente pero no ha aceptado la trama, bien porque es errónea, porque no tiene memoria suficiente para copiar la trama o por otras causas que han impedido copiar la trama.

A=1 y C=1: El destinatario está presente y además ha copiado la trama correctamente.

A=0 y C=1: Caso imposible, ya que si se ha realizado la copia, es porque ha encontrado el destinatario.

Cuando a una estación le llega el testigo, puede optar por dos acciones:

- Si quiere emitir un mensaje, saca el testigo de la red y pone su mensaje en la trama de datos. Este mensaje llegará a su destinatario y completará un ciclo entero hasta volver al emisor. En este momento, el emisor da por finalizada su tarea, y vuelve a poner el testigo en la red, hasta que otra estación lo recoja para transmitir.
- Si no quiere emitir un mensaje, reenvía la trama testigo a la siguiente estación.

1.6.2 Métodos de acceso a la red aleatorios, llamados de contienda

En contraposición a las técnicas en donde el control de la transmisión es realizada por una sola estación (Master/Slave), existen técnicas sin prioridad en ninguna estación, donde cada ordenador controla su comunicación, pudiendo iniciar una transmisión de información sin tener que esperar a que otra estación le conceda permiso.

CSMA/CD (IEEE 802.3): A esta técnica se le conoce por el nombre de *contienda*, método que según la norma IEEE 802.3 se conoce como CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*).

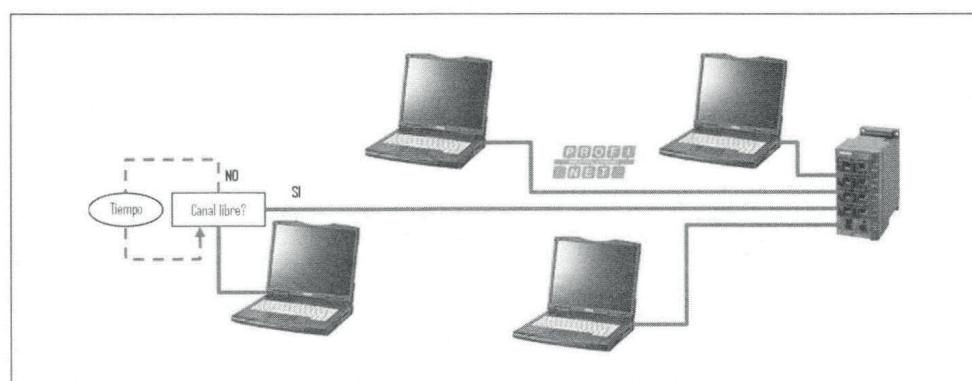


Figura 1.6.5

Método de acceso a la red CSMA/CD.

Este sistema sigue los siguientes pasos:

- Escucha el estado del canal de comunicaciones, comprobando los niveles de la señal.
- Si no detecta señal de datos, inicia su transmisión.
- Puede ocurrir que dos estaciones hayan iniciado la transmisión de forma simultánea. Cada estación, después de colocar los datos en el canal, comprueba que los datos existentes en el canal son los que se han enviado. Si no es así, es que se ha producido una colisión y detiene la transmisión.
- Si detecta colisión espera un tiempo aleatorio e inicia de nuevo el proceso. El tiempo debe ser aleatorio o prioritario, ya que si fuese el mismo se producirían colisiones sucesivas.
- Si aún y así se continúan detectando colisiones, se abortaría el proceso de comunicación después de varios intentos.

Preámbulo	Inicio	Dirección destino	Dirección origen	Longitud de datos	Datos	Relleno	CRC	Final
-----------	--------	-------------------	------------------	-------------------	-------	---------	-----	-------

Figura 1.6.6

Campos de la trama del método CSMA/CD.

La trama que utiliza la IEEE 802.3 se compone de los siguientes campos:

PREÁMBULO: Para sincronizar el emisor con el receptor que siguen la secuencia 1010 1010 (7 bytes).

INICIO: Con el byte 1010 1011 se indica que se inicia la trama (1 byte).

DIRECCIÓN DESTINO: Dirección MAC física de la tarjeta de red (6 bytes). El bit de mayor orden de este campo, que ocupa el lugar 47, codifica si la información es para:

- Un único destinatario: bit 47 a "0".
- Varios destinatarios: bit 47 a "1" (*Multicast*).
- Todos los destinatarios: Si se pone todo "1" (*Broadcast*).

DIRECCIÓN ORIGEN: Dirección MAC física de la tarjeta de red (6 bytes).

LONG. DE LOS DATOS: Codifica los bytes que contiene el campo de datos. Su valor oscila entre 0 y 1.500 (2 bytes).

DATOS: Información a transmitir (De 0 a 1500 bytes).

RELLENAR: La IEEE 802.3 especifica que una trama no puede tener un tamaño inferior a 64 bytes; por tanto, cuando la longitud del campo de datos es muy pequeña es necesario llenar este campo para completar una trama mínima de al menos 64 bytes. Es un campo que por tanto puede tener una longitud comprendida entre 0 y 64 bytes.

CRC: Control de error (4 bytes).

FIN DE TRAMA: La misma información que en el campo de inicio de trama.

1.7 Sistemas determinista y probabilístico

El hecho de que un sistema de comunicación sea del tipo determinista o no determinista (probabilístico) depende únicamente del tiempo en la transmisión/recepción:

- **DETERMINISTA:** Cuando el tiempo es fijo siempre y conocido, como por ejemplo un sistema de comunicación AS-i, que tarda 5 ms en realizar la emisión/recepción de 31 esclavos y 10 ms para 62 esclavos. También es un sistema determinista la red Profibus y Profinet.
- **PROBABILÍSTICO:** Cuando el tiempo es aleatorio, es decir, no siempre es el mismo y por tanto no es conocido, como por ejemplo una red Ethernet que utiliza el método de acceso CSMA/CD.

Este concepto es importante tenerlo en cuenta en las redes de comunicación industrial que en su mayoría, por no decir todos, deben ser del tipo determinista, ya que se ha de asegurar un tiempo máximo y conocido desde que se produce una acción, por ejemplo accionar la seta de emergencia, y esa información llega al controlador.

1.8 Interconexión de redes

Cuando se diseña un tipo de red, en ésta se incorporan todos los dispositivos necesarios para un correcto funcionamiento de ésta, pero es posible que esta red con el tiempo deba ser ampliada, deba poderse conectar a otras redes del mismo o diferente tipo, etc. Para cubrir estas necesidades existen una serie de dispositivos auxiliares para que la red pueda alcanzar esos objetivos de interconexión, elementos como:

- El repetidor.
- El puente o *bridge*.
- El encaminador o *router*.
- La pasarela o *gateway*.

A continuación se pasa a realizar un pequeño estudio de esta serie de dispositivos.

1.8.1 Repetidor

Como ya se ha estudiado con anterioridad, las señales eléctricas se degradan por efecto de la ley de Ohm, es decir, que cuando se realiza una transmisión de señal por un hilo conductor, éste, y como consecuencia de su propia resistencia, tiende a atenuar la señal, y cuando la longitud de la línea se va haciendo mayor, esta atenuación también se incrementa, hasta llegar incluso a que la estación receptora no sea capaz de leer nada del canal debido a la baja señal que le llega.

El objetivo del repetidor es la regeneración de las señales eléctricas y garantizar las conexiones entre los elementos de una red. Operan en el nivel 1, físico del modelo OSI, dado que tan sólo vuelven a acondicionar los valores de las señales eléctricas y no intervienen ni en el control de acceso ni en la topología.

Con esto parece tener resuelta la pérdida de señal colocando sucesivos repetidores en la red. Pero hay otros aspectos que impiden un gran número de repetidores, como es la longitud máxima que se puede alcanzar en cada tipo de red. A modo de ejemplo una red tipo AS-i, en el que podemos alcanzar máximo los 300 metros colocando 2 repetidores, uno cada 100 metros, por lo que se tendrían 3 segmentos de 100 metros cada uno.

Un repetidor además se puede aprovechar para convertir la norma física (RS-232, RS-422, RS-485, etc.) o bien el sistema de cableado (Coaxial, Par trenzado UTP o FTP, FO, etc.).

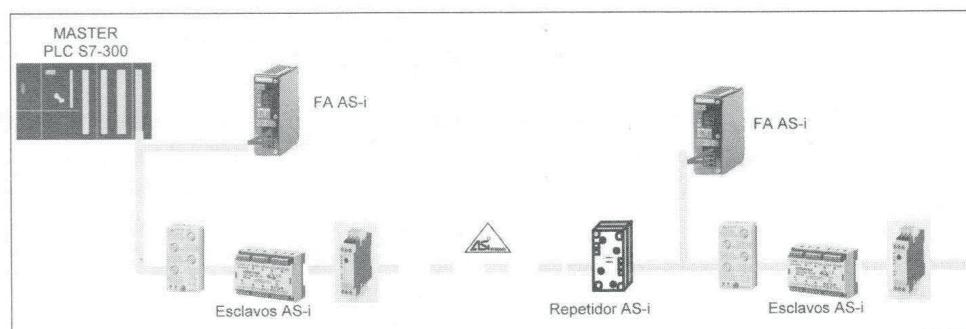


Figura 1.8.1
Ejemplo de instalación con repetidor.

Los repetidores son bidireccionales, en donde podemos encontrar diferentes tipos de repetidor, como:

- Repetidor de continuación: Es el más simple, consta de dos puertos.
- Repetidor modular: Es más sofisticado, está formado por diferentes tarjetas en un bus y cada una de ellas puede distribuir un tipo de señal, 10 Base T, 10 Base 2, 100 Base T...
- Hubs o concentradores: Son repetidores que se utilizan para una red en estrella.
- Repetidor apilable: Una serie de hubs que se pueden conectar entre sí a través de un bus externo.

Ventajas:

- Facilidad de operación.
- No requiere ningún tipo de configuración especial al operar en el nivel físico.

Limitaciones:

- No atiende a las direcciones de red, se limita a repetir la señal.
- No resuelve los problemas de tráfico. Si ha habido una colisión, él transporta esa información errónea al resto de estaciones.

1.8.2 Puente o bridge

Es una máquina de red que posee alguna inteligencia, y realiza una serie de operaciones básicas en la red. Son capaces de almacenar y reenviar las tramas recibidas en función del contenido de las mismas. Su principal aplicación es la de unir dos redes del mismo tipo.

Une dos redes del mismo tipo, estructura y protocolo.

Los puentes o *bridge* operan en capa de enlace (OSI) nivel 2, es decir, su unidad de operación es la trama de red. Cuando un puente o *bridge* debe pasar una trama de una red a otra ejecuta las siguientes fases:

- Almacena en memoria la trama recibida, para su posterior análisis.
- Comprueba el campo de control de errores. Si hay error, elimina las tramas de la red.
- Si no hay errores, reenvía la trama al destinatario.

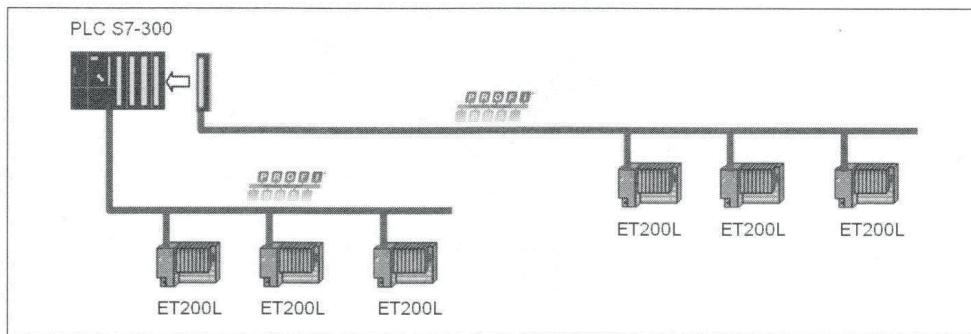


Figura 1.8.2
Ejemplo de instalación con puente o bridge.

1.8.3 Encaminador o router

Son dispositivos software o hardware que se pueden configurar para encaminar o convertir paquetes entre sus distintos puertos utilizando la dirección lógica correspondiente (p. ej, 255.255.0.9).

El encaminador o *router* opera en el nivel 3 (OSI) de red. Lo que hace es unir dos redes de diferente configuración o estructura pero que trabajen con el mismo protocolo.

Un *router* que encamina o convierte a TCP/IP no sirve para otro protocolo.

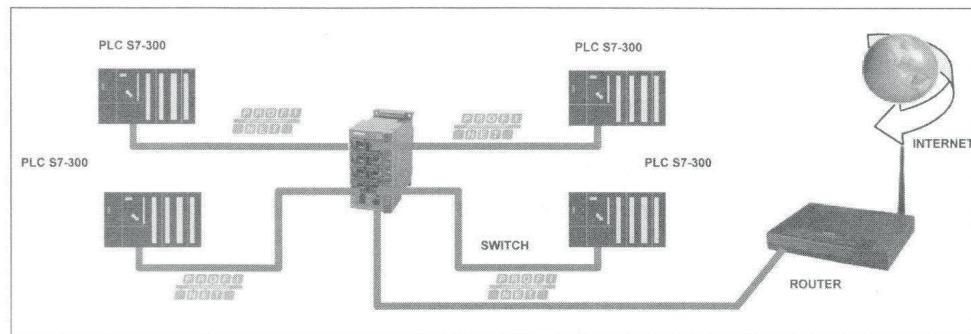


Figura 1.8.3
Ejemplo de instalación con encaminador o router.

1.8.4 Pasarela o gateway

Una pasarela es una puerta de enlace con una red. Lo que hace es unir dos redes que puedan tener diferente estructura (bus, anillo, estrella, etc.), tipo (Ethernet, Token-Ring, Master/Slave, etc.) y protocolo (TCP/IP, NetBeui, IPX/SPX, Profibus, AS-i, etc.).

Las pasarelas son máquinas de red inteligentes y flexibles. La mayor parte de su operatividad está implementada a nivel de software.

Las funciones de una pasarela son:

- Reconocimiento y almacenamiento de los mensajes correspondientes a las estaciones de la red origen. Estos mensajes se desensamblan en el nivel de transporte.
- Adaptación de los formatos de datos de la red destino.
- Envío del mensaje a la red y estación destino.
- Conexión física de cada uno de los tipos de la red conectados.

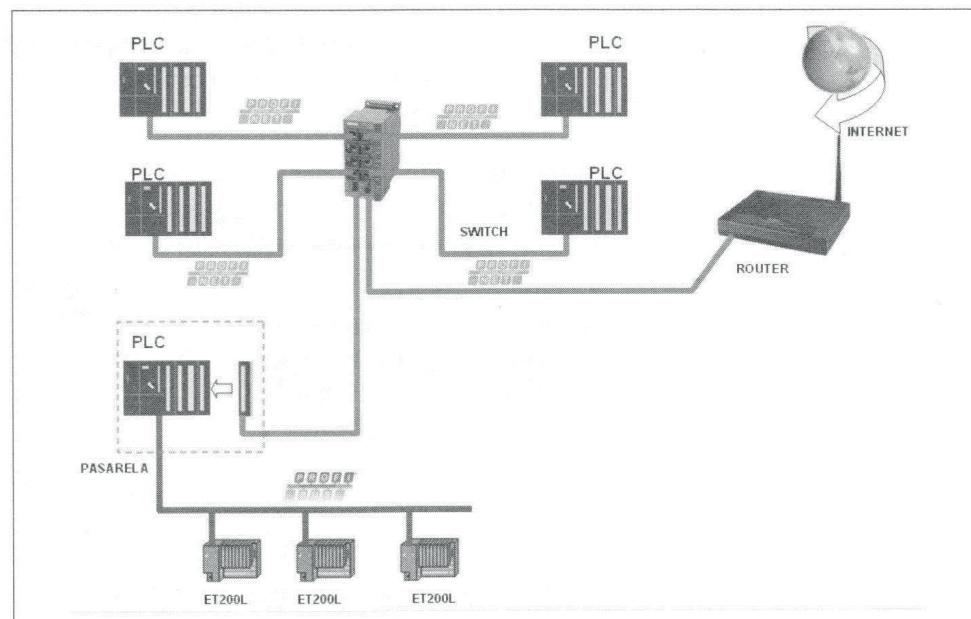


Figura 1.8.4
Ejemplo de instalación con pasarela o gateway.

Tambien podemos encontrar componentes específicos que con la única función de trabajar de pasarela o gateway. Algunos ejemplos son:

• **IWLAN/PB Link PN IO.**

El IWLAN/PB Link PN IO se emplea como elemento de transición (pasarela) entre las redes Industrial Wireless LAN y PROFIBUS.

Gracias a la utilización del IWLAN/PB Link PN IO, bien como interfaz maestro PROFIBUS o como proxy PROFINET IO, el Link es apropiado para la comunicación con sistemas de automatización en aplicaciones móviles tales como, por ejemplo, sistemas de transporte filoguiados, transelevadores o electrovías monocarril.

La posibilidad de usar PROFINET permite disfrutar de sus numerosas ventajas a nivel de sistema, por ejemplo el diagnóstico vía bus.

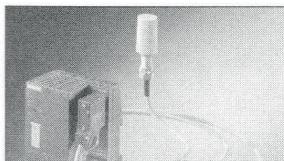


Figura 1.8.5

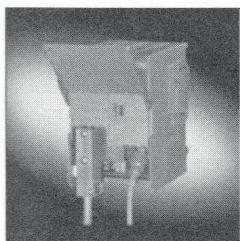


Figura 1.8.6

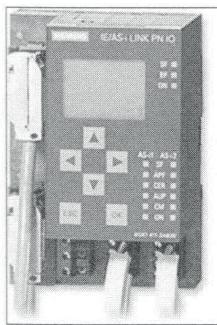


Figura 1.8.7

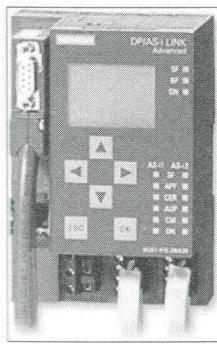


Figura 1.8.8

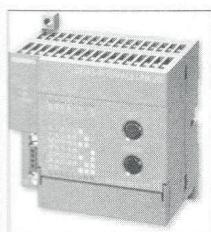


Figura 1.8.9



Figura 1.8.10

• **IE/PB Link PN IO.**

Actuando como componente autónomo, el IE/PB Link PN IO constituye el nexo de unión entre Industrial Ethernet y PROFIBUS operando con comunicación en tiempo real (RT), lo que permite integrar en una aplicación PROFINET los dispositivos PROFIBUS existentes. Desde el punto de vista del controlador de IO, todos los esclavos DP se tratan como dispositivos IO con interfaz Ethernet, es decir, el IE/PB Link PN IO es su representante (proxy).

• **IE/AS-i LINK PN IO.**

IE/AS-i LINK PN IO es un PROFINET IO-Device (según IEC 61158) y un maestro AS-i (conforme a la especificación AS-i 3.0 según EN 50 295 e IEC 62026-2).

Permite el acceso transparente a los datos en AS-Interface desde Industrial Ethernet. Disponible como maestro sencillo o doble, resulta idóneo para una estructura descentralizada y para la conexión de una red AS-Interface a sistemas de bus de nivel superior.

Para IE/AS-i LINK PN IO hay dos variantes disponibles:

- Aparato con una línea AS-Interface (maestro sencillo).
- Aparato con dos líneas AS-Interface (maestro doble).

• **DP/AS-i LINK Advanced.**

DP/AS-i LINK Advanced es un esclavo PROFIBUS DPV1 (según EN 50 170) y también un maestro AS-i (conforme a la especificación AS-i 3.0 según EN 50 295 e IEC 62026-2).

Permite el acceso transparente a los datos en AS-Interface desde PROFIBUS DP. Disponible como maestro sencillo o doble, resulta idóneo para una estructura descentralizada y para la conexión de una red AS-Interface a sistemas de bus de nivel superior.

Cómoda conexión TIA de AS-Interface.

El puerto Ethernet integrado permite el diagnóstico por interfaz web y reduce el número de puertos de switch externos.

• **DP/AS-i Link 20E.**

El módulo DP/AS-i Link 20E (conforme a AS-i especificación 3.0) conecta el bus PROFIBUS DP al bus AS-Interface.

El Link 20E alberga en sí un esclavo PROFIBUS DP y un maestro AS-Interface. No es necesaria una alimentación adicional, pues el suministro eléctrico se toma del cable AS-Interface. También se ven reducidos los tiempos de puesta en marcha, pues la configuración se realiza fácilmente con sólo pulsar un botón.

El DP/AS-i Link 20E permite configurar la red AS-Interface desde STEP7 (V5.2 o superior) sin necesidad de software adicional.

• **DP/EIB Link.**

El módulo DP/EIB Link conecta el bus PROFIBUS DP al bus KONNEX (EIB).

El DP/EIB es en sí un esclavo PROFIBUS DP y un maestro EIB.

El DP/AS-i Link 20E permite configurar la red AS-Interface desde STEP7 (V5.2 o superior) sin necesidad de software adicional.