

Redes de Sensores

Tesista: Ing. Omar Américo Fata
Director: Dr. Ing. Héctor Osvaldo Pascual
Codirector: Ing. Luis Marrone

Trabajo Final para obtener el grado de:
Especialista en Redes y Seguridad

Facultad de Informática - Universidad Nacional de La Plata

Mayo 2011

Aclaraciones importantes sobre el texto

En el presente trabajo, las “Referencias Bibliográficas de Libros y Publicaciones” son por orden de aparición, excepto las Normas, que se desglosan por separado y por orden alfabético al final del presente trabajo, ya que son citadas a menudo en el texto. Las “Referencias a Figuras y Tablas” están luego de las anteriores.

El “Glosario de Términos y Acrónimos” es por orden alfabético ya que facilita mejor su ubicación.

La Nomenclatura esta aclarada sobre el propio texto de cada tema.
Se numeran las figuras y tablas por capítulo

Agradecimiento:

A Héctor Osvaldo Pascual,
por compartir buena parte del camino.

<i>Índice</i>	<i>Página</i>
Capítulo 1: Introducción General	7
1.1 Introducción a la comunicación en la industria	7
1.2 Redes industriales de comunicación	7
1.3 Objetivos de los sistemas de comunicación industriales	10
1.4 Tipos de control en la industria	11
1.4.1 Centralizado	11
1.4.2 Distribuido	12
1.5 Normas sobre las comunicaciones	13
1.5.1 Normas Internacionales	13
1.5.2 Normas Europeas	13
1.5.3 Normas de Estados Unidos	14
1.5.4 Normas nacionales	14
1.5.5 Normas relacionadas con las comunicaciones industriales	14
1.6 Modelo OSI	15
1.6.1 Modelo OSI aplicado a las comunicaciones industriales	16
1.7 Introducción a las redes de sensores	17
1.8 Objetivos del trabajo	19
Capítulo 2: Comunicaciones digitales	20
2.1 Modos de transmisión de las señales	20
2.1.1 Transmisión serie	20
2.1.2 Transmisión paralelo	21
2.2 Tipos de sincronización en la transmisión de datos serie	22
2.2.1 Tipos de sincronización asíncrona	22
2.2.2 Tipos de sincronización síncrona	24
2.3 Normas físicas	26
2.3.1 Norma física RS-232	26
2.3.1.1 Característica mecánicas de la interface	27
2.3.1.2 Paso de señales eléctricas por la interface	27
2.3.1.3 Señales de la interface	27
2.3.1.4 Función de cada señal para ciertas aplicaciones	30
2.3.1.5 Proceso seguido para una comunicación	32
2.3.1.6 Tipo de transmisión	32
2.4 Norma física RS-422	33
2.5 Norma física RS-485	38
2.6 Técnicas de control de flujo	42
2.6.1 Control de flujo por hardware	42
2.6.2 Control de flujo por software	43
2.7 Técnicas de control de errores	44
2.7.1 Métodos de detección de errores	44
2.7.2 Métodos de corrección de errores	47
2.8 Topologías básicas de redes industriales	48
2.8.1 Punto a punto	48
2.8.2 Bus	49
2.8.3 Árbol	50
2.8.4 Anillo	50

2.8.5 Estrella	51
2.9 Métodos de acceso al medio	52
2.9.1 Métodos con control de acceso al medio, de llamadas centralizada	53
2.9.1.1 Métodos de sondeo y selección	53
2.9.1.2 Métodos de paso testigo	53
2.9.1.2.1 Paso Testigo en bus o token-bus	53
2.9.1.2.2 Paso testigo en anillo o token-ring	54
2.9.2 Métodos de acceso a la red aleatorios o de contienda	56
2.10 Sistema determinista o probabilístico para transmitir	58
2.11 Interconexión de redes	58
2.11.1 Repetidor hub	59
2.11.2 Puente o Bridge	60
2.11.3 Encaminador o router	60
2.11.4 Pasarella o gateway	60
Capítulo 3: El universo de las redes de sensores cableadas	61
3.1 El origen de las redes de sensores	61
3.2 Redes de sensores dentro de la industria	62
3.3 La primera generación, buses de campo	67
3.4 Evolución de los buses de campo	68
3.5 Normalización de los buses de campo	72
3.6 La segunda generación, Ethernet industrial	73
3.7 La tercera generación, Ethernet en tiempo real, RTE	74
3.8 Instrumentos e investigación actual en RTE	80
3.8.1 Un ejemplo de nuevo instrumento	82
Capítulo 4: Introducción a las redes inalámbricas en la industria	84
4.1 Análisis de las redes inalámbricas en el entorno industrial	84
4.2 Redes de automatización híbridas en la industria	86
Capítulo 5: Redes inalámbricas para sensores	90
5.1 El tiempo de las redes inalámbricas para sensores	90
5.2 Redes inalámbricas de sensores	91
5.3 Aspectos físicos destacados	93
5.3.1 Consumo de energía	93
5.3.2 Localización	94
5.3.3 Arquitectura de red de sensores inalámbricas	96
5.3.3.1 Infraestructura	96
5.3.3.2 Ad-Hoc	96
5.4 Redes de sensores inalámbricos en el escenario industrial	99
5.5 Las herramientas disponibles	102
Capítulo 6: Sensores, Características principales y su clasificación.	103
6.1 Introducción a sensores	103
6.2 Características de los sensores inteligentes para la industria	104
6.2.1 Clasificación según el principio de funcionamiento del elemento	105

sensor	
6.2.2 Clasificación de los sensores según el tipo de señal eléctrica que generan	106
6.2.2.1 Sensores analógicos	107
6.2.2.2 Sensores digitales	108
6.2.2.3 Sensores temporales	111
6.2.3 Clasificación de los sensores según el rango de valores de la señal que proporcionan	113
6.2.3.1 Sensores de medida	113
6.2.3.2 Sensores todo-nada	113
6.2.4 Clasificación de los sistemas de sensores según el nivel de integración	114
6.2.4.1 Sensores discretos	114
6.2.4.2 Sensores integrados	114
6.2.4.3 Sensores inteligentes	114
6.2.5 Clasificación de los sensores según la variable física medida	115
Capítulo 7: Conclusiones Generales	117
Anexos	119
Anexo A1: Introducción y características del bus As-i	120
A1.1 Estándar As-i abierto para sistemas de interconexión a nivel de procesos	121
A1.2 AS-i en la industria	122
A1.3 Ventajas del bus AS-i	123
A1.4 Comparación de sus versiones	124
A1.5 Ciclo de lectura y escritura de los esclavos	125
A1.6 Equipos participantes en un bus AS-i	127
A1.6.1 Fuente de alimentación AS-i	127
A1.6.2 Maestros AS-i	128
A1.6.3 Esclavos AS-i	128
A1.6.4 Conectores y cables	129
Anexo A2: Introducción y características de Profibus	132
A.2.1 Profibus DP (periferia descentralizada)	134
A2.2 Transmisión de datos	134
A2.3 Profibus PA	136
Anexo A3: Introducción y características de Ethernet industrial	140
A3.1 Componentes de red pasivos para Ethernet industrial cables y conectores	141
A3.2 Componentes de red activos para Ethernet industrial switches y gateway	142
Anexo A4: Introducción y características de Profinet	144
A4.1 Objetivos y ventajas de Profinet	144
A4.2 Arquitectura Profinet	145

A4.3 Ventajas y características de Profinet	145
A4.4 Integración de buses de campo en Profinet	145
A4.5 Profinet IO	146
A4.6 Topologías	146
Anexo A5: Otros Buses	148
A5.1 InterBus	148
A5.2 DeviceNet	148
A5.3 Foundation FieldBus	149
A5.4 FIP o World FIP	149
A5.5 LonWorks	149
A5.6 CANOpen	150
A5.7 MODBUS	150
A5.8 BitBus	151
A5.9 ControlNet	151
A5.10 Hart	151
Glosario de Términos y Acrónimos	152
Referencias Bibliográficas de Libros y Publicaciones	167
Referencias de Figuras y Tablas	170
Normas	172
Links	174

Capítulo 1 Introducción general

En el presente capítulo:

Se analizan aspectos generales de la comunicación de datos en la industria. Refiriéndonos a datos sensibles al proceso y que hacen el mejor desempeño de la maquinaria y la labor en general dentro de estos ámbitos. Se incluyen generalidades sobre normativas al respecto, y también una introducción a las redes de sensores. Planteándose también los objetivos del trabajo.

1.1 Introducción a la comunicación en la industria.

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 solo lo hemos podido ver en las películas del lejano oeste americano. Otro tipo de comunicación, ya no tan lejano y que aun en nuestros días podemos encontrar, es la 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 solo 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 la aparición de los ordenadores personales con los que se empezó a notar como las comunicaciones iniciaban un proceso de cambio total, tanto en su concepción como en sus aplicaciones, debido a la utilización de la tecnología digital.

Si nos situamos en nuestros días, quien 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, Wi-Fi, GPRS, etc. son algunos de los últimos sistemas de comunicaciones aplicados a dispositivos que la mayoría de personas utilizan en la actualidad.

1.2 Redes industriales de comunicación.

Podríamos realizar una exposición totalmente paralela a la expuesta anteriormente cuando hablamos de la evolución experimentada en los dispositivos industriales. Por tanto, podemos observar como esas mismas tecnologías que poseen los dispositivos utilizados por las personas aparecen implementadas en las comunicaciones entre diferentes dispositivos industriales [1].

En la industria moderna, las comunicaciones de datos entre diferentes sistemas, procesos e instalaciones suponen uno de los pilares fundamentales para que esta se encuentre en un nivel de competitividad acorde a la exigida en los procesos productivos actuales. Un sistema de comunicación de datos industrial es tanto más exigente cuanto más cerca del proceso nos encontramos, justo allí donde se

encuentran los sensores y actuadores. Si comparamos las principales características que determinan el tipo de aplicación de las diferentes redes de comunicación, encontramos estas tres clases:

- 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.

Esto lo podemos observar a través del siguiente ejemplo comparativo:

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

Tabla 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 una 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, 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 autómatas 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 [2].

Esta pirámide, reconocida por todos los fabricantes de dispositivos para las redes de datos, está formada por: tres, cuatro, o cinco niveles, para el caso de cuatro niveles, estos 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.

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 en cada caso[1]. Además, otra característica destacada es que, cuanto más nos acercamos al proceso, mayor número de dispositivos intervienen en la red de comunicaciones, es decir, que a nivel de campo, que es el nivel más próximo al proceso, la red de datos involucra a los sensores y actuadores, mientras que en el nivel más alejado del proceso, como es el de oficina y que básicamente está compuesto por ordenadores, el número de equipos que interviene en la red se reduce considerablemente.



Figura 1.1 Pirámide CIM

Para centrarnos mejor en lo que nos importa veamos un esquema donde los niveles de Oficina y Planta están juntos, como es el caso de empresas o fabricas medianas o chicas. En este caso entonces, los tres niveles son los que se ven en la siguiente figura.

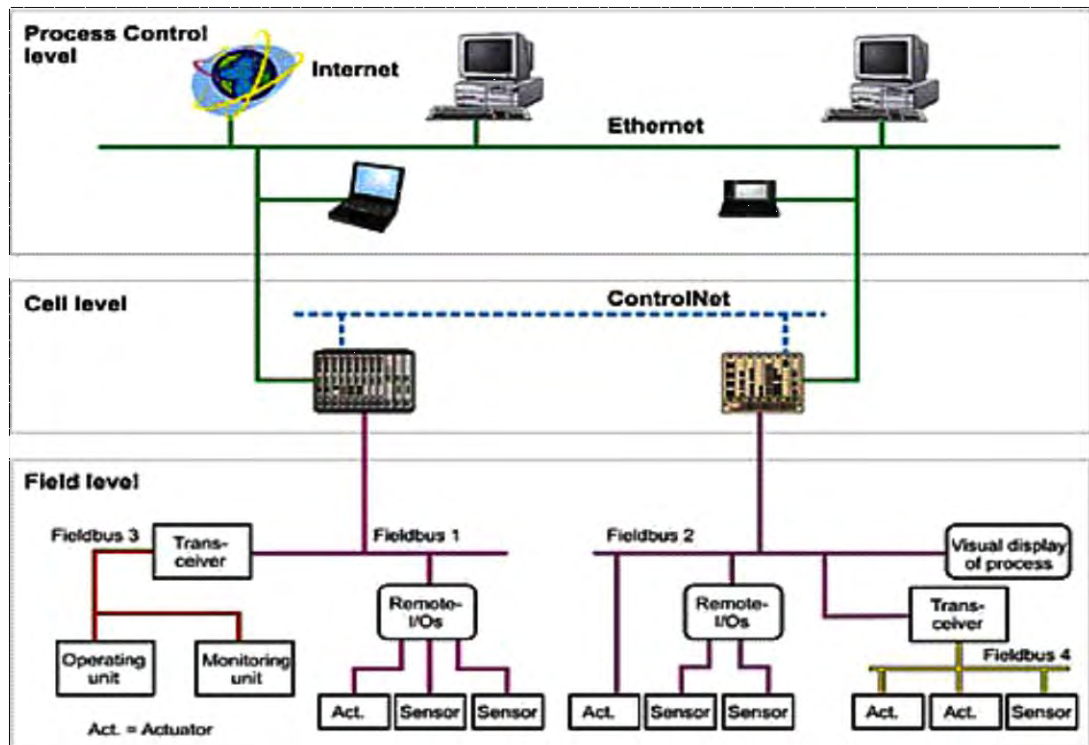


Figura 1.2 de sistema de comunicaciones de industria con 3 niveles.

1.3 Objetivos de los sistemas de comunicaciones industriales.

Una empresa se encuentra con la necesidad de incorporar un sistema de comunicaciones integrado para poder obtener beneficios, 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, sistemas de control numérico, 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 almacenara y procesara dicha información.

Actualmente, existen muchas 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 tales como:

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

1.4 Tipos de control en la industria

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:

1.4.1 Centralizado:

- Es efectivo mientras el sistema no sea excesivamente grande ni complejo.
- Es fácil de mantener, ya que solo 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.

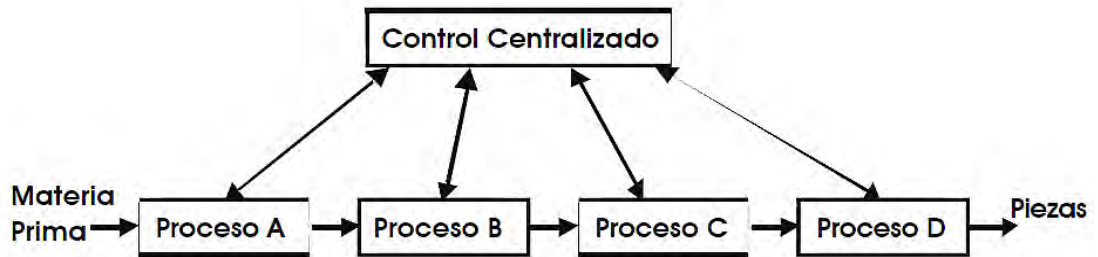


Figura 1.3 Sistema de control centralizado.

1.4.2 Distribuido:

Habitualmente solo en sistemas grandes o complejos.

- La responsabilidad es repartida entre diferentes controladores.
- Todos los controladores deben 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 estos 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 ampliándolo a medida que el sistema lo exija, añadiendo módulos u otros controladores.
- Permite la integración de dispositivos de diferentes fabricantes, que se pueden comunicar mutuamente.

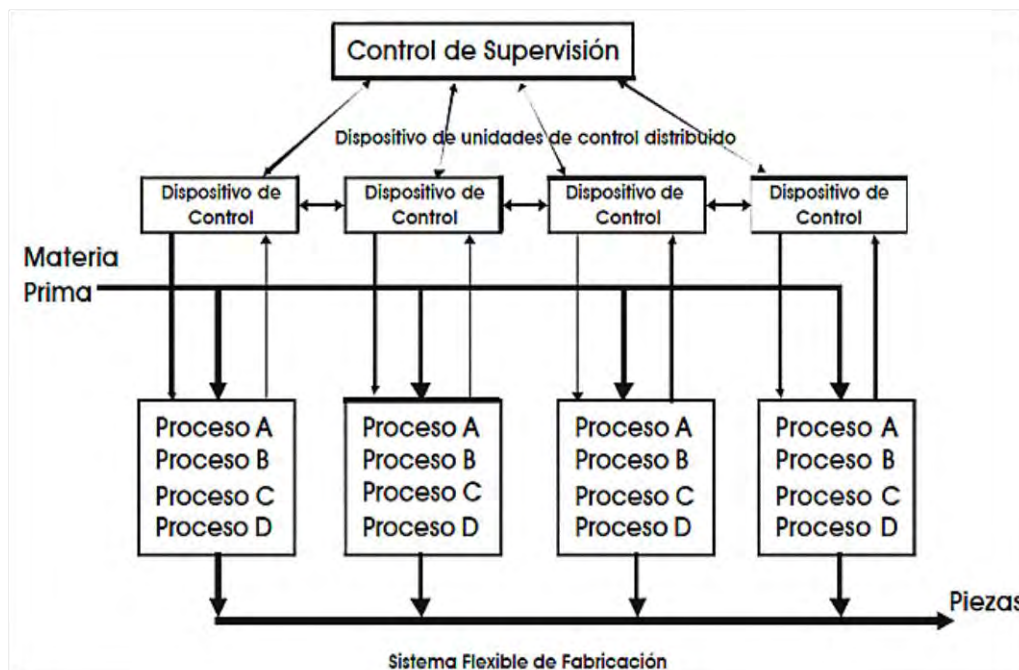


Figura 1.4 Sistema de control distribuido.

1.5 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, con lo cual día a día los equipos de diferentes fabricantes son más compatibles entre sí. Aunque existe una gran cantidad de normas y estándares, no todas han nacido de una institución que normaliza como son las llamadas normas **de hecho**, que se desprenden de los sistemas realizados por grandes empresas generalmente multinacionales, que de una forma u otra finalmente acaban por imponerse en el mercado.

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 u organismos nacionales o internacionales [3].

Las normas pueden afectar a diferentes ámbitos geográficos, es decir, normas que rigen a nivel mundial, a nivel continental o a nivel nacional [4].

1.5.1 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.

1.5.2 Normas Europeas

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

- CEN (Comite Européen de Normalisation), es el encargado de generar todas las normas del tipo EN que son a nivel europeo.
- CENELEC (Comite 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 (PIT Post Telephone and Telegraph) y lo que hoy es la Unión Europea.

1.5.3 Normas de Estados Unidos

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

- ANSI (American National Standards Institute). Instituto americano de normas y estándares, 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 (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 hecho.

1.5.4 Normas nacionales

Son las normas creadas por organismos del propio país de aplicación.

- IRAM Instituto Argentino de Racionalización de Materiales.

1.5.5 Normas relacionadas con las comunicaciones industriales

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 1.2

1.6 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 [4]. Cada capa o nivel tiene funciones claramente definidas y que son las siguientes:

- Nivel 1. FISICA: Especifica cuál será el medio físico de transporte a utilizar. Y sus respectivas 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 se involucre a más de una red.
- Nivel 4. TRANSPORTE: División de los datos en paquetes de envío.
- Nivel 5. SESION: Para el control del inicio y finalización de las conexiones.
- Nivel 6. PRESENTACION: Representación y encriptación de los datos.
- Nivel 7. APLICACION: Utilización de los datos.

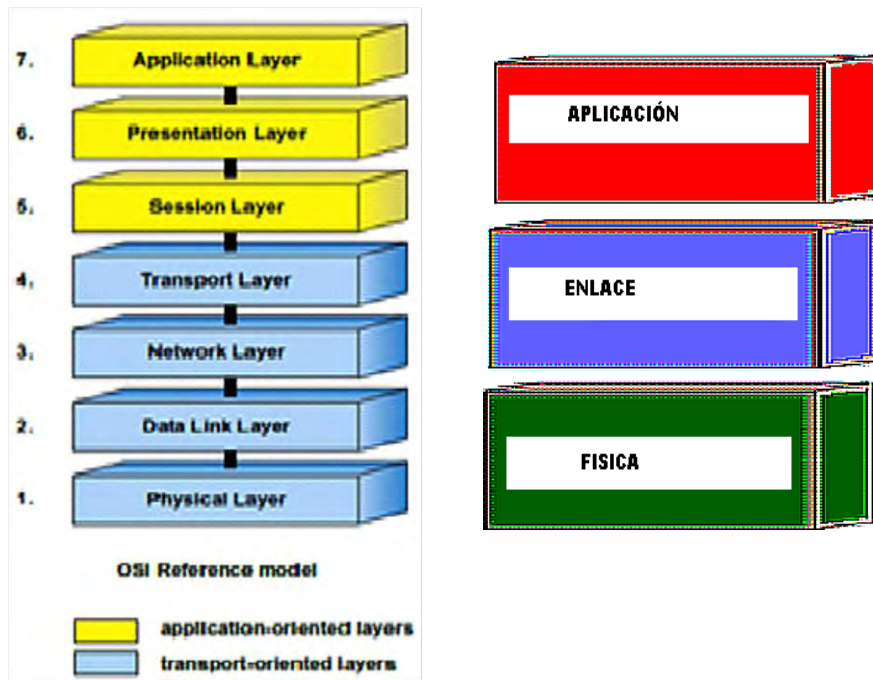


Figura 1.5 Modelo OSI (izquierda), OSI aplicado en la industria, (derecha)

1.6.1 Modelo OSI aplicado a las comunicaciones industriales

A nivel de las comunicaciones industriales las capas utilizadas son:

- **FISICA:** Se encarga de la transmisión de bits al canal de comunicación. Define los niveles de la señal eléctrica con la que se trabajara. Controla la velocidad de transmisión (duración de un bit). Esta capa contiene tres subniveles, que son los siguientes:
 - MEDIO: Canal de transmisión, si es cable, Fibra Óptica (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 para la emisión de la información binaria en forma de señales eléctricas y decodificación en la recepción de las señales eléctricas, a serial 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 contiene dos subniveles, que son los siguientes:
 - MAC (Media Acces Control): Control del canal de transmisión para que en el momento que este 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.

- **APLICACION:** Es la capa más próxima al usuario y puede ofrecer servicios tales como, acceso a base de datos, transferencia de ficheros, etc.

1.7 Introducción a las redes de sensores

En general las aplicaciones de los sistemas automatizados en la industria, están pasando de las arquitecturas independientes y centralizadas en sí mismas, a otras mucho más distribuidas y conectadas, con gran interdependencia entre sí. Esta transición es motivada por las mejoras tecnológicas que dieron, mayor eficacia, confiabilidad, flexibilidad y escalabilidad de los sistemas de comunicación industriales, incluso con reducción de costos.

La implementación de las redes con sensores y actuadores a nivel de campo en la industria, mejora el rendimiento general de la planta, ya que posibilita contar con la información del sensor, que mide, o enviar ordenes al actuador para que ejecute las acciones para las que fue diseñado. Así mismo estos datos pueden ser utilizados por varios equipos y hasta ser compartidos en la Web. Tener un sistema de comunicación adecuado que enlace la información entre, Computadoras, Controladores Lógicos Programables (PLC), y Sensores/Actuadores en el área de proceso de una industria, fue la meta a lograr por decenas de años [5].

El desafío más grande consistió en lograr este intercambio de datos en un tiempo limitado. De hecho, tanto sensores como actuadores suelen requerir lo que se denomina: tiempo real duro, de características cíclicas, y con unos pocos datos de intercambio. Por esta razón, los buses de campo específicos han sido ampliamente utilizados para hacer realidad las redes de sensores/actuadores industriales desde hace más de treinta años.

Paralelamente en este mismo periodo de tiempo, Ethernet cableada, y más recientemente, las tecnologías inalámbricas de este protocolo, redoblan esfuerzos por cumplir los requisitos de operación en tiempo real, motivado mayormente por el avance del tráfico multimedia a nivel de hogar y oficina. Esto no resulto ajeno a la industria, donde si bien se manejan periodos de cambio tecnológicos mucho más dilatados, estos avances lograron introducirse en el ámbito industrial, merced a la fuerte estandarización que posee el protocolo Ethernet, que trajo aparejada además, una significativa reducción de costos. Así las tecnologías vinculadas con este protocolo que cumplen con los requisitos de operación en tiempo real, llamadas Ethernet en Tiempo Real RTE, se introdujeron en la industria, y están reemplazando a los buses de campo tradicionales.

Si bien en principio pareció difícil de adaptarse a sensores/actuadores, especialmente a los sencillos y de bajo costo, las actividades de investigación en tal sentido han dado sus frutos. Hoy las redes de sensores en tiempo real tanto cableadas como inalámbricas están siendo una realidad de amplio crecimiento. Cabe remarcar en tal sentido, que los buses a nivel de campo han sido una de las claves para los modernos sistemas de automatización en diferentes tipos de fábricas, sean estas con o sin procesos continuos, o también en la implementación de sistemas automatizados de la más diversa complejidad. Hoy

las redes de comunicación permiten la integración horizontal y vertical de los dispositivos que componen un sistema industrial. La evolución de estas redes en el nivel más bajo, y cercano al proceso fue y es, lo que marca el desarrollo en tal sentido.

Tradicionalmente, la producción de sensores es suministrada mediante una simple interfaz analógica estándar que es proporcionada por circuitos electrónicos, por ejemplo, 0-5V, 4-20mA, etc. Gracias a la disponibilidad de micro controladores de bajo costo, es cada vez mayor el auge de una nueva generación de sensores, normalmente llamado "sensores inteligentes", estos proporcionan mejoras en términos de linealidad, relación señal-ruido, funciones de diagnóstico, y en muchos casos, se apoyan también en la conectividad en red. Las redes de sensores requieren protocolos muy simples y económicos en cuanto al ancho de banda y cantidad de datos a transmitir.

La creación de redes de sensores, de hecho, es el objetivo en muchos campos del desarrollo humano: militar, industrial, agricultura, control del medio ambiente, automatización del hogar, salud, confort, automóviles y sistemas de transporte en general. Cada área tiene sus propias necesidades, por ejemplo en salud, se necesitan sensores de tamaño compacto y preferentemente inalámbrico, mientras que el bajo costo es imprescindible para la automatización del automóvil y el hogar, los requerimientos militares impulsan fuertemente el desarrollo de sistemas inalámbricos de variada arquitectura, esto solo por nombrar algunos casos.

Generalmente, una red de sensores se evalúa con respecto a algunos características físicas como son: por lo simple de desarrollar y compacta, la posibilidad de poder brindar movilidad al sensor (esto implica redes de sensores inalámbricos con fuente de alimentación autónoma); que los costo de implantación y mantenimiento estén acotados, su rendimiento (representado aproximadamente por la cantidad de bits de datos útiles respecto de los necesarios para el auto-control del sistema de comunicación, dependiendo en general de los requisitos de tiempo), su latencia (suma de retardos temporales de la transmisión dentro de una red), jitter (fluctuación o variabilidad temporal durante el envío de la señal, por esta razón, los protocolos de comunicación industrial a menudo proveen servicios de sincronización), y por ultimo pero no menos importante, robustez, esto es confiabilidad y seguridad en la transmisión de los datos.

1.8 Objetivos del Trabajo

Desafortunadamente no hay un único estándar de comunicación para redes de sensores/actuadores, sin embargo, no hay otra opción para la conectividad con el ordenador, que no sea Ethernet, junto con los protocolos de Internet, que es reconocida actualmente como la solución universal.

Así los sistemas de Bus de Campo, Ethernet Industrial, y las recientes Redes Inalámbricas aplicadas en estos ámbitos, marcan el camino recorrido hasta hoy. Se demuestra que existió continuidad y escalabilidad en el desarrollo de estas tres generaciones de sistemas de comunicación industrial, y que se intenta garantizar la compatibilidad con versiones anteriores a expensas de una innovación más profunda. Gracias a las modernas tecnologías de comunicaciones, se van modificando las arquitecturas de las redes de automatización, llegando hasta las actuales arquitecturas híbridas que combinan cable y redes inalámbricas.

En este trabajo, tras una visión general de los actuales sistemas de comunicación industriales, aplicados a nivel de sensores y actuadores, se analizará el estado del arte de estas redes de comunicación en aplicaciones industriales. También se presentarán sus problemáticas más comunes, y los enfoques mejor considerados en la actualidad, para resolverlos.

Cabe aclarar que se profundizara mas el análisis a nivel eléctrico de los sistemas de transmisión serie, sobre buses RS 232, 422 y 485, ya que son estos los masivamente más utilizados en la actualidad, y parte de las problemáticas que ellos presentan, se proyectan también sobre Profibus y otros sistemas más modernos.

Capítulo 2 Comunicaciones digitales

En este capítulo se hace una descripción generalizada de los aspectos básicos a tener en cuenta de los sistemas de transmisión de datos en la industria.

Se presta especial atención a todo lo relacionado con la transmisión eléctrica de la señal, y su forma de hacerlo, ya que es a través de conductores eléctricos como mayormente se envía o recibe la señal, hacia o desde, sensores y actuadores industriales.

También se desarrollan, cuestiones de acceso al medio y las topologías más utilizadas.

2.1 Modos de transmisión de las señales

Para la transmisión de datos se pueden utilizar dos sistemas, como son la transmisión serie o la transmisión paralelo [4].

2.1.1 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.

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

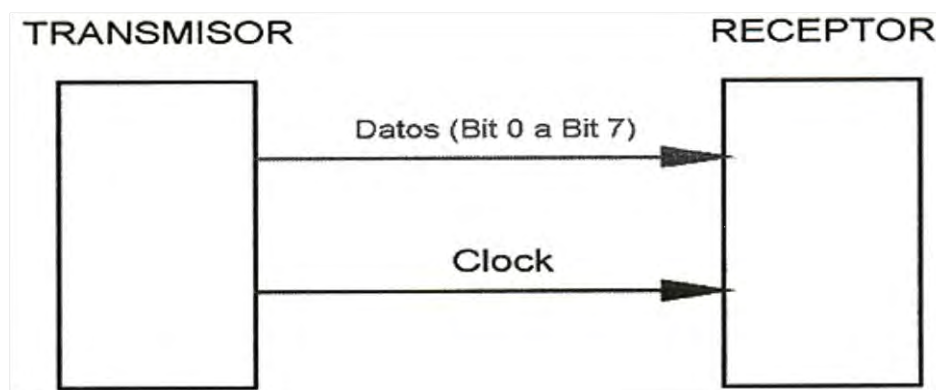


Figura 2.1 Esquema transmisión-recepción serie de un dato.

En la siguiente figura se esquematiza este tipo de transmisión. Para enviar, por

ejemplo, el carácter ASCII "S", la señal en binario es 01010011 = 83 = ASCII "S".

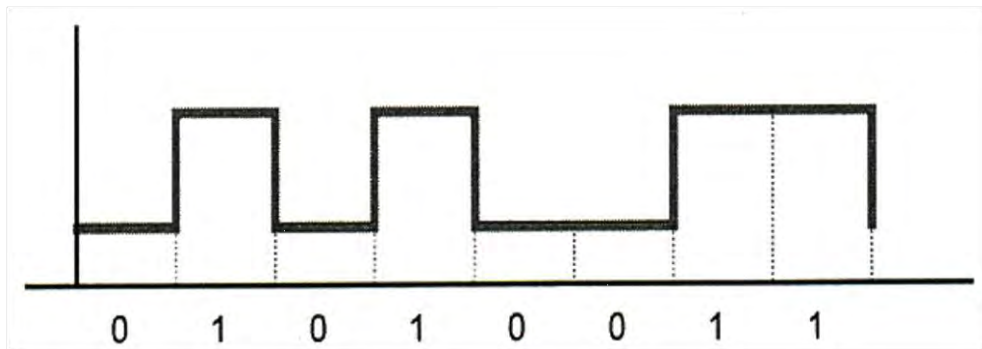


Figura 2.2 señal binaria del carácter ASCII "S".

2.1.2 Transmisión paralelo

El tipo de transmisión paralelo 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, no más de 2,5 metros.
- Es adecuado para una comunicación local.

Las aplicaciones que cubren son:

- Enlaces ordenador-impresora (tipo Centronics).
- El bus IEEE-488 o bus GPIB, que es un enlace paralelo destinado a comunicar aparatos de medida, (instrumentación electrónica) con un ordenador [6].

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 tardara 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.

En la siguiente figura se esquematizan este tipo de transmisión. Para enviar, por ejemplo, el carácter ASCII "S", la señal en binario es:

0101 0011 = 83 = ASCII "S"

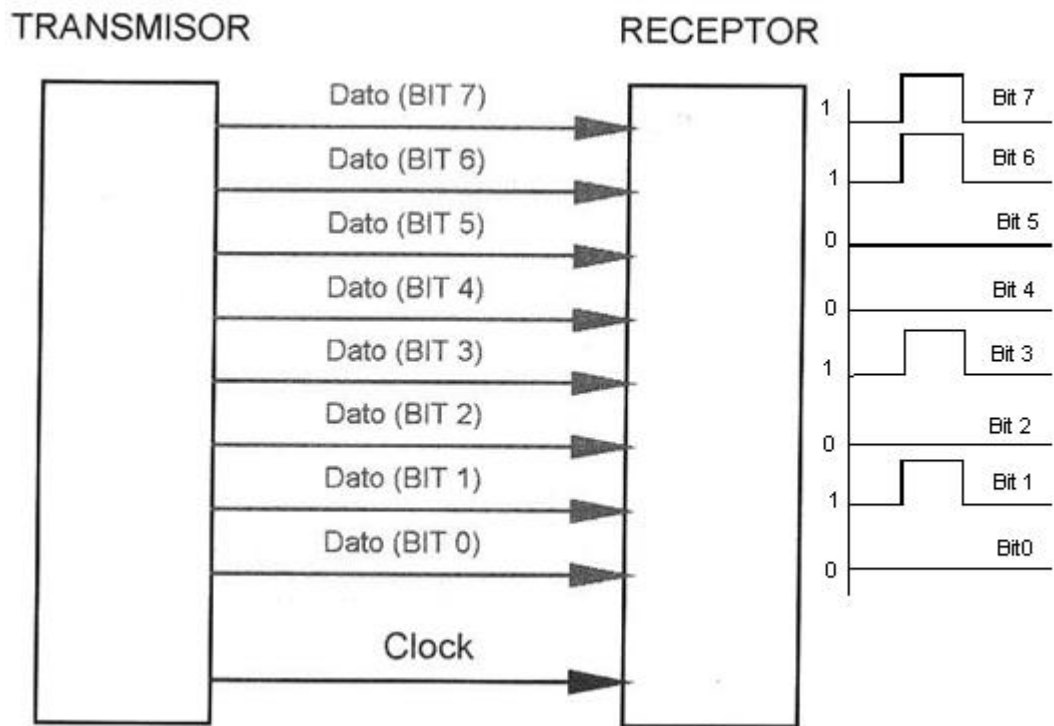


Figura 2.3 Esquema transmisión-recepción paralelo de un dato izquierda, y Señal bit a bit del carácter ASCII "S", derecha.

El código ASCII es el utilizado actualmente en las comunicaciones. Ver Glosario.

2.2 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 [4].

2.2.1 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 vincule 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, enviara 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 parámetros de los datos 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 bits por segundo, bps o en alguno de sus múltiplos, como kbps, 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 cantidad 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
 - Paridad IMPAR
 - Sin paridad

El control que hace el bit de paridad consiste en observar cuantos bits se encuentran a nivel alto, dentro de los bits de datos y asignar luego un determinado valor (cero o uno) al bit de paridad, para realizar este simple control de errores luego en el receptor. Si no hay coincidencia, el receptor considera los datos corruptos, los desecha y pide retransmisión. Ejemplos:

NÚMERO de "1" en los bits de datos	Paridad elegida	Estado del bit de paridad
3 (número impar)	PAR	1
3 (número impar)	IMPAR	0
2 (número par)	PAR	0
2 (número par)	IMPAR	1

Tabla 2.1

En el ejemplo que se representa en la figura siguiente 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.

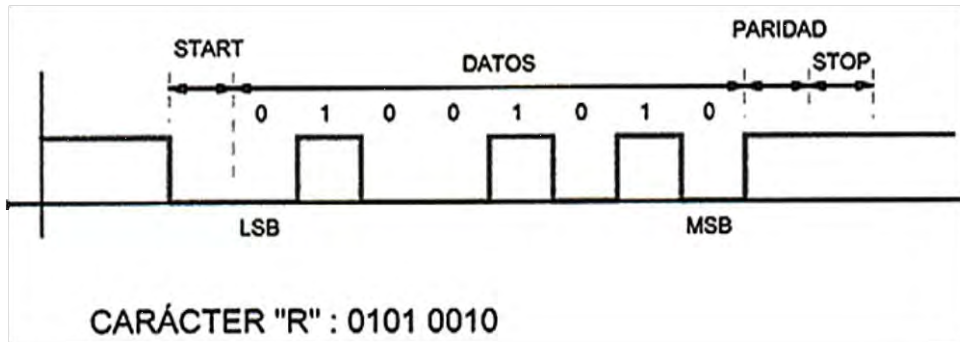


Figura 2.4 Bit de paridad en una transmisión correcta

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 considerará errónea la información.

En la siguiente figura queda reflejado esto, el equipo receptor recibe esa información, al contabilizar los bits "1" recibidos comprobará que son 4; por tanto, como la configuración dada es par, le correspondería un "0" al bit de paridad, así al realizar la comparación observa que en la información recibida aparece un "1", y por lo tanto, información se considera errónea.



Figura 2.5 Bit de paridad en una transmisión incorrecta, con ruido.

• **Bits de stop o parada:** Es el bit que se envía al final de la información y del bit de paridad, (si existe) 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 abarcar 1, 1,5 o 2 bits. En las dos anteriores figuras, se observa cómo el bit de STOP se encuentra a "1".

2.2.2 Tipos 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.

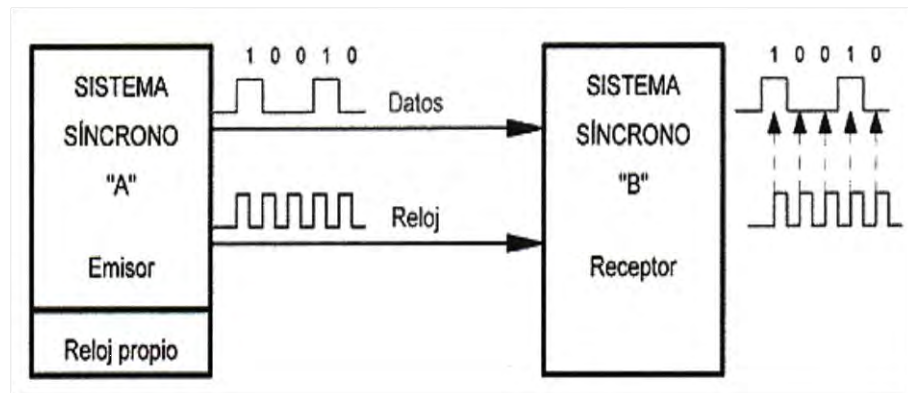


Figura 2.6 Sistema de transmisión síncrona con señal de reloj por separado.

- **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.

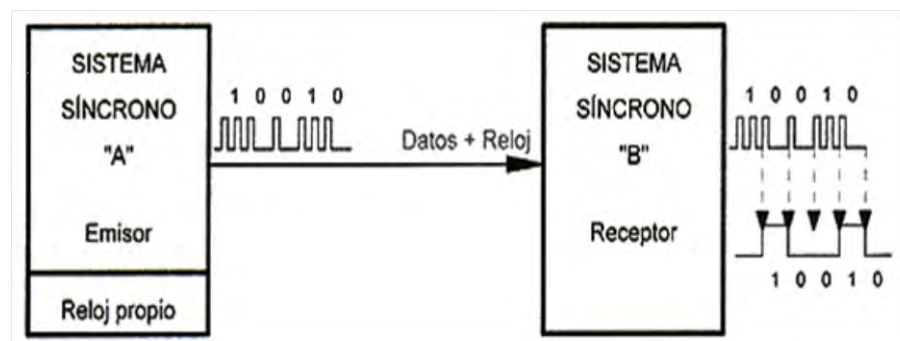


Figura 2.7 Sistema de transmisión síncrona con señal de reloj incorporada a la señal.

Para poder incorporar el reloj dentro de la información enviada, el equipo emisor enviara una serie de caracteres al inicio de la transmisión, llamados caracteres de sincronismo (ASCII 22), con los que los equipos receptores detectaran la velocidad, de esta manera 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 cuando debe iniciar y cuando finalizar la recepción de los datos.

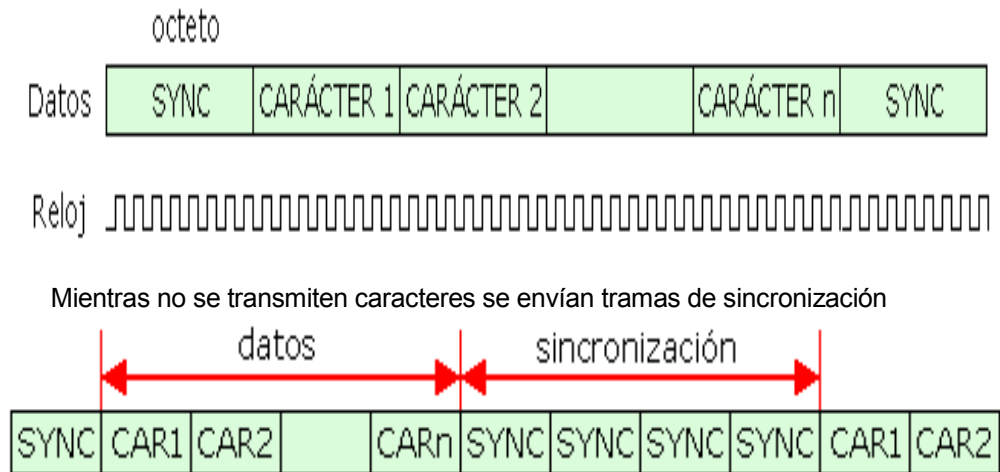


Figura.2.8 Transmisión síncrona con gran volumen de datos.

2.3 Normas físicas

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

- RS-232. (EIA 232)
- RS-422. (EIA 422)
- RS-485. (EIA 485)

2.3.1 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) [7].

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 son:

- reguladores,
- autómatas programables,
- lectores de códigos de barras,
- variadores de frecuencia, etc.

Con la revisión que se realizó en 1987 a la norma RS-232C, esta fue designada como RS-232D, donde se introdujeron nuevas señales destinadas a la especificación en 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.
- Subconjunto de señales para aplicaciones específicas.

2.3.1.1 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.
- La longitud máxima recomendada del cable, 15 metros.
- La máxima capacidad del cable (2500 pF).
- Que parte del equipo contiene el conector hembra, que será el DCE u ordenador, y por lo tanto, el conector macho será para el DTE o módem.

2.3.1.2 Paso de señales eléctricas por la interface

El estándar RS-232 fue creado para realizar comunicaciones serie punto a punto a velocidades menores o iguales a los 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 [1].

2.3.1.3 Señales de la interface

La recomendación RS-232 establece que la señal de cualquier contacto puede estar comprendido dentro de los límites que se pueden ver en la siguiente tabla:

	Negativo	Positivo
Tensión RS232C	-3 a -15	+3 a +15
Tensión RS232D	-3 a -25	+3 a +25
Tensión de transición	-3 a +3	+3 a -3
Estado binario	1	0

Tabla 2.2 Señales de la interface RS-232

El estándar RS-232C utiliza tensiones de -15 y +15 voltios para definir los distintos estados de la señal tanto 1 como 0 respectivamente.

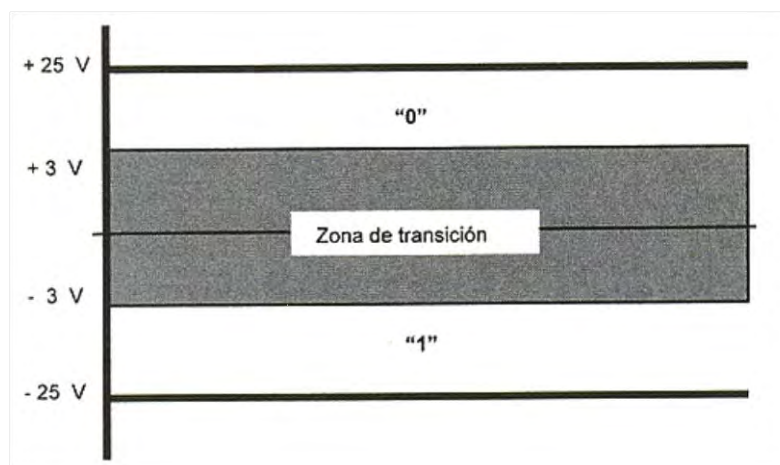


Figura 2.9 Señales en la interfaz RS-232D.

Solo 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. Se tiene que:

$$\text{Longitud máxima} = \text{Capacidad máxima} / \text{Capacidad del conductor por metro} = 2.500 \text{ pF} / 170 \text{ pF/m} = 14,7 \text{ metros.}$$

Veamos un ejemplo de que 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.

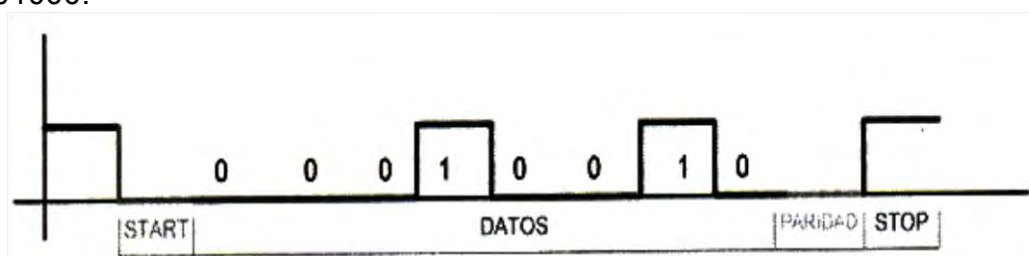


Figura 2.10 Señal digital del ASCII "H" en representación teórica.

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 - 15 voltios; y si por el contrario es un bit de nivel bajo ("0" lógico), la tensión deberá ser de + 15 voltios.

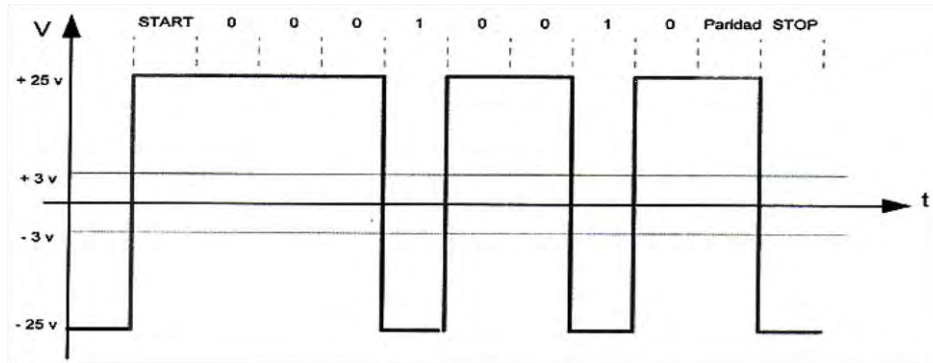


Figura 2.11 Señal eléctrica ideal del ASCII "H" codificada en la interface RS-232.

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

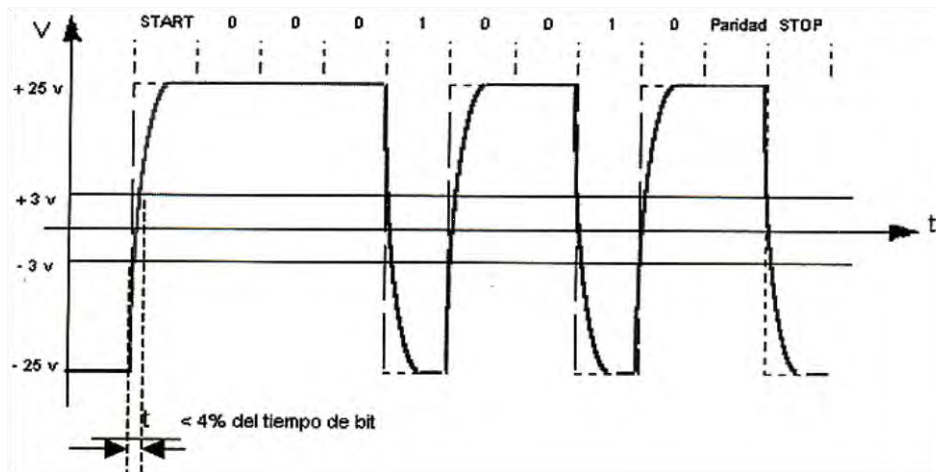


Figura 2.12 Señal eléctrica real del ASCII "H" codificada en la interface RS-232.

Y por último, representamos la señal real que llegara al equipo receptor, que si además de lo anterior, queda modificada por los ruidos acoplados al canal de comunicación. Puede llegar al receptor algo como lo que se muestra en la siguiente figura.

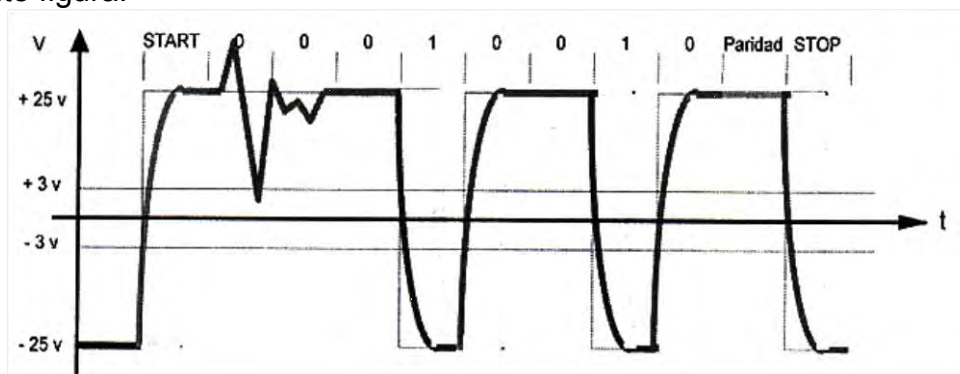


Figura 2.13 Señal eléctrica real con interferencias del ASCII "H" codificada en la interface RS-232.

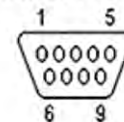
2.3.1.4 Función de cada señal para ciertas aplicaciones

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.

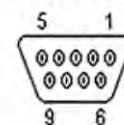
Pat.	Nombre	RS232	V.24	Dir	Descripción
1	CD	CF	109	←	Carrier Detect, detección de portadora
2	RXD	BB	104	←	Receive Data, recepción de datos
3	TXD	BA	103	→	Transmit Data, transmisión de datos
4	DTR	CD	108.2	→	Data Terminal Ready, terminal de datos preparado
5	GND	AB	102	—	System Ground ó Signal Ground, tierra de señal
6	DSR	CC	107	←	Data Set Ready, dispositivo preparado
7	RTS	CA	105	→	Request to Send, petición de envío
8	CTS	CB	106	←	Clear to Send, preparado para transmitir
9	RI	CE	125	←	Ring Indicator, indicador de llamada entrante

Pat.	Nombre	Dir	Descripción
1	FG (GND)	-	Shield Ground, tierra de protección
2	TXD	→	Transmit Data, transmisión de datos
3	RXD	←	Receive Data, recepción de datos
4	RTS	→	Request to Send, petición de envío
5	CTS	←	Clear to Send, preparado para transmitir
6	DSR	←	Data Set Ready, dispositivo preparado
7	GND	-	System Ground ó Signal Ground, tierra de señal
8	CD	←	Carrier Detect, detección de portadora
9 al 19	n/c	-	
20	DTR	→	Data Terminal Ready, terminal de datos preparado
21	n/c	-	
22	RI	←	Ring Indicator, indicador de llamada entrante
23 al 25	n/c	-	

Conector DB9 macho
Conector del PC



Conector DB9 hembra



Visto del lado PC
(DB25 Macho)

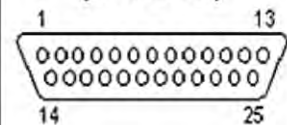


Tabla 2.3

Las especificaciones a nivel de contactos son originales de la norma RS-232 de 25 contactos (DB-25). Sin embargo, se suele encontrar con bastante frecuencia ésta norma pero reducida a 9 contactos (DB-9). Así se tiene que las equivalencias de conectores DB-9 y DB-25 son:

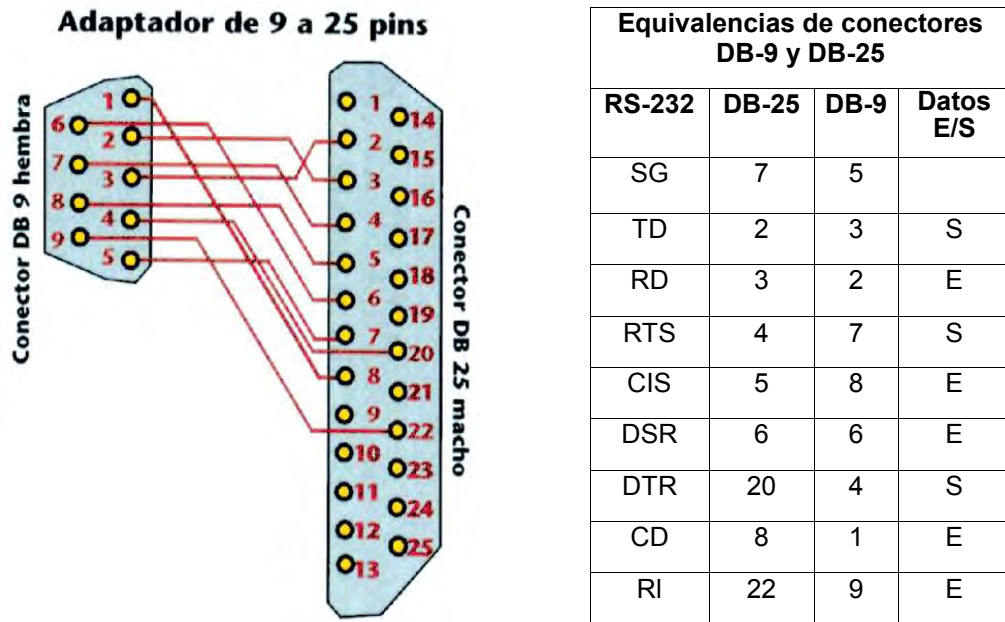


Figura 2.14 Equivalencias del adaptador de DB9 a DB25 bajo norma RS-232 y Tabla 2.4

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

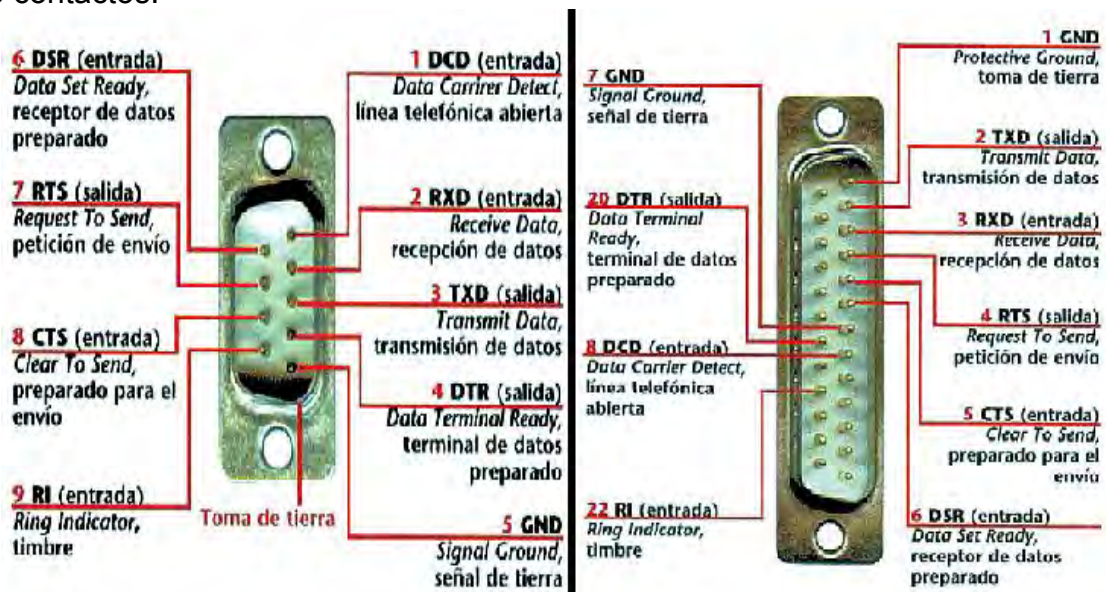


Figura 2.15 Conectores para comunicación bajo norma RS-232, DB9 y DB25.

2.3.1.5 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 (serial RTS del emisor (DTE) al CTS del DCE).
- El emisor (DTE) espera que el receptor (DCE) le responda, activando este 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, (ver siguiente figura 2.16).

Tanto si se utiliza el conector DB9 como el DB25, nos podemos encontrar con cables de comunicaciones en los que las conexiones pueden ser diferentes, dependiendo de los equipos a comunicar.

2.3.1.6 Tipo de transmisión

En la norma RS-232 se utiliza el tipo de transmisión simple, que se caracteriza por:

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

A continuación se muestra cómo afectaría el posible ruido, que se pueda incorporar al canal de comunicación, a los equipos que utilizan esta norma, con transmisión simple.

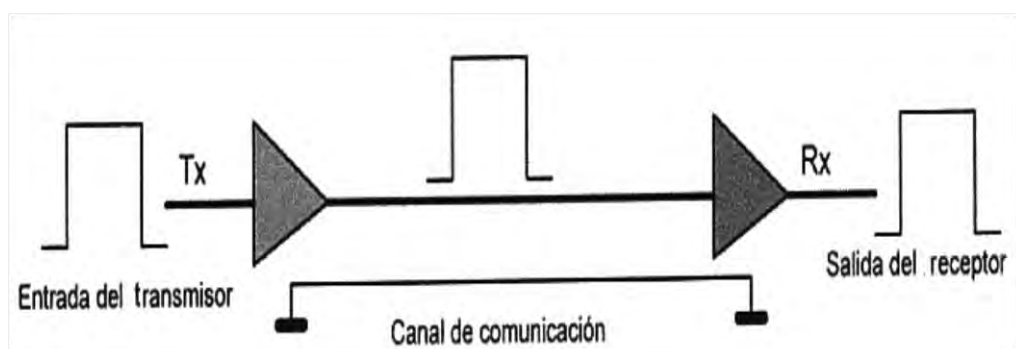


Figura 2.16 Transmisión RS-232 sin interferencias en el canal de comunicación.

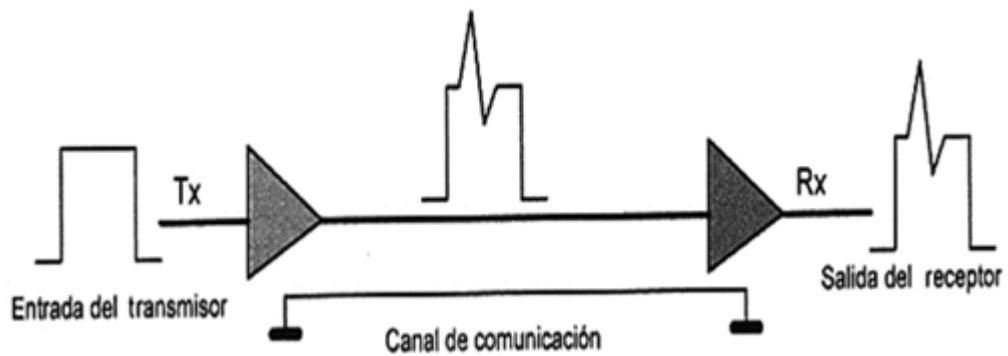


Figura 2.17 Transmisión RS-232 con interferencias en el canal de comunicación.

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

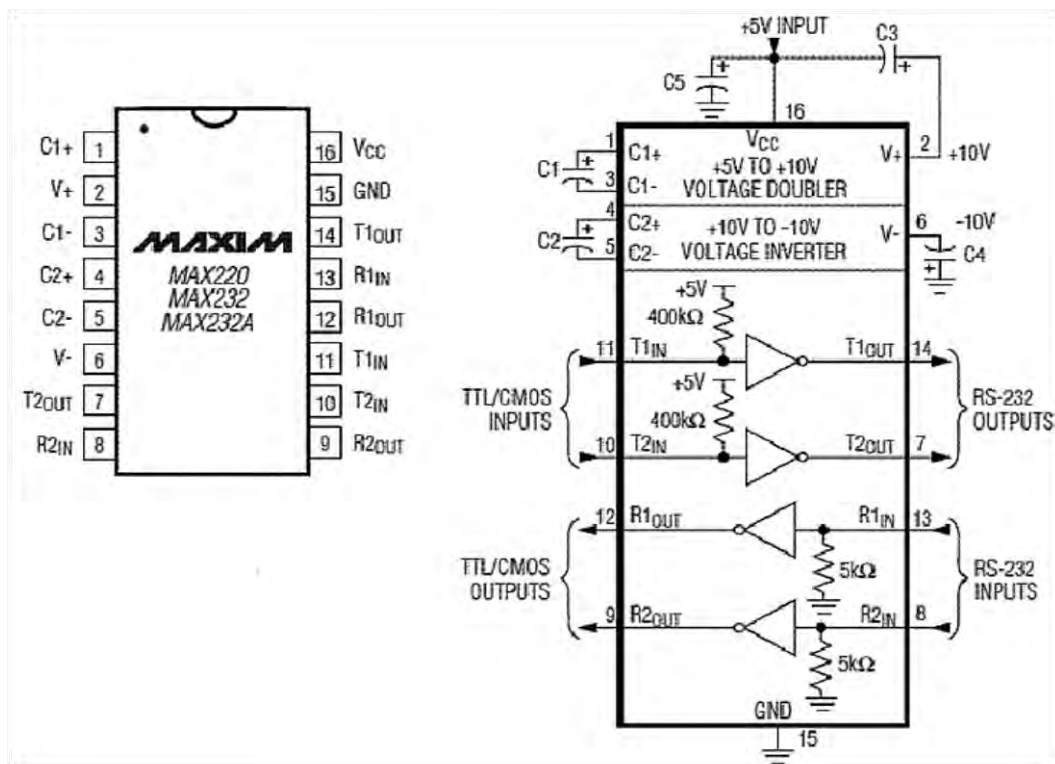


Figura 2.18 Ejemplo de Circuito comercial que integra la norma RS-232.

2.4 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 plantea ante las nuevas exigencias de la industria fue la de utilizar una línea para la comunicación del tipo diferencial que ofrece las siguientes características:

- Utiliza dos hilos para la transmisión de la señal.
- El dato recibido se obtiene de la diferencia de tensiones entre estos dos hilos.
- Permite mayores distancias de transmisión que la transmisión simple.
- Es más inmune al ruido eléctrico que puede llegar a acoplarse.

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). Puede transmitir datos a mayor velocidad por un mismo cable, y otra ventaja radica en el hecho de poder interconectar equipos transmisores y receptores que utilicen la alimentación de 5 voltios, sin ser necesaria una alimentación auxiliar.

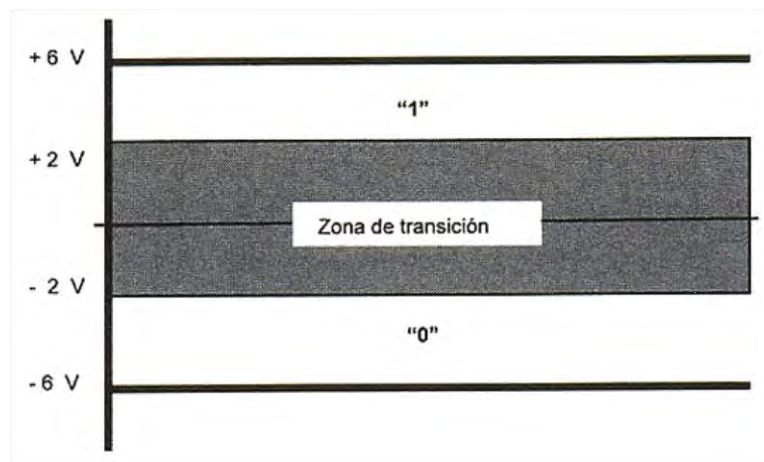


Figura 2.19 Niveles de señal en la norma RS422

Las señales que utiliza esta norma son las siguientes:

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

Tabla 2.5

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

- Utilizar dos cables, para la transmisión de la señal.
- El dato se obtiene de la diferencia de la señal eléctrica entre los dos cables que componen el canal de comunicación.

- Al ser este tipo de transmisión Full-Duplex, cada equipo puede enviar y recibir de forma simultánea ya que se utilizan 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.

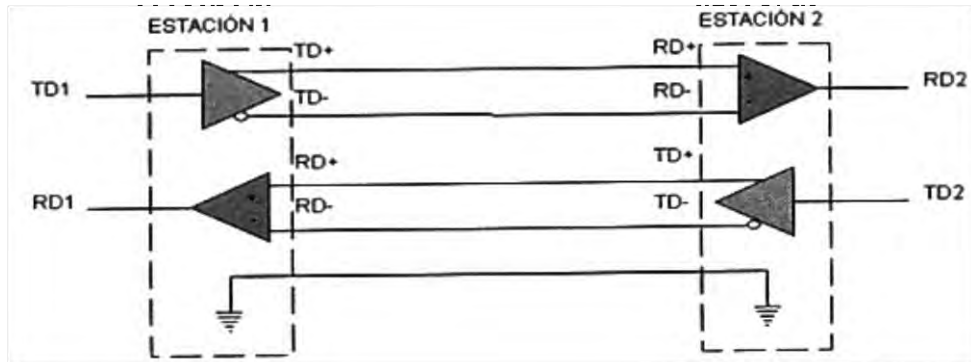


Figura 2.20 Transmisión diferencial de acuerdo con la norma RS-422.

A continuación se muestra como se elimina el efecto del posible ruido que podría afectar 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 instante de tiempo. Por tanto $RD = [+TD] - [-TD]$. En la siguiente figura se observa cómo se realiza el sistema para la obtención de la señal que se leerá en el receptor.

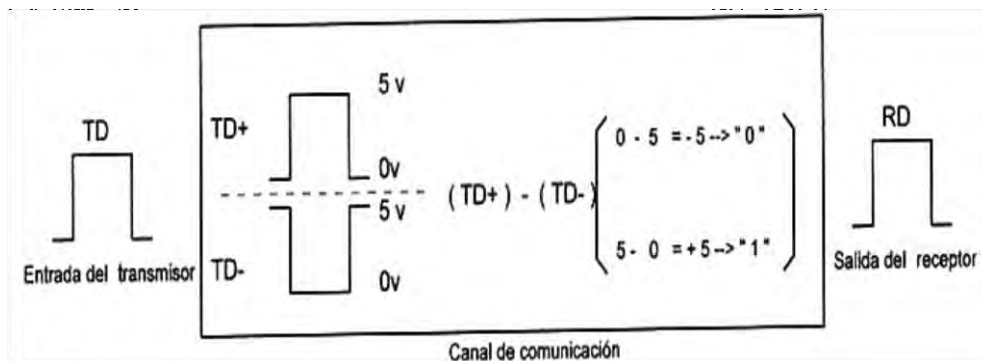


Figura 2.21 Transmisión sin interferencias en un sistema diferencial.

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

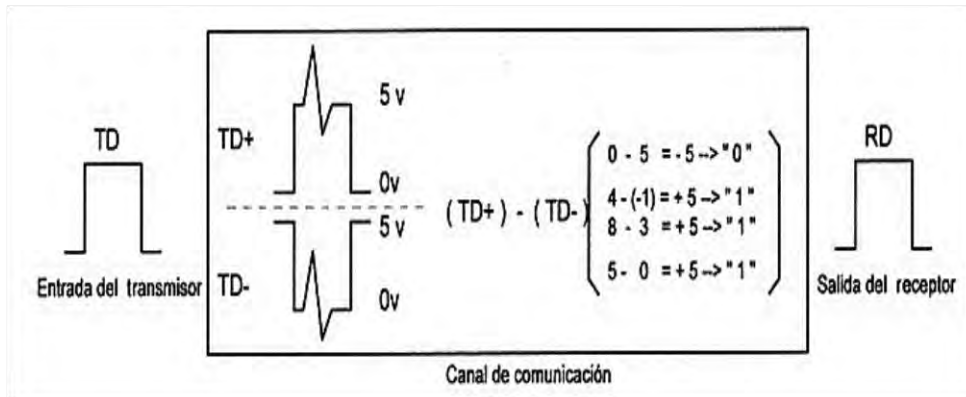


Figura 2.22 Transmisión con interferencias en un sistema diferencial.

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 hasta 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 uniforme la impedancia en la línea.

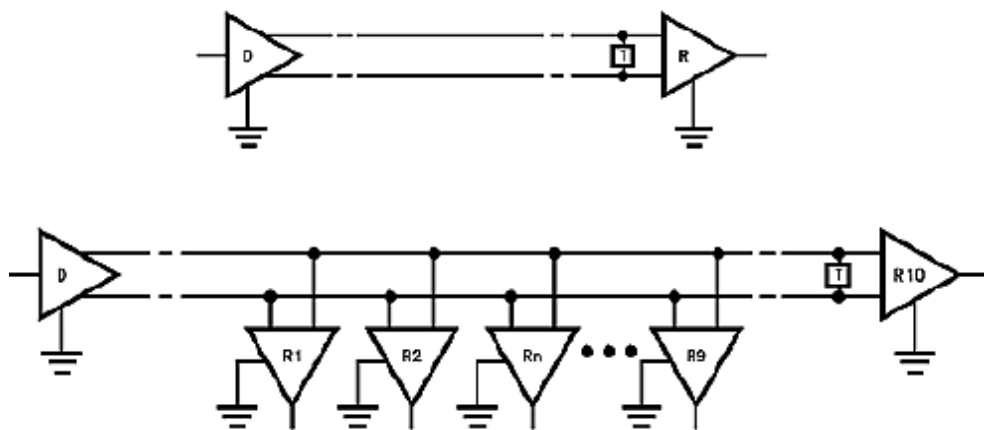


Figura 2.23 Configuración esquemática de una red bajo la norma RS-422 Punto a punto arriba, y multipunto abajo (hasta 32 estaciones).

Las posibilidades de comunicación son las siguientes:

- La estación primaria puede comunicarse directamente con el resto de las 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.

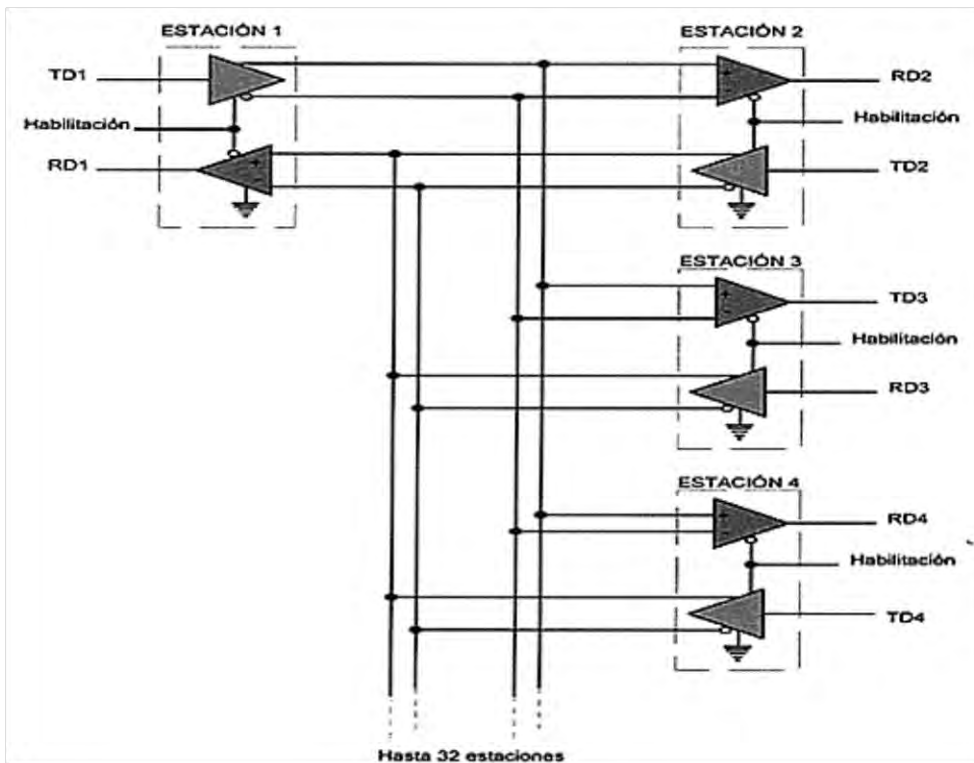


Figura 2.24 Configuración multifilar de una red bajo la norma RS-422.

Existen en el mercado diferentes circuitos electrónicos que integran la norma RS-422 y facilitan la construcción de diferentes equipos. Un ejemplo de los citados circuitos electrónicos se muestra en la siguiente figura.

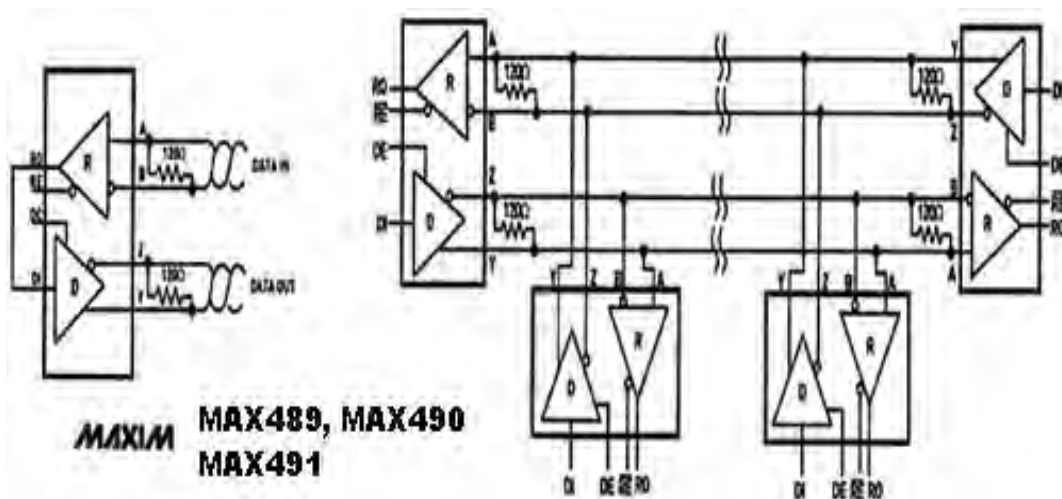


Figura 2.25 Circuitos comerciales que integran la norma RS-422

2.5 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 de transmisión diferencial que permite eliminar los posibles ruidos que se puedan incorporar en el canal de comunicación como se mostro anteriormente [7]. Desde el punto de vista eléctrico, es compatible totalmente con la norma RS-422. Los niveles lógicos referidos a los eléctricos son los que se muestran en la siguiente figura:

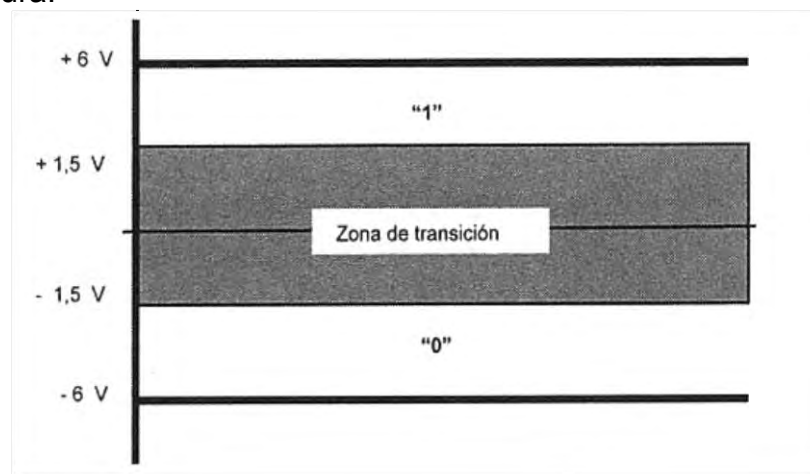


Figura 2.26 Señales eléctricas por la interface RS-485.

Las señales que utiliza esta norma son las siguientes

Señal	Definición
D+	Señal de emisión/recepción no invertida transmitida al canal de comunicación
D-	Señal de emisión/recepción invertida transmitida al canal de comunicación
SG	Masa de protección

Tabla 2.6

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

- Utilizar dos cables, para la transmisión de la señal.
- El dato se obtiene de la diferencia de la señal eléctrica entre los dos cables que componen el canal de comunicación.
- Al ser este tipo de transmisión 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 hasta 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 [1].

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

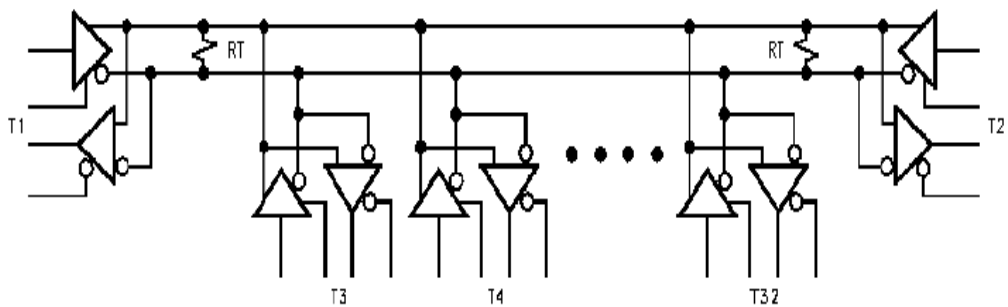


Figura 2.27 Transmisión diferencial aplicada a la norma RS-485.

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

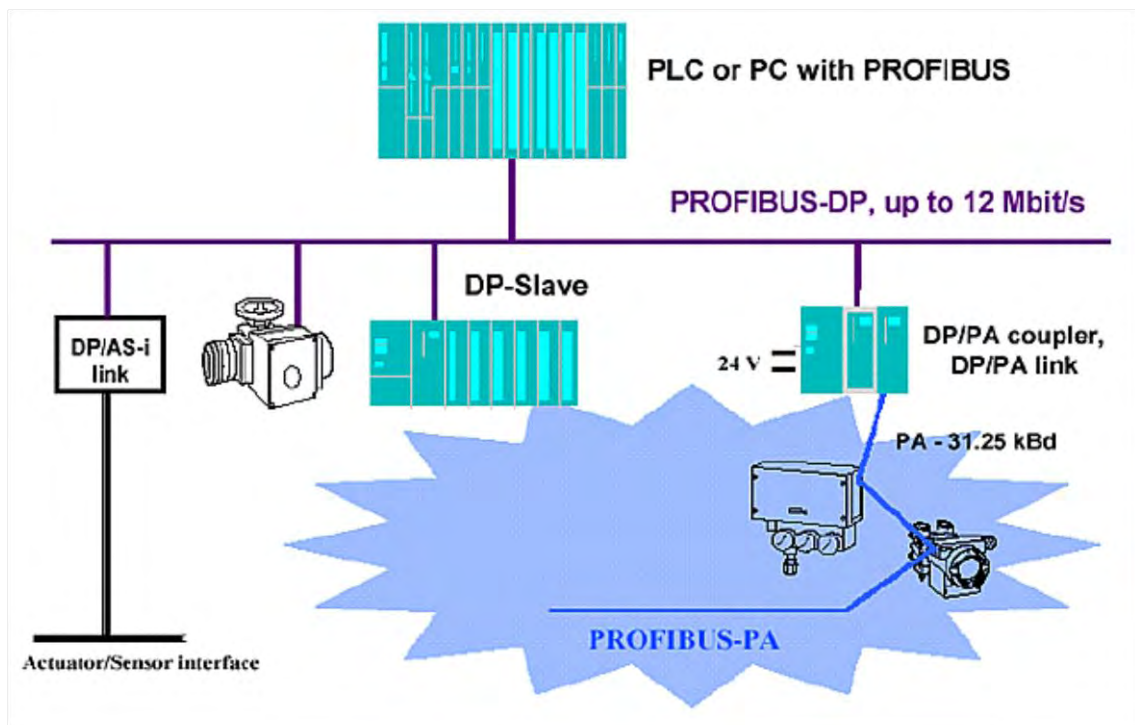


Figura 2.28 Ejemplo de una red Profibus con diferentes componentes.

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 2.29 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 ésta entrada tiene un "0", el equipo se encuentra en modo recepción y puede escuchar el tráfico en la red.
- Cuando ésta entrada de control se pone a "1", el equipo se pondrá en modo transmisión y es cuando este 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.

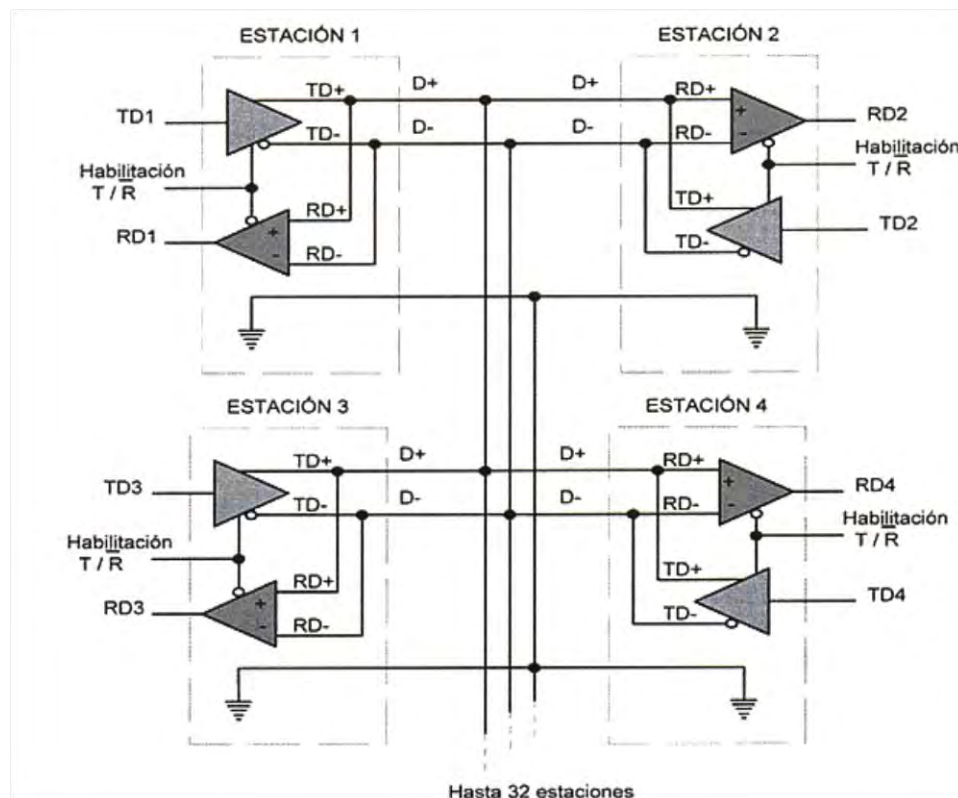


Figura 2.29 Configuración multifilar de una red en la norma RS-485.

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 uniforme la impedancia en la línea y que esté en el orden de los 120 ohmios.

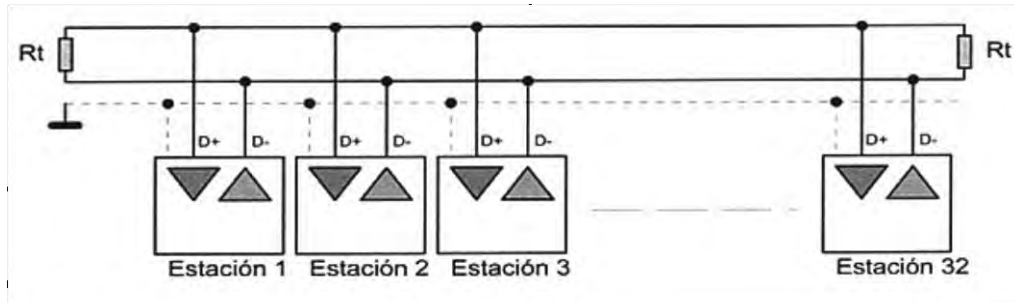


Figura 2.30 Configuración esquemática de una red bajo la norma RS-485.

Existen en el mercado diferentes circuitos electrónicos que integran la norma RS-422 y facilitan la construcción de diferentes equipos, un ejemplo de los citados circuitos electrónicos se muestra en la siguiente figura.

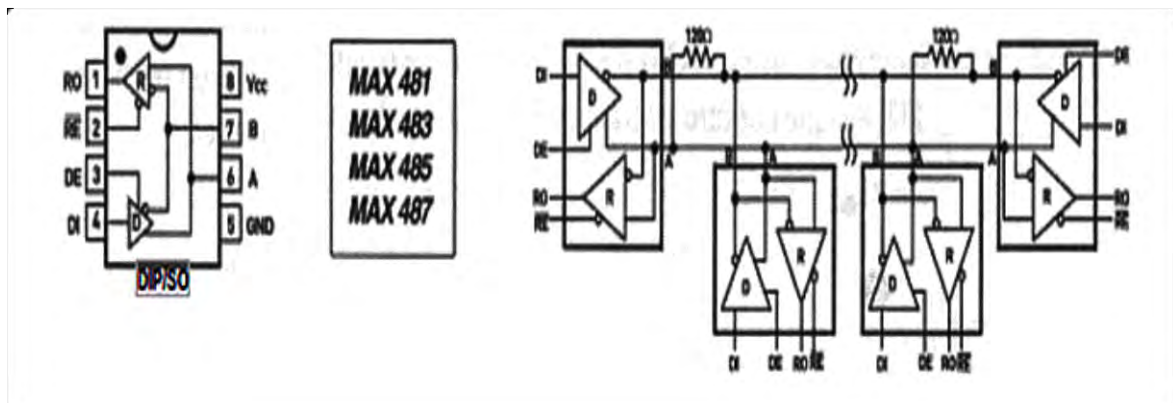


Figura 2.31 Circuitos comerciales que integran la norma RS-485.

A continuación se presenta una tabla, a modo de resumen, de las diferentes normas físicas desarrolladas hasta aquí.

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 (tantos cables 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 cargado	+/-5V +/- 15 V	+/-2 V +/-6V	+/- 1,5 V +/-6V

Tabla 2.7

2.6 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 con que 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 [4]. Para solucionar de forma más eficaz este problema existen dos mecanismos, que son:

- Control de flujo por hardware.
- Control de flujo por software.

2.6.1 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), ésta 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 2.32 Conexiones entre emisor y receptor para el control de flujo por hardware.

2.6.2 Control de flujo por software

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+QDC1 o Device Control 1
- XON: ASCII 17 CTRL +SDC3 o Device Control 3

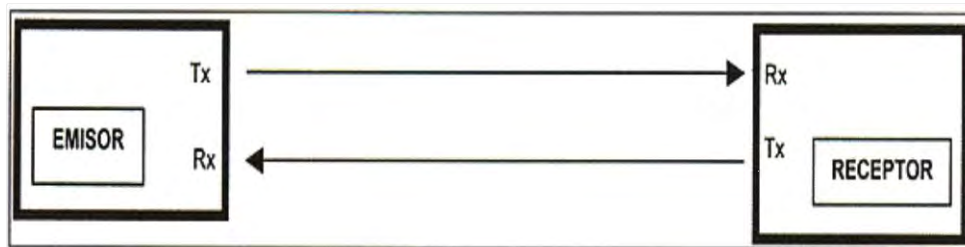


Figura 2.33 Conexiones entre emisor y receptor para el control de flujo por software.

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 lo 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.

2.7 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 a un mensaje en corrupto o equivoco, 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 en el terminal receptor [4]. En tal sentido existen dos problemas para resolver, a través de:

- 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 solo 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.

2.7.1 Métodos de detección de errores

Según lo enunciado precedentemente tenemos los siguientes casos más habituales.

DetECCIÓN DE ERRORES POR 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 de 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 continua con la transmisión; de lo contrario, se le indica al terminal emisor que vuelva a retransmitir la trama errónea.

Detección de errores por suma de comprobación:

El método anterior tan solo 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 detectara. 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.

Ecoplexión:

Si bien éste no es un método de control de paridad es para tener en cuenta. 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 receptor. De cualquier forma, el emisor sabe que hay anomalías en el sistema. No es un método muy utilizado [1].

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 solo deberá recalcular el valor y compararlo con el recibido. Si el valor comparado resulta diferente, el receptor notificara al emisor que le vuelva a transmitir la trama [4].

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 $G(x)$. El cociente de esta división se desecha y el resto de esta se añade a la trama, transmitiéndose toda a continuación.

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)	$X^{16} + X^{12} + X^5 + 1$

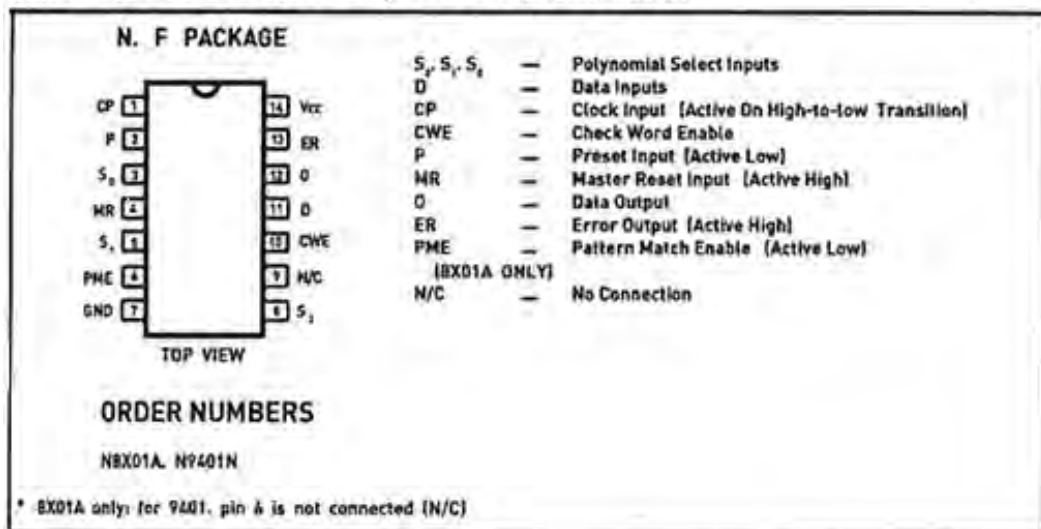
Tabla 2.8

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 fácil de implementar 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.

8X01A & 9401 PACKAGE/PIN DESIGNATOR



Figuras 2.34 Circuito integrado que incorpora el cálculo del CRC.

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	$X^{16} + X^{15} + X^{13} + X^7 + X^4 + X^2 + X + 1$	
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

Tabla 2.9 Cálculo del CRC que incorpora el anterior circuito integrado.

2.7.2 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 de reconstrucción del 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.

No se utilizan comúnmente en la industria.

- 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. Este es el sistema utilizado en las comunicaciones industriales por ser un volumen de datos relativamente pequeño.

2.8 Topologías básicas de redes industriales

La topología de las redes es el aspecto físico que forman los equipos y el cableado de los mismos [8]. Se pueden encontrar sistemas industriales con las siguientes topologías:

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

2.8.1 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:

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

Aplicaciones:

- Pocas estaciones y distancias cortas.

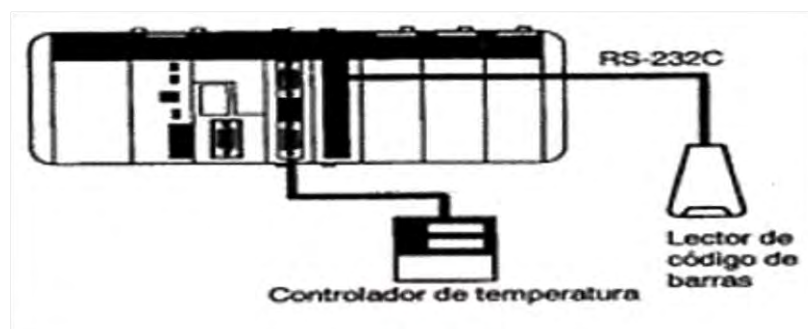


Figura 2.35 Estructura de red en forma de punto a punto.

2.8.2 Bus

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

Al ser un bus compartido, antes de enviar un mensaje cada nodo tiene que verificar si el bus esta libre. Tan solo 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 si 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.

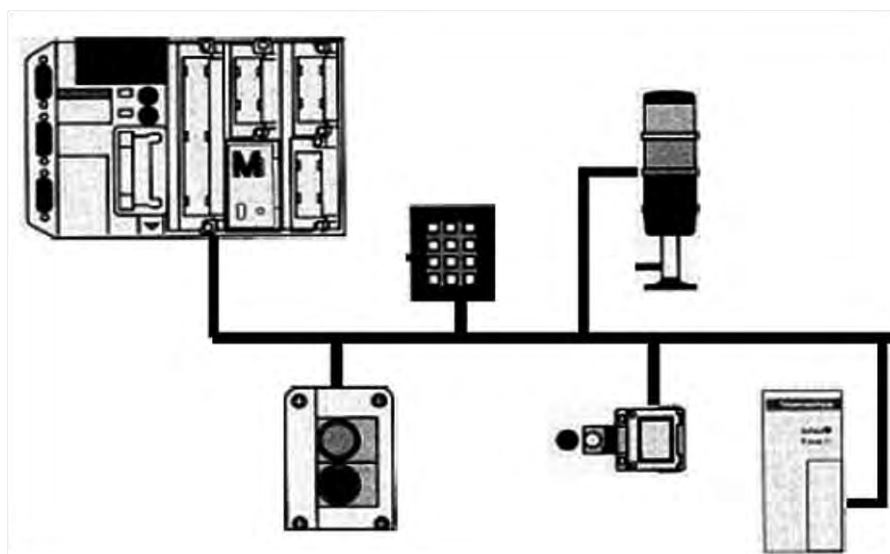


Figura 2.36 Estructura de red en forma de bus.

2.8.3 Árbol

Está formada por un grupo de buses conectados entre si, 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 áreas o zonas independientes dentro de una empresa.

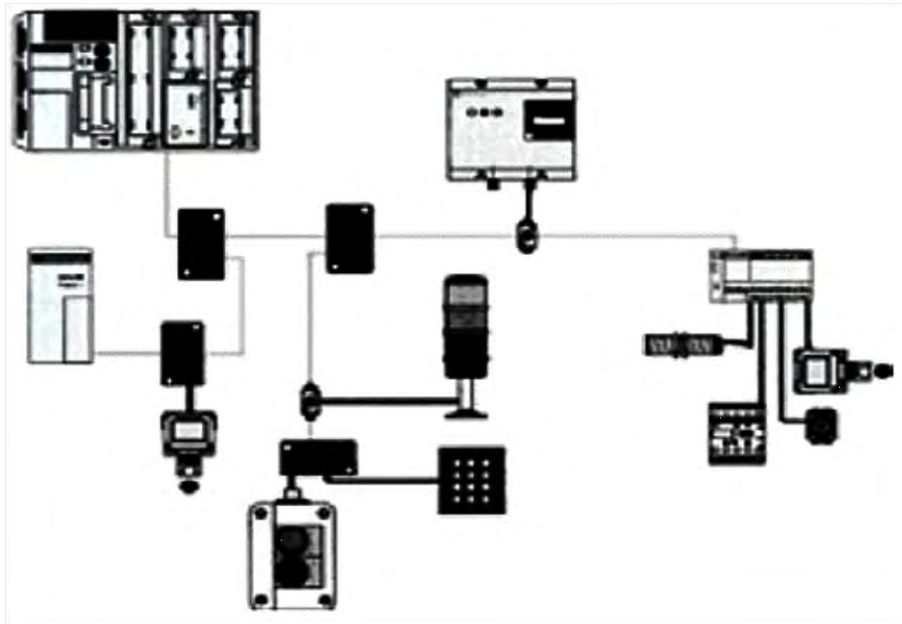


Figura 2.37 Estructura de red en forma de árbol.

2.8.4 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 inyectar el mensaje y que este circule por el anillo hasta llegar al receptor.
- La inserción de un nuevo equipo al anillo es fácil, tan solo 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.

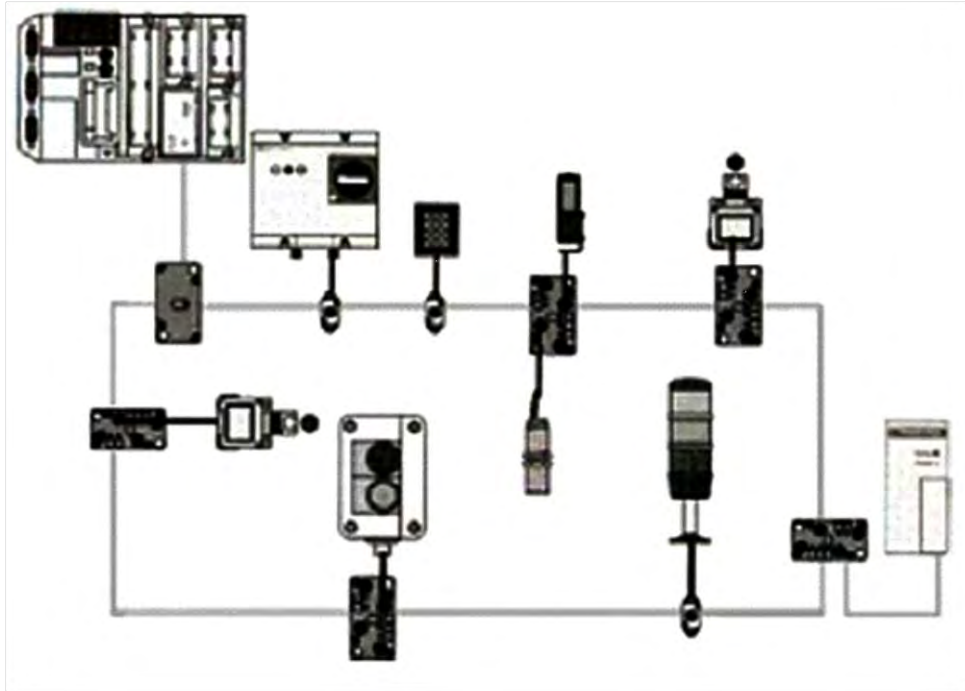


Figura 2.38 Estructura de red en forma de anillo.

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, este se cortocircuite provocando que la red siga funcionando.
- Es válido para distancias cortas.

2.8.5 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 conexión y mantenimiento.
- Admite diferentes velocidades.

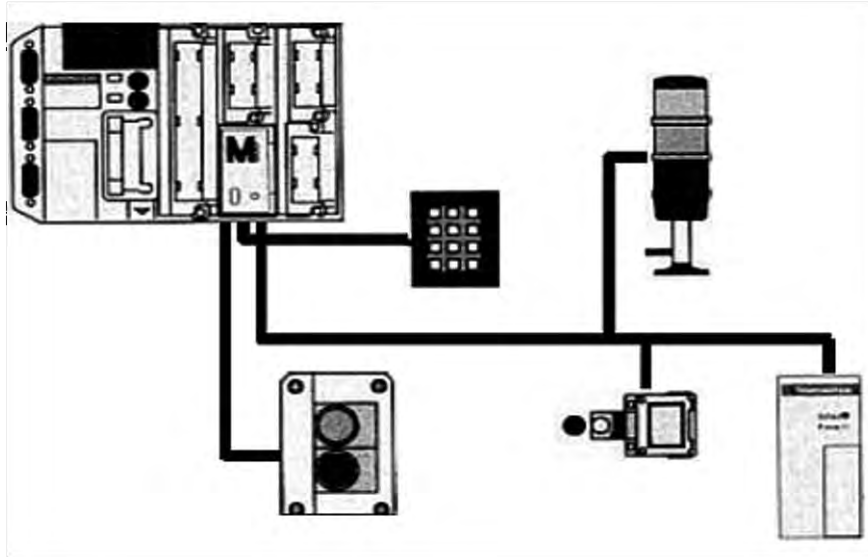


Figura 2.39 Estructura de red en forma de estrella.

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 dando un efecto "cuello de botella".

Aplicaciones:

- Redes LAN, Ethernet y Fast Ethernet

2.9 Métodos de acceso al medio

Si puede darse el caso de que varias estaciones puedan transmitir de forma simultánea a través del mismo canal de comunicaciones, esto provoca colisiones que pueden dar tanto:

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

Para evitarlo, se han desarrollado diferentes técnicas conocidas como métodos de acceso al medio [4]. Estos métodos están basados en dos sistemas:

- Métodos con control de acceso a la red, de llamadas centralizadas.
- Métodos de acceso a la red aleatorio, o de contienda.

2.9.1 Métodos con control de acceso al medio, de llamadas centralizada

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.

2.9.1.1 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 esta lista, le envía el mensaje.

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.

2.9.1.2 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 TokenRing o TokenBus. Dependiendo de la topología de la red se pueden encontrar dos tipos que aplican este mismo método, las cuales son:

- Paso de testigo en bus o TokenBus (IEEE 802.4).
- Paso de testigo en anillo o TokenRing (IEEE 802.5).

2.9.1.2.1 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 esta ira 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 actuara como de "trama testigo" o "trama de datos". La trama de información se compone de los siguientes campos:

- 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.



Figura 2.40 Campos de la trama de paso de testigo.

Una estación lanza la "trama testigo" al bus, en ese momento se pueden dar las siguientes situaciones en cada estación:

- Si la trama no va destinada a ella misma, se retransmite a la siguiente estación.
- Si la trama llega como testigo (sin datos), 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 "comprendido" (ACK) en los datos, quiere decir que la información ha sido recibida correctamente por la estación destino. A continuación se libera el testigo que 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.

2.9.1.2.2 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 de datos.

La trama testigo tiene la siguiente estructura:

- Inicio de Trama
- Control de Trama
- Final de Trama



Figura 2.41 Campos de la trama testigo.

La trama de datos se compone de la siguiente forma:

- 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).

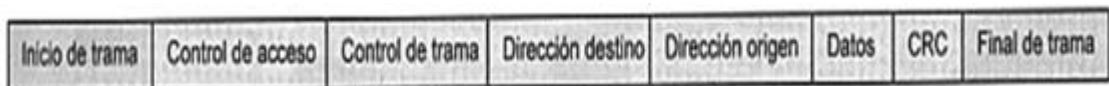


Figura 2.42 Campos de la trama de datos.

- 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 la 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 en los siguientes casos:

- A=0 y C=0: El destinatario no ha sido encontrado, por ejemplo porque este apagado o ausente de la red.
- A=1 y C=0: El destinatario está presente pero no ha aceptado la trama, 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 llegara a su destinatario y completara 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.

2.9.2 Métodos de acceso a la red aleatorios, o 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. Se destaca en tal sentido, la técnica que se conoce por el nombre de método de contienda, según la norma IEEE 802.3 o más exactamente: CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection).

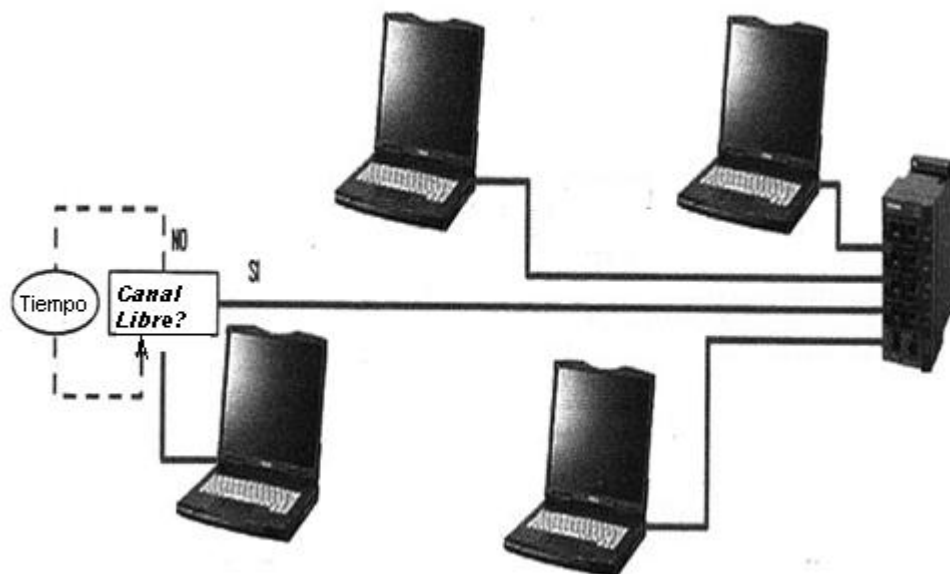


Figura 2.43 Método de acceso a la red CSMA/CD.

Este sistema sigue los siguientes pasos:

- Escucha el estado del canal de comunicaciones, comprobando los niveles de la señal.
- Si no detecta señal, 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, ya que si fuese el mismo en todas las estaciones se producirían colisiones sucesivas.
- Si aun y así se continúan detectando colisiones, se abortara el proceso de comunicación después de varios intentos, para iniciar luego un nuevo ciclo.

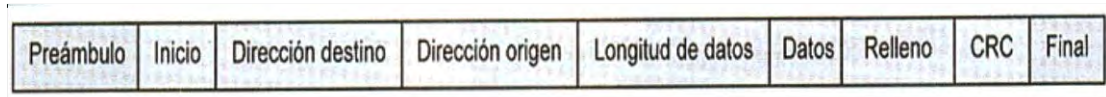


Figura 2.44 Campos de la trama del método CSMA/CD.

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 10101010 (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:

- II. Un único destinatario: bit 47 a "0".
- III. Varios destinatarios: bit 47 a "1" caso de Multicast.
- IV. Todos los destinatarios: Si se ponen todos en "1" caso de Broadcast.

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

Longitud 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).

Relleno: 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 rellenar 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.

2.10 Sistema determinista y probabilístico para transmitir

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 siempre fijo 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 todas, 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 el botón de emergencia, y esa información debe llegar al controlador en un tiempo conocido. Lo mismo sucede con la comunicación desde y hacia sensores o actuadores, en por ejemplo, una línea de producción continua [1].

2.11 Interconexión de redes

Cuando se diseña una red, en ésta se incorporan todos los dispositivos necesarios para un correcto funcionamiento, pero es posible que con el tiempo la red deba ser ampliada, y también 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 [9]. Los más importantes de estos elementos son entre otros:

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

Seguidamente analizamos de los aspectos más destacados de cada uno.

2.11.1 Repetidor, Hub

Las señales eléctricas se degradan por diversos efectos al transmitirse a través de conductores eléctricos, es decir, que se atenúa, (y también se distorsionan) además 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, con un nivel de calidad adecuado. Operan en el Nivel 1, físico del modelo OSI, dado que tan solo vuelven a acondicionar los valores de las señales eléctricas y no intervienen ni en el control de acceso ni en la topología. Con esto parecería estar 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 como 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 o enlace, (Coaxial, Par trenzado UTP o FTP, FO, etc.) en otra adecuada a los equipos a interconectar.

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 distintos tipos de señales.
- Hubs o Concentradores: Son repetidores que se utilizan para una red en estrella.
- Repetidor apilable: Una serie de hubs que se pueden conectar entre si 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, el transmite esa información errónea al resto de las estaciones.

2.11.2 Puente o bridge

Es un equipo 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 función es la de unir dos redes del mismo tipo, estructura y protocolo.

Los puentes o bridge operan en el Nivel 2, capa de enlace (OSI), 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.

2.11.3 Encaminador o router

Son dispositivos software o hardware que se pueden configurar para encaminar o convertir paquetes entre o hacia sus distintas salidas utilizando la dirección lógica correspondiente (por ejemplo, 255.255.0.9).

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

2.11.4 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, 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 a la red destino.
- Envío del mensaje a la red y estación destino.
- Conexión física con cada una de los diferentes tipos de redes conectadas.

Podemos encontrar componentes específicos con la única función de trabajar a modo de pasarela o gateway y también controladores tipo PLC, con módulos que cumplen esa función.

Capítulo 3 El universo de las redes de sensores cableadas

En este capítulo se desarrolla el tema principal del trabajo que consiste en una mirada lo más objetiva posible, sobre la actualidad de éste tema en el ámbito industrial. El presente capítulo refleja la visión de importantes estudiosos del tema a nivel internacional vinculados con el ámbito académico, sobre lo que fueron, son, y probablemente serán, las redes de sensores cableadas.

3.1 Origen de las redes de sensores

Los sistemas de comunicaciones a nivel de campo han sido un elemento esencial de la automatización en el último cuarto de siglo. Más que eso, han hecho de la automatización de lo que es hoy.

Desde el principio, estas redes se han convertido en los conocidos, "sistemas de bus de campo", término que originalmente se refería al proceso de campo en, por ejemplo, plantas químicas. Aparte de este detalle etimológico, el término está bastante mal definido.

La "definición" que da la Comisión Electrotécnica Internacional en el estándar de bus de campo (IEC) 61158, es más una declaración programática o un compromiso mínimo común, que una formulación concisa:

"Un bus de campo es un bus de datos, para la comunicación digital, multipunto, para el control industrial e instrumentación de dispositivos, (pero no limitado a ellos) como son transductores, actuadores y controladores locales". En la declaración original del trabajo de la IEC, se dijo que:

"El bus de campo será un estándar de comunicación serie digital, que puede sustituir a la señalización presente, de técnicas como la de 4-20 mA. . . para que se pueda llevar más información en el flujo en ambas direcciones entre los dispositivos de campo inteligentes y los sistemas de control de nivel superior, sobre el medio de comunicación compartido..."

Un empuje fundamental en el inicio del desarrollo de los buses de campo fue la intención de sustituir el punto a punto de las conexiones entre los equipos de control de proceso y los sensores o actuadores (los dispositivos de campo) con un sistema de bus serie único. Sin embargo, el concepto de red incluyó muchos más beneficios, sobre todo, una mayor flexibilidad y modularidad de las instalaciones, o la forma más simple de lograr la configuración del sistema, su puesta en marcha, y el mantenimiento posterior. Un aspecto a futuro fue la perspectiva de la posibilidad de crear verdaderos sistemas distribuidos. Como las condiciones iniciales fueron similares en muchos campos de aplicación, no fue de extrañar que los sistemas de bus de campo se emplearan en diversos ámbitos de automatización que van, desde áreas de proceso en la fábrica, la automatización de edificios y el hogar, la construcción de maquinaria, automoción y las aplicaciones ferroviarias, así como también en la construcción de aeronaves.

Para el contexto de este trabajo, sin embargo, nos centramos más en considerar el proceso industrial.

Originalmente, las redes de campo se desarrollaron específicamente para fines de automatización, y por lo tanto, eran muy diferentes de las bien conocidas redes informáticas, en particular con respecto a los datos y características del tráfico. Típico de las LAN fue, y sigue siendo, las importantes cantidades de datos en grandes paquetes, la puntualidad no es una preocupación principal, y el comportamiento en tiempo real no es necesario.

Los datos del proceso en las redes a nivel de campo, por el contrario, utilizan bajas tasas de transferencia de datos, porque en este tipo de tráfico, el tamaño de los paquetes de información es pequeño, pero la capacidad de desempeñarse en tiempo real, como se ha dicho, es de crucial importancia.

En los últimos años, sin embargo, la tecnología base de la comunicación en redes de campo ha cambiado, y las redes que originalmente fueron tecnológicamente desarrolladas para el manejo de la información en el mundo de oficina (TI), como son Ethernet y las soluciones inalámbricas de este protocolo, están penetrando en el nivel más bajo de los sistemas de automatización [5]. Los límites entre las diferentes redes son cada vez más imprecisos, y actualmente es mucho más apropiado definir una red a nivel de campo, desde el punto de vista de la aplicación, como una red que se utiliza en la automatización, independientemente de los tipos de datos, protocolos o requisitos de tiempo real que requiera.

Sin embargo, una diferencia esencial entre la TI, y la automatización es que las instalaciones en el dominio de estas últimas tienen una vida útil mucho más larga diez años o más, en comparación con, tres o cuatro en general de los sistemas de TI. Por lo tanto, en el proceso de cambio de las tecnologías de las redes de campo, la compatibilidad con las soluciones existentes juega un papel muy importante. Si bien esto es obvio desde el punto de vista de un usuario final, no es fácil de lograr en la práctica y establece limitaciones a la gama de posibles arquitecturas de comunicación.

3.2 Redes de sensores dentro de la industria

Las redes de sensores en las aplicaciones industriales generalmente no requieren mayores requisitos respecto del sensor en cuanto a que este sea compacto y tenga la posibilidad de ser móvil. Estos sensores se colocan casi siempre en un sistema fijo en un lugar y con la disponibilidad de un fácil suministro de energía para su alimentación. Pero la robustez es un factor clave, ya que las grandes fuentes de energía electromagnética (soldadores, hornos de fundición, motores, etc.), pueden afectar sensiblemente la calidad de la transmisión [10]. Además, es muy importante la transferencia de información dentro de un corto tiempo, fijo y conocido. Así el rendimiento temporal en la transmisión es un aspecto de gran importancia.

La mejor y más simple forma de respetar el tiempo límite en la transferencia de información, es con una arquitectura centralizada, donde los sensores se leen cuando es necesario y el tiempo de reacción, que es el tiempo transcurrido entre un evento de entrada y la actuación de la salida relacionada, sea mínimo y conocido. En estos casos, los sensores inteligentes ofrecen varias ventajas, de

esta forma, el término transductor inteligente es ampliamente utilizado para definir un transductor cuya salida es algo más que datos brutos de medición, o una señal de mando para un actuador determinado.

Como los sensores y actuadores se vuelven cada vez más complejos, tanto en los diversos modos de funcionamiento como en su interconexión, y algunas aplicaciones requieren, además, poseer tolerancia a fallos y enlaces con sistemas de computación distribuida, se llega a que este alto nivel de funcionalidad solo puede lograrse mediante la adición de un chip micro controlador incorporado al sensor / actuador clásico, lo que aumenta la capacidad de hacer frente a toda esta complejidad con un precio razonable. Esta integración hace que un sensor o actuador, digital o análogo, se transforme en una unidad de proceso y comunicación.

Los transductores son entonces, sensores y/o actuadores que puede interactuar entre un sistema informático y el entorno físico. En 1982, se introdujo mundialmente el término "transductor inteligente". Un transductor inteligentes (smart transducer) es la integración de un sensor o elemento actuador tanto digital como análogo, a una unidad de procesamiento con una interfaz de comunicación. En el caso de un sensor, el transductor inteligente transforma la señal del sensor sin formato a una representación digital estandarizada, la señal calibrada y controlada se transmite digitalmente a los controladores de éstos a través de un protocolo de comunicación estándar. En el caso de un actuador, el transductor inteligente acepta comandos digitales estandarizados y transforma estos en acciones de control para el actuador.

Esta funcionalidad simplifica la integración de los transductores en las aplicaciones con un entorno de administración y control en red. Un sensor es inteligente si puede ser administrado independientemente de sus particularidades debidas a su vendedor o del protocolo de interfaz que posea. Existen incluso, transductores tipo PLUG & PLAY que eliminan los errores debidos a la configuración manual y la introducción de datos; los cuales pueden ser instalados, actualizados, reemplazados o movidos con un mínimo esfuerzo.

Un transductor inteligente implementa el uso de una "Hoja de Datos Electrónica del Transductor" (TEDS), que es un método estándar de almacenamiento de la identificación de un transductor, ya sea este sensor o actuador. De esta forma, la calibración, y la actualización de los datos quedan relacionadas allí, con la información que suministra el fabricante. Los formatos de TEDS que se definen en el estándar IEEE1451 son un conjunto de estándares de interfaz para transductores inteligentes, desarrollado por IEEE, que describen una serie de datos de carácter público, y comunes de interfaces de redes de comunicaciones para la conexión de transductores con: microprocesadores, sistemas de instrumentación, redes de control y de campo en general.

De acuerdo con la IEEE1451.0 la TEDS, es en esencia, un dispositivo de memoria conectada al transductor que contiene la información que necesita un instrumento de medición o control, como son: la identificación del sensor, su calibración, la corrección de datos y la información relacionada con el fabricante. Lo dicho puede

aplicarse de dos maneras:

- En primer lugar, la TEDS puede residir en la memoria integrada, por lo general una EEPROM, o en el transductor sí es que éste está conectado con el instrumento de medición o de control en forma directa.
- En segundo lugar, las TEDS virtuales, que pueden existir como un archivo de datos accesible por el instrumento de medición o sistema de control, y que no puede estar disponible en la memoria incorporada.

El diagrama de bloques simplificado de un dispositivo se muestra en la siguiente figura.

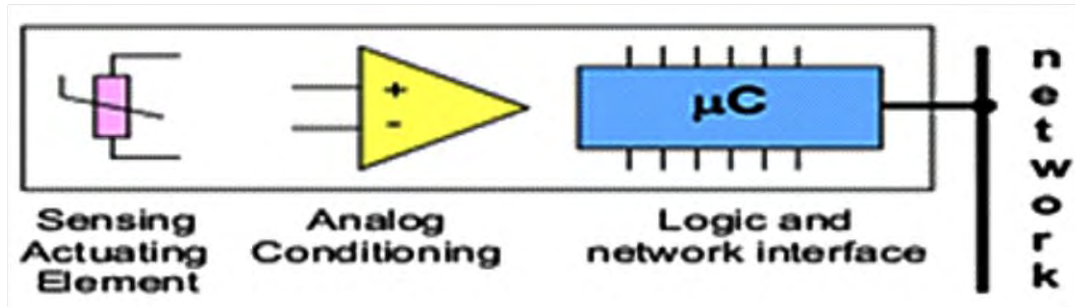


Figura 3.1 Diagrama de bloques de transductor inteligente.

Por otro lado las ventajas de las arquitecturas distribuidas son innumerables, incluyendo una mayor flexibilidad, la mejora del rendimiento de la instalación, reducción del coste debido a la disminución de cableado, la facilidad de implementación en el lugar, y el mantenimiento [11]. Pero como desventaja, las arquitecturas distribuidas implican retrasos en la transmisión que en gran medida puede afectar la transferencia de la información.

Para aclarar esto, seguidamente analizaremos un ejemplo.

Si suponemos una arquitectura distribuida simple, como se muestra en la siguiente figura, donde un programa simple como: **"si A>B entonces actuar de inmediato C"**, esto funciona correctamente en un sistema de arquitectura centralizada, pero podría presentar algunos problemas en sistemas distribuidos.

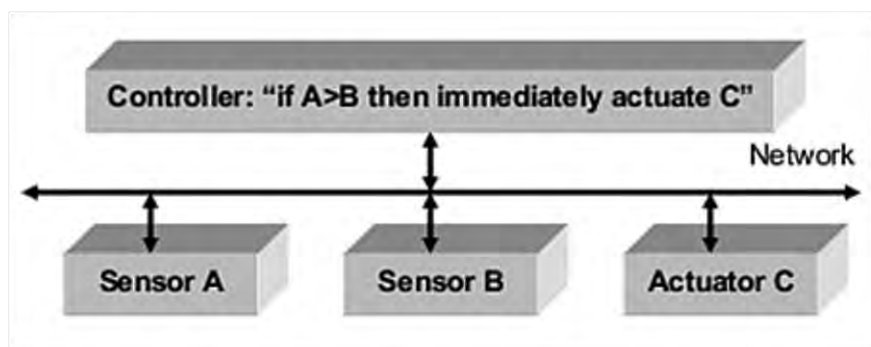


Figura 3.2 Arquitectura distribuida

De hecho, las cantidades **A** y **B** pueden ser muestreadas en diferentes instantes, es decir:

$$A = A(t_0) \text{ y } B = B(t_1)$$

Incluso si suponemos:

$$t_0 \approx t_1$$

Podría ser difícil de estimar con exactitud el tiempo de transmisión de A y de B a la controladora, con sus tiempos: **tdA** y **tdB**, pero se puede aproximar por los límites conocidos:

$$(t_{\min} < tdA \neq tdB < t_{\max})$$

En esta situación si suponemos que la elaboración se inicia tan pronto como los mensajes de los sensores llegan al controlador, el actuador C actúa tan pronto como el mensaje del controlador llega a él, si el tiempo de elaboración es **telab**, y el tiempo que toma el mensaje en llegar del controlador al actuador es **tdC**, es posible afirmar que el retraso de tiempo **td**, si no descuidamos una toma de muestras, es igual a:

$$td = \max (tdA, tdB) + telab + tdC.$$

Aquí **td** podría ser significativamente variable, porque **tdA**, **tdB** y **tdC**, podrían depender de tráfico de la red. Este sencillo ejemplo muestra cómo el rendimiento de una arquitectura distribuida podría ser afectado por el comportamiento de las aplicaciones de red.

Además, los términos usados en las comunicaciones industriales pueden ser muy confusos, ya que expresiones como "tiempo real" o "determinismo" se han mal utilizado. Según la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), el tiempo real es la capacidad de un sistema para proporcionar un resultado necesario en un limitado tiempo, que es la denominada latencia máxima y que es "a priori" conocida. En consecuencia, un sistema de comunicación en tiempo real es capaz de realizar la transferencia de datos en éste tiempo real.

En algunos casos se utiliza una distinción entre "tiempo real suave", con un comportamiento estadístico, y "tiempo real duro", donde la latencia máxima será respetada en todos los casos, como se dice en la definición IEC 61784-2

El determinismo está relacionado con la capacidad de establecer una latencia impuesta e invariable, que es el resultado requerido, en un tiempo fijo, conocido y repetible. Sin embargo, es de uso frecuente en sustitución del tiempo real duro, el tiempo real suave, ya que es de límites menos estrictos. En tal sentido un sistema de comunicación isócrona impone que cada uno de los datos transferidos, se lleve a la acción de un modo estrictamente cíclico con un muy bajo jitter, donde éste es considerado como la diferencia entre el valor máximo y el mínimo de tiempo de cada ciclo. De esta manera isócrona se refiere a la capacidad del sistema de transferencia de datos de ser estrictamente repetitivos en el tiempo.

Algunas aplicaciones industriales, como la fabricación envases, mecanizado de la madera, o de extrusión de plástico, requieren sistemas de alto rendimiento para lograr una reducción de costos. El intercambio de datos debe ser rápido, fiable y determinista, es decir los tiempos de latencia deben ser del orden de cientos de microsegundos para cerrar correctamente los lazos de control entre dos unidades,

mientras el jitter debe ser de un orden de magnitud inferior.

En nuestro ejemplo, el tráfico entre el controlador y los transductores se puede organizar de una manera cíclica, como se muestra en la siguiente figura, es decir, el controlador en forma periódica (cada ciclo) intercambia información organizada, en intervalos de tiempo, con los equipos de campo.

Si la capa física elegida y los medios, garantizan que se cumpla la transmisión dentro de los límites de los espacios de tiempo, la comunicación es en tiempo real, determinista y sincrónica (es decir, las tramas se envían en un tiempo constante, entre cada llegada). Sin embargo, el comportamiento del sistema, está caracterizado por el tiempo T_d , que podría mostrar una fluctuación (jitter) considerable, porque el tiempo entre el acontecimiento, ($A > B$) y la reacción del actuador (C), depende del tiempo de muestreo del sensor y, en general, de la sincronización entre las tareas de los nodos (A, B y C) de la aplicación.

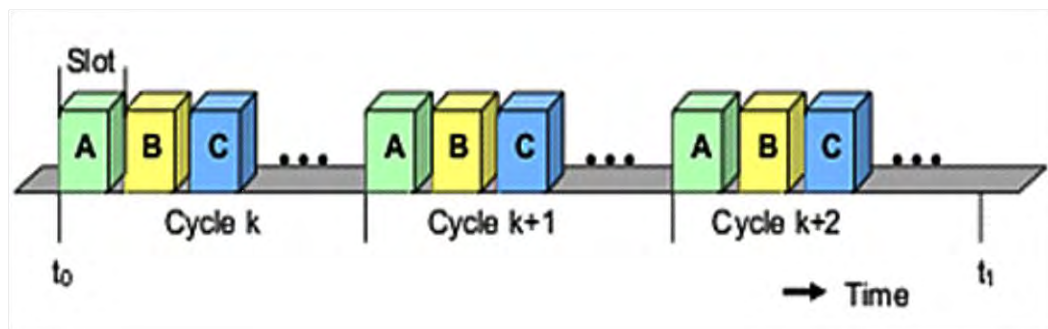


Figura 3.3 El intercambio de tráfico cíclico.

Por esta razón, los protocolos de comunicaciones industriales a menudo proveen de servicios de sincronización, como comandos de sincronización entrada/salida, por ejemplo: leer global, escribir global, o utilidades de sincronización de aplicaciones con el fin de lograr determinismo. De hecho, si todos los nodos tienen un sentido común del tiempo (es decir, tienen relojes sincronizados) se adopta el esquema sincrónico de la figura anterior, entonces el determinismo puede ser logrado simplemente modificando el programa del sistema en:

- la muestra **A** y **B** en el tiempo t_0 (es decir, el inicio del ciclo de k).
- si $A(t_0) > B(t_0)$ luego actuara **C** en el tiempo t_1 .

Donde el intervalo de tiempo entre t_0 y t_1 debe ser mayor que tres veces el tiempo de ciclo, suponiendo que la elaboración es sincronizada con el inicio del ciclo $(k+1)^{th}$ y el tiempo de elaboración es menor que el tiempo de ciclo, con el fin de ofrecer mensajes a **C** cada $(k+2)^{th}$ ciclo.

Obviamente, si la red de sensores no necesita de acciones para lograr el tiempo real, y sólo se utiliza para recopilar datos de los sensores, la única necesidad es la de reconstruir la secuencia temporal de datos con "exactitud", generando datos con estampas de tiempo, ya que la exactitud del tiempo, afectará a la exactitud de los valores de los datos obtenidos.

Esto puede lograrse mediante un mecanismo de estampado de tiempo en cada

nodo y una buena sincronización entre los nodos.

En conclusión, debido al difícil límite en términos de rendimiento, robustez y costo, las redes de sensores para aplicaciones industriales, generalmente llamadas buses de campo, son a menudo soluciones "a medida" [12]. Los buses de campo se utilizan en la mayoría de las plantas industriales para vincular subsistemas digitalmente, y para la transferencia de unos pocos datos en tiempo real [13]. Ellos están caracterizados por un comportamiento cíclico, con sincronización de los servicios, una muy baja tasa de datos (Mbit/s), un buen rendimiento (número de bits de datos con respecto a bits de transmisión), un buen alcance de la transmisión (100 m), un bajo coste y una atención especial a la seguridad [14].

De forma similar las tecnologías comerciales del mercado (de propiedad), llegan a actuaciones satisfactorias pero normalmente las propuestas de diferentes proveedores puede que no logren convivir. Hay varios estándares abiertos para describir las ventajas y desventajas de estas redes, por ejemplo: DeviceNet o PROFIBUS, son bastante simples y pueden ser fácilmente integradas en micro controladores de bajo costo, reduciendo la necesidad de componentes exteriores (por ejemplo, algunos micro controladores de 8 bits de Freescale o Microchip proporcionan una interfaz CANbus 2.0b).

Hoy en día, los buses de campo soportan la mayoría de las redes de sensores en aplicaciones industriales; aunque frecuentemente en sistemas con pocos sensores sencillos y cercanos aún se siguen utilizando arquitecturas centralizadas tradicionales [15].

A continuación se dará una visión global de cómo las redes sobre el terreno han evolucionado y lo que se hizo para que ésta evolución sea continua. Aunque estas tecnologías son individuales, ellas estaban destinadas a ser innovaciones radicales, pero la evolución de unas a otras, fue en general progresiva.

3.3 La primera generación, Buses de Campo

Aunque el término "bus de campo" apareció unos 25 años atrás, la idea básica de las redes sobre el terreno es mucho más antigua, y las raíces reales de esta moderna tecnología de bus es diversa, Tanto la ingeniería eléctrica/electrónica clásica, como la informática, han contribuido con su cuota a esta evolución [16]. El origen de la automatización en la transferencia de datos se puede ver en las redes del télex clásico y también en las normas de transmisión de datos para el teléfono de línea. Muchas normas relativamente tempranas todavía existen, tales como la V.21 (transmisión de datos por líneas telefónicas), y la X.21 (transmisión de datos a través de líneas especiales) [17].

Diversos protocolos se definieron, en su mayoría más bien simplemente, debido al limitado poder de los dispositivos informáticos disponibles en ese momento. Con la mejora de los microprocesadores, los sistemas de telefonía gradualmente pasaron de la era analógica a la digital. Así se abrió la posibilidad de transferir grandes cantidades de datos de un punto a otro. Esto junto con una mejora de la

capa física, posibilitó la primera transmisión potente de datos que se dio con los protocolos definidos, como X.25 o SS7.

En paralelo a este desarrollo de las telecomunicaciones, la necesidad para la adquisición de datos distribuidos, surgió desde la instrumentación y medición de campo, que también incluyó el desarrollo de gran cantidad de diferentes tipos de sensores y diversos actuadores.

En instalaciones experimentales de gran escala, sobre todo en física de altas energías, la coordinación precisa de la medida y las tareas de control eran muy necesarias. Por lo tanto, se desarrollaron las normas para el Computador Automatizado de Medición y Control en la física de alta energía, y el Bus Interface de Propósito General GPIB o IEEE 488 [6].

Es de tener en cuenta la baja cantidad de datos, la velocidad de procesamiento y los estrictos requisitos de sincronización de estos sistemas de bus de datos en paralelo, ya que había líneas de control, incluso en las impresoras trabajado con interfaces en forma paralela (las cuales también aparecieron en ese tiempo).

Más tarde, las conexiones serie punto a punto de periféricos crecieron para abarcar las distancias más largas, y por último, también se hicieron arreglos multipunto. La capacidad que tiene una estructura de bus con más de dos conexiones, junto con la mayor inmunidad al ruido debido a la diferente codificación de señales, finalmente hizo que la RS-485 fuera la piedra angular del bus de campo en la tecnología, hasta el día de hoy.

3.4 Evolución de los Buses de Campo

La introducción de las redes sobre el terreno para la automatización está estrechamente vinculada con los intentos de hacer que los datos estén disponibles en todos los niveles funcionales de la empresa. Un resultado de estas ideas fue la llamada pirámide de automatización, que se muestra en la figura 3.4, como modelo jerárquico de la red multinivel. Esto definió por primera vez el alcance de la fabricación integrada por ordenador (CIM) para hacer frente a la previsible complejidad de los datos en un sentido horizontal e integrarla verticalmente al entorno de comunicación. El destino original de esta aplicación en la década de 1980, era la fábrica y la automatización de procesos.

Los números varían, pero por lo general, este modelo se compone de hasta cinco niveles. Mientras que las redes en los niveles superiores ya existían en el momento que se definió la pirámide, el nivel de campo se desarrollaba en gran medida, por las conexiones punto a punto, y aún hoy permanece de esta manera en muchos casos. La integración real de las redes sobre el terreno con el resto de la jerarquía se consideró en la temprana normalización, para la mayoría de los desarrollos de propiedad, sin embargo, nunca se logró ésta intención primaria. Los sistemas de buses de campo, por lo tanto también se desarrollaron con el objetivo final de cerrar esta brecha

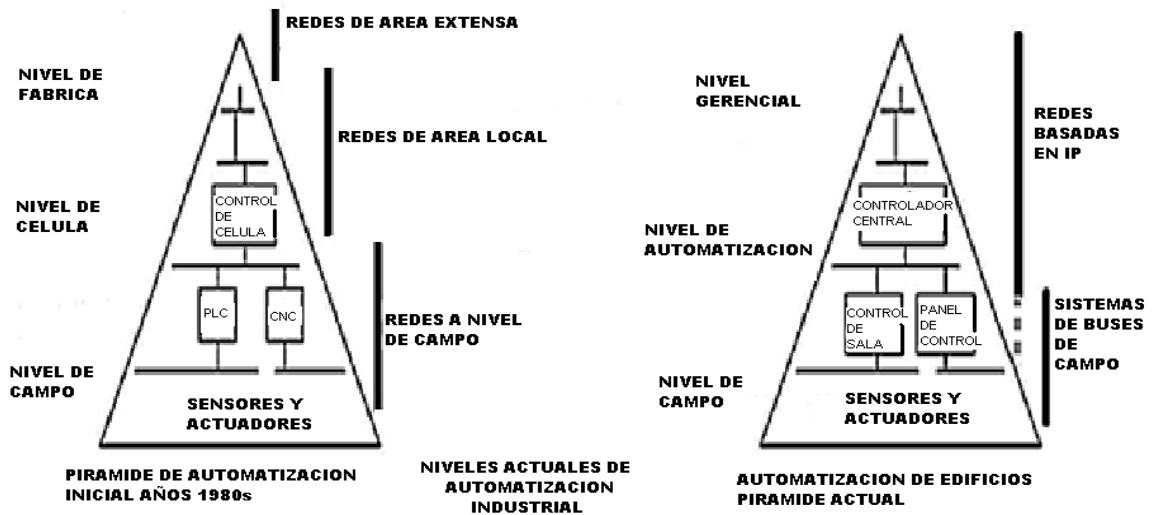


Figura 3.4 Jerarquías de procesos en la automatización de fábricas, y su comparativa con la automatización de edificios.

En la automatización de edificios, la situación fue ligeramente diferente la necesidad de soluciones de automatización sucedió mucho más tarde. Por lo tanto, el desarrollo de sistemas de comunicación a nivel de campo comenzó más tarde, por lo que nunca hubo tal abrumadora variedad de sistemas. Como segunda consecuencia, la jerarquía de la automatización en la construcción de ésta automatización, siempre fue compuesta de sólo tres niveles, lo que llevó años de evolución en el proceso y la automatización de las fábricas, han estado en este caso, disponible desde el principio [18].

Desde un punto de vista tecnológico, la evolución real del sistema de bus de campo, en el tiempo se muestra en la siguiente figura. Fue en gran medida influenciado por el desarrollo de las redes de ordenadores, pero sin duda quienes más contribuyeron fueron: La Organización Internacional para la Estandarización (ISO); y el modelo de Interconexión de Sistemas Abiertos (OSI). Este modelo de referencia era, y sigue siendo, el punto de partida para el desarrollo de muchos protocolos de comunicaciones complejos [19].

La primera aplicación del modelo OSI para el dominio de automatización fue la definición del Protocolo de Automatización para la Fabricación (MAP), a raíz de la idea de la CIM.

MAP pretendió ser como resultado de su definición, un marco para el control integral de procesos industriales, no sólo un protocolo flexible y de gran alcance. Sin embargo resultó ser también un protocolo muy complejo que no tuvo el éxito previsto, consecuentemente, la pila de protocolos que lo componían, se redujo drásticamente en tamaño y complejidad, dando como resultado un estándar "mini-MAP" que posteriormente fue punto de partida de muchas definiciones de bus de campo [20]. Del mismo modo fue exitosa la Especificación de Mensaje del Fabricación, que define la cooperación de componentes de automatización por medio de objetos abstractos y servicios, que se convirtió en un modelo a seguir para muchas redes a nivel de campo.

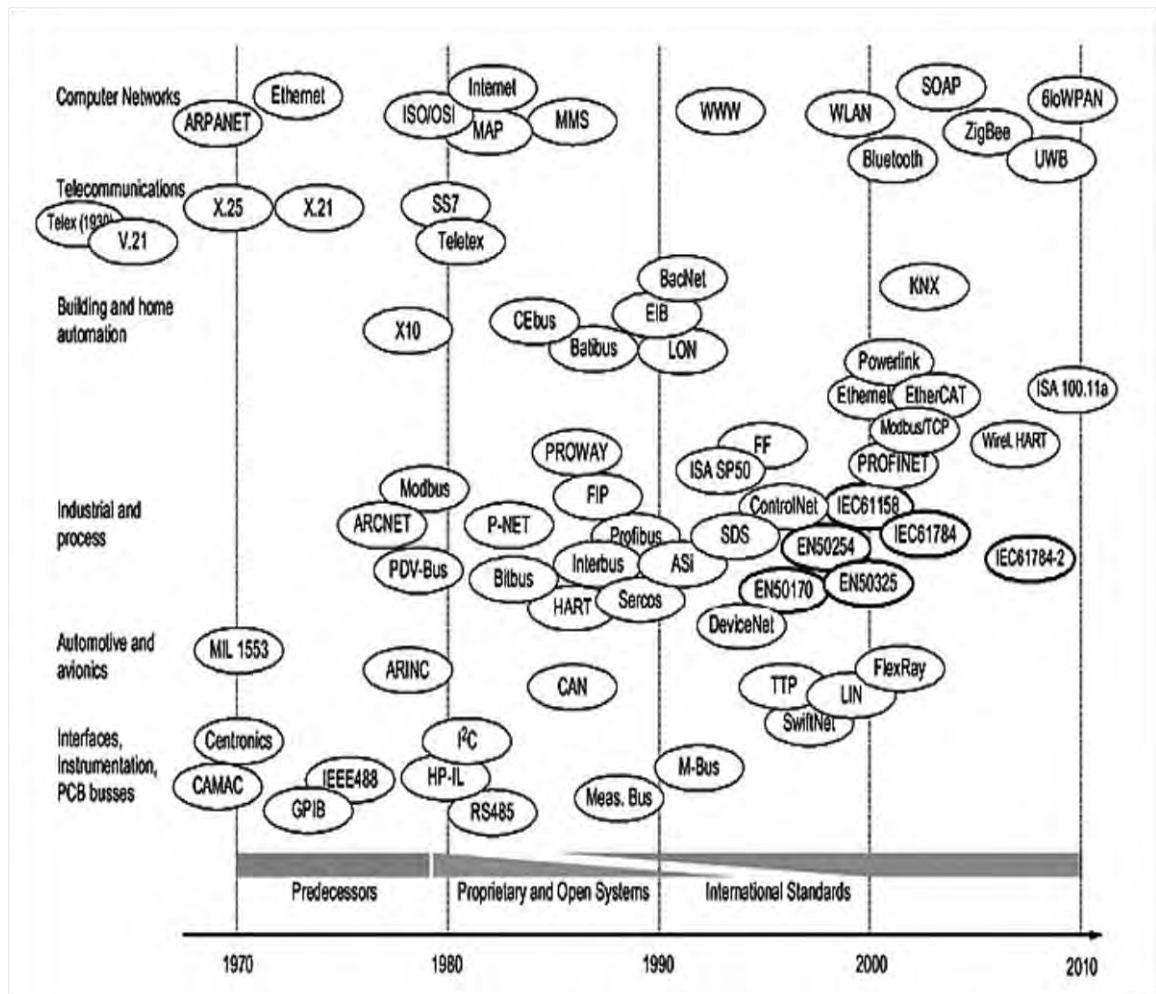


Figura 3. 5 Selección de los importantes sistemas de bus de campo y tecnologías de apoyo.

Independiente de este desarrollo en ciencias de la computación, los avances en la microelectrónica permitió crear diversos controladores integrados, ya que eran necesarias nuevas interfaces para la interconexión, y estos circuitos integrados lo hacían de una manera eficiente y barata. En consecuencia, los ingenieros electricistas, sin el conocimiento del modelo ISO / OSI o arquitecturas similares, definieron buses simples como el I²C. Estos fueron interfaces que cumplieron la función de buses que cuentan con protocolos muy simples y que son, aún hoy, ampliamente utilizados en sistemas electrónicos.

Incluso antes de la "invención" de los buses a nivel de borde (o periféricos), la demanda de una reducción del peso del cableado en la fabricación de aviones y la tecnología espacial, dio lugar al desarrollo de la Norma Militar 1.553 de buses, que puede considerarse como la primera en definir el bus de campo —real”.

La fecha de lanzamiento en 1970, mostró muchas propiedades características de los modernos sistemas de bus de campo: la transmisión en serie para el control de los datos de información sobre la misma línea, la estructura maestro-esclavo, la posibilidad de cubrir mayores distancias, y los controladores integrados. Más tarde, pensamientos similares (reducción de peso y de gastos en cableado) no resultaron sólo en el desarrollo de sistemas de buses para la industria automotriz, sino también para todas las áreas de la automatización [20].

Una propiedad característica de estos buses de campo, es que se definen en el espíritu de las interfaces clásicas, con especial atención en las capas inferiores del protocolo, y con la ausencia de definiciones para la aplicación, en casi todos los niveles. Es el Controller Area Network (CAN) es un clásico ejemplo de este tipo de bus de campo, en el cual las definiciones de capas superiores, fueron añadidas más tarde para que el sistema también sea aplicable a otras áreas.

Desde mediados de la década de 1980 cuando la automatización dio un gran salto hacia adelante impulsado por las compañías de energía encargadas de las líneas de transporte, también surgieron sensores y actuadores cada vez más inteligentes, y así se marcó el rumbo de la automatización de sistemas de control. Desde aquellos días hasta hoy, han nacido muchos sistemas de bus de campo, que se adaptan a los diferentes campos de aplicación, y casi todas las empresas en el negocio de la automatización han creado su propio bus.

La pregunta entonces es: ¿Cómo estos diversos enfoques pueden ser vistos por una sola mirada, dado la gran variedad de diferentes mecanismos de accesos al medio, para sistemas de bus de campo, y que todavía tiene una cuota de mercado significativa? En la siguiente figura se muestra una comparación de los diferentes mecanismos de acceso al medio, de los diferentes buses de campo.

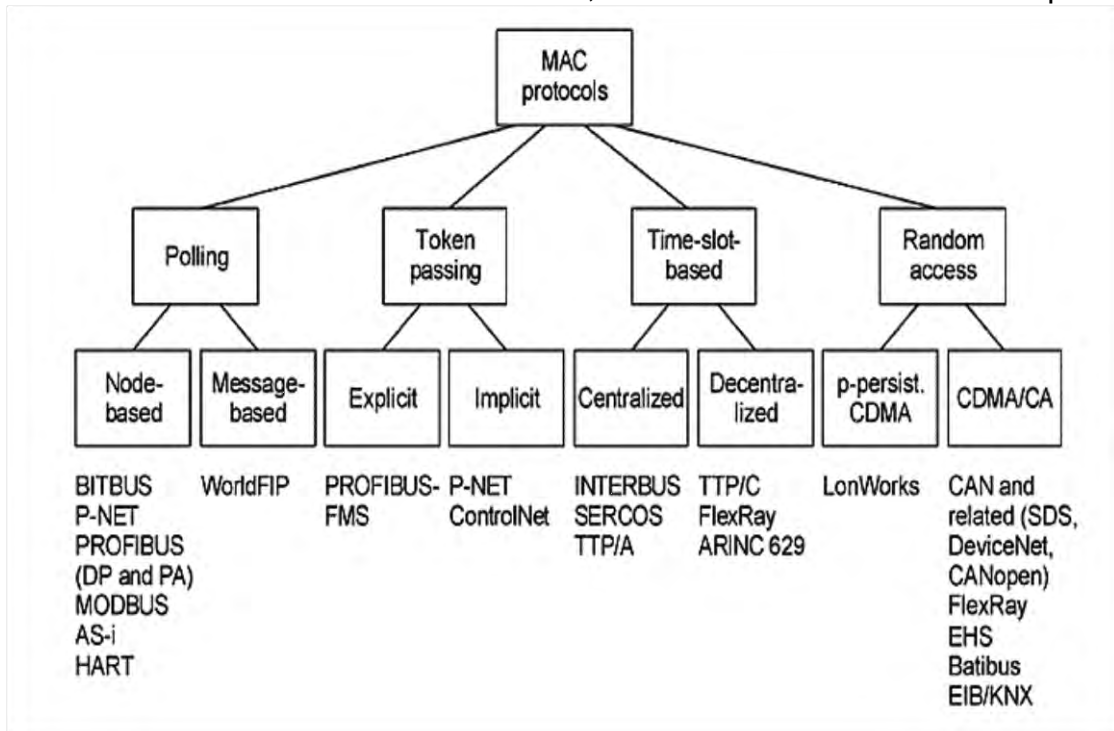


Figura 3.6 Diversidad de los mecanismos de acceso a medio que demuestra la gran variedad de sistemas de buses de campo existentes.

Para hacer frente a los requisitos de tiempo real, los ingenieros fueron particularmente inventivos con respecto a cómo solucionar el problema de acceso simultáneo al medio, y a compartir recursos, como por ejemplo, los canales de comunicación. Sin embargo los mecanismos de Control de Acceso al Medio (MAC), son sólo una parte de un protocolo de bus de campo, por otro lado el camino de los datos se maneja en las capas más altas, y también las funcionalidades más avanzadas, como la gestión de redes, y en general, la forma en que el intercambio de los dos tipos de datos, (datos de proceso y datos de

gestión) está organizando.

Todos estos aspectos dejaron bastantes grados de libertad para el desarrollo de soluciones innovadoras, que se han optimizado para escenarios particulares de aplicación.

3.5 Normalización de los Buses de Campo

La mayoría de los nuevos conceptos creados por empresas privadas que desarrollan tecnología, nunca han tenido un verdadero futuro y desaparecieron rápidamente, ya sea totalmente o quedaron en pequeños nichos, porque el número de nodos producido nunca podría justificar los grandes costos de desarrollo y el posterior mantenimiento. Después de unos años de lucha y también de confusión en el lado del usuario, se hizo evidente que sólo los sistemas "abiertos" podrían sobrevivir y obtener una parte sustancial del mercado. Se fundaron organizaciones de usuarios para llevar adelante la definición y promoción de los sistemas de bus de campo que sean independientes de las empresas individuales.

Un paso lógico después de la publicación de las definiciones, fue elevarlas al rango de normas. La idea detrás de la normalización no era sólo para hacer que las definiciones sean independientes del proveedor, sino también para asegurar la confianza del cliente en la nueva tecnología, y por lo tanto, asegurar su posición en el mercado. Fue esta idea de sistemas abiertos, la que finalmente allanó el camino para el avance del concepto de "bus de campo", y lograr así que aumente la interoperabilidad entre vendedores de diferentes dispositivos. Fueron también desarrollados los llamados "perfiles" (o capa de usuario, o estándares de diferentes áreas de aplicación) que definieron un mínimo de datos requeridos para los campos de aplicación específicos, así como la sintaxis y semántica de los datos, más allá del modelo OSI puro.

La necesidad de dicha normativa había sido reconocida por la IEC muy temprano, en los comienzos de la evolución de los buses de campo. En 1985, el sub-comité técnico SC65C inició el proyecto de bus de campo, que tenía el ambicioso objetivo de crear una sola norma aceptada universalmente, para aplicaciones en la automatización de fábrica y el procesos, sobre la base de los dos enfoques más prometedores que había: el Bus de Campo para Proceso (PROFIBUS), y el Protocolo de Instrumentación de Fabrica (FIP) [21] [17]. Sin embargo, en el contexto de un mercado en rápida evolución, el idealismo no tenía ninguna posibilidad, enormes costos de inversión para los sistemas ya existentes y reconocidos, los intereses económicos de diferentes naciones y empresas, y también las diferentes limitaciones de las demandas, impidieron que se llegue al objetivo de la normalización, para poder definir solamente un bus de campo.

En consecuencia, después de 14 años de cada vez más feroces luchas técnicas y políticas, la meta original fue abandonada con las normas IEC 61158 y el protocolo IEC 61784. Otros desarrollos de dominios de aplicación y la estandarización de diferentes redes de bus de campo, hoy forman, una colorida colección de métodos bien establecidos en todo el mundo.

En el campo de la automatización de edificios, la normalización fue relativamente sin problemas, aunque la responsabilidad de la normalización a nivel internacional no era tan clara como en el caso la automatización de procesos, los diferentes comités en IEC e ISO abordaron ésta tarea. Sin embargo, como se dijo antes no había tantos desarrollos independientes, y muchos de ellos fueron definidos por los derechos que tenían los consorcios de ésta particular industria. Una de las principales características que se debía tener en cuenta por parte de los proveedores de dispositivos, para que estos fueran aceptados por los usuarios, fue la interoperabilidad de los mismos, que se adoptó así, como uno de los principales criterios de diseño. Hoy en día, los principales estándares abiertos son: LonWorks, Bus de Instalación Europeo / Konnex (EIB/KNX), y BACnet, que son relativamente complementarias y con frecuencia coexisten en diferentes niveles de la jerarquía en la automatización de sistemas de edificios complejos.

3.6 La segunda generación, Ethernet Industrial

Uno de los grandes problemas en la creación de redes a nivel de campo fue el hecho de que los distintos niveles de la pirámide de automatización son en gran medida controlados por conceptos de redes que son incompatibles: sistemas de bus de campo y por otro lado mayormente Ethernet, y las LANs basadas en IP. Estos problemas de integración fueron, y siguen siendo, uno de los principales argumentos utilizados para promover Ethernet en el nivel más bajo, el terreno donde se encuentran sensores y actuadores. Al usar la misma tecnología de red, tanto en el dominio de la automatización, como en el mundo de la oficina, podría en principio, estar estas vinculadas en una red individual en la empresa.

Ethernet por supuesto, no soluciona todo, no es mucho más que una red base para el intercambio de datos. Como tal, es un paso importante hacia la integración horizontal, pero por sí sola no es suficiente. Más relevante para la integración, sobre todo en la dirección vertical, es el amplio uso de la suite IP en los enfoques de Ethernet en la industria. Es esta propiedad no específica de Ethernet la que realmente promueve a intercambiar datos a través de los niveles de la pirámide de automatización y hace que la estructura piramidal llegue a ser más plana y más fácil de manejar.

Como en los sistemas de comunicación de alto nivel donde se adoptan soluciones basadas en TCP/IP, los buses de campo difícilmente puedan estar integrados. Además, estos buses a menudo son pobres en lo que respecta al diagnóstico y auto-configuración de sus herramientas.

Ethernet es la capa física más comúnmente usada de las amplias soluciones basadas en TCP/IP, y es ampliamente utilizado en plantas industriales con PLCs (*Programmable Logic Contralor*), y en los sistemas SCADA (*Supervisory Control And Data Adquisición*), llamado en éste entorno: "Ethernet Industrial".

La idea de utilizarlo, incluso a nivel de campo, se implementó en los últimos años gracias a la arquitectura basada en conmutadores (switches), que es más

eficiente, también al aumento de la cantidad de información en la transmisión y la disponibilidad de dispositivos de bajo costo.

3.7 La tercera generación, Ethernet en Tiempo Real, RTE

Primeramente, Ethernet parece no apto para aplicaciones en tiempo real, ya que inicialmente la estimación del tiempo máximo de transmisión de un paquete de datos, no es posible [21]. Esto radica principalmente en la forma de trabajo del Control de Acceso Medio (MAC), si se utiliza Acceso al Medio con Detección de Portadora y con Detección de Colisiones (CSMA / CD), y con las demoras impredecibles introducidas por los switches, que dependen a su vez de la topología de la red, las condiciones del tráfico, y la tecnología de conmutación ("Store & Forward", almacenar y luego encaminar, u otras), etc.

Pero Ethernet supo atraer el interés de los investigadores poco después de su aparición. En ese momento, sin embargo, la evidente falta de capacidades en tiempo real impidió su amplio uso en la industria. Diferentes métodos han sido propuestos para hacer frente al problema, como por ejemplo, el tráfico suavizado [22]. Sin embargo como se ha dicho, el gran salto vino con el desarrollo de la conmutación (el uso de switches), y la tecnología full-dúplex [23].

Como consecuencia, Ethernet se ha convertido también en interesante para la industria, y de hecho, el movimiento de Ethernet Industrial es en gran parte impulsado por proveedores de estos dispositivos. Aunque Ethernet cambió, este protocolo por sí mismo no es totalmente determinista, y deja espacio para la investigación [24].

Al principio, todo el trabajo de investigación evitó cuidadosamente cualquier concepto de violación de la norma Ethernet. La compatibilidad y la conformidad fue el objetivo primordial. Fue en ese momento cuando comenzaron a aparecer soluciones para la industria, sin embargo, no siempre fueron tan restrictivas al respecto.

Finalmente un importante incentivo para la difusión de Ethernet en las plantas industriales provino de la IEC61784-1, que describe y reconoce algunas soluciones comerciales de Ethernet Industrial, y que en algunos casos se podría utilizar hasta el nivel del sensor, como HSE (Ethernet Fundación Bus de Campo), EtherNet/IP, y PROFINET [25].

Estos protocolos no garantizan el rendimiento adecuado para la mayoría de aplicaciones de control en tiempo real, por lo tanto las soluciones de otros protocolos emergentes, que incluyen soluciones dedicadas al respecto, se engloban dentro de lo llamado Ethernet en Tiempo Real (RTE), como son Powerlink, PROFINET IO, EtherCAT, MODBUS-RTPS, y así sucesivamente. Estas tecnologías permiten actuaciones más potentes si se las compara con los buses de campo tradicionales, tomando ventaja del alto rendimiento de Ethernet (por ejemplo con 100 Mbit/s o más), en vez de los típicos 1/10Mbit/s de buses de campo de alto rendimiento.

Ethernet en tiempo real (RTE) está definido por la IEC61784-2, y la norma ISO/IEC 8802-3 basada en redes que incluyen la comunicación en tiempo real. Así RTE resuelve el problema del no-determinismo de Ethernet, modificando las

reglas de acceso al medio con el uso de protocolos específicos, como son, los protocolos de maestro-esclavo sobre la base de Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA), o mediante switches ad-hoc, o interfaces de red. Las soluciones anteriormente citadas difieren en la forma en que logran el determinismo, pero no hay un consenso unánime en reconocer universalmente a éstas, como un protocolo RTE.

Si se hace una mirada más cercana a Ethernet Industrial como es hoy, resulta que su singular valoración es más una ilusión que una realidad. De hecho, ni siquiera el uso del estándar Ethernet es realmente un denominador común, y por encima de la capa de enlace de datos, los enfoques son completamente diferentes. Algunos estándares en uso como el Protocolo de control de Transmisión (TCP), y el Protocolo Diagrama de Usuario (UDP) sobre IP, con mecanismos para la transmisión de datos, de propiedad intelectual, que en algunos casos están reforzados por capas de software adicional, apoyan tanto la comunicación en tiempo real como en tiempo no real. Mientras que en otros casos se utilizan pilas puente de comunicación dedicadas, en todo el desarrollo de propiedad intelectual. Algunos emplean protocolos de bus de campo de aplicación conocida, para mantener cierta compatibilidad hacia atrás con el mundo de bus de campo, y algunos son sistemas totalmente nuevos.

También son posibles múltiples diferencias en la capa física y en la capa de acceso al medio. Existen enfoques que proveen medios de comunicación redundantes (Vnet/IP, Tcnet). Por otro lado PROFINET IO tiene incorporado switches dedicados para reducir la variación en la transmisión de datos (jitter), y EtherCAT y SERCOS III necesitan controladores dedicados [20].

Ethernet PowerLink utiliza la Ethernet tradicional compartida y tiene un sistema de programación maestro-esclavo en la parte superior. La propuesta común a muchas redes es emplear relojes de sincronización para soportar aplicaciones en tiempo real [25]. Con este fin, el estándar IEEE 1588, que originalmente surgió en el área de instrumentación, también fue adoptado oficialmente por la IEC [26]. Los requisitos específicos en el ámbito de la automatización han dado lugar a varias sugerencias para la mejora de la calidad, que recién se tuvieron en cuenta en la última revisión.

Lograr la sincronización efectiva entre los nodos, es decir que todos los nodos sigan un reloj común (reloj principal), toma un papel muy importante para lograr el adecuado desempeño en tiempo real. Los métodos de sincronización pueden variar desde los simples protocolos propietarios, como difundir mensajes de disparo (sincronización) broadcast, a la utilización de soluciones estándar, como Network Time Protocol (NTP) o Precision Time Protocol (PTP) que se describen en el estándar IEEE1588. En la actualidad, esta norma parece ser el método de sincronización más prometedor, porque es independiente de la tecnología y permite realizaciones basadas en software, pero en ese caso, dependiendo estrictamente del nivel de aplicación. Además, en las plantas industriales, las topologías estrella se consideran inadecuadas, por temas de la necesidad de reducción de cableado, costos, y mantenimiento, por lo que en topologías distribuidas con muchos switches en cascada, el retardo de propagación de un

frame (trama) es variable, y con IEEE1588 se podrían dar errores de estimación importantes.

Hay soluciones de hardware y software que se pueden utilizar, para aumentar el desempeño de IEEE1588 y lograr un estampado de tiempo preciso de las tramas, de esta manera se puede alcanzar una sincronización en el orden de 100 ns, pero los protocolos RTE no son compatibles con esto.

Hay nuevos enfoques basados en esta norma que han sido propuestos para sincronizar los nodos. Por ejemplo un uso adecuado de GPS (Global Positioning System) para obtener un Tiempo Universal Coordinado (UTC) de referencia.

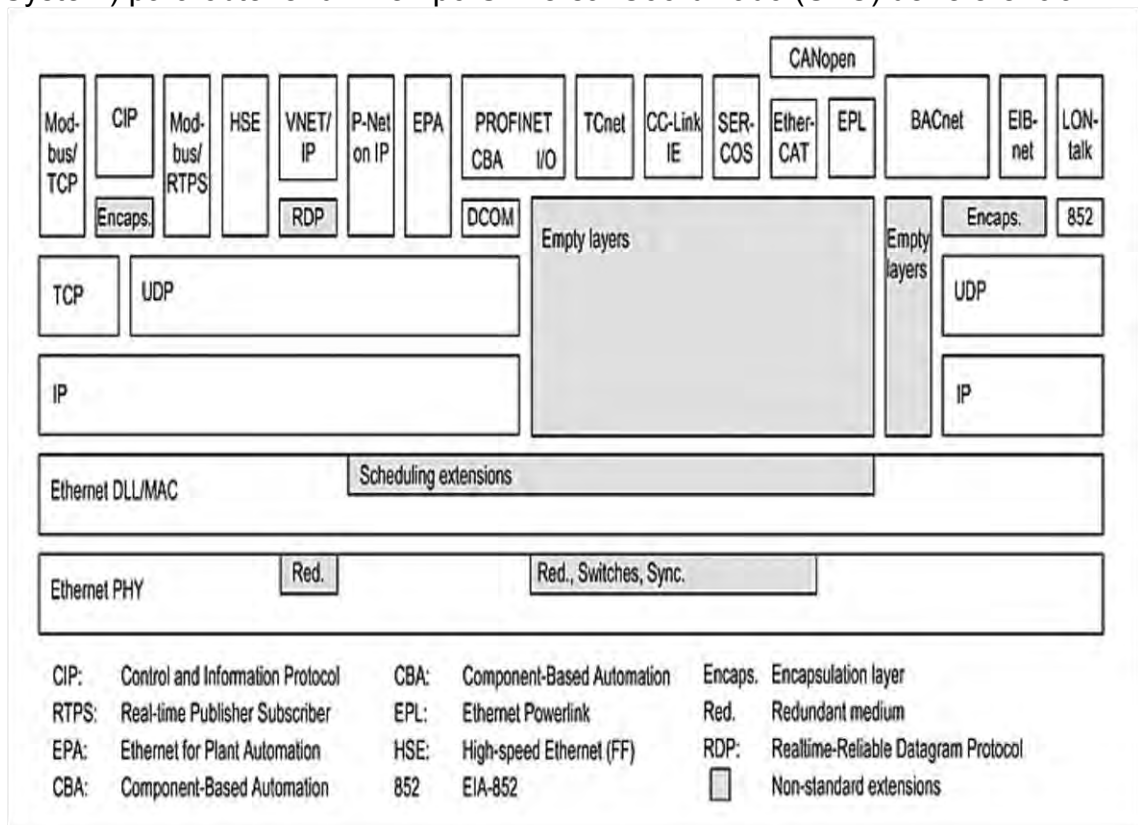


Figura 3.7 La apariencia comparativa de las diferentes pilas de protocolos.

Una mirada a la anterior figura, revela que el deseo original derivó en un desastre de la normalización del bus de campo, es decir que creer que Ethernet podría ser la base para una solución de comunicación industrial única, fue inútil. De hecho, la situación no ha cambiado demasiado en comparación con la heterogeneidad de los sistemas de buses de campo tradicionales. La interoperabilidad entre las diferentes soluciones de Ethernet industrial no es posible en forma directa [17].

Sin embargo, muchos de las soluciones de Ethernet Industrial fueron desarrolladas por las mismas empresas que ya cuentan con sistemas de buses de campo en el mercado, y se tuvo bastante cuidado en permitir la compatibilidad con versiones anteriores y la cooperación entre los "viejos" buses de campo y las "nuevas" instalaciones que tienen Ethernet Industrial. Esto se hizo una vez más para aumentar la aceptación del mercado y ofrecer una ruta de migración para la sustitución constante de buses de campo a sistemas de Ethernet Industrial. Pero:

—ba interconexión directa por medio de puentes entre los diferentes tipos de medios no es posible, sin perder las garantías de tiempo”.

De todos modos, los protocolos de las capas superiores, (en particular los protocolos de la capa de aplicación) y al menos los datos como objetos, son compatibles y permiten una interconexión en alto nivel [27].

Desde el punto de vista de la compatibilidad, existen cuatro clases diferentes de estas redes, a saber:

- 1) De plena compatibilidad de los protocolos de la capa superior, con soluciones de buses de campo preexistentes. Esto se aplica a Modbus/TCP, Modbus/RTPS, Ethernet de Alta Velocidad (Fundación para Buses de Campo a través de UDP/IP), Ethernet/IP (que utiliza el Protocolo Industrial Común (CIP) que es común a ControlNet y DeviceNet, P-Net sobre IP, Vnet/ IP (compatible con Vnet de Yokogawa), SERCOS III (estructura de telegramas se han mantenido desde las versiones anteriores basadas en fibra óptica), y CC-Link IE (que usa el protocolo vigente CC-Link sobre Ethernet).
La creación de redes de automatización para edificios toma ventaja particular de esta arquitectura. BACnet, LonWorks y EIBnet, todas usadas en redes basadas en IP (o Ethernet simple como una alternativa para BACnet) como medio de transporte para las capas superiores de los protocolos [16].
- 2) Compatibilidad de los modelos de datos y objetos con buses preexistentes de campo. Este es el caso de PROFINET, donde pueden existir soluciones para incorporar dispositivos y redes legados de PROFIBUS.
- 3) Uso de perfiles preexistentes de la capa de aplicación sin compatibilidad directa con buses de campo. Esto se aplica a Ethernet Powerlink y EtherCAT, que utilizan la capa de aplicación de CANopen para lograr la compatibilidad con los ampliamente utilizados perfiles de dispositivos, por ejemplo, para drivers.
- 4) Desarrollos completamente nuevos de Ethernet Industrial, sin compatibilidad con versiones anteriores. Este es el caso de Asian Redes Ethernet para Automatización de Planta (EPA), y TCnet.

Aparte de la gran compatibilidad con versiones anteriores, el caso de Profinet está mejor concebido en comparación con la tecnología de bus de campo clásica, a pesar de todas las modificaciones propietarias, Ethernet, y también en gran medida el conjunto IP, están siendo reconocidos como base tecnológica para la nueva generación de sistemas de comunicación industriales. Todos estos métodos permiten sobre norma TCP / UDP / IP, un canal de comunicación en paralelo para procesar los datos de comunicación. Incluso las soluciones de Ethernet en tiempo real, tales como PROFINET, Ethernet Powerlink, EtherCAT, etc., tienen un canal convencional para propósitos de configuración [28].

La separación de tráfico en tiempo, tanto real como no real, se lleva a cabo en el nivel MAC de Ethernet con esquemas de priorización utilizando acceso múltiple de división de tiempo (TDMA), junto con estrategias de asignación de ancho de banda correspondientes, como son los mecanismos de asignación de tiempo, o paso testigo.

Los canales IP ofrecen un rendimiento suficiente para ser utilizados en la regulación de la transferencia de datos. Si bien esto permite, en principio, la coexistencia de automatización y no automatización de las aplicaciones industriales en los segmentos de Ethernet, la mezcla de la automatización y la oficina no es conveniente para un buen rendimiento general, pero más importante aún, por razones de seguridad. El valor de este canal estándar IP es más bien para ser visto como un camino de acceso simple y directo a los dispositivos de campo. Por lo tanto, las soluciones actuales favorecen a las herramientas de configuración como son por ejemplo, Extensible Markup Language (XML), Simple Object Access Protocol (SOAP), y en general, la tecnología de la web, que puede ser utilizada constantemente. Repetidamente se desprende que esto no significa que las soluciones industriales de Ethernet son interoperables o que puedan utilizar las mismas configuraciones de herramientas, pero por lo menos, los principios básicos son los mismos.

Otro de los objetivos comunes de una red RTE, como se ha dicho, es ser compatible con el tráfico que no requiere del servicio en tiempo real, donde se utiliza TCP/IP. De hecho, las comunicaciones industriales deben poder, al mismo tiempo, intercambiar rápidamente datos en tiempo real cíclico (isócrono), como así también eventos de la compleja comunicación a cíclica, como por ejemplo: de alarma, de diagnóstico, o de la actividad de configuración para un nodo determinado. Algunas actividades de investigación se han llevado a cabo para cuantificar la reducción del rendimiento de RTE en función del ancho de banda dedicado para este tráfico sobre TCP/IP, pero las metodologías para la configuración del entorno de prueba, como la generación de carga y el perfil, no aseguran la modelización efectiva del entorno industrial.

Para dar un ejemplo real, que demuestre la complejidad de lo dicho anteriormente, seguidamente analizamos brevemente el protocolo PROFINET, (lo mismo sería para cualquier otro protocolo RTE) [29].

En PROFINET el rendimiento de entrada/salida (E/S) se describe con el número de clase:

- RT_Class 1: RT, tiempo real, se utiliza en sistemas que requieren tiempos de ciclo hasta la décima parte de milisegundos,
- RT_Class 2: también llamada IRTflex, es tiempo real isócrono con topología de red Flexible,
- RT_Class 3: también llamadas IRTtop, se utiliza con las aplicaciones que requieren isocronía y ciclos más cortos, que 1 ms de tiempo.

El concepto de PROFINET es el apoyo de tráfico en el mismo medio, tanto en tiempo real duro, en tiempo real blando, y en no tiempo real como TCP/IP.

PROFINET IO en cambio, define controladores de entrada y salida (IO-Controllers), es decir, dispositivos inteligentes que llevan a cabo las tareas de automatización; dispositivos de campo de entrada/salida (IO-Devices), como son sensores, actuadores, módulos de E/S, etc.; y supervisores de entrada/salida (IO-Supervisors), para propósitos de configuración y diagnóstico. El intercambio de datos se basa en un gran ciclo repetitivo como se ilustra en la figura 3.8, (IEC61158-5).

Un mensaje de sincronización (trama de sincronización) marca el inicio del ciclo, luego varias fases se pueden reconocer en un ciclo:

- Fase ROJA: durante esta fase, sólo mensajes RT_Class 3 son enviados en un tiempo "a priori" programado a través de un camino definido. Esto significa que todos los dispositivos PROFINET IO en RT_Class 3, saben cuándo y en que puerto físico, se les permite hablar o escuchar.
- Fase NARANJA: sólo dos tramas RT_Class 2 son enviadas en esta fase. También RT_Class 2 tienen un tiempo de envío pre-programado, pero la ruta física de acceso no está definida.
- Fase VERDE: esta fase se compone de mensajes Ethernet administrados con las prioridades de Ethernet (IEEE 802.1Q). La comunicación fase VERDE es utilizada por: dispositivos RT_Class 2 con una trama extra para enviar; RT_Class 1. La comunicación de todo el resto de los dispositivos (RT) que no están sincronizados entre sí, está basada en IP (TCP, o UDP). Cabe señalar que, como resultado de aplicar RT_Class1, las tramas pueden sufrir de un retardo bajo, pero no bien definido.
- Fase AMARILLA: se trata de una fase de transición utilizada para el mismo tipo de tráfico que la fase verde. Durante este período, se transmiten las tramas que sólo pueden ser completamente transferidas al final de la fase amarilla.

En la fase verde, una parte relevante del ciclo, es la restante para la comunicación en tiempo no real (NRT), como TCP o UDP. Dicho tráfico tiene etiquetas de baja prioridad y retrasos muy variables. De hecho, el tráfico IP se utiliza para las transferencias de datos grandes, y en él, lo único importante es el ancho de banda. La fase PROFINET IO, de la NRT se ocupa al menos el 40% del ancho de banda total.

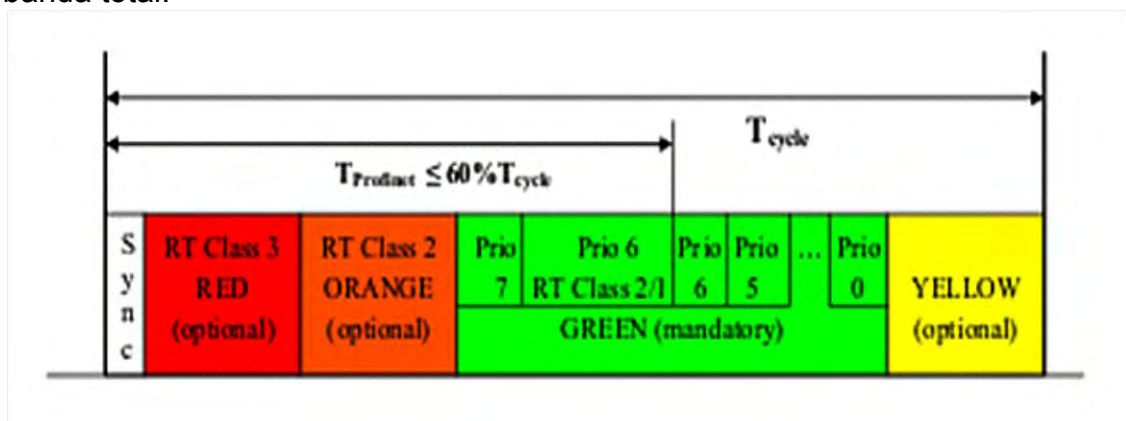


Figura 3.8 Ciclo de PROFINET IO.

No hay colisiones, no pueden ocurrir retardos dentro de RT_Class 3 ya que la secuencia de programación de cada ciclo es de antemano conocida y siempre idéntica. Las herramientas de ingeniería aplicadas a la configuración la red, calculan el viaje de cada trama en un ciclo, que es dato, para la programación del sistema en red. Esto significa que la infraestructura de la red, debe ser compatible con PROFINET IO, de hecho, se deben utilizar switches especiales, que poseen un potente microchip ASIC, que envían las tramas RT_Class 3 teniendo en cuenta solo el tiempo programado sin comprobar la dirección MAC. Por el contrario, en RT_Class 2, las tramas son transmitidas con el uso de las direcciones MAC, como es de costumbre. En el caso del tráfico fallido, las tramas RT_Class 2, pueden ser guardados para la próxima fase VERDE, RT_Class 2, que presenta una fluctuación superior a RT_Class 3. Normalmente, estos switches cumplen con PROFINET IO, y se integran directamente en nodos RT_Class 3. La introducción de un switch común, es decir, un switch "Store & Forward no es posible ya que podría afectar seriamente el rendimiento general.

Todo esto ya se podría haber hecho con los sistemas de buses de campo tradicionales, lo cual, tendría incorporado de esta manera los logros de Internet y el mundo del Wide Web, que han estado disponibles desde la década de 1980. Por lo tanto, lo que hoy en día vemos, ha sucedido a través de ésta rápida evolución de Ethernet en la automatización, y puede considerarse como una segunda ola de desarrollo del bus de campo, ya que se tienen en cuenta todos los logros tecnológicos de la última década, y se aprovechan para la comunicación a nivel de campo.

3.8 Instrumentos e investigación actual en RTE

Redes RTE son un ejemplo de tecnología emergente donde la investigación científica y el interés industrial convergen. Las redes RTE son un tema nuevo, y desde hace relativamente poco tiempo, están apareciendo en workshops. Además de una falta de conocimiento generalizado, la ausencia general de métodos e instrumentos específicos de medición, para su evaluación, caracterizan a las aplicaciones basadas en tiempo real [30].

En particular, es necesario un conjunto completo de parámetros específicos que caractericen a una aplicación basada en RTE, y esto no está definido aún. Por otra parte, aunque características derivadas de la Tecnología de Información y Comunicación (ICT) de campo parecen ser adecuadas, las metodologías de medición y los entornos de prueba a menudo no están disponibles. Por ejemplo, el ancho de banda y la latencia son bien conocidos y ampliamente utilizados en Ethernet e Internet, y parecen correctos para hacer una evaluación también en tiempo real, sin embargo la medición del ancho de banda real, es bastante difícil, porque depende de los datos y el estado de los nodos que están vinculados. Comúnmente en la actualidad, en el mejor de los casos, es considerado como dato el valor pico.

Con respecto a la latencia, normalmente se mide en una forma empírica, gracias a los instrumentos que miden el llamado "retraso de ida y vuelta", es decir se

define como el intervalo de tiempo entre la transmisión de tramas especiales y la recepción de los correspondientes reconocimientos. El método más famoso es el comando ping que está basado en ICMP (Internet Control Message Protocol). Obviamente, este método no es compatible con la resolución necesaria para las redes RTE. Lo citado anteriormente y tratado en IEC61784 sugiere algunos indicadores de resultados:

- Tiempo de entrega: el tiempo necesario para transmitir los datos de aplicación, de un nodo (fuente) a otro nodo (destino).
- El tiempo de sincronización preciso: la máxima desviación entre dos relojes de nodos.
- La precisión de sincronización no basada en tiempo: la máxima fluctuación del comportamiento cíclico de cualquiera de dos nodos, como es el comportamiento cíclico establecido a través de eventos periódicos en la red. Este es el caso de algunos protocolos de RTE, que utilizan el envío de mensajes en la red para indicar el inicio de un ciclo. En estos protocolos la distribución de una señal de reloj de referencia común no es necesaria.
- Tiempo de recuperación redundante: el tiempo máximo desde la falla hasta volver de nuevo a estar operativo.
- Rendimiento de RTE: la cantidad total de datos de RTE (por longitud del octeto) sobre un enlace por segundo.
- Ancho de banda en No RTE: el porcentaje de ancho de banda, que se puede utilizar para la comunicación en no RTE sobre un enlace. El ancho de banda total del enlace también está especificado, ya que están relacionados entre sí.

Por otra parte, se pueden utilizar otros varios indicadores, como por ejemplo:

- "Tiempo de recorrido de pila" es el tiempo requerido por los datos para que pasen a través de la pila de comunicación desde arriba (Capa de aplicación) hasta la parte inferior (capa física).
- "Tiempo de Reacción al Evento" es el tiempo requerido por el sistema para reconocer un evento externo, por ejemplo, un cambio de entrada, y generar una acción de respuesta. Este tiempo es muy importante en las aplicaciones prácticas y depende mucho del nivel de implementación de la aplicación.

Como la evaluación experimental de estos indicadores es muy difícil en una planta industrial, la actividad de investigación se centra en proporcionar herramientas de simulación. Simuladores de red como OPNET, o OMNeT ++, no soportan protocolos de RTE, por lo tanto con gran esfuerzo, se trabaja en desarrollar un modelo efectivo para un nodo RTE.

En cuanto a los instrumentos de medición, en el campo de las ICT, algunos instrumentos que se utilizan para asociar una referencia de tiempo para Tramas Ethernet, van desde:

- Los instrumentos basados en PC como Wireshark (antes Ethereal), el bien conocido software analizador de redes, con la resolución en el orden de 0,1 ms, hasta,

- Los analizadores de redes de alto rendimiento, que permiten una resolución temporal del orden de décimas de nanosegundos que podrían ser adecuados para las redes RTE. Por otra parte los límites están en lo compacto, el costo, y en la solidez, que requiere normalmente el entorno industrial.

A modo de ejemplo de nuevos instrumentos, en la Universidad de Waikato en Nueva Zelanda han desarrollado un nuevo instrumento basado en dispositivos lógicos programables que añade marcas de tiempo a cada paquete de Ethernet. En la actualidad cerca de 100 de estos instrumentos, sincronizado por GPS, se utilizan en todo el mundo para el análisis estadístico del tráfico en Internet. Como los instrumentos basados en software no son adecuados y los analizadores de red permiten sólo una medición costosa y localizada, a menudo la caracterización del rendimiento RTE se realiza mediante las señales de entrada y salida, por ejemplo: midiendo el tiempo de reacción a un evento, con respeto a ese evento externo.

Para el desarrollo de instrumentos adaptados a las redes RTE, debe ser considerado un enfoque de múltiples sondas que aprovechan la evolución reciente de la tecnología FPGA y en la disponibilidad de los procesadores de red. De hecho, por medio de una arquitectura multi-sonda, es posible experimentalmente medir los tiempos de retraso (es decir, a través de un switch) y verificar la sincronización entre los nodos.

3.8.1 Un ejemplo de nuevo sistema de medición

Un instrumento nuevo y de bajo costo, —el "multi-sonda" ha sido recientemente propuesto [31]. La arquitectura general se muestra en la figura 3.9. El instrumento puede ser visto como una red de sondas diseñadas para registrar al mismo tiempo, el tráfico Ethernet en diferentes enlaces de una red RTE. Esta red "paralela", llamada red de medición, transmite los datos, registrados por las sondas, hacia un equipo de supervisión, denominado estación de monitoreo. Las sondas son consultadas para asociar una marca de tiempo confiable de cada trama que transita en el enlace Ethernet, enviándolo hacia el monitor. Esto da lugar a una especial arquitectura de sondas, que permite el registro del RTE full-duplex, junto con la estricta sincronización de tiempo entre las sondas. La estación monitor debe almacenar y elaborar todos los datos entrantes, por lo que el único punto crítico es el ancho de banda del sistema, que tiene la capacidad de gestionar todos los datos, sin pérdida de tramas. De hecho, las tramas de registro y las marcas de tiempo de los datos correspondientes, deben ser transferidas, lo que da como resultado un rápido crecimiento del ancho de banda.

En general, si se consideran protocolos RTE, 100BaseT de gran ancho de banda, la red de medición debe trabajar con 1000BaseT o más.

La arquitectura del instrumento, fue limitada en los costos, esto llevó a que las sondas fueran basadas en FPGA de un solo chip y con una sola estación monitor, realizada usando una PC. Por otra parte, la estación de monitoreo puede utilizar

programas de código abierto como el WireShark citado anteriormente. El tiempo de prueba local está constantemente sincronizado con un reloj de referencia local a través de un oscilador, con cristal, para mitigar diferentes variaciones (temperatura, envejecimiento, etc.). Ver esquema en la siguiente figura.

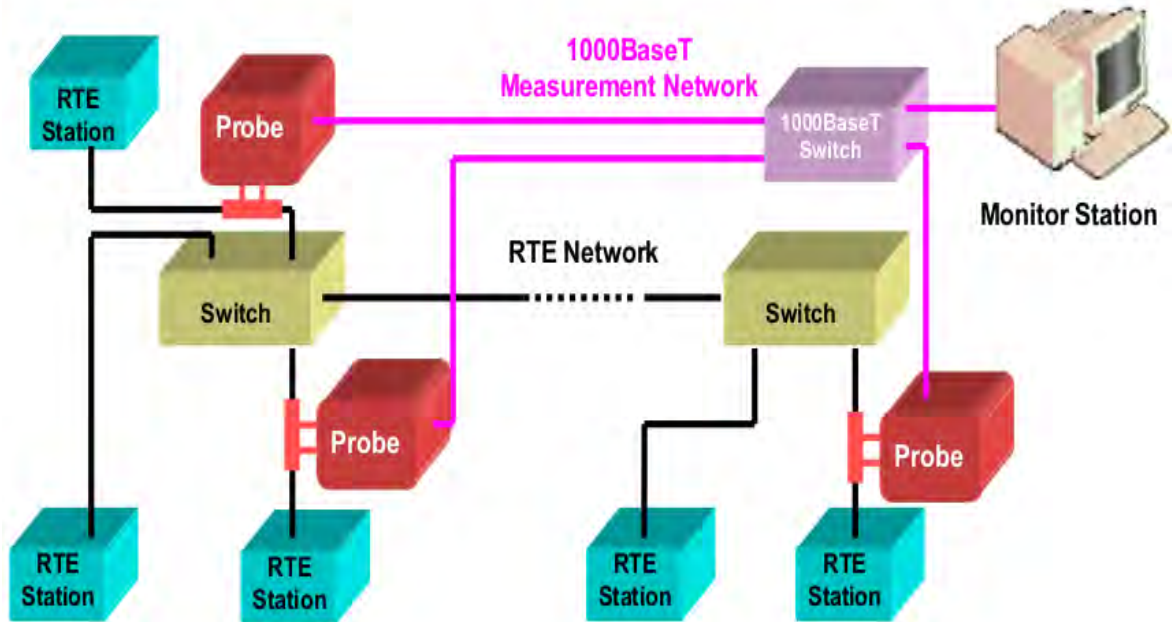


Figura 3.9 Arquitectura general del nuevo instrumento multi-sonda

Capítulo 4 Introducción de las Redes Inalámbricas en la Industria

Se analiza en este capítulo la lógica evolución que llevo a las redes inalámbricas a introducirse en la industria con sus problemáticas y limitaciones.

Además se introduce el concepto de redes híbridas de gran futuro en aéreas de expansión para empresas ya instaladas.

4.1 Análisis de las redes inalámbricas en el entorno industrial

El siguiente paso en la evolución de la comunicación a nivel de campo fue la inclusión de las redes inalámbricas. Esto ha sido un tema difícil de investigación durante mucho tiempo y todavía está lejos de haberse agotado.

A diferencia de Ethernet Industrial, que es ampliamente visto como un reemplazo a largo plazo de los clásicos sistemas de bus de campo, en este momento no es de esperar que las redes inalámbricas sustituyan completamente a las redes de automatización por cable. Más bien, se complementarán en caso necesario y razonable. Sistemas inalámbricos puros, como en el caso de redes de sensores inalámbricos con un gran número de nodos y con topologías fuertemente variables o indeterminada en el tiempo, son un ejemplo extremo y no es típico para aplicaciones de automatización en cualquier de sus formas. El caso habitual será que los sistemas inalámbricos y con cable interactúen formando una “red híbrida” con el requisito de un gran intercambio de datos en forma transparente.

Para las redes a nivel de campo, una interesante tendencia se puede observar en aplicaciones de automatización. En la época clásica de bus de campo, fue muy común desarrollar nuevas tecnologías de comunicación completamente desde cero, incluida también la parte inferior de las capas OSI. Esto ha cambiado en los últimos años, la idea común ahora es que para lograr costos razonables no vale la pena desarrollar nuevas tecnologías de comunicación, ya que es mucho mejor depender de las normas, siempre que sea posible.

Esta actitud puede ser vista como el factor predominante en la amplia aceptación de Ethernet en la automatización. La tendencia de la reutilización las tecnologías estándar, también juega un papel importante en la el dominio inalámbrico. Aparte de las soluciones específicas de desarrollos comerciales de propiedad, la industria favorece los estándares inalámbricos, por lo menos para el protocolo de capas menores [32]. Lo más interesante de las tecnologías inalámbricas en la actualidad, puede observarse en la siguiente lista:

1. IEEE 802.11, LAN inalámbrica (WLAN) en sus múltiples facetas. Este es el estándar de hecho para las redes inalámbricas en la zona de las oficinas y es visto como una extensión natural inalámbrica de Ethernet. Por lo tanto, también se emplea en el campo de la automatización.
2. IEEE 802.15.4, red inalámbrica de área personal (WPAN), en particular con el protocolo de capas superior adicional de ZigBee. Este es el candidato más prometedor para redes de sensores inalámbricos por su capacidad de ahorro de energía y por lo tanto, especialmente

interesante en el campo de la automatización. Es también la base para Wireless HART, y la norma más completa ISA 100.11a, que todavía ésta en construcción.

3. IEEE 802.15.1, Bluetooth es ampliamente utilizado en la industria de la automatización, aunque la versión 1 se limita a redes de corto alcance. Sin embargo, la versión 2 supera la restricción de este rango.
4. IEEE 802.16, WiMAX es un estándar de banda ancha que tiene por objeto redes de largo alcance. En la actualidad no es comúnmente utilizada en la automatización, pero puede ser interesante en el futuro.
5. UWB, banda ultra ancha, anteriormente IEEE 802.15.3a, es un conjunto de las tecnologías de capa física que proporcionan altas velocidades de datos para las redes de corto alcance. La situación de la actual estandarización no está totalmente clara, ya que podría, volverse interesante en la forma de tecnología inalámbrica del bus serie universal (USB) y Bluetooth 3.0.

Para mantener la máxima compatibilidad con las actuales redes de cables de nivel de campo, es conveniente adoptar la estrategia de Ethernet Industrial, y utilizar sólo las capas inferiores de las tecnologías de red inalámbrica (estas son las que suelen estar mejor estandarizadas). Las capas de protocolo más alto, se podrían tomar de redes cableadas a nivel de campo.

La aplicación de la actual Ethernet basada en redes de campo, puesta dentro de la tecnología inalámbrica, parece ser muy sencilla siguiendo el camino de las soluciones implementadas a través de Ethernet normal. Con la encapsulación TCP/UDP de las capas de aplicación de bus de campo (ver Figura 3.7), tales como Ethernet/IP con el CIP o MODBUS. En estos casos, Ethernet podría ser sustituida por la tecnología inalámbrica proporcionando un canal IP.

Por supuesto que la disponibilidad de una capa IP, no es un problema en las diferentes tecnologías que actualmente se consideran en las redes wireless de automatización. Existen para WLAN, pero en WPAN no son de forma nativa, así el trabajo actual en 6LoWPAN, que es, IPv6 sobre WPAN, y en particular, IEEE 802.15.4, mitigará este problema.

Los protocolos de Ethernet Industrial que no usan —IP en la capa de red, necesitan un protocolo de capa intermedia para adaptar las interfaces de enlace de datos de la conexión inalámbrica, con la capa de aplicación del bus de campo. De todas formas, la interconexión de las dos tecnologías de comunicación se puede lograr, si es necesario, por medio de un puente que enfoque la traducción entre las capas de enlace de datos y las capas más altas para lograr ser transparente, en particular para la capa de aplicación.

Los servicios que son ofrecidos por las capas wireless pueden imponer restricciones. WPAN, por ejemplo, tiene una estructura centralizada inherente, y lo hace difícil para la implementación de servicios de multidifusión, los cuales son necesarios para los modelos de comunicación tipo productor/consumidor de uso general.

Generalmente las propiedades de tiempo no se conservan fácilmente a través de

un puente que conecta el segmento de cable con la red inalámbrica. Esto es aún más evidente si las redes de cable sobre el terreno usan agregados de programación en la parte superior de las capas Ethernet para lograr cualidades específicas en tiempo real, o si las capas de Ethernet como tal se modifican.

Para obtener funcionalidades similares, se necesita también modificaciones del sistema inalámbrico, por ejemplo, con algún mecanismo de priorización en la parte superior de las capas de IEEE 802.11. Además se debe considerar las reducciones de rendimiento que requiere el paso de cableado a inalámbrico. Sin embargo, la reutilización de la capa de aplicación podría ser beneficiosa aún si el rendimiento de la contra parte por cable no pudiera ser alcanzado [33]. Por otra parte Ethernet Industrial, con un canal paralelo IP, (si es posible en el caso particular) podría proveer el tráfico no programado, para acceder a los dispositivos de campo, por ejemplo, con propósitos de configuración a través de tecnologías Web.

La última opción es renunciar a la capa de aplicación del protocolo (o la mayor parte de ella) y mantener únicamente los modelos de datos de la red cableada de nivel de campo, y/o los perfiles que puedan existir en la parte superior de la misma. La red de comunicación inalámbrica puede ser cualquiera, y la interconexión entre redes cableadas e inalámbricas debe lograr un alto nivel de prestación por medio de una puerta de enlace. No es posible en este caso, ajustarse a todo lo deseable con respecto al momento de la transferencia de datos (tiempo) entre los segmentos, pero por lo menos la transferencia de la información puede lograrse adecuadamente.

4.2 Redes de automatización híbridas en la industria

Desde un punto de vista topológico, puede suponerse que la automatización seguirá requiriendo de redes estructuradas, incluso si son en parte inalámbricas. Una configuración típica por lo tanto, consistirá en una jerarquía de dos niveles con una red inalámbrica en el nivel más bajo (el terreno), y una red cableada como la espina dorsal a nivel de campo, basada en Ethernet probablemente, como se muestra en la figura 4.1.

Los segmentos inalámbricos no se organizan en la forma de punto a punto, sino que tendrán cada uno un punto central de acceso, y a través de éste, estarán conectados a la red troncal, que generalmente pertenecerá al nivel medio de la pirámide de automatización (como se muestra en la figura 3.4).

A su vez, la columna vertebral a nivel de campo, por lo general estará conectada a una red de la empresa mediante algún tipo de puerta de enlace. En el ámbito de la empresa, los datos sobre el terreno se recogerán y serán transformados para fines distintos, incluyendo los recursos de planificación, control de calidad, etc.

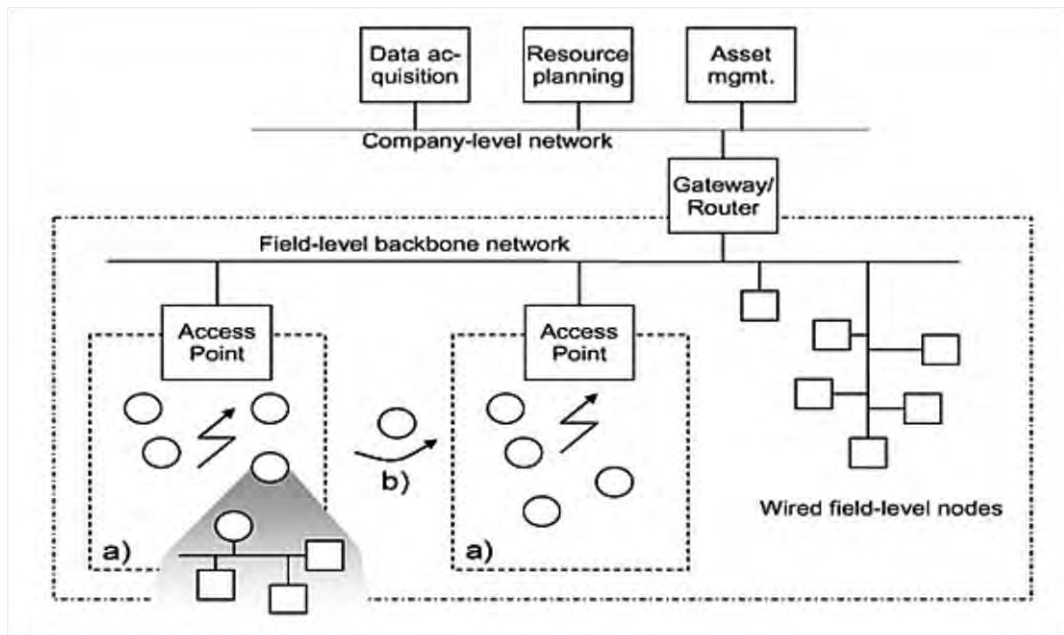


Figura 4.1 (a) híbrido por cable / topología de la red inalámbrica con grupos aislados inalámbricos. (b) múltiples células de radio que requieren la integración y el enlace de nodos móviles.

Dependiendo de los requisitos del nivel de aplicación, hay dos posibilidades con respecto a la interacción de los segmentos inalámbricos.

1) La primera y más sencilla es que los grupos móviles puedan ser totalmente independientes y formen islas autónomas que no necesitan de intercambio de datos, al menos no con los requisitos de tiempo real (ver parte “a” de la figura 4.1). En este caso, la interconexión entre el cable y los segmentos inalámbricos se pueden basar en los puentes como se mencionó anteriormente, para tomar ventaja y lograr transparencia con las capas superiores del protocolo. Por otra parte, los grupos inalámbricos también pueden tener un protocolo diferente por completo, posiblemente muy simple, y el punto de acceso, puede actuar como una puerta de entrada de interfaz con los niveles superiores de la jerarquía de la red. Desde los grupos inalámbricos individuales no se necesita una interacción directa entre ellos, y los retrasos que se introducen por la traducción de protocolos y transmisión de datos en las pasarelas, no son relevantes.

Para acelerar el intercambio de datos y separar mejor los mecanismos de dichos intercambios a ambos lados de la puerta de enlace, la aplicación del punto de acceso, también puede presentar como estrategia el almacenamiento en caché.

Este escenario aislado de redes inalámbricas es muy prometedor, por ejemplo, en la automatización de edificios, donde los sensores y actuadores que sólo cooperan dentro de una habitación, se pueden conectar con una red de sensores de bajo costo, mientras que los controladores de la habitación individual, se conectarán a través de una red de base cableada Ethernet/IP, utilizando el cableado estructurado que está presente para IT de todos modos.

2) Las cosas son más complejas si varios segmentos inalámbricos necesitan estar integrados de manera adecuada y sin áreas o nodos no cubiertos convenientemente. Esto puede ser el caso de grandes instalaciones, donde son

necesarios varios puntos de acceso para cubrir toda un área y la aplicación de automatización no puede ser dividida en islas independientes (ver parte “b” de la figura 4.1). La situación se vuelve aún más complicada si deben tenerse en cuenta los nodos móviles, que pueden desplazarse entre puntos de acceso. Este escenario es típico en aplicaciones industriales, por ejemplo: en fabricas, en plataformas móviles, en vehículos para transporte, o en productos para medios de ensamblado que están dotados de contenedores de datos inalámbricos que guían el proceso de fabricación. En tal caso, ya no es factible un enfoque relativamente simple con puerta de enlace en la red, y los puntos de acceso tendrán la necesidad de una sincronización adecuada para mantener la coherencia en todo. Es obligatorio en este caso llegar a una solución que garantice un correcto enlace de las diferentes capas del protocolo, y logre que la aplicación sea coherente.

Pero esto solo no es suficiente, ya que la parte inalámbrica de la red, junto con el backbone y también posiblemente dispositivos de campo de cableado convencional, deben formar un dominio uniforme con requisitos estrictos de tiempo. Esto también puede incluir pequeños segmentos remotos que se conectan a través de un enlace inalámbrico (como en la esquina izquierda de la figura 4.1, parte a).

Para permitir la integración sin fisuras de las múltiples redes wireless y segmentos de cable, mientras se sigue manteniendo la compatibilidad con los actuales estándares de comunicación en las capas inferiores del protocolo y se prueben sobre el terreno diferentes protocolos de aplicación en las capas altas, las capas adicionales de software se añaden a la arquitectura de comunicación en forma de middleware, como ejemplo tenemos el proyecto de investigación europeo Flexware. Este proyecto se refiere específicamente a las infraestructuras de redes WLAN en ambientes industriales, pero el concepto es más genérico. Un requisito esencial es que la infraestructura de red puede ser transparente al cambiar entre puntos de acceso. Esto es evidente si los nodos son móviles, pero también el roaming puede ser inducido por cambios en las condiciones de enlace radial, ya que especialmente en entornos industriales, la calidad de los enlaces de comunicación puede cambiar con el tiempo. Para obtener la suficiente flexibilidad, los puntos de acceso tienen que interactuar para organizar este roaming entre agrupaciones [34].

El roaming dentro de las redes inalámbricas en tiempo real, también puede apoyarse en el conocimiento de la ubicación de los nodos, de tal forma que la entrega de datos de un nodo, hacia su actual punto de acceso, pueda cambiar a otro de estos puntos, y todo esto pueda ser previamente programado al hacer reservas adecuadas de ancho de banda cuando un nodo se acerca al borde de su celda, y comienza a pasar al área (celda) gobernada por otro punto de acceso. Este roaming predecible, también evitará que canales activos de comunicación sean interrumpidos cuando un nodo atraviesa la frontera entre diferentes puntos de acceso. Un requisito previo es, por supuesto, que las redes inalámbricas no estén totalmente cargadas y que haya suficientes recursos disponibles en las celdas adyacentes.

Un posible enfoque de arquitectura genérica para apoyar las mencionadas

características se muestra en la siguiente figura. El middleware de comunicación central, se encarga de la coordinación entre los nodos para la interfaz de los segmentos móviles y garantiza la transmisión de datos a través del sistema. Utiliza además los servicios de varios módulos adicionales, que son:

- 1) La gestión de los recursos es responsable del roaming, el control de la comunicación en tiempo real y recursos de ancho de banda, la comunicación entre puntos de acceso, así como la gestión de la red.
- 2) La sincronización de los relojes virtuales en todo el sistema, establece una noción de tiempo que facilita la planificación de los recursos globales, así como la localización de los nodos inalámbricos. Para lograr la precisión apropiada, lo que se necesita es la determinación de la posición, y la sincronización del reloj está basada en un estampado de tiempo asistido por hardware, que se implementa en paralelo a las capas inferiores del protocolo de comunicación.
- 3) El middleware calcula, la posición física real, la posición de un nodo en un mapa para el roaming predecible por medio del seguimiento de la trayectoria, y además, la coincidencia acerca de la posición que puede ser utilizada para implementar diversos servicios basados en la localización.

En esta arquitectura, las capas reales del protocolo de comunicación pueden mantenerse conforme a las normas existentes. La interacción entre el middleware y el protocolo de la pila, en gran medida se realiza a través de la gestión de la red, tal vez con la ayuda de una capa de interfaz adicional en la parte superior de la capa de enlace de datos.

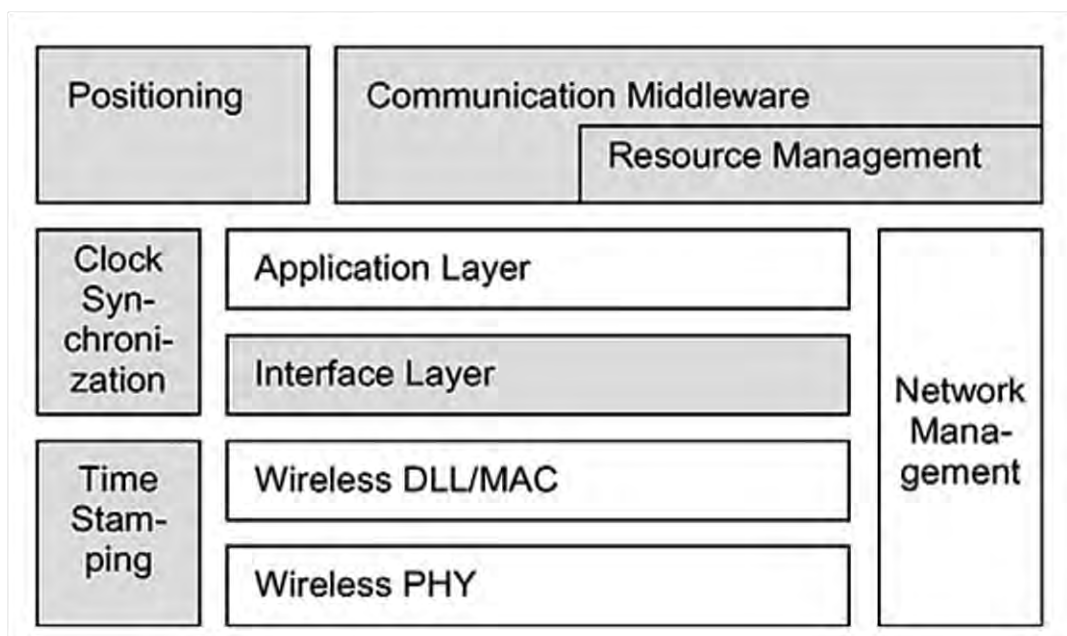


Figura 4.2. Protocolo y la arquitectura de middleware para apoyar la integración sin fisuras de múltiples segmentos inalámbricos basados en el seguimiento de nodo.

Capítulo 5 Redes inalámbricas para sensores

En este capítulo se desarrolla el análisis de las características que las hacen distintivas, teniendo en cuenta que las redes de sensores en el ámbito industrial, son especialmente vulnerables.

5.1 El tiempo de las redes inalámbricas para sensores

Como se señaló anteriormente, las redes de sensores tradicionales ofrecen muchas ventajas, pero requieren de cables para interconectar dispositivos. Estos conducen a los altos costos de instalación y mantenimiento, por ejemplo, debido a la escalabilidad baja y alta tasa de fallos en los conectores. Por esta razón, las tecnologías inalámbricas han logrado un éxito enorme en la industria en los últimos años [35]. Además, la adopción de soluciones inalámbricas a nivel de sensor ofrecen otras ventajas como la alta resolución, medición en muchos lugares al mismo tiempo, ofrecen apoyo a la movilidad de equipos, añade redundancia y se aprovecha de la tecnología de Sistemas Micro-Electro-Mecánicos MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems).

Desde el punto de vista de las conocidas tecnologías de telefonía móvil, (GSM, GPRS y UMTS), dos normas han monopolizado el mercado de las Redes de Área Local LAN y Personal PAN, la IEEE802.11, y la IEEE802.15.1 [36].

La primera es la contra parte móvil de la norma Ethernet, implementada en los niveles bajos de Wi-Fi.

Mientras que la segunda constituye los niveles más bajos de la solución propietaria de Bluetooth (BT).

El principal atractivo de ambas es que no requieren ningún tipo de licencias de frecuencias por operar en la región de radiofrecuencias ISM (Industrial, Científica y Médica) [37]. Sin embargo, Wi-Fi y BT se han diseñado para cumplir con los requisitos de comunicación de oficina y personal, y no pueden ser eficientemente utilizadas en Redes Inalámbricas de Sensores (WSN), como se analizara a continuación.

Las ventajas debido a la ausencia de cables puede ser conveniente para explotar en varios campos, y muchos esfuerzos se han hecho en este sentido. Por ejemplo, en el pasado estos desarrollos surgieron en el sector agrícola, y se reunieron en la llamada "agricultura de precisión", que se concentro en proporcionar los medios para observar, evaluar y controlar las prácticas agrícolas. De esta manera, el objetivo fue posibilitar la detección de parásitos en el campo y elegir automáticamente el mejor tipo de insecticida, y la cantidad necesaria. Otro campo de gran importancia y de mucho auge actualmente, es la utilización de las tecnologías móviles en el seguimiento del medio ambiente, así es posible por ejemplo, monitorizar la calidad del aire en tiempo real, por medio de estaciones que recogen los datos en los lugares de difícil presencia humana.

Como ya se dijo, otra aplicación interesante es en el ámbito de las "estructuras inteligentes", que incluye las viviendas y la automatización de edificios, en este

último caso, un sensor inalámbrico y la red de actuadores está integrada dentro del edificio para mejorar las condiciones de vida humana, y reducir el consumo total de energía. También "La atención médica y la salud" son campos en los que se han utilizado las WSNs con éxito, por ejemplo, es posible asegurar el monitoreo de los pacientes continuamente sin limitar su movilidad.

5.2 Redes Inalámbricas de Sensores

Las comunicaciones inalámbricas son una solución eficaz y confiable en la automatización del hogar y la oficina, en tal sentido, varios medios de transmisión de señales podrían utilizarse, incluyendo la luz y el ultrasonido, pero haciendo una comparación entre ellos, con respecto al posible tráfico de datos, los precios y el área de cobertura, terminan finalmente siendo más atractivos los enlaces de Radio Frecuencia (RF). Muchas normas se han propuesto para satisfacer las exigencias de las aplicaciones en WSN, como lo demuestran los subgrupos IEEE802 que hacen frente a estos temas (ver la siguiente figura), pero el más interesante para estas aplicaciones probablemente sean los que forman parte de la IEEE802.15, los cuales centran su esfuerzo en el desarrollo de Las Redes de Área Personal o de Redes Inalámbricas de Corta Distancia (de aproximadamente 10 metros) [39].

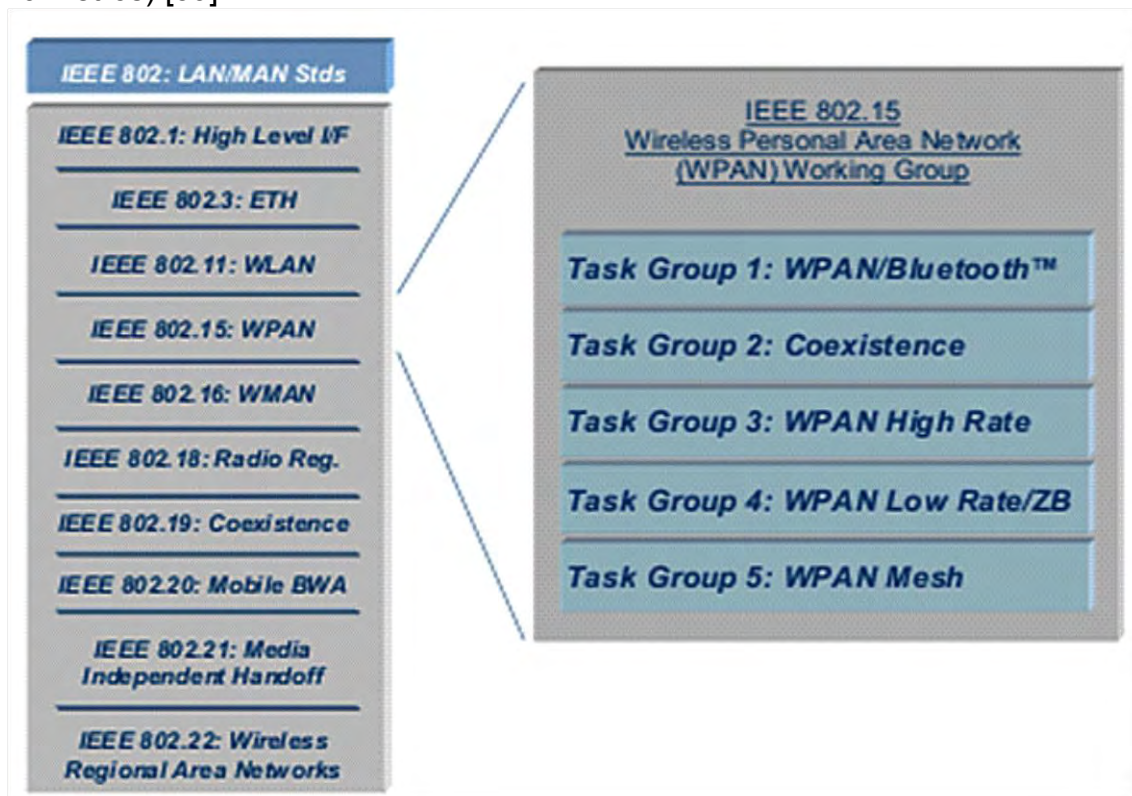


Figura 5.1 Las normas de la familia IEEE802 inalámbrica.

En particular, aquí se define el concepto de espacio de maniobra personal, una región esférica que rodea al dispositivo de una red inalámbrica con un radio de 10 metros. Aún siendo diseñado originalmente para equipos portátiles y dispositivos móviles de computación tales como PCs, Personal Asistentes Digitales (PDAs),

teléfonos celulares, localizadores, y la —electrónica de consumo”, puede ser aplicado con éxito a redes inalámbricas de sensores WSN. Sin embargo, hay que subrayar que las aplicaciones a gran escala en el área de redes de sensores están todavía en etapa de desarrollo.

Es importante distinguir entre la idea detrás del concepto WSN, y las implicaciones relacionadas con el escenario industrial, que se describirán luego con más detalle. Desde un punto de vista general, una WSN se compone de un gran número de pequeños dispositivos (sensores), que están densamente desplegados y colaboran para monitorear y analizar uno o varios fenómenos de interés. Debido a los costos de estos dispositivos, y la dimensión impuesta, se tienen limitados recursos computacionales, el consumo de energía debe ser tan bajo como sea posible para asegurar verdaderamente una actividad autónoma. También, los sensores pueden ser colocados aleatoriamente por lo que se requiere una segura localización y capacidad de auto-organización. Además de estas cuestiones consideradas, hay otras particularidades que deben ser consideradas en un sistema inalámbrico, como ser la seguridad que es un aspecto clave ya que el aire es un medio abierto y es fácil para un atacante malicioso hacer que las transmisiones del enlace sean poco confiables, modificándolas o inyectando secuencias de atasco.

El diagrama de bloques de un nodo de sensores inalámbricos es representado en la siguiente figura.

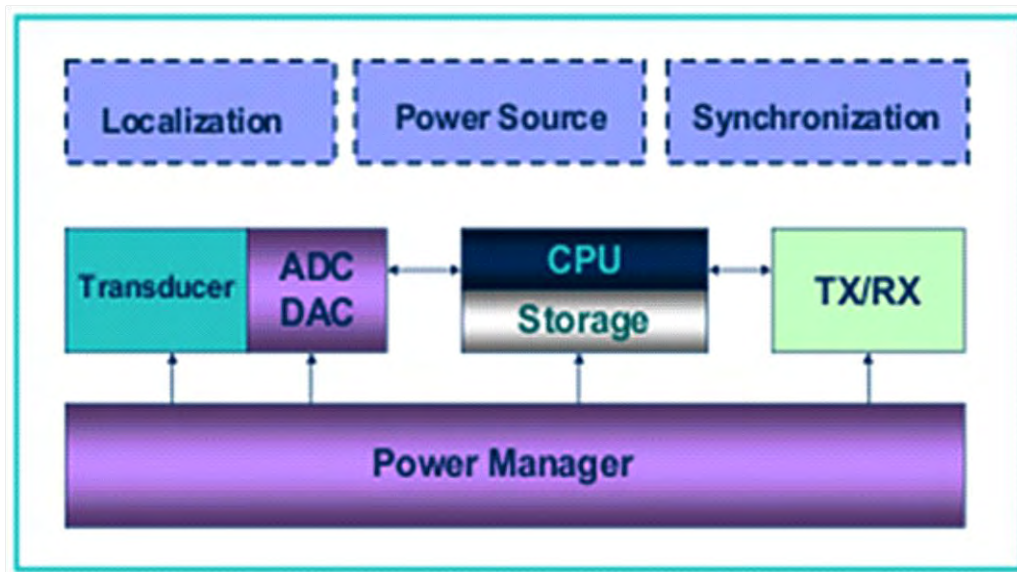


Figura 5.2 Transductor inalámbrico diagrama de bloques.

Como cualquier sensor inteligente, un transductor inalámbrico consiste en tres partes principales: una unidad de detección, una unidad de proceso y una unidad transceptora. Además, un administrador de energía es utilizado para manejar la fuente de alimentación interna, como baterías electroquímicas u otras unidades de energía. Por otro lado, la mayor parte de las tareas realizadas requieren también del conocimiento de posiciones y del tiempo, proporcionando una localización adecuada y contando con unidades de sincronización. Muchos

investigadores están participando actualmente en el diseño de sistemas o arreglos comerciales (de propiedad intelectual), que cumplan con tales requisitos, cada uno con sus ventajas y sus desventajas. Sin embargo, según los propios autores, la solución más prometedora es la de adaptarse a las soluciones estándares, ya que están disponibles en el mercado y pueden aprovecharse de la producción en grandes volúmenes, con tecnologías maduras, para la aplicación.

5.3 Aspectos físicos destacados

A continuación se detallarán algunos de los aspectos más importantes, relacionados con el consumo de energía, la localización y la arquitectura de comunicación, mientras que luego, será considerado el escenario industrial [40].

5.3.1 Consumo de energía

El consumo de energía de un nodo de sensores inalámbricos puede ser dividido en tres partes diferentes:

- la detección,
- el procesamiento, y
- la comunicación.

El primero de ellos está estrictamente relacionado con la aplicación y en la mayoría de los casos es despreciable frente a los otros considerados. Por lo que respecta al procesamiento de datos, por lo general el consumo del procesador disminuye durante su fase activa en un orden de magnitud o menos, si se lo compara con la energía necesaria en la fase de comunicación. Suponiendo un desvanecimiento de la señal según una distribución de Rayleigh y una ley de pérdida de cuarto orden, la energía necesaria para transmitir más de un 1Kbit a una distancia de 100 m es aproximadamente la misma que la de ejecución de 3 millones de operaciones de procesador por un 100 MIPS / W. Desde otro punto de vista, es conveniente implementar algoritmos complejos si esto da como resultado menos datos por paquetes y/o un enlace de datos más robusto, que requiera menos retransmisiones. Una característica bien conocida es que el consumo (P) es proporcional a la tensión de alimentación (V_{dd}), y a la frecuencia de operación (f), es decir:

$$P \equiv V_{dd} \cdot f$$

Esta relación sugiere dos estrategias para reducir el consumo: la escala de tensión dinámica, es decir, la reducción de la tensión de alimentación V_{dd} lo más bajo posible, y cambiar la frecuencia f de reloj de la CPU de acuerdo a la carga computacional (por lo general, se utiliza un microprocesador con un oscilador de baja y alta frecuencia en la fase de reposo y fase activa respectivamente).

De acuerdo con lo mencionado, la unidad más exigente es el transmisor-receptor (comunicación). Si tenemos en cuenta el corto alcance (≈ 10 m), en los sistemas

que operan en el rango de GHz con potencia de radiación baja (≈ 0 dBm), la energía necesaria para transmitir es casi la misma que la requerida para la recepción de datos.

Como los dispositivos pasan la mayor parte de su tiempo sin hacer nada, lo que significa que las estrategias de bajo ciclo de trabajo, probablemente se pueden aplicar como solución adecuada para los nodos con suministro de energía a batería. Lo que realmente importa en los sensores inalámbricos, es el promedio de consumo de corriente I_{cc} , por este motivo, resulta fundamental evaluar no sólo la potencia activa, sino también el consumo en modo de espera, y de duración de la fase de puesta en marcha.

Las baterías electroquímicas son probablemente las más económicas y las más versátiles fuentes de energía de pequeñas dimensiones. En tal sentido cabe mencionar que el descuidar el auto-consumo de la unidad de energía, incide sobre la duración de la batería en horas, que está definido como el tiempo transcurrido hasta que la tensión de la misma cae por debajo de un umbral (voltaje de corte).

Las baterías se dividen en primarias o de células no recargables, y las de células secundarias, de acuerdo con electrolito aprobado (NiCd, NiMH, LiION ...), que ofrecen una tensión nominal en el orden de 1.2 – 3.6V, y capacidad hasta 3Ah para el formato AA.

5.3.2 Localización

Las WSN se ven limitadas por la energía consumida, el costo de instalación y su uso específico. La localización es por lo general realizada con el mismo transmisor-receptor de radio que también se utiliza para la comunicación entre los nodos. Si son necesarios altos rendimientos es posible adoptar otras técnicas como el GPS, cuyo costo se justifica sólo en algunas aplicaciones. La idea base se trata de utilizar adecuadamente el “Indicador de Intensidad de Señal de Recepción” (RSSI), una característica estándar en la mayoría de los radios.

Dos enfoques son comúnmente aceptados en la literatura: mapas RSSI y Modelos de Propagación de Señal.

Muchas mediciones RSSI en diferentes lugares forman el llamado mapa RSSI, que se almacena en un nodo o en una estación base. Un nodo que quiere valorar su posición compara los valores medidos de RSSI con las entradas en el mapa RSSI. La posición con mayor igualdad respecto de la entrada será la seleccionada. Aunque la precisión de esta técnica es relativamente alta, los movimientos de los objetos o las personas hacen necesaria la recreación (reconstrucción periódica) del mapa, lo que requiere mucho tiempo.

Como alternativa a RSSI, han sido establecidos modelos matemáticos de propagación de la señal, que se utilizan para evaluar el poder de atenuación y su correlato de la distancia con respecto a puntos de anclaje, pero no son muy confiables, ya que no siempre se consideran los obstáculos, como son por ejemplo las paredes.

Campañas experimentales señalaron que RSSI fluctúa tanto por causas intrínsecas como extrínsecas, tales como:

- Variabilidad del transmisor: transmisores diferentes se comportan de manera diferente, incluso cuando se configuran exactamente de la misma manera.
- Variabilidad del Receptor: diferentes receptores se comportan diferente, incluso cuando todos los parámetros del medio ambiente son los mismos.
- Orientación de la Antena: diferentes antenas tienen sus propios patrones de radiación.
- Multi-desvanecimiento y sombreado en el canal de RF: el comportamiento del canal depende en gran medida de las características del medio ambiente.

Este método RSSI basado en el alcance y localización puede ser una alternativa barata y eficaz respecto de los costos más elevados o mayor complejidad de otras técnicas como el GPS, pero sólo cuando se aplica en el entorno adecuado. Se ha demostrado que los nodos deben estar elevados del suelo y libres de obstrucciones, además, la transmisión de señal, orientación de la antena y la densidad de nodos afecta en gran medida a la precisión. Debido a estas muy estrictas limitaciones, la localización con RSSI será de aplicación limitada en entornos desconocidos o cambiantes, a menos que el sistema pueda ser activado, para poder ajustarse automáticamente a parámetros tales como intensidad de la señal y diferentes coeficientes de calibración.

Como breve conclusión, la localización es un tema candente en Redes Inalámbricas de Sensores, sobre todo cuando se necesita movilidad, y sigue siendo una tarea ardua tanto en lo referido a investigación como también a los costos que involucra. Varios investigadores participan en este campo y aun no existe una solución transparente.

5.3.3 Arquitectura de red de sensores inalámbricas

En una clasificación preliminar de la arquitectura de redes inalámbricas de sensores se pueden distinguir dos tipos de redes: a) de infraestructura, y b) las llamadas ad-hoc (ver figura 5.3).

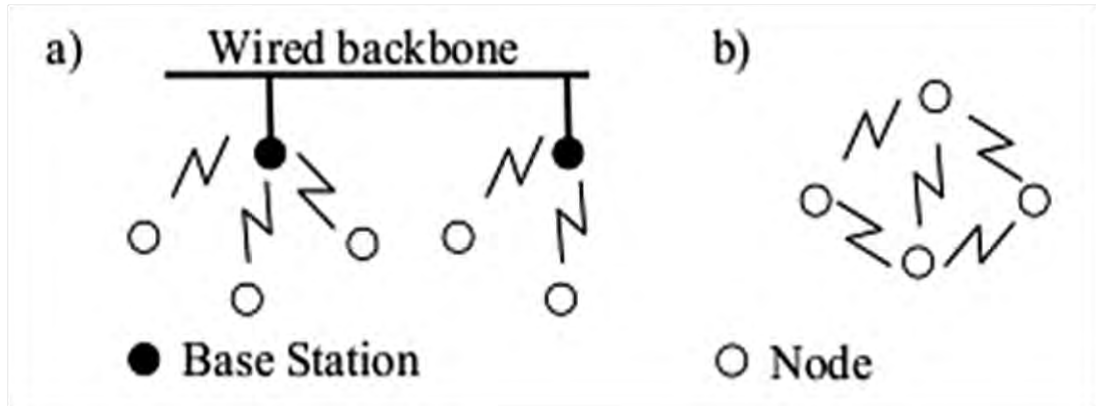


Figura 5.3 a) Infraestructura y b) arquitectura ad-hoc de WSN.

5.3.3.1 Infraestructura

Las redes inalámbricas extienden, habitualmente, en lugar de reemplazar redes cableadas, y se conocen con el nombre de redes de infraestructuras [41]. Una jerarquía de área amplia y área local cableada de redes, se utiliza como la red troncal. El cable backbone se conecta a los nodos switch especiales llamados —Estaciones Base—. Dentro de las redes de infraestructura, la tecnología inalámbrica de acceso desde y hacia el nodo, se produce en el último salto, entre las estaciones base y los nodos, que comparten el ancho de banda del canal inalámbrico [42].

5.3.3.2 Ad-hoc

Las redes ad-hoc, por el contrario, son redes inalámbricas multi-salto (multi-hop) en las que un conjunto de nodos cooperan para mantener la conectividad de la red. Esta arquitectura de red bajo demanda, está completamente libre de los cables físicos. Se caracterizan por su topología, dinámica e impredecible, se desarrolla al azar, es multi-salto (multi-hop) y no posee el soporte de la infraestructura. Los nodos móviles periódicamente cambian de topología, información ésta, que se utiliza para las actualizaciones del enrutamiento.

Refiriéndose a la pila de protocolos, el tradicional modelo ISO/OSI se modifica como se muestra en la siguiente figura. La principal diferencia es la presencia de bloques "verticales" cuya finalidad es la gestión de unidades de energía, la localización y la sincronización.

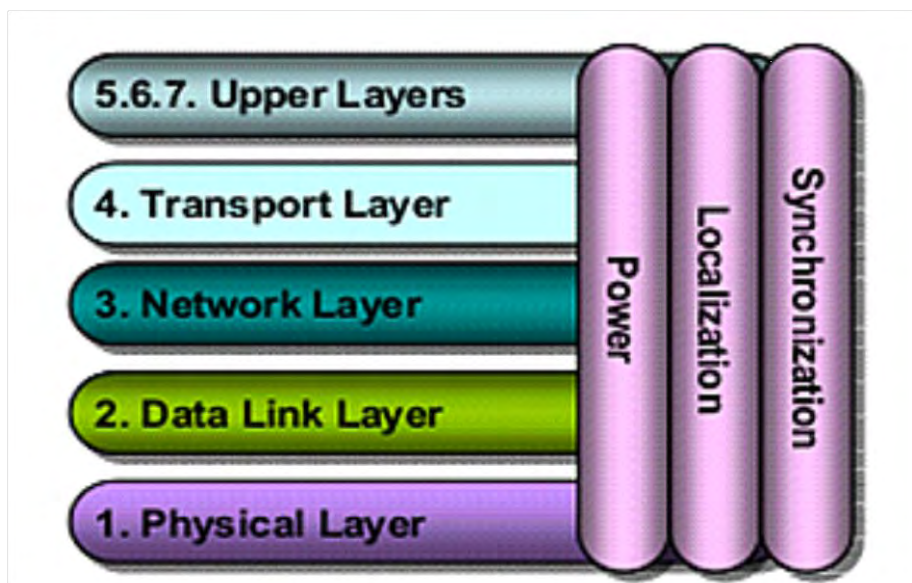


Figura 5.4 Pila de protocolos, del tradicional modelo ISO/OSI, modificado.

La Capa Física es responsable de la selección de frecuencias, la modulación y la codificación de datos. Es bien sabido que las comunicaciones de larga distancia no son eficientes en términos de consumo de energía y de la complejidad de su implementación, esto sugiere la adopción de transceptores de corto alcance. Además, este enfoque puede superar la sombra y los efectos de atenuación de la señal en el espacio (Pathloss) cuando se tratan de implementaciones de redes multi-salto. La mayoría de las soluciones comerciales disponibles aplican modulación en el espectro de propagación, y las tasas de datos que ofrecen, están en el orden de 0.1- 1Mbps. La banda ocupada es la ISM (porción del espectro libre cerca de los 2,4 GHz). El consumo de energía es del orden de 10 mA para la transmisión / recepción, y se reduce a menos de 1 mA en modo de espera.

La Capa de Enlace de Datos es responsable de la multiplexación de flujos de datos, los datos de detección de tramas, control de acceso al medio (MAC), y el control de errores. Desde la MAC se controla el radio enlace, abarcado por la emisión, que tiene un gran impacto en el consumo total de energía, y por lo tanto, el tiempo de vida de un nodo. El aire es un medio compartido y debe ser asignado a bastantes nodos, la MAC decide cuándo los nodos de la competencia puede tener acceso al canal de radio y trata de garantizar que no existan interferencias con las transmisiones de otros nodos.

Los dos enfoques principales son: los de contención, y los que se basan en la programación.

El primero permite dejar el trato de las colisiones a los nodos, para contender por el recurso, en el segundo la programación regula los accesos, por lo general hay un nodo en particular o punto de acceso que difunde esta información de cuándo y por cuánto tiempo cada nodo controlado puede tener acceso al medio compartido.

Sólo para dar un ejemplo, IEEE802.15.4, aplica Acceso Múltiple con detección de Portadora y Prevención de Colisiones (CSMA / CA) que pertenece a los métodos de contención. Mientras que IEEE802.15.1 adopta TDMA, como un enfoque de programación.

La capa MAC opera en una escala local y carece de la información global para optimizar el tiempo de vida de la red, pero debe garantizar que la energía que gasta, sea proporcional a la cantidad de tráfico que maneja.

Los protocolos basados en la programación son los más eficientes, a costa de la reducción de flexibilidad, por el contrario, los basados en disputa tienden al colapso cuando la carga se aproxima a la capacidad del canal y derrochan energía en reposo, (cuando el nodo esta sin uso, solo escuchando).

Una clasificación general se puede hacer de acuerdo a:

- el número de canales de RF utilizados
- el grado de organización de los nodos
- la forma en que un nodo es notificado de un paquete entrante

Generalmente no se puede afirmar cuál es la mejor solución, que debe satisfacer las necesidades mínimas dadas por la aplicación. Algunas consideraciones sobre el entorno industrial se analizan luego.

En la Capa de Red los datos de ruteo son facilitados por las capas superiores, desde la fuente hasta el destino. De una manera más formal, las fuentes son las entidades que proporcionan datos y mediciones, mientras que los destinos son los nodos en los que es necesaria la información. En un solo salto de la arquitectura, la información va desde las fuentes a los destinos que están directamente comunicados entre sí por un enlace de radio. Mientras que en la arquitectura multi-salto de los nodos se puede recibir y enviar información que no está destinada a ellos en particular, sino que va dirigida a otro nodo de la red.

Las topologías utilizadas en redes inalámbricas de sensores son: estrellas, malla, y topologías híbridas estrella-malla, como se muestra en la siguiente figura.

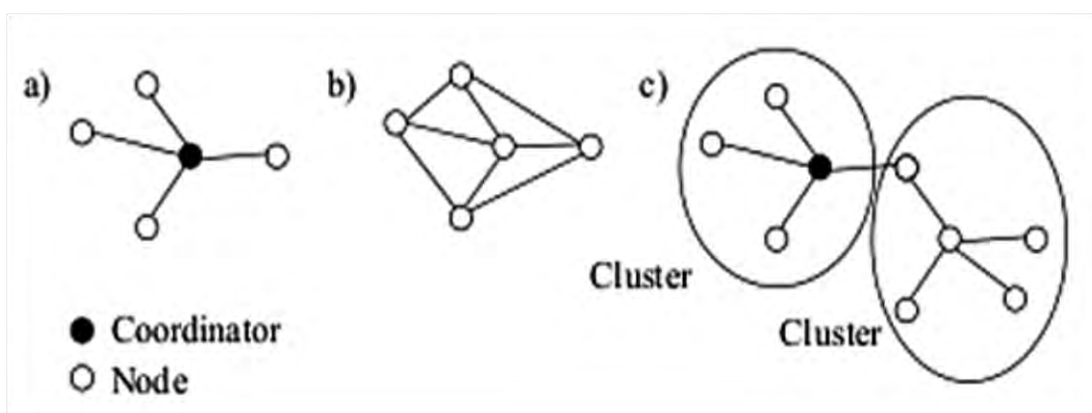


Figura 5.5 Topologías de red: a) estrella), b) Malla, c) Híbrido

La topología estrella de la izquierda depende de la cantidad y la frecuencia de los datos que se transmitirán, la distancia de transmisión, los requisitos de la vida para la batería, la movilidad y el nivel de carga en el nodo sensor. Una topología en estrella es un sistema de un solo salto en el que un nodo en particular, el coordinador, llama y gestiona las comunicaciones de todos los demás nodos, y se comunican sólo con él. Es una especie de estructura maestro-esclavo, donde el coordinador actúa también como un puente hacia otras redes. Es una solución eficiente desde el punto de vista del aprovechamiento de la energía, que asegura una larga vida a la red, incluso si se cae un nodo. Estas topologías solo pueden manejar un pequeño número de nodos en un área pequeña.

La topología de malla es de sistemas de salto múltiple en los que todos los nodos son idénticos y pueden comunicarse entre sí, el nodo coordinador o la estación base, no es estrictamente necesaria. El sistema de maya multi-hop permite un rango de operación mucho más grande que una topología en estrella, a costa de mayores tasas de consumo de energía y una mayor latencia, de hecho, los nodos tienen un pesado ciclo de trabajo ya que la necesidad de "escuchar" los mensajes, los cambios en la red y la latencia se relaciona con el número de "saltos" entre las fuentes y los destinos. De este modo el objetivo es llegar a un híbrido entre la arquitectura estrella y malla (también conocido como árbol de racimos).

La topología Híbrida entonces, aprovecha la baja potencia y simplicidad de la topología en estrella, así como el mayor alcance y la naturaleza de auto-reparación de una red tipo malla. Los nodos se organizan en una topología de estrella alrededor de enrutadores o repetidores que a su vez, se organizan en una red mallada. Sin embargo, la latencia puede ser un problema.

La Capa de Transporte se implementa normalmente sólo si los usuarios finales acceden a la WSN a través de Internet. Las capas superiores son por lo general resumidas en una capa general de aplicación, que se hace transparente para: el usuario final, el hardware y el software de las capas inferiores.

5.4 Redes de sensores inalámbricos en el escenario industrial

A pesar de que las redes inalámbricas de sensores se caracterizan generalmente por la rápida implementación y sus aceptables costos, la aplicabilidad en ambientes industriales está aún en fase de desarrollo. La gran mayoría de los protocolos inalámbricos convencionales hacen hincapié en la cada vez mayor cantidad de bits transferidos, la versatilidad y fiabilidad, esto no es importante para el control industrial y las aplicaciones de monitoreo. Por esta razón, la tecnología inalámbrica en la empresa es muy usada en el nivel de control de fábrica, pero las aplicaciones a nivel de campo se encuentran aún en la etapa inicial de implementación.

Por ejemplo, Siemens anunció recientemente un módulo inalámbrico HMI (Human Machine Interface) que se basa en una extensión de la IEEE802.11, llamada

Industrial WLAN o –WLAN”. La misma marca ofrece otros dispositivos, como puntos de acceso industrial y nodos cliente, que pueden ser utilizados como "reemplazo de cables" de una red PROFINET. Incluso si redes de sensores IWLAN aún no se han anunciado, los nodos pueden actuar como puertas de acceso a buses de campo estándar como PROFIBUS [44].

Un interesante estudio ha sido realizado por el proyecto RUNES, que comenzó en septiembre de 2004 con el objetivo de ampliar y simplificar las redes de dispositivos y sistemas embebidos [45]. La conclusión final de la primera reunión informó que:

"La adopción de sistemas embebidos en red (en particular sin cable) es más lento en el sector industrial que el resto de la sectores examinados con uso de esta tecnología..."

Mientras que los avances tecnológicos maduran, los sistemas inalámbricos no deben ser utilizados para aplicaciones de control crítico. Para la monitorización en zonas peligrosas y de difícil acceso, se les debe dar prioridad en el corto y/o medio plazo y en el movimiento hacia esto, algunas lecciones se pueden aprender de las implementaciones logradas con éxito en telemetría".

El objetivo fundamental de WSN es una entrega de datos confiable, y consumo de energía mínimo. En las redes de sensores la entrega de datos evoluciona en relación con eventos de tiempos, los cuales son:

- El tiempo de manejo, cuando los sensores comunican sus datos (continuamente) a una velocidad pre-determinada
- Evento de mando, cuando los sensores reportan información sólo si un acontecimiento de interés se produce
- Híbridos, cuando todos los enfoques coexisten.

En las comunicaciones industriales, el Modelo de Entrega de Datos es llevado adelante por la mayoría de las operaciones (recolección de datos), pero incluso en los eventos poco frecuentes, como alarmas o problemas de gestión de red, también son detectados y notificados rápidamente. En tiempo real, por ejemplo, el plazo temporal de lo citado anteriormente debe garantizarse con un bajo y previsible retraso en la transferencia de los datos, (por lo general, menos de 10 ms) por lo tanto debe existir sincronización entre los nodos. Como se explico antes, los enlaces de radio frecuencia se alteran también particularmente por: largas longitudes de transmisión, paredes y obstáculos impenetrables. Por lo tanto, los métodos para la detección de errores o corrección de estos son muy importantes. Además, las longitudes de mensajes son generalmente muy cortas, por lo tanto, la eficiencia en la transmisión de datos es una característica de diseño muy importante. El uso del paradigma de disparo (o gatillado) de tiempo, apoya la eficiencia del protocolo, porque la transmisión de los parámetros de mensaje como son: la identificación del remitente, la longitud del mensaje, la prioridad del mensaje, etc., pueden ser implícitamente codificados en la implementación programada de la comunicación.

Por todas estas razones, la mejor solución parece ser adoptar pequeñas infraestructuras confiables de red en estrella, que explotan eficientemente la

política de acceso al medio por división de tiempo. De hecho, la zona típica de radioenlace que permite cubrir una maquinaria o varias maquinas, puede ser interconectadas por buses de campo tradicional con cable. Además, con el uso de topologías de células separadas, se permite la reutilización de frecuencias. La mayor parte de los actuales sistemas inalámbricos y sus normas no se ajustan a estas particularidades, ya que los eventos orientan la entrega de datos con los protocolos de contención, basados en MAC tradicional. Sin embargo, varios esfuerzos se han hecho para garantizar la llamada Calidad de Servicio (QoS), es decir, la capacidad de las redes para ofrecer resultados previsibles, incluso en sistemas inalámbricos. Sólo para dar un ejemplo, la recién lanzada enmienda IEEE 802.11e, trata de superar estos defectos para definir varias mejoras en el legado MAC.

En conclusión, las capas superiores de propiedad, son hechas a la medida de los protocolos, son elaboradas basándose en nuevo transmisor-receptor compatible con el nivel estándar de la capa física, en este camino la portabilidad y el bajo costo está garantizado, sin sacrificar prestaciones. Como los primeros en adoptar estas soluciones están las aplicaciones para: el procesamiento de alimentos, y petroquímicas, donde las tareas de monitoreo son de una dinámica lenta y puede ser simplificado mediante la sustitución cables, generando nuevos escenarios.

Este tipo de aplicación ha sido perseguida por la ABB con su WISA (acrónimo de Wireless Interfaz con Sensores y Actuadores). El hardware de los nodos de comunicación se basa en transmisor-receptor (estándar IEEE802.15.1); en tal sentido la capa MAC en WISA, adopta el tiempo de acceso múltiple por división de tiempo con división de frecuencia dúplex (TDMA / FDD), asegurando la transmisión simultánea y la recepción de señales de radio (el transmisor y el receptor funcionan a frecuencias portadoras diferentes). El nivel de red implementa la topología en estrella con hasta 120 nodos por cada coordinador. El enlace descendente, es decir, la transmisión desde el coordinador hacia los nodos, esta siempre activo con el fin de establecer la ranura de tiempo y la sincronización del ciclo, también para enviar acuses de recibo y los datos de control. Por el contrario, el enlace ascendente, es decir, la transmisión desde el nodo al coordinador, es impulsado por el evento, posibilitando el menor consumo de energía. Como es señalado por el fabricante, para los interruptores de proximidad que intercambian de paquetes de 1 byte de largo, la latencia típica entre el nodo y el coordinador, es del orden de 5 ms, con una tasa de eventos máximo de 5 Hz.

Por último debe subrayarse en particular, que los supuestos fallos son muy diferentes en las comunicaciones inalámbrica que en las de cable. Incluso si los errores de transmisión son más frecuentes que en los enlaces por cable, son tipo ráfagas. Por el contrario, los errores en los canales de cable son a menudo de carácter permanente debido a fallas en el conector o en el cable. Sin embargo, como se indica en el informe RUNAS, *"el sector industrial o el sector de la automatización en general, se caracteriza por conservacionismo. Las empresas no quieren correr riesgos con grandes inversiones en nuevas instalaciones y requieren demostración de la viabilidad"*. Por todas estas razones, las nuevas herramientas deben ser desarrolladas, con especial atención a

simuladores, que permitirá predecir con exactitud el comportamiento de la red en un escenario real.

5.5 Las herramientas disponibles

Con el fin de comprender cabalmente la complejidad del diseño de protocolos inalámbricos que funcionan en la vida real, es necesario modelar, simular y también implementar y probar sistemas en el mundo real [46]. Al mismo tiempo que los instrumentos tradicionales como los analizadores de espectro, han aparecido en el mercado, una gran cantidad de simuladores y "sniffers", surgidos con el fin de predecir y verificar el comportamiento de redes inalámbricas de sensores.

Incluso si las simulaciones a nivel de paquetes son útiles para verificar el funcionamiento del protocolo, el diseño de una WSN eficaz implica conocimiento extenso y preciso del medio ambiente y del comportamiento del radio enlace. De hecho, la mayoría de los supuestos modelos de propagación no necesariamente reflejan las condiciones del mundo real.

Los errores tradicionales pueden resumirse de la siguiente manera:

- El mundo es plano.
- Área del radio de transmisión es circular y todos los radios tienen igual nivel de percepción.
- Si te puedo escuchar, es que me oyes.
- Si puedo escuchar a todos, puedo escucharte a vos perfectamente.
- La fuerza de la señal es una simple función de la distancia.

La simulación por elementos finitos del medio ambiente debería superar estos límites, pero consumiendo mucho tiempo y siendo muy difícil de aplicar. Por todas estas razones, un nuevo enfoque debe llevarse a cabo.

Además, herramientas clásicas de simulación no tienen en cuenta los componentes como, nodo sensor hardware, baterías, CPU, que deben estar correctamente modelados para garantizar una simulación precisa del funcionamiento de la red. Por estas razones la simulación de redes inalámbricas de sensores es todavía un campo de investigación abierto que deberá acompañarse de validaciones experimentales.

Esta tarea puede ser parcialmente cumplida por los instrumentos de bajo costo, conocidos como "sniffers". Estos dispositivos se realizan utilizando el mismo hardware de los nodos de sensores (es decir, que son de bajo costo, pero deliberadamente diseñados para una capa física particular) y poder detectar y capturar los paquetes de la señal inalámbrica de radio en el ambiente, luego se la presenta en una conveniente forma gráfica, dando una visión útil sobre lo que sucede en el aire.

Capítulo 6 Sensores, Características principales y su clasificación.

Finalmente se realiza un pormenorizado análisis general del tema sensores, teniendo en cuenta, ya en forma directa, los modelos actuales de sensores integrados como así también los denominados sensores inteligentes.

6.1 Introducción a sensores

Para que un sistema pueda controlar un proceso industrial es necesario que reciba información de la evolución de determinadas variables físicas del mismo, que en su mayoría no son eléctricas (como por ejemplo: temperatura, presión, nivel de un líquido o de un sólido, fuerza, radiación luminosa, posición, velocidad, aceleración o desplazamiento de un objeto, etc.). Por ello, el acoplamiento entre el sistema, y el proceso se realiza a través de dispositivos que convierten las variables no eléctricas en eléctricas [47].

Dichos dispositivos reciben diversos nombres, como captador, detector, transductor, transmisor, sonda y sensor, aunque es este último el más utilizado por los fabricantes de sistemas electrónicos de control.

No existe una única definición de sensor aceptada de manera universal. Se considera, en general, que un sensor es todo dispositivo que tiene algún parámetro (valor de resistencia, desplazamiento, etc.) que modifica su valor en función de la variación de una determinada variable física del medio en el cual está situado (presión, nivel, temperatura, etc.). El dispositivo sensor convierte por lo tanto una variable física en otra en general diferente y por ello se le suele denominar transductor.

Además, la existencia de sistemas que memorizan, amplifican y en general procesan señales eléctricas, hacen que la mayoría de los transductores conviertan variables no eléctricas en eléctricas. En virtud de lo expuesto podemos decir que un sensor es un dispositivo o elemento, que convierte una variable física no eléctrica en otra eléctrica, tensión, corriente, frecuencia, etc. la cual contiene información correspondiente a la variable física primaria. Por otra parte, el tipo de señal eléctrica portadora de información y sus parámetros varían de un dispositivo sensor a otro, por lo que es necesario acoplar la salida del sensor a un circuito que pueda, de acuerdo con las características de la señal portadora, amplificar, filtrar, convertir y adecuar de ser necesario, la señal proporcionada por el elemento sensor. Dicho circuito recibe el nombre de circuito de acondicionador.

Se obtiene así un sistema como el representado en la figura 6.1, que puede ser denominado Sistema Sensor, o Sensor Inteligente, aunque normalmente se lo denomina simplemente sensor. Dicho sistema genera una señal normalizada ya sea por el fabricante o siguiendo pautas establecidas por organismos de normalización, como por ejemplo la IEC, el IEEE, etc.

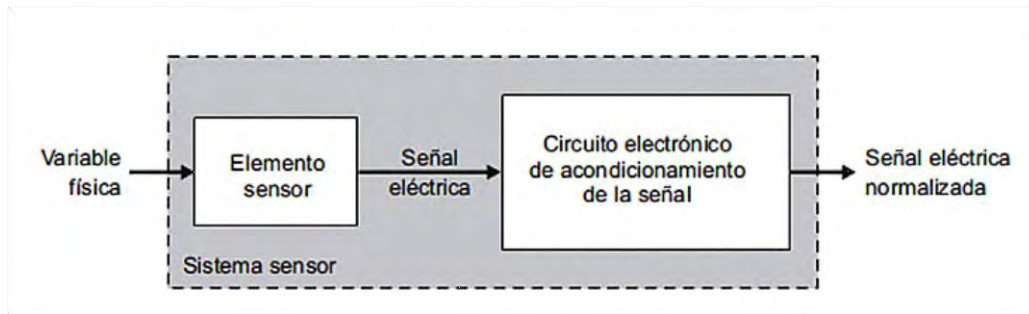


Figura 6.1 Sistema de un sensor inteligente

A los sistemas sensores adecuadamente contruidos para trabajar en las condiciones existentes en un entorno industrial (temperatura elevada, presencia de polvo, humedad relativa alta, etc.) se los denomina también Sensores Industriales [5].

6.2 Características de los sensores inteligentes para la industria

Una clasificación muy general de los sensores industriales puede ser la siguiente.

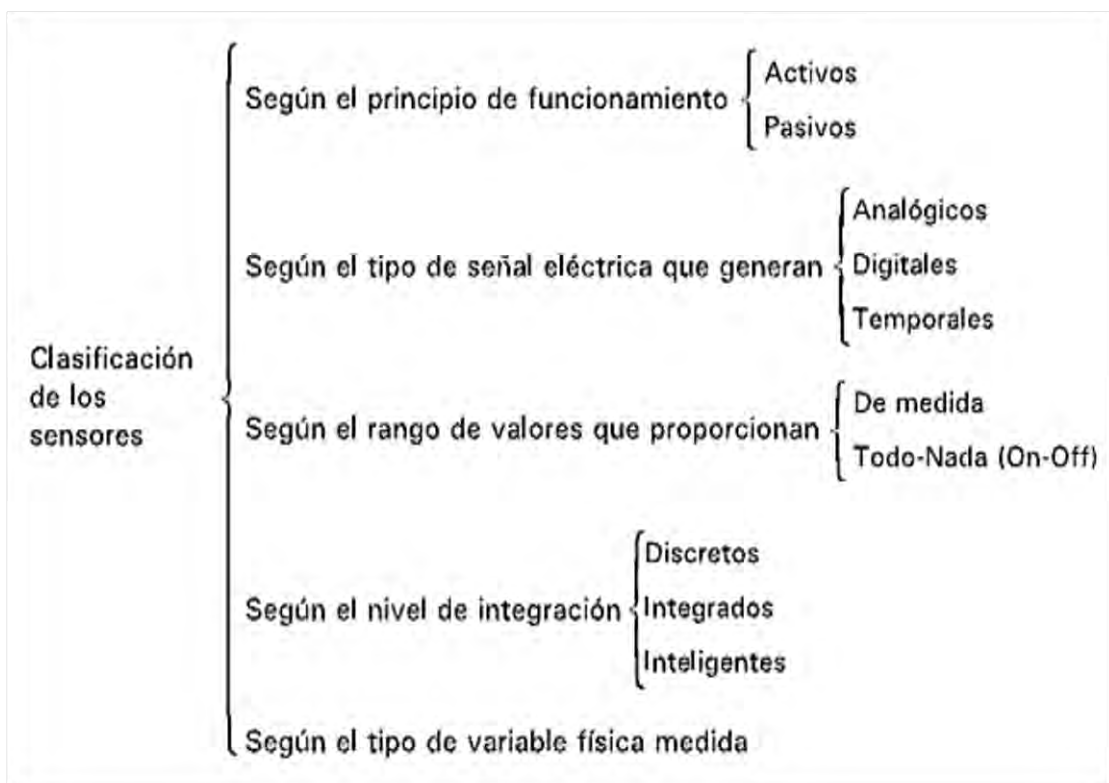


Tabla 6.1 Clasificación de los principales sensores activos y pasivos.

6.2.1 Clasificación según el principio de funcionamiento del elemento sensor.

La existencia de numerosas variables o magnitudes físicas susceptibles de ser convertidas en señales eléctricas da lugar a que también sean muy variadas las tecnologías o principios de conversión (inductivo, piezoeléctrico, extensiométrico, capacitivo, etc.) que se emplean actualmente.

La naturaleza del principio de funcionamiento del elemento sensor empleado determina la clasificación de los sensores en:

- **Sensores activos o generadores.** Se consideran activos los sensores en los que la magnitud física a medir proporciona la energía necesaria para la generación de la señal eléctrica de salida. Son un ejemplo de sensores activos los basados en los efectos piezoeléctrico y termoeléctrico.
- **Sensores pasivos o moduladores.** Son pasivos los sensores en los que la magnitud física a medir se limita a modificar alguno de sus parámetros eléctricos característicos como sería, la resistencia, la capacidad, etc. Los sensores de este tipo se caracterizan por necesitar una tensión de alimentación externa. Son ejemplo de sensores pasivos los basados en las resistencias cuyo valor depende de la temperatura (termoresistivos) o de la luz (fotorresistivos).

Es conveniente resaltar también que una determinada magnitud física puede ser convertida, en general, mediante sensores que utilizan principios de funcionamiento distintos.

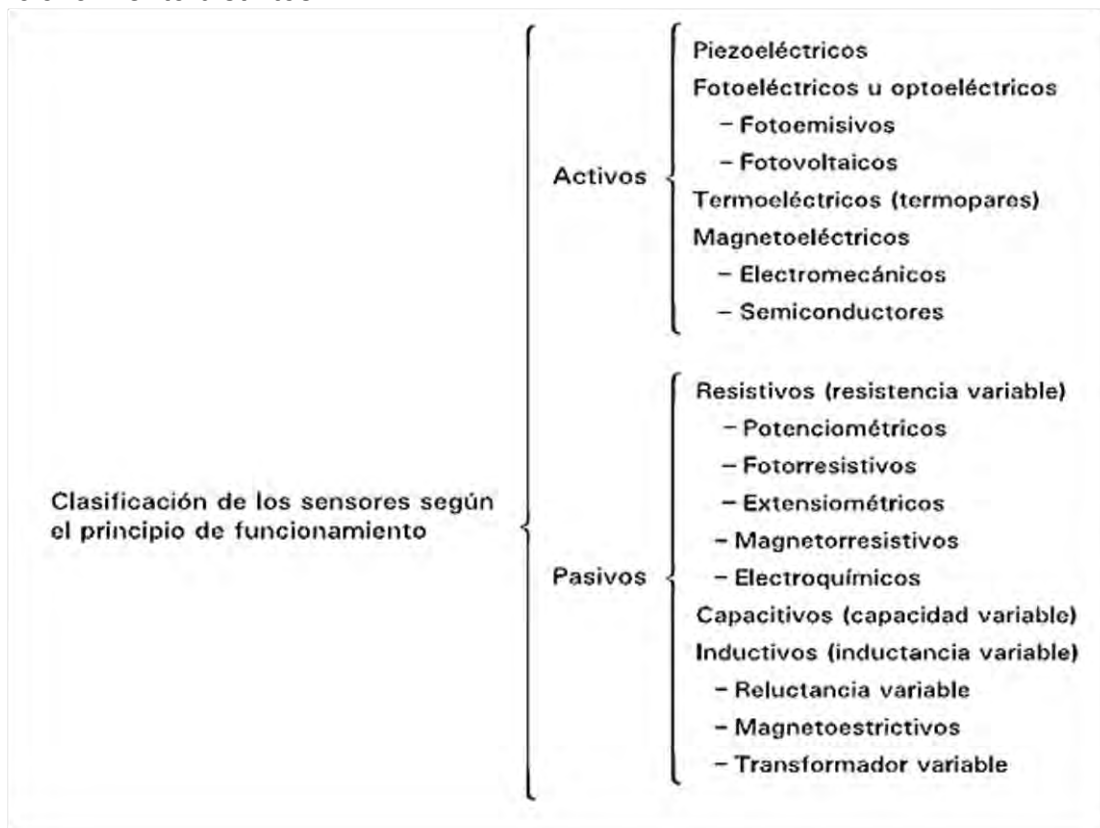


Tabla 6.2 Clasificación de los sensores según el principio de funcionamiento

6.2.2 Clasificación de los sensores según el tipo de señal eléctrica que generan

Los sistemas sensores proporcionan a su salida señales eléctricas. Una señal eléctrica puede estar constituida por una tensión o voltaje entre dos puntos, la corriente a través de un componente electrónico o la energía representada por la tensión en bornes de un componente, multiplicada por la corriente que pasa a través de él. Pero tanto una tensión como una corriente eléctrica pueden variar de distinta forma a lo largo del tiempo, y dar lugar a diferentes maneras de representar la información mediante algún parámetro de una señal eléctrica. Por ello, según el formato de la señal o señales eléctricas que se generan, un sistema sensor puede ser analógico, digital o temporal, tal como se indica a continuación.

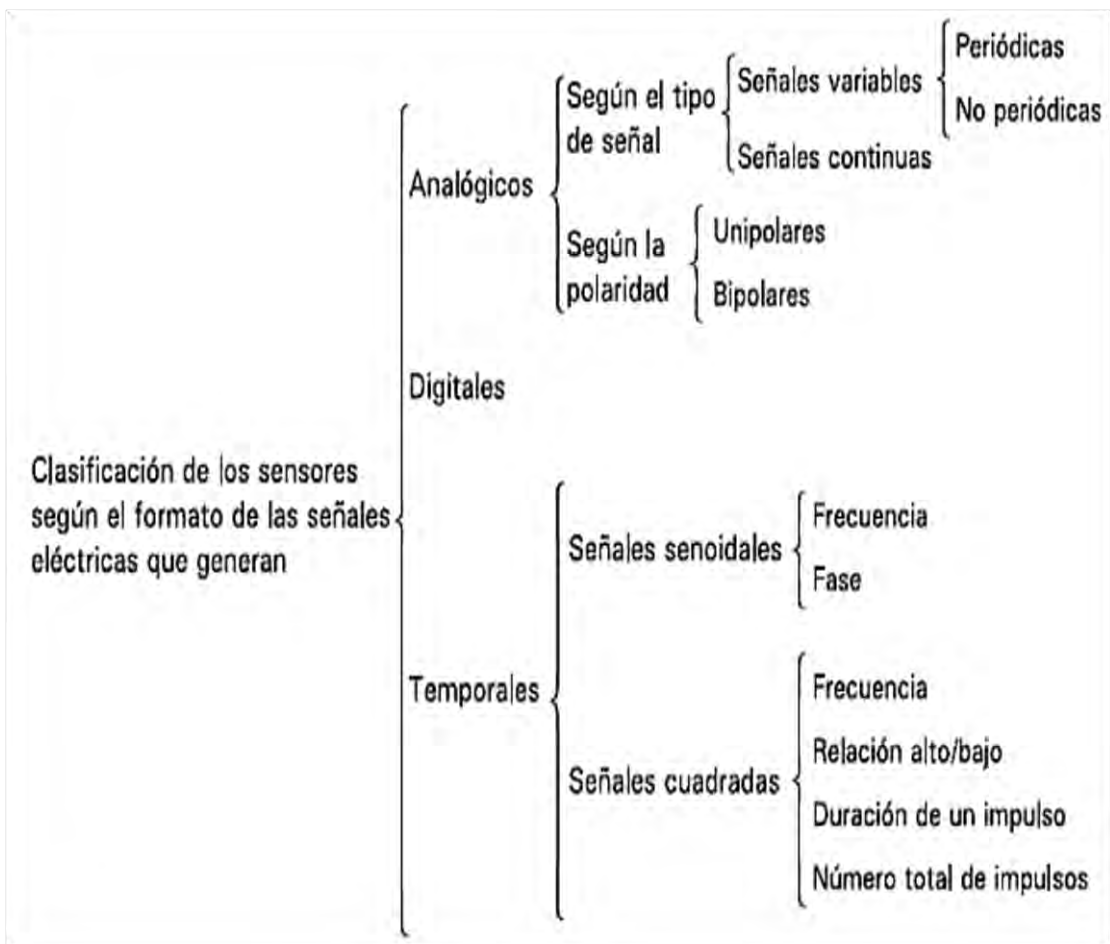


Tabla 6.3 Clasificación de los sensores según el tipo de señal eléctrica que generan

6.2.2.1 Sensores analógicos

Los sensores analógicos generan señales eléctricas denominadas analógicas, que pueden tomar cualquier valor dentro de determinados márgenes y llevan la información en su amplitud.

Su diagrama de bloques es el representado en la siguiente figura.

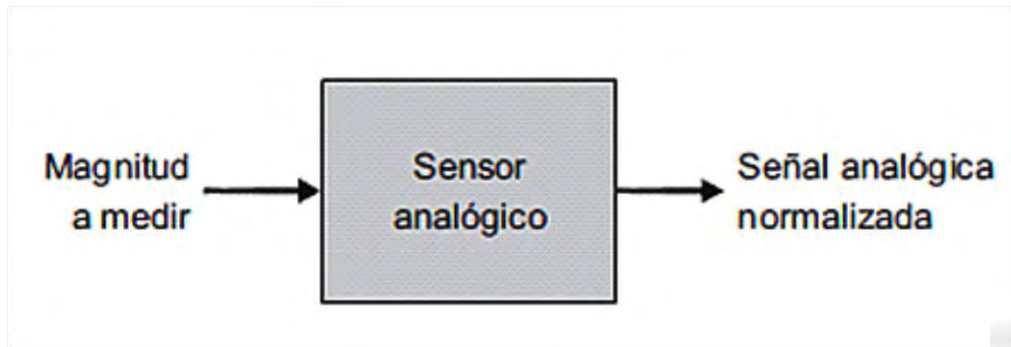


Figura 6.2 Diagrama en bloques de un sensor analógico

Las señales eléctricas analógicas se pueden clasificar a su vez en variables o continuas. Las señales analógicas variables son aquellas que equivalen a la suma de un conjunto de sinusoides de diferentes frecuencias mayores que cero y en general de diferentes amplitudes. Un ejemplo de señal analógica se muestra en la figura 6.3.

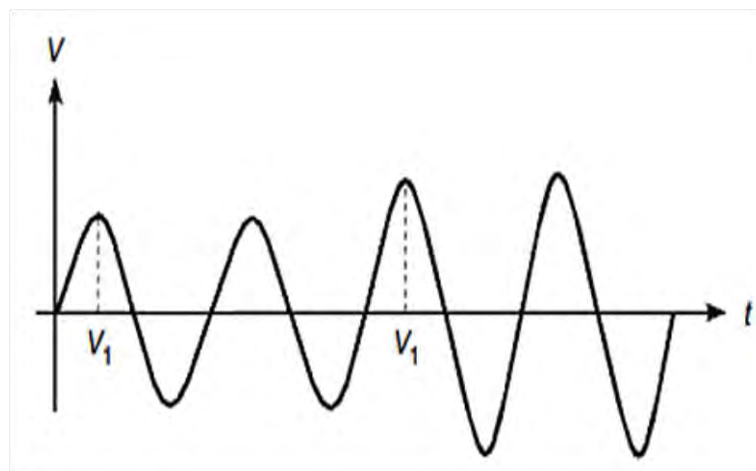


Figura 6.3 Señal analógica con variación de amplitud

Las señales analógicas continuas son aquellas que poseen niveles continuos pero que pueden variar de nivel. Se trata de señales que pueden tener un cierto nivel fijo durante un tiempo indefinido, y que representan la información mediante su amplitud.

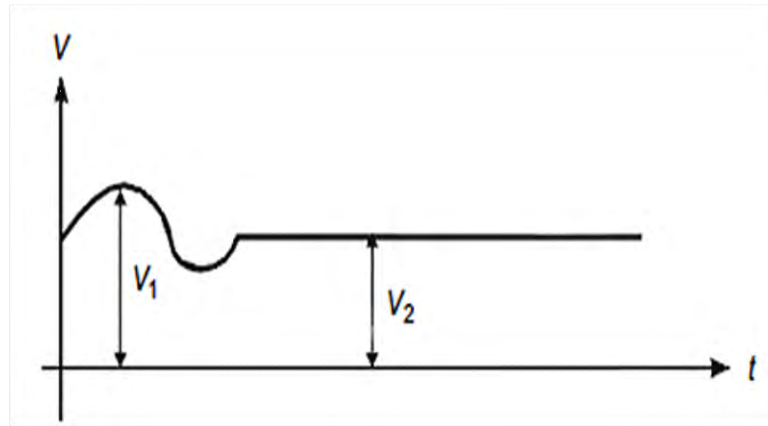


Figura 6.4 Señal analógica continua con variaciones de nivel

Las señales analógicas pueden ser también unipolares o bipolares. Las unipolares sólo pueden ser positivas o negativas con respecto a un terminal de referencia, mientras que las bipolares pueden ser tanto positivas como negativas

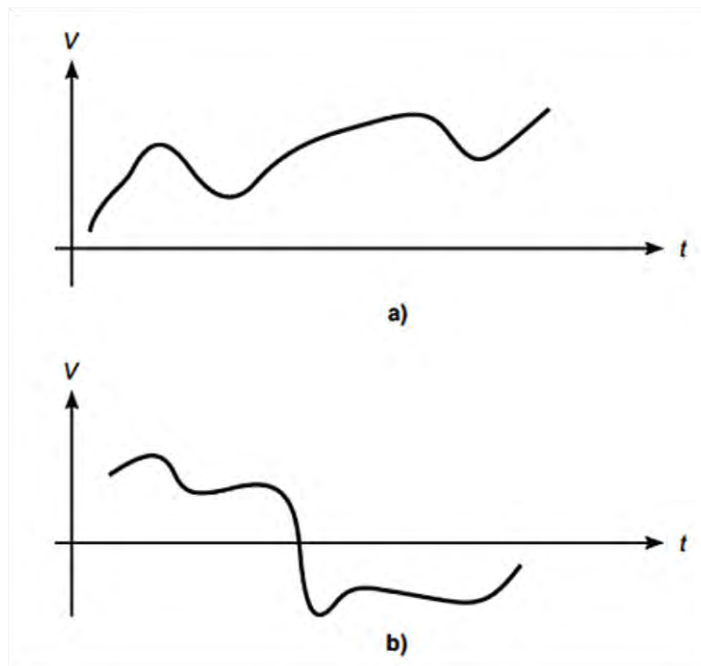


Figura 6.5 Señal analógica a) Unipolar, y b) Bipolar

El mundo físico es en general analógico y, por ello, la mayoría de los elementos sensores proporcionan señales analógicas. Sin embargo las señales eléctricas generadas por los elementos de los sensores analógicos presentan problemas relacionados con: presencia de ruido, interferencias y distorsión, (sobre todo si tienen que transmitirse a distancias relativamente grandes. Por ello es imprescindible un circuito electrónico de acondicionamiento de la señal como el indicado en la figura 6.1.

6.2.2.2 Sensores digitales

Los sensores digitales generan señales eléctricas que sólo toman un número finito de niveles o estados entre un máximo y un mínimo, y por ello reciben el nombre de digitales.

La codificación de señal más utilizada es la binaria que sólo pueden tener dos niveles de tensión, que se asignan a los números binarios 0 y 1.

Para representar una información se necesita un cierto número n de variables binarias cuyo valor depende de la precisión que se desea.

Las n variables binarias se pueden representar de dos formas diferentes:

1. Mediante señales binarias independientes. Se tiene así el número 10011 en un único instante t_1 . En instantes sucesivos se pueden tener números diferentes (por ejemplo, 01010 en t_2). Este formato recibe el nombre de paralelo.

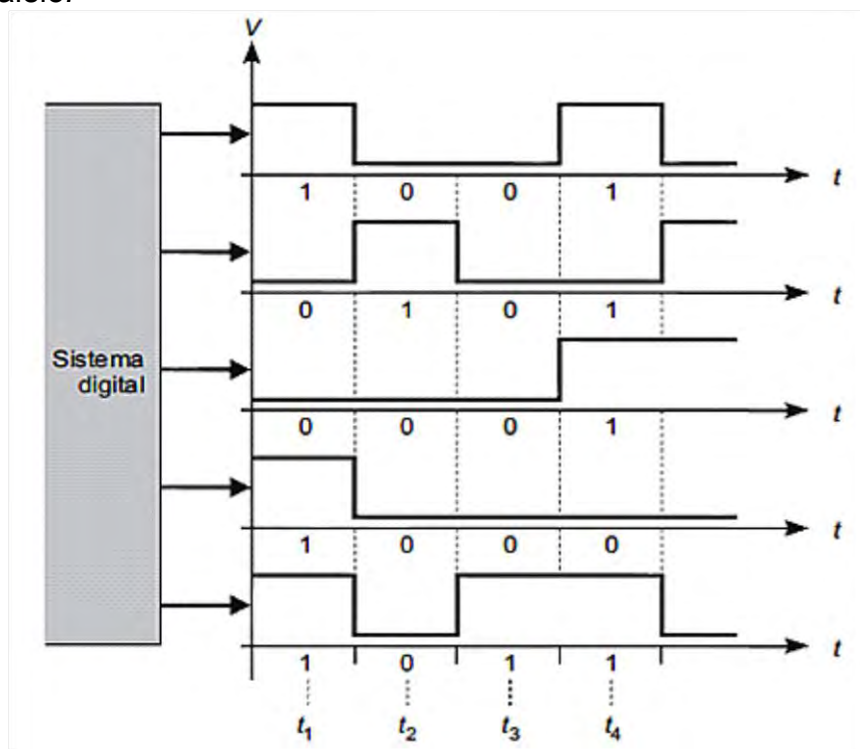


Figura 6.6 Señal binaria de formato paralelo

2. Mediante una secuencia temporal de niveles cero y uno, de una señal digital, se puede lograr una señal digital binaria que representa el número 10011 en el sistema de numeración binario. Este formato recibe el nombre de *serie*.

El formato paralelo es el utilizado por los procesadores digitales, y algunos tipos de sensores como, por ejemplo, los codificadores lineales y angulares de tipo absoluto.

En general el formato serie se genera a partir del paralelo mediante un procesador de comunicaciones que constituye un circuito de interfaz de un procesador digital. Se tiene así un sensor con capacidad de comunicación.

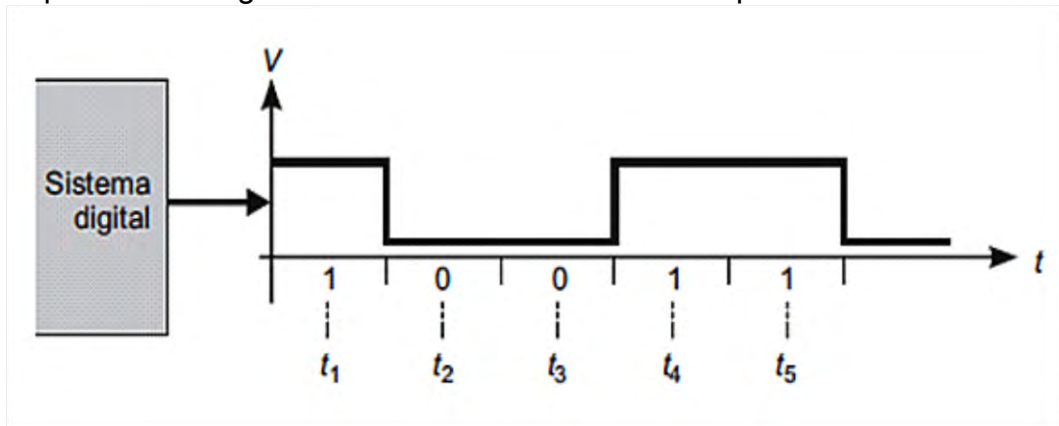


Figura 6.7 Señal binaria de formato serie

Cuando el elemento sensor proporciona una señal analógica el esquema de bloques típico, es el representado en la figura 6.8. El circuito convertidor analógico-digital transforma la señal analógica en una combinación de variables digitales. El circuito de acondicionamiento adapta las características de la señal de salida del elemento sensor a las que necesita el convertidor analógico/digital (A/D) en su entrada. En la mayoría de los casos el convertidor A/D forma parte del circuito de interfaz de un sensor analógico con un procesador digital.

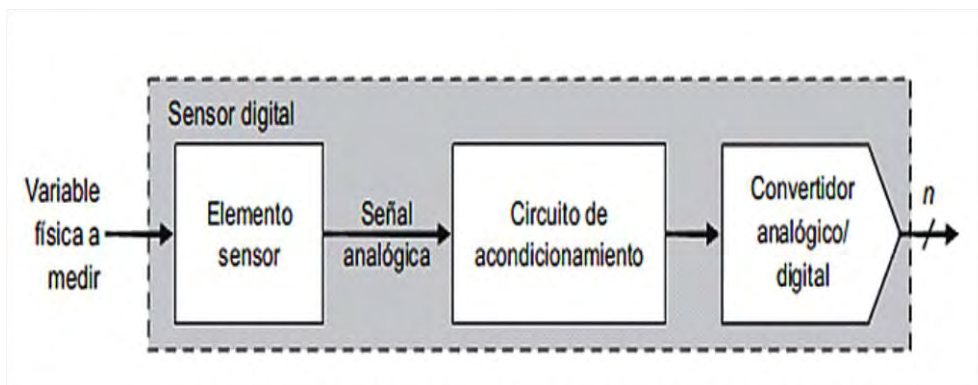


Figura 6.8 Bloques típicos de un sensor digital con elemento sensor de salida analógica

Si al sensor digital de la anterior figura se le añade un procesador de comunicaciones, se convierte en un sensor con salida serie. También son sensores de este tipo los denominados sensores inteligentes. El formato digital presenta la característica de que la precisión de la medida sólo depende del número de variables binarias. Su utilización se ha generalizado gracias al progreso de la Microelectrónica que ha permitido realizar procesadores electrónicos digitales de coste reducido y capacidad adaptada a las especificaciones de cada aplicación concreta.

6.2.2.3 Sensores temporales

Los sensores temporales proporcionan a su salida señales eléctricas en las que la información está asociada al parámetro tiempo. Las señales eléctricas temporales pueden ser sinusoidales o cuadradas. Según la forma de la señal y el tipo de parámetro, se clasifican tal y como se indica en la anterior Tabla 6.3.

Las señales temporales sinusoidales suelen recibir el nombre de señales moduladas porque se obtienen modificando un parámetro temporal de una señal sinusoidal generada por un circuito oscilador mediante un circuito electrónico denominado modulador.

Las señales temporales cuadradas tienen una amplitud fija y un parámetro temporal variable que puede ser:

1. La frecuencia o su inverso, el período. La información está representada por el valor de cualquiera de ellos. Un ejemplo de sensor temporal es el sensor de ultrasonidos BERO de Siemens. Su salida es una onda cuadrada cuya frecuencia varía entre 250 Hz y 1.500 Hz cuando la distancia de un objeto situado frente a él lo hace entre 50 y 300 mm.



Figura 6.9 Sensor de ultra sonido Bero de Siemens

2. La relación uno/cero o alto/bajo. La señal utilizada posee un período de duración fija y la información está contenida en el valor del tiempo durante el cual la información se encuentra en nivel uno con relación a aquél durante el cual está en nivel cero. Se suele decir que la señal está modulada en ancho de pulso y se la conoce por PWM (acrónimo de *Pulse Width Modulation*).

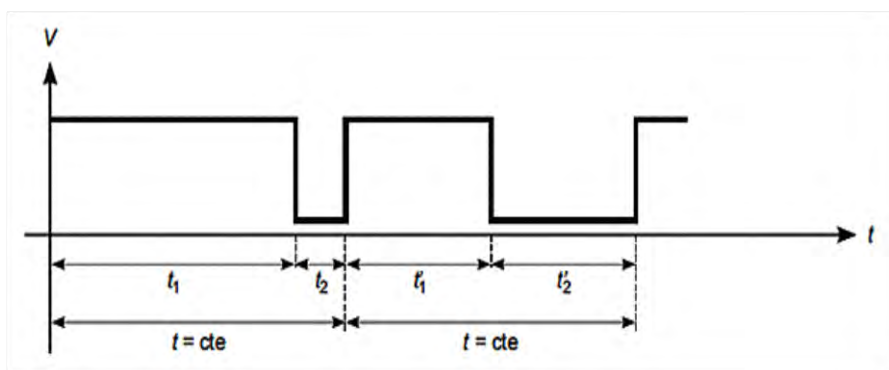


Figura 6.10 Señal temporal con información en relación con la duración de los distintos niveles

3. La duración de un impulso que se genera en el instante en que se desea conocer el valor de una variable.

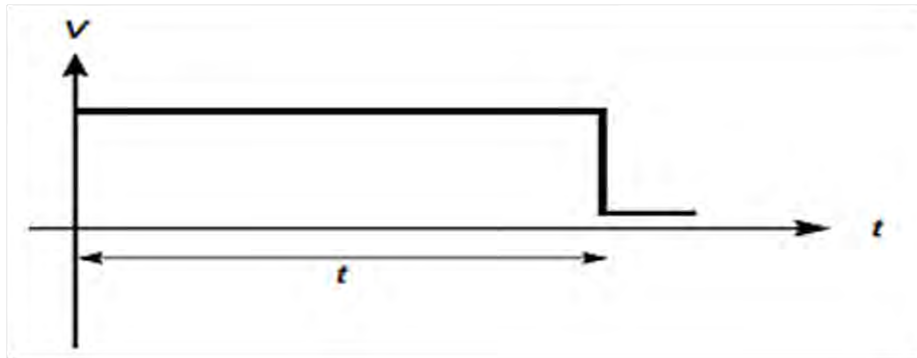


Figura 6.11 Señal temporal con información en la duración de un impulso

4. El número total de impulsos que aparecen en su salida a partir de un determinado instante. Un ejemplo típico es el sensor incremental de posición.

Una información codificada mediante alguno de estos parámetros se ve mucho menos afectada por el ruido eléctrico y por la atenuación inherente a cualquier tipo de transmisión, debido a su menor dependencia del valor absoluto de la amplitud de la señal. Algunos ejemplos de esta forma de codificar la información son, entre otros, la radiodifusión en frecuencia modulada (FM), la modulación de anchura de impulsos (PWM), utilizada en sistemas de radio control, y los teclados multi-frecuencia empleados en telefonía.

Pocos elementos sensores dan a su salida la información en formato temporal, pero éste se obtiene fácilmente a través de un circuito convertidor de formato. La señal analógica proporcionada por un elemento sensor se puede convertir en una señal temporal que lleva la información en la frecuencia mediante un oscilador controlado en tensión conocido como VCO (acrónimo de *Voltage Controlled Oscillator*), tal como se indica en la siguiente figura.

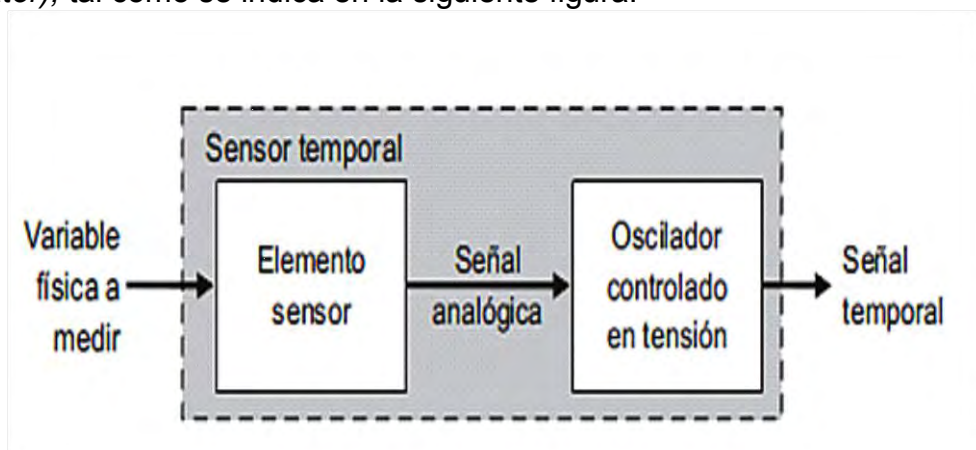


Figura 6.12 Sensor temporal con un oscilador controlado por tensión VCO.

6.2.3 Clasificación de los sensores según el rango de valores de la señal que proporcionan

Según el rango de los valores de la señal que proporcionan, los sensores pueden ser de medida o todo-nada (en inglés, "On-Off").

6.2.3.1 Sensores de medida

Son los que proporcionan a la salida todos los valores posibles correspondientes a cada valor de la variable de entrada dentro de un determinado rango. Pueden ser analógicos, digitales o temporales. Ejemplos de sensores de medida son un sensor analógico resistivo de temperatura y un sensor temporal incremental de posición.

6.2.3.2 Sensores todo-nada

Son los que solamente detectan si la magnitud de la variable física de entrada está por encima o por debajo de un determinado valor. Proporcionan a la salida una señal eléctrica que sólo puede tomar dos valores y por ello a veces se los denomina, con un exceso de simplificación, sensores digitales. Su diagrama de bloques típico se representa en la siguiente figura.

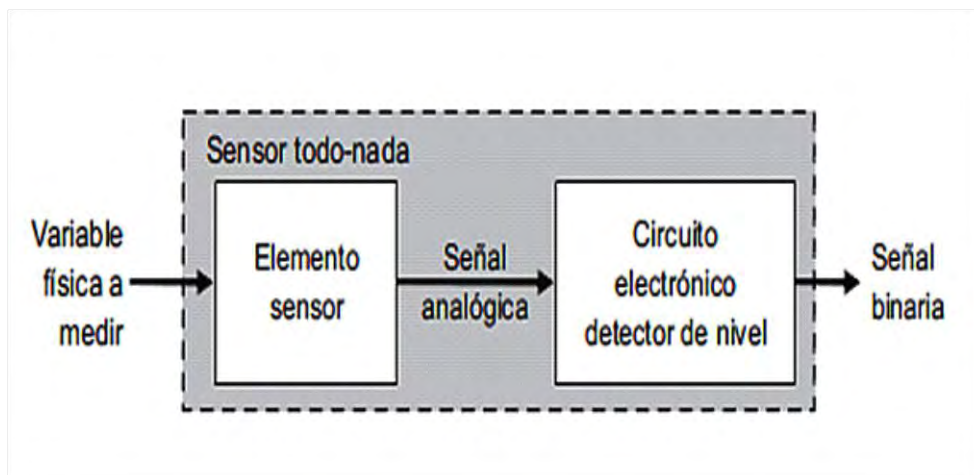


Figura 6.13 Bloques de un sensor todo/nada cuyo elemento sensor proporciona una señal analógica

La salida del elemento sensor es una señal analógica cuyo nivel es proporcional al valor de la magnitud física a medir y el circuito acondicionador es fundamentalmente un circuito electrónico detector de nivel cuya salida toma un valor u otro según que el nivel de la señal aplicada a su entrada esté por encima o por debajo de un cierto nivel. Son también sensores todo-nada los que indican si se ha producido o no una determinada circunstancia, como por ejemplo la presencia o ausencia de un objeto en las proximidades del sensor.

6.2.4 Clasificación de los sistemas sensores según el nivel de integración

Según el nivel de integración los sistemas sensores pueden ser discretos, integrados e inteligentes.

6.2.4.1 Sensores discretos

Reciben esta denominación los sistemas sensores en los que el circuito de acondicionamiento se realiza mediante componentes electrónicos separados e interconectados entre sí.

6.2.4.2 Sensores integrados

Los sensores integrados se caracterizan por que el elemento sensor y el circuito acondicionador, o al menos este último, están construidos en un único circuito integrado monolítico o híbrido. Son ejemplos típicos muchos sensores, basados en las características de los semiconductores, que miden temperatura, humedad, presión, etc.

6.2.4.3 Sensores inteligentes

No existe un consenso generalizado en relación con la definición de sensor inteligente. En numerosas ocasiones, la salida del circuito acondicionador debe ser modificada para llevar a cabo una o más de las siguientes tareas:

- Corregir no linealidades.
- Verificar el correcto funcionamiento del elemento sensor y el circuito acondicionador asociado.
- Transmitir la información a distancia.

Para ello es de gran utilidad añadir al sistema sensor de la figura 6.1 un procesador electrónico que realiza un algoritmo de corrección, y/o diagnóstico, y/o verificación del funcionamiento, y/o comunicación con otros procesadores. Cuando dicho conjunto se realiza en un solo circuito integrado monolítico o híbrido se tiene un sensor con capacidad de proceso de información al que se suele denominar "Sensor Inteligente" (*Smart Sensor*), cuyo diagrama de bloques se representa en la siguiente figura.

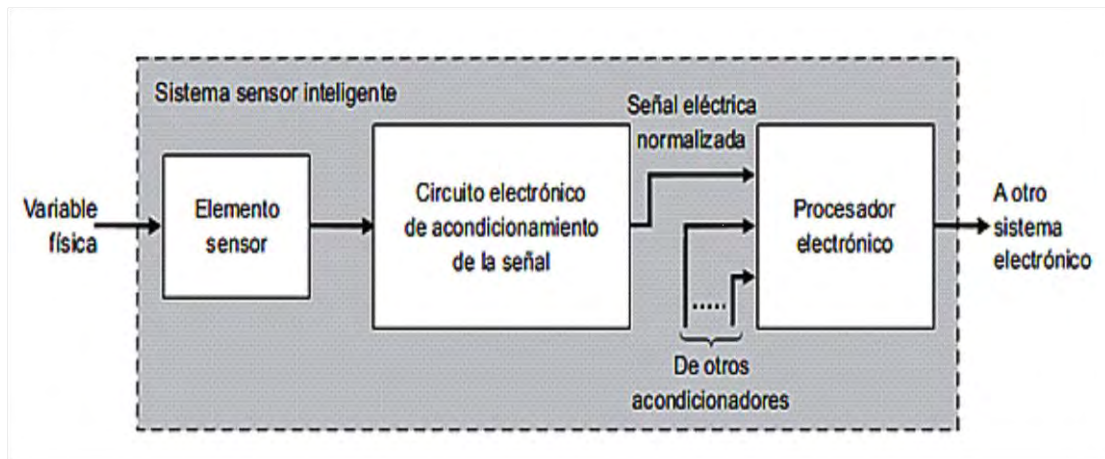


Figura 6.14 diagrama en bloques de un sensor inteligente

Por ello, aunque no existe un consenso general en la definición de sensor inteligente, se admite que un sensor inteligente tiene capacidad para realizar la mayoría de las siguientes funciones:

- Cálculos numéricos.
- Comunicación en red (no una simple conexión punto a punto).
- Auto-calibración y auto-diagnóstico.
- Múltiples medidas con identificación del sensor.

Existen sensores industriales de los tres tipos nombrados en este apartado.

Inicialmente los sensores industriales eran discretos y tenían sus componentes encapsulados en un bloque único. El progreso de la Microelectrónica ha hecho que tanto el elemento sensor como el circuito acondicionador se realicen en un único circuito integrado monolítico o híbrido.

Pero los sensores discretos e integrados deben conectarse a un procesador digital como, por ejemplo, un Autómata Programable a través de conexiones independientes y ello hace que se complique excesivamente el cableado cuando el número de sensores y/o su distancia al Autómata Programable son elevados. Por ello los fabricantes de equipos de automatización comercializan sensores industriales inteligentes que poseen un procesador electrónico digital con capacidad de comunicación con otros procesadores a través de una línea única de comunicaciones o bus de campo

6.2.5 Clasificación de los sensores según la variable física medida

Otra clasificación útil de los sensores es la realizada en función del tipo de variable física que convierten en eléctrica. En la siguiente Tabla se representa dicha clasificación, en la que se incluyen las variables físicas más importantes que es necesario medir en los procesos industriales.

Clasificación de los sensores según el tipo de variable física medida	Presión
	Temperatura
	Humedad
	Fuerza
	Aceleración
	Velocidad
	Caudal
	Presencia y/o posición de objetos
	Nivel de sólidos o líquidos
	Desplazamiento de objetos
	Químicos
	Otros

Tabla 6.4 Clasificación de los sensores según las variables físicas medidas.

Capítulo 7 Conclusiones generales

Este trabajo presentó una visión general de las tecnologías disponibles para redes de sensores, haciendo hincapié en las aplicaciones industriales. El estado del arte ha sido resumido para describir cada caso particular, teniendo en cuenta los límites que impone el "mundo real".

Los buses de campo han cosechado gran éxito en los últimos años gracias a sus ventajas en términos de escalabilidad, facilidad de instalación y a su capacidad para suministrar respuestas adaptadas a las necesidades del campo industrial. Así las redes a nivel de campo han recorrido un largo camino desde los primeros intentos de creación de redes industriales altamente especializadas contemporáneas con las redes de automatización en general. Se ha tratado de demostrar que a pesar de la extrema heterogeneidad de las soluciones, estas se adaptan a las necesidades de los diferentes ámbitos de aplicación posibles, y existe una ruta de migración relativamente clara, que conecta las tres generaciones de las mayores creaciones de redes a nivel de campo:

- el bus de campo, como sistema original,
- la reciente Ethernet Industrial, y
- las próximas redes inalámbricas.

Esta migración prevé la reutilización de los protocolos de capa de aplicación, al menos en la forma de aplicación de los perfiles de dispositivo en la parte superior de la pila OSI de protocolos buscando lograr mantener la compatibilidad en alto nivel, con las redes e instalaciones existentes. Desde una perspectiva industrial, no es de extrañar este tipo de estrategias, ya que preserva el valor de inversiones en sistemas de automatización, que en la mayoría de los casos tienen ciclos de vida muy largos.

Los cambios de una tecnología a otra pueden ser sencillos, pero tiene por supuesto limitaciones. La más obvia es que los cambios tecnológicos de comunicación dentro de una trayectoria de transmisión de datos, no conserva las propiedades de tiempo, de extremo a extremo en las capas de protocolo, y hace que una integración perfecta de las diferentes tecnologías de comunicación, como el bus de campo y Ethernet, o Ethernet y redes inalámbricas, este lejos de ser simple, si se deben cumplir los requisitos en tiempo real.

Todos los estudios en el pasado han demostrado que, a menos que los tiempos de respuesta no jueguen ningún papel especial, las redes híbridas requieren esfuerzos adicionales de integración, o modificaciones en las capas inferiores del protocolo. El funcionamiento óptimo de las redes híbridas seguirá siendo el objetivo principal a lograr en el futuro cercano, en particular cuando se trata de la inclusión de dispositivos inalámbricos, ya que los segmentos de cable todavía tienen ventajas de fiabilidad, (sobre todo si se los utiliza como la columna vertebral de las comunicaciones).

Para hacer frente a los problemas de integración en entornos de redes heterogéneas con limitaciones en tiempo real, el común hoy, es la estrategia de introducir capas de middleware o adaptación que traslade los servicios del protocolo.

Los avances en circuitos integrados de comunicaciones están haciendo de las

redes inalámbricas una alternativa atractiva, al menos en algunas aplicaciones de monitoreo. Además de menor costo, debido a la ausencia de cableado, las principales ventajas son la flexibilidad y redundancia, por sólo citar dos. A pesar de que las redes inalámbricas son interesantes para muchas aplicaciones, estas redes se consideran con algún escepticismo particularmente en la industria. Una preocupación típica es la seguridad, aunque las modernas redes inalámbricas incluyen mecanismos de seguridad razonables a diferencia de la mayoría de las redes de cable existentes sobre el terreno. Sin embargo, para redes heterogéneas híbridas, son necesarios que se integren conceptos de seguridad adicional, tales como los enfoques de defensa en profundidad. Una segunda preocupación es la fiabilidad de la tecnología de canales inalámbricos en aplicaciones de automatización. Muchas aplicaciones, en particular, para los críticos de la seguridad, se requieren redundancia de medios para lograr determinados niveles de fiabilidad. Si bien este problema es esencialmente resuelto para redes cableadas sobre el terreno (también para las que se basan en Ethernet), sigue siendo un tema de investigación para el dominio inalámbrico. La confiabilidad es también la razón para que la industria prefiera configuraciones de redes con infraestructura relativamente simple, mientras que la dinámica de escenarios ad hoc sigue siendo principalmente de interés solo académico. Relacionado con el aspecto de la fiabilidad de los canales inalámbricos, un emergente problema para las aplicaciones prácticas es la interferencia entre células vecinas o de otras redes inalámbricas de la misma gama de frecuencias. Por último, todos los esfuerzos de normalización y de migración, parecen ser especialmente idóneos principalmente para las redes a nivel de campo que hoy conocemos. Habrá, sin embargo, dominios de aplicación (y la automatización de edificios podría ser uno de ellos) exigentes para redes de sensores y actuadores que exijan: muy bajo consumo de energía, sencillez extrema, bajo costo, y/o mucha robustez. Redes diseñadas para tales aplicaciones específicas, sin importar si son por cable o inalámbricas, serán habitualmente demasiado especializadas para atender la compatibilidad con protocolos hacia atrás, (a lo sumo, podrán compartir perfiles de alto nivel con las "grandes" redes) en lo que se refiera a la compatibilidad de los datos. Desde el punto de vista del protocolo, podrían ser subsistemas independientes que se integren a través de pasarelas o proxies con otras redes backbone de gran potencia. En cualquier caso, la evolución de redes del nivel de campo no ha llegado a su fin.

Anexos

En los siguientes anexos se desarrolla el análisis de los aspectos mas salientes de los sistemas propietarios más importantes y extendidos de la actualidad, para la interconexión de sensores/actuadores.

Un desarrollo más profundo excedería el presente trabajo debido a la consecuente extensión.

Las referencias no están agregadas ya que fácilmente se corresponden con los Links que se encuentran al final de —Bibliografía de Referencia”.

Anexo A1 Introducción y características del bus AS-i

El bus AS-interface o Interfaz de Actuador/Sensor, fue creado en el año 1994 para la sustitución de la gran cantidad de señales provenientes de los sensores y dirigidos hacia los actuadores desde el controlador de los mismos.

El AS-interface, también conocido de forma abreviada como bus **AS-i**, es un sistema de enlace para el nivel más bajo de procesos en instalaciones de automatización.

Los voluminosos conjuntos de cables utilizados hasta ahora en este nivel son reemplazados por un único cable eléctrico, el cable AS-i. Por medio del cable AS-i y del maestro AS-i se acoplan sensores y actuadores binarios de la categoría más simple a las unidades de control a través de módulos AS-i en el nivel de campo.

AS-i presenta varias características fundamentales, como son:

- AS-i es idóneo para la conexión de actuadores y sensores binarios. A través del cable AS-i tienen lugar, tanto el intercambio de datos entre sensores/actuadores (esclavos AS-i) y el maestro AS-i como la alimentación eléctrica de los sensores y los actuadores.
- Cableado sencillo y económico; montaje fácil con técnica de perforación de aislamiento; gran flexibilidad gracias al cableado tipo árbol.
- Reacción rápida: el maestro AS-i necesita como máximo 5 ms para el intercambio de datos cíclico con hasta 31 estaciones conectadas.
- Las estaciones (esclavos AS-i) conectadas al cable AS-i pueden ser sensores/ actuadores con conexión AS-i integrada o módulos AS-i, a cada uno de los cuales se pueden conectar hasta ocho sensores/actuadores binarios convencionales.
- Con módulos AS-i estándar pueden funcionar hasta 124 actuadores y 124 sensores conectados al cable AS-i.
- Si se utilizan módulos AS-i con un espacio de direcciones ampliado, es posible la operación de hasta 186 actuadores y 248 sensores con un maestro extendido.
- Maestros AS-i de SIMATIC NET extendidos soportan una posibilidad de acceso especialmente sencilla a sensores/actuadores analógicos o a módulos que trabajen según el perfil de esclavo AS-i 7.3/7.4.

A1.1 Estándar AS-i abierto para sistemas de interconexión a nivel de procesos

Las especificaciones eléctricas y mecánicas para AS-i han sido creadas por la Asociación AS-interface formada inicialmente por 11 empresas del área de los sensores y los actuadores binarios entre las que se encuentra Siemens y a los que posteriormente se han sumado otras que también son fabricantes de componentes compatibles con este bus. Las especificaciones se ofrecen gratuitamente a las empresas interesadas.

La función principal de esta asociación es la estandarización internacional de la red, el desarrollo tecnológico posterior y la certificación de los productos realizados por los diferentes fabricantes. Es por esto que AS-i se considera un bus estándar, abierto e independiente del fabricante. El usuario puede reconocer que un producto AS-i está probado y homologado si tiene el sello "AS-i" y su correspondiente número de prueba.

AS-i es una asociación abierta de una gran cantidad de fabricantes y usuarios.

Miembros Fundadores

Festo KG
IFM Efactor
Leuze Electronic GmbH&Co
Pepperl + Fuchs GmbH
Erwin Sick GmbH
Siemens AG
Turck GmbH & Co KG

Miembros Posteriores

AeBradley,
Datalogic Prod.GmbH
Eaton Corporation
Endress & Hauser
Groupe Schneider SA
Honeywell
Itec
Lumberg GmbH & Co
Omron Electronics Europ

A1.2 AS-i en la industria

El bus AS-i es una red estándar de mercado, robusta y suficientemente flexible, que cumple con todos los requerimientos para un bus de comunicación industrial. Esta especialmente diseñada para el nivel "más bajo" del proceso de control.

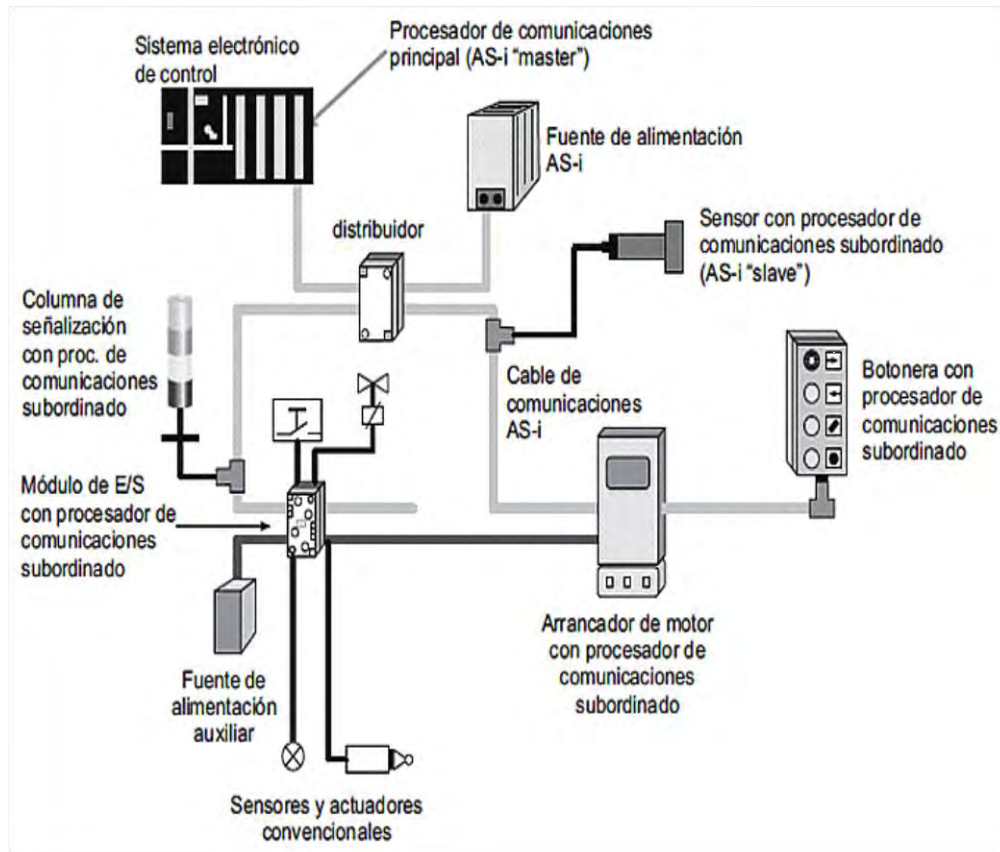


Figura A1.1 El bus AS-i dentro de la industria.

Dentro de lo que son las comunicaciones, cabe diferenciar entre las comunicaciones multimedia (básicamente ordenadores y tecnología Internet), de datos (transferencia de datos entre diferentes controladores) y de campo (transferencia de datos en tiempo real). Para todas existen empresas que disponen de soluciones que permiten la interconexión entre todas ellas, así como también se integran las comunicaciones para la gestión de edificios. Por ejemplo actualmente conviven las siguientes tecnologías de comunicación:

Ethernet: Comunicación entre redes de ordenadores y acceso a Internet.

Profinet/Profibus: Comunicación entre PLC's y PC incluyendo tecnología Wi-Fi y acceso a Internet.

Profinet/Profibus: Comunicación entre PLC's así como entre PLC y periferia descentralizada.

AS-i: Comunicación entre dispositivos de entrada/salida digitales y analógicos con un PLC.

KONNEX - EIB: Comunicaciones para la gestión de edificios y viviendas.

A1.3 Ventajas del bus AS-i

Cuando se quiere automatizar un proceso, es necesario utilizar una gran cantidad de sensores y actuadores. Por ejemplo, en un centro de logística, donde los detectores de ultrasonidos se encargan de averiguar la posición de un paquete dentro de la cinta transportadora, o en una embotelladora de bebidas, donde hay que controlar el nivel de llenado, etc.

Los sensores son "los ojos y los oídos" para el control del proceso, y están distribuidos en todas las partes de la instalación.

El cableado de cada uno de los sensores y actuadores se ha realizado durante mucho tiempo según la tecnología tradicional: Cada uno de los sensores y actuadores se cablean directamente al PLC de control. De esta forma es necesario utilizar una gran cantidad de cables, conectados al PLC en su correspondiente armario de distribución. Ver siguiente figura.



Figura A1.2 sistemas que no utilizan buses de campo.

La tecnología actual es la denominada técnica de bus, ya utilizada desde hace tiempo en el nivel de fabricación y proceso. Esta tecnología es la empleada con el bus AS-i desde mediados de los años 90, para la conexión en red de sensores y actuadores (nivel Actuador / Sensor).

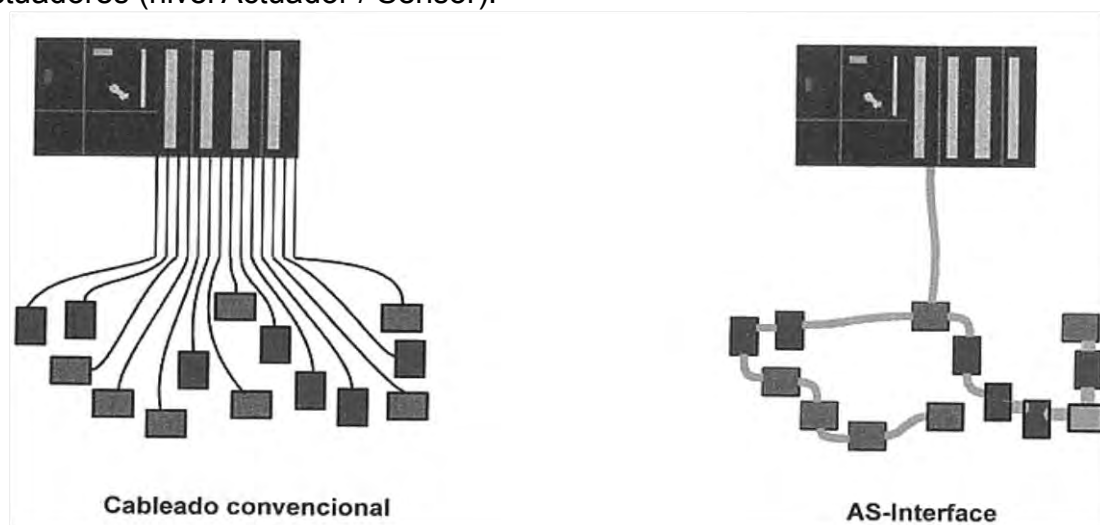


Figura A1.3 Comparativa gráfica entre el sistema convencional y el actual con AS-i.

Las ventajas más destacadas son:

- El montaje sencillo garantiza un funcionamiento simple.
- La transmisión de datos y energía por el mismo cable ahorra costos en las conexiones y el montaje.
- Alta seguridad de funcionamiento, gracias a la continua supervisión de los esclavos conectados en la red.
- Puesta en marcha rápida y sencilla.
- Armarios de distribución más pequeños, ya que se necesitan menos módulos de E/S y menos bornes.
- El grado de protección IP67 de los módulos ahorra en la colocación de armarios en campo.
- No se necesita ningún software adicional. Se utiliza la programación tradicional de STEP 7.
- Tiempos de parada más pequeños en caso de fallo, gracias al intercambio de módulos sin necesidad de reconfiguración.

A1.4 Comparación de sus versiones

Básicamente se conocen dos versiones operativas de AS-i que son las versiones 2.0 y la 2.1. Existen algunas diferencias entre ellas, aunque son totalmente compatibles.

La principal de estas diferencias es la ampliación de 31 a 62 esclavos que puede controlar un maestro AS-i.

En la versión 2.0 tan solo existe un esclavo con un número de dirección unívoca y cada esclavo puede contener como máximo 4 entradas + 4 salidas.

Por tanto quiere decir que una maestro AS-i de la versión 2.0 puede controlar una red formada como máximo por 31 esclavos (dirección 1 a 31) con un total de 124 señales de entrada + 124 señales de salidas.

A estos esclavos se les denomina esclavos "únicos".

Mientras que en la versión 2.1 pueden existir dos esclavos con la misma dirección, ya que se diferencian porque uno será esclavo "A" y el otro será esclavo "B", cada uno de ellos puede contener como máximo 4 señales de entradas y 3 señales de salidas. Por lo tanto, en el caso de un maestro de la versión 2.1 podrá controlar una red formada como máximo por 62 esclavos (dirección 1A a 31A y 1B a 31B) con un total de 248 señales de entradas y 186 señales de salidas.

Ambas versiones son compatibles entre sí, es decir que esclavos con la versión 2.0 se pueden conectar a una red en donde el maestro es de la versión 2.1. En cambio en el caso contrario cuando los esclavos de la versión 2.1, se conectan a una red controlada por un maestro de la versión 2.0. Este no entiende de esclavo "A" ni "B", por lo tanto se pierde la ventaja.

En cualquier caso no puede haber en una misma red un esclavo único con la dirección "x" y otro esclavo A o B con la misma dirección "x".

	Versión 2.0	Versión 2.1
Numero de esclavos	Máximo 31 esclavos	Máximo 62 esclavos
Número máximo de E/S	124 E + 124 S	248 E + 186 S
Tipo de transmisión	Datos y energía hasta 8 A	Datos y energía hasta 8 A
Medio físico	Doble cable sin apantallar 2 x 1.5 mm ²	Doble cable sin apantallar 2 x 1.5 mm ²
Máximo tiempo de ciclo AS-i	5 ms	10ms
Gestión de datos analógicos	Con bloques de función para PC.	Integrada en el Maestro
Numero de datos analógicos	16 Bytes para datos digitales y analógicos	124 datos analógicos
Método de acceso	Maestro/Esclavo	Maestro/Esclavo
Máxima longitud de cable	100 m, Extensión con repetidores hasta 300 m	100 m, Extensión con repetidores hasta 300 m

Tabla A1.1 resumen comparativo entre las dos versiones

A1.5 Ciclo de lectura y escritura en los esclavos

El sistema de acceso al medio está basado en un sistema maestro-esclavo, en el que el ciclo de lectura/escritura sobre los esclavos en una red AS-i se basa en un sistema conocido como "polling", en donde el maestro en primer lugar realiza una llamada a todos y cada uno de los esclavos tipo "A" o únicos en donde copia el estado de sus entradas y les fuerza las salidas al estado indicado por el programa en cada momento, desde el esclavo 1 o 1A, hasta el esclavo 31 o 31A, uno tras otro y en ese orden. Una vez finalizado, inicia el mismo proceso pero con los esclavos tipo "B", desde el 1B al 31B.

Al ser un sistema determinista nos asegura que en 5 ms ha realizado la actualización de datos en los 31 esclavos tipo "A" y únicos y en otros 5 ms asegura la actualización de datos en los 31 esclavos tipo "B", lo que indica que si tenemos los 62 esclavos conectados en una misma red, el maestro AS-i habrá actualizado los datos en un tiempo de 10 ms.

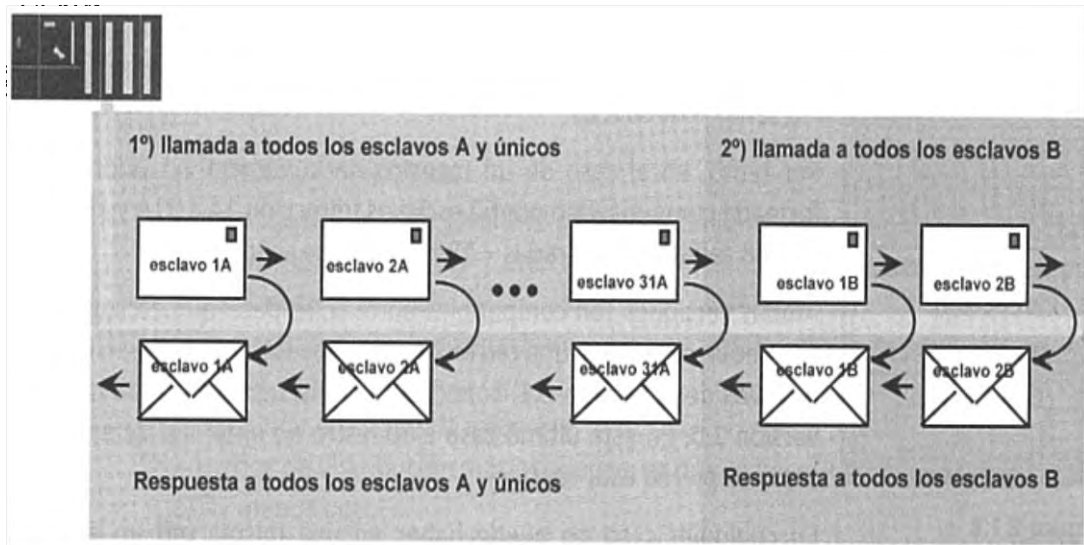


Figura A1.4 Estructura del ciclo de lectura/escritura desde el maestro a los esclavos.

La estructura del sistema está formada generalmente por un autómata programable, (PLC) que integra la CPU y el Maestro AS-i, de donde se conectan los diferentes esclavos.

El maestro AS-i dispone de su propio procesador. Este realiza la función de actualizar todos los datos de los esclavos conectados en la red y guardarlos en su propia memoria no volátil. Por tanto, leerá el estado de las señales de entrada de cada esclavo y las copiará en su memoria, así como asignará a cada salida de cada esclavo el estado que esté registrado en su memoria.

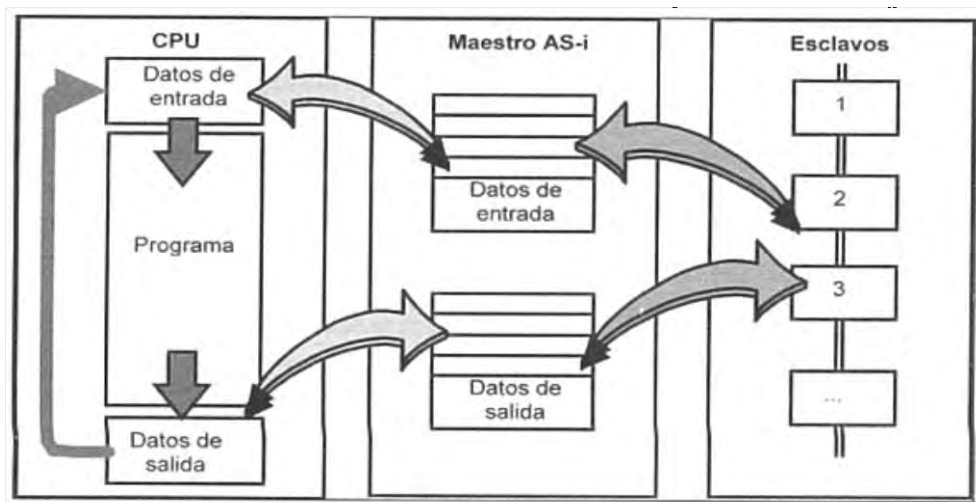


Figura A1.5 Lectura y escritura de los datos en los esclavos.

La CPU deberá realizar el traslado de los datos del estado actual de las entradas, así como del estado en que se deseen poner las salidas de cada uno de los esclavos conectados en la red.

Para ello se deberá asignar un espacio en la memoria de datos. Por tanto, el programa en primer lugar copiará los datos registrados en la memoria no volátil

del maestro AS-i que corresponden al estado de las entradas de cada uno de los esclavos, y a continuación ya podrá hacer uso de estos datos, realizando el programa correspondiente a la aplicación, y por último enviará los datos que corresponden al estado en que se deseen las salidas de los esclavos al maestro AS-i.

Mientras la CPU realiza su scan involucrando el programa cargado en el mismo, el maestro AS-i realiza su propio scan sobre los esclavos configurados y conectados en el bus. De esa forma los datos del estado en el que se encuentran las señales de entrada y salida de cada uno de los esclavos estarán totalmente actualizados para que la CPU cuando lo crea necesario haga uso de ellos.

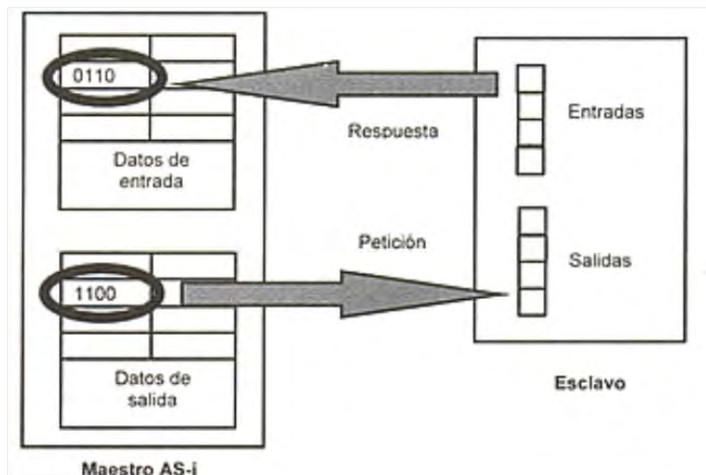


Figura A1.6 Memoria del estado de los datos de entrada y salida de los esclavos

A1.6 Equipos participantes en un bus AS-i

Los equipos que pueden participar en un bus AS-i se engloban en diferentes grupos:

- Fuente de alimentación AS-i.
- Maestros.
- Esclavos.
- Fuente de alimentación estándar.
- Cables y conectores.

A1.6.1 Fuente de alimentación AS-i

La fuente de alimentación AS-i es específica y superpone una tensión aproximada de 30VDC a la tensión de los datos que circulan por el bus. Su función es suministrar energía a las estaciones conectadas al cable AS-i.

Pueden ser de diferentes tipos, clasificadas principalmente por la potencia de la misma, aunque también existen otras diferencias como el grado de protección IP que incorpora.

Para algunos de los esclavos es necesaria la conexión de una alimentación de 24 VDC o 30 VDC estándar, para dar mayor potencia a los sensores/actuadores

conectados en el esclavo. También hay con suministro de tensión de alimentación de 110/220 VCA, para actuadores con servomotores que requieren este tipo de alimentación. A continuación se muestran diferentes tipos de fuentes de alimentación para el bus AS-i:



Figura A1.7 Tipos de fuente de alimentación AS-i.

A1.6.2 Maestros AS-i

La CPU del autómata programable por si sola no es capaz de controlar una red AS-i, ya que no dispone de la conexión correspondiente. Es, por lo tanto, necesaria la conexión de una tarjeta de ampliación conectada en el propio bastidor del autómata programable que realice las funciones de maestro de la red AS-i. Esa tarjeta es conocida como CP (Communication Processor), aunque también podemos encontrar maestros AS-i en formato de pasarela o gateway.

A continuación se muestran diferentes maestros para el bus AS-i:



Figura A1.8 Tipos de maestros AS-i.

A1.6.3 Esclavos AS-i

En cuanto a los esclavos AS-i, se pueden encontrar una multitud de modelos diferentes en cuanto a formas, tipos y número de entradas/salidas, funciones, etc. y que puede ir desde un esclavo para entrada/salida estándar, hasta esclavos en

forma de célula fotoeléctrica, pasando por arrancadores, balizas de señalización, botonera de pulsadores, etc. A continuación se muestran diferentes modelos de esclavos y maestros para el bus AS-i:



Figura A1.9 Tipos de esclavos AS-i.

A1.6.4 Conectores y cables

Para diferenciar las distintas aplicaciones que pueden tener cada uno de los hilos que pueden integrar la red, nos podemos encontrar cables perfilados de los siguientes tipos.

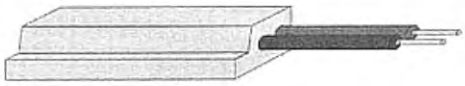


Tipo de cable	Color externo	Aplicación
	Amarillo	Bus AS-I portador de datos + alimentación
	Negro	Alimentación auxiliar de esclavos a 24 VDC
	Rojo	Alimentación auxiliar de esclavos a 220 VAC

Figura A1.10 Tipos de cables perfilados AS-i según su aplicación.

En cuanto a los conectores, estos se utilizan cuando se quiere conectar un dispositivo estándar, ya sea sensor o actuador, a esclavos del bus AS-I. Estos conectores tienen la forma indicada en la siguiente figura y están formados por una carcasa y cuatro conexiones. Estas conexiones pueden tener una finalidad diferente según el componente aplicado, sensor con dos hilos, o con tres hilos, sensor digital o analógico, etc.



Figura A1.11 Conector para esclavos AS-i.

Maestro AS-i: PC, PLC o Pasarela a una red superior

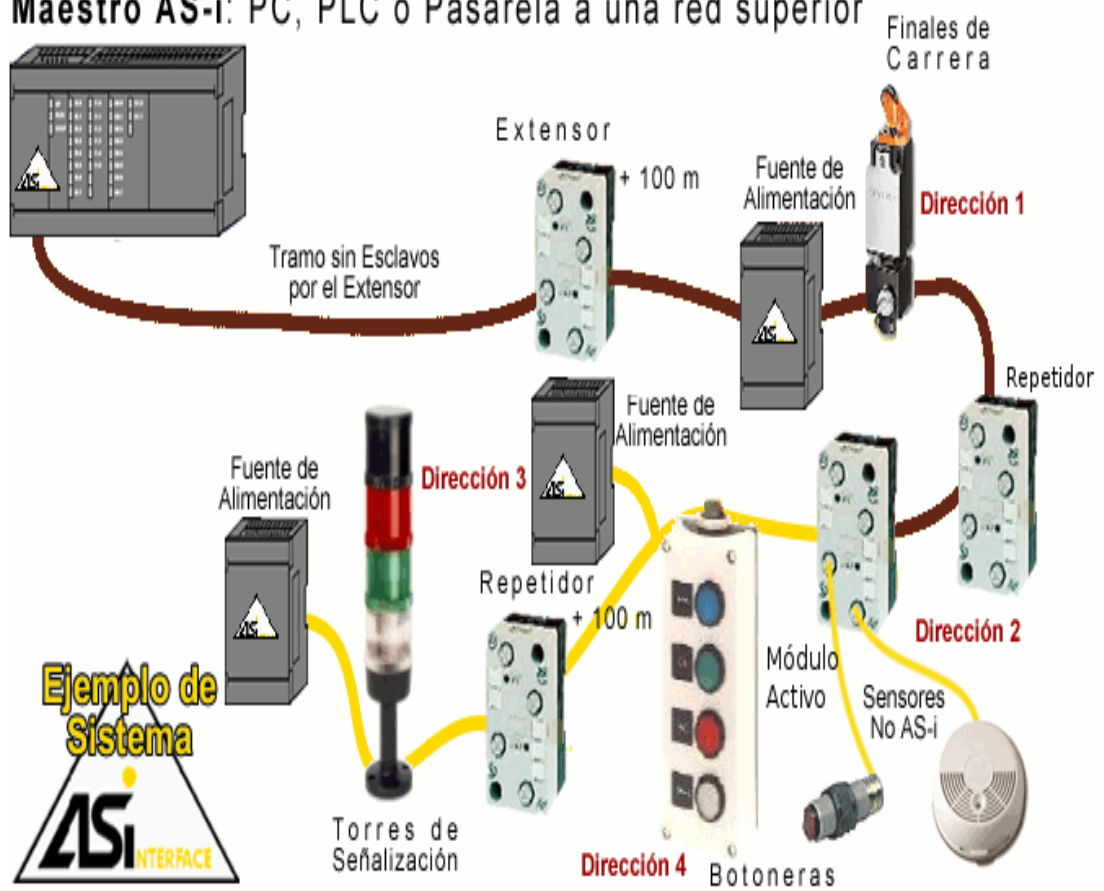


Figura A1.12 Caja de conexiones AS-i, con diversos sensores y actuadores y su maestro.

Anexo A2 Introducción y características de Profibus

Con la idea de generar un bus de campo abierto y transparente que fuera válido para que diferentes fabricantes pudiesen unir en una misma red distintos dispositivos de automatización, nació Profibus. Su creación fue producida por diferentes empresas y algunas universidades y finalmente derivó en la norma estándar EN 50170 e IEC 61158.

Profibus es uno de los buses con mayor implantación tanto a nivel europeo como mundial y ha sido desarrollado sobre la base del modelo ISO/OSI (International Standard Organization /Open System Interconnect) para servicio de comunicación de datos.

Existen tres perfiles distintos de Profibus, como son:

- **Profibus FMS (Fieldbus Message Specification):** Está implementado en el nivel 7 del modelo OSI, su aplicación es la transferencia de gran volumen de datos entre diferentes dispositivos inteligentes conectados en una misma red.
Hoy en día, con el uso creciente de Ethernet y TCP/IP se va relegando este perfil a un segundo plano. El sistema está basado en estructura Cliente-Servidor.
No es tenido en cuenta en este trabajo.
- **Profibus DP (Distributed Peripheral):** Su aplicación está basada en el intercambio a gran velocidad de un volumen medio de información entre un controlador, que hace las funciones de maestro, y diferentes controladores o diferentes periféricos, como son autómatas programables, módulos de E/S, convertidores de frecuencia, paneles de visualización, etc., que actúan como dispositivos esclavos, distribuidos en el proceso industrial, y conectados a una misma red de comunicación. Profibus DP trabaja dentro de los niveles 1 y 2 del modelo OSI, y bajo las especificaciones de la norma física RS-485.
- **Profibus PA (Process Automation):** Es un caso ampliado de Profibus DP, diseñado para trabajar en los ámbitos de control de procesos de áreas peligrosas, es decir, en zonas denominadas "Ex" de seguridad intrínseca. Este perfil sigue lo enunciado en la norma IEC 1158-2.

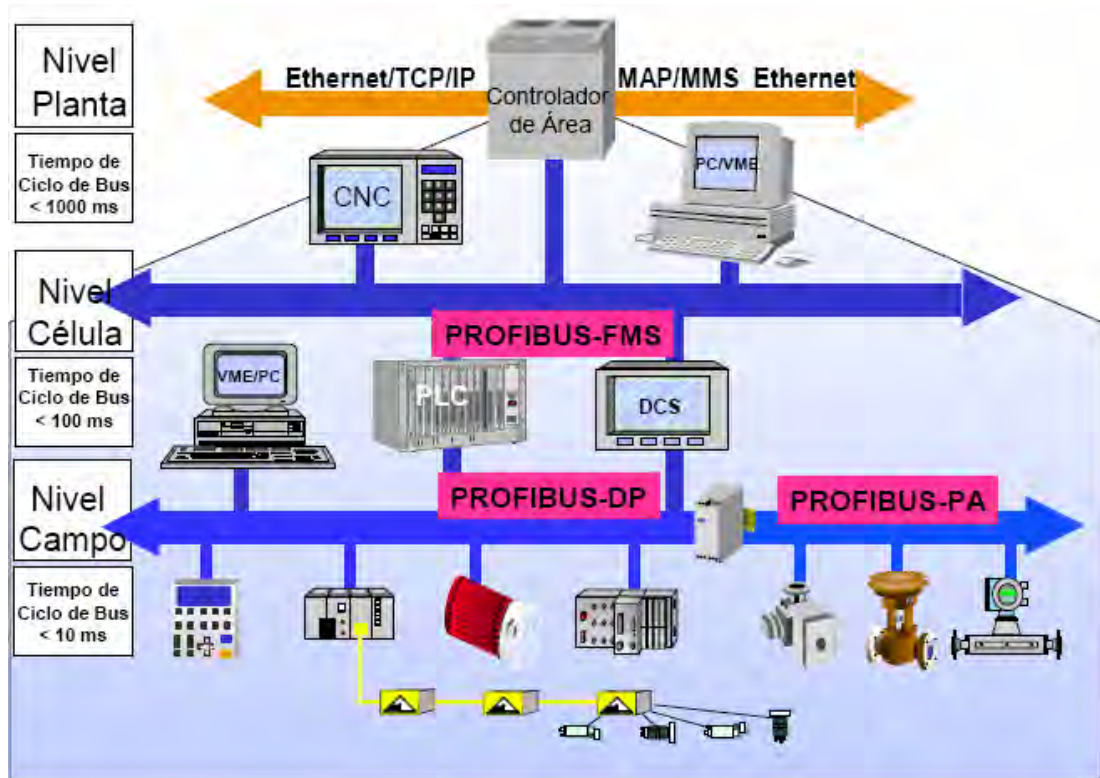


Figura A2.1 Usos de los protocolos Profibus.

A modo de resumen se puede indicar que:

- Profibus es el líder mundial en redes multifuncionales de célula y campo.
- Existen más de 3,5 millones de dispositivos Profibus instalados en más de 350.000 aplicaciones (datos de finales de 1999).
- Profibus Internacional es una organización que reúne todas las asociaciones de usuarios de Profibus (PNO) zonales, para la promoción de Profibus.
- Estándar internacional EN 50170 e IEC 61158.
- Número 1 en Europa, Líder mundial.
- Hay organizaciones de Usuarios Profibus en los cinco continentes:
- Más de 900 miembros en 23 países de todo el mundo.

Hoy en día hay más de 1.900 productos disponibles de más de 260 fabricantes diferentes.

- El 27% de fabricantes son de fuera de Alemania.
- El 25% de solo 5 fabricantes: Siemens, Beckhoff, Wago, Wedmiiller y Bosch,
- Mas del 50% de pequeñas y medianas empresas

A2.1 Profibus DP (Periferia Descentralizada)

A nivel de campo el volumen de datos a enviar en cada transmisión no es elevado y lo importante es la velocidad con la que la información va a llegar a su destinatario, y no solo basta con que llegue rápido sino que llegue en un tiempo máximo y conocido por el sistema (aproximadamente 10 ms). Esto es lo que se conoce como un sistema determinista, cuando no es posible asegurar un tiempo máximo para que la información sea procesada por el equipo receptor, (a veces rápido y otras veces lento), el sistema es conocido como no determinista. Las comunicaciones a nivel de campo generalmente se implementan con sistemas deterministas, (salvo excepciones específicas que no requieren precisión temporal) perfil éste que incorpora Profibus DP.

Otros criterios de elección del bus de comunicaciones que tiene en cuenta Profibus DP, y que son importantes son:

- Capacidad de ser diagnosticado ante algún error producido en la red o en algún dispositivo.
- Inmunidad a las posibles interferencias que se puedan producir en su entorno.
- Facilidad tanto en su configuración como en el manejo y la construcción.

El método utilizado para el control de acceso a la red es el conocido como maestro-esclavo, en donde existe un potente controlador que hace las funciones de maestro de la red y hasta 126 dispositivos conectados a esa misma red que actúan como esclavos.

Los dispositivos maestros son equipos inteligentes o estaciones activas que son los que controlan la red y van interrogando uno a uno a cada esclavo, mientras que éstos son estaciones pasivas. Los esclavos poseen módulos de entrada/salida, que esperan a ser interrogados por el maestro, ya que estos (los esclavos) no tienen la potestad de iniciar la comunicación. Sin embargo también puede conectarse a la red como esclavo un autómata programable (PLC), que a su vez controle varios sensores o actuadores involucrados en el proceso.

Cabe distinguir dos categorías distintas de maestros y una de esclavo, como son:

- **DPM1: Maestro DP de clase 1:** Tiene asignadas las funciones de control sobre sus esclavos conectados en su red. Normalmente son autómatas programables u ordenadores.
- **DPM2: Maestro DP de clase 2:** Son estaciones cuyas funciones son las de configuración y diagnóstico. Normalmente son terminales de operador o unidades específicas de programación y configuración.
- **Esclavo DP:** Es una unidad de periferia que realiza la lectura de las entradas, (normalmente dispositivos de mando y de detección), y envía información a las salidas que se encuentran conectadas a él, normalmente dispositivos de accionamiento.

A2.2 Transmisión de datos

El bus DP puede estar compuesto de uno o de varios maestros, así como de uno

a varios esclavos. Para el control del acceso al medio se utilizan dos sistemas, como son:

- Token.
- Maestro-esclavo.

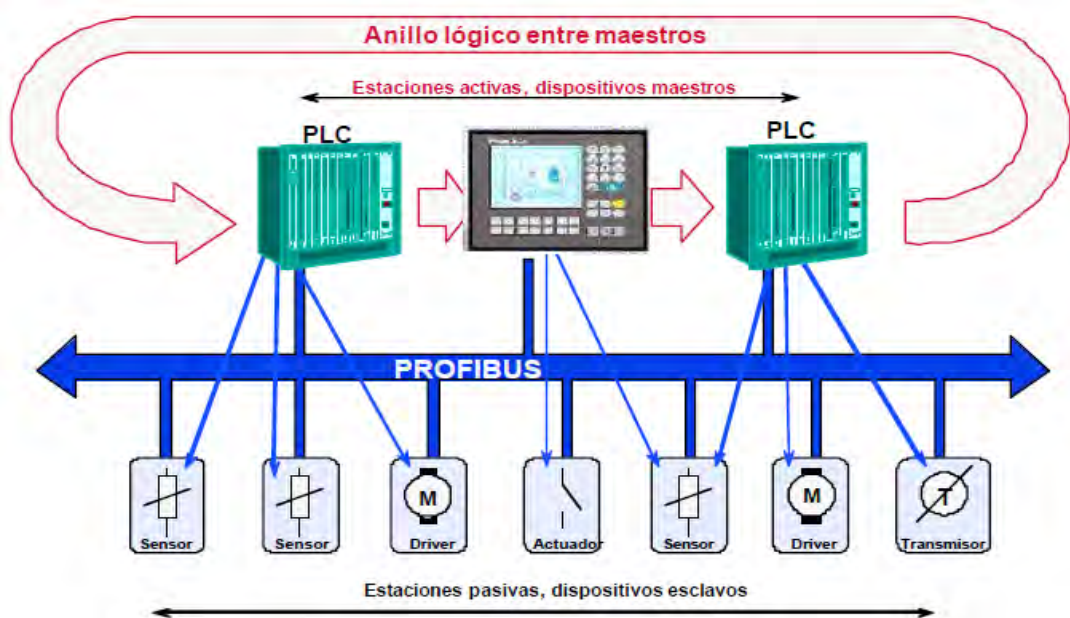


Figura A2.2 Equipos participantes en una red Profibus.

Otras características principales son recogidas en la siguiente tabla:

Estándar	Profibus según EN 50 170
Método de acceso	Paso por testigo con maestro-esclavo
Velocidad de transmisión	9,6 kbit/s - 12 Mbit/s
Tiempo de ciclo	Entre 5 y 10 ms
Volumen de datos	Hasta 246 bytes
Medio de transmisión eléctrico:	Cable de dos cables apantallado
Medio de transmisión óptico:	Cables de FO (cristal y plástico)
Medio de transmisión sin cables:	Infrarrojos
Máximo número de nodos	32 estaciones por segmento y hasta un total de 127
Tamaño de la red eléctrica:	Max. 9,6 km (depende de velocidad)
Tamaño de la red óptica:	150 km (depende de velocidad)
Topologías	Bus, árbol, estrella, anillo, anillo redundante
Aplicaciones	Comunicación de proceso, campo o datos

Tabla A2.1

Con el ánimo de ir mejorando las prestaciones de este tipo de red, se han ido creando diferentes versiones en las que la DP-VO es la primera sobre la cual se han ido basando el resto de las versiones, como son la DP-V1 y la DP-V2 actual.

DP-VO: El maestro podrá realizar funciones de:

- Configuración.
- Parametrización.
- Lectura cíclica de salidas.
- Lectura de datos de diagnóstico.

DP-V1: El maestro podrá realizar funciones contempladas para la DP-VO y, además, realizar funciones de:

- Lectura acíclica.
- Escritura acíclica.
- Reconocimiento o acuse de alarmas.

DP-V2: Aparecida en noviembre de 2002, en la que el maestro podrá realizar funciones contempladas para la DP-VO y DP-V1, además de realizar funciones de:

- Sincronización del reloj entre todas las estaciones.
- Regulación de las comunicaciones directas de datos entre esclavos.

A2.3 PROFIBUS-PA

El protocolo de aplicación de la red PROFIBUS-PA (acrónimo de Process Automation) cumple los requisitos exigidos para llevar a cabo las transferencias de información en el nivel de proceso de la pirámide CIM de la industria de procesos continuos. Constituye un sistema de comunicación independiente que se puede integrar en una red PROFIBUS-DP jerárquicamente superior. El ámbito de aplicación de la red PROFIBUS-PA exige que, además de tiempos de respuesta deterministas en la comunicación con los dispositivos de campo, posea el siguiente conjunto de características:

- Técnicas de comunicación intrínsecamente seguras.
- Alimentación de los dispositivos de campo a través del propio medio de comunicación.
- Transmisión de datos muy fiable.
- Interoperabilidad de los dispositivos de diferentes fabricantes.

Los aspectos relacionados con la seguridad intrínseca y la alimentación a través del medio de comunicación no fueron tenidos en cuenta en las primeras versiones de la red PROFIBUS.

Posteriormente, y tras la aprobación, en octubre de 1994, de la norma IEC 61158-2, en la que se define a nivel internacional una nueva técnica de transmisión adecuada para este ámbito, se desarrollaron y publicaron, en marzo de 1995, las especificaciones de PROFIBUS-PA relacionadas con estos aspectos.

PROFIBUS-PA permite, en el área de la automatización de procesos, la conexión de los sistemas electrónicos de control del proceso con los dispositivos de campo, y reemplaza a los tradicionales sistemas de transmisión de información analógica mediante el bucle de corriente de 4 a 20 mA.

Aparte de las características particulares de la capa física que utiliza PROFIBUS-PA, las restantes características de las comunicaciones en los niveles de enlace y aplicación son muy similares a las de PROFIBUS-DP.

En la capa física de PROFIBUS-PA, se utiliza en general la conexión normalizada RS-485 y en zonas que requieren seguridad intrínseca, la variante es la definida en la norma IEC 61158-2, cuya velocidad de transmisión es de 31,25 Kbits/seg.

La comunicación de acuerdo con la norma IEC 61158-2 satisface las exigencias de las industrias químicas y petroquímicas, para lo cual incorpora seguridad intrínseca y permite que la alimentación de los dispositivos de campo se realice a través de la propia red de comunicaciones.

Para ello utiliza un protocolo síncrono a nivel de bit, con transmisión continua y está basado en los siguientes principios:

- Cada segmento dispone sólo de una fuente de alimentación que limita tanto la corriente como la tensión.
- Los dispositivos conectados a la red no se alimentan cuando un procesador de comunicaciones está enviando información.
- Todos los dispositivos de campo consumen una corriente de base constante en estado estacionario.
- Los dispositivos de campo se comportan como sumideros de corriente.
- Se deben colocar componentes pasivos consistentes en una red RC en ambos extremos de la línea principal de la red.
- Se pueden utilizar topologías en forma de bus lineal, estrella y anillo.
- Permite la realización de segmentos de red redundantes para aumentar la fiabilidad del sistema de comunicación.

Los sistemas de control de procesos, control de operaciones y dispositivos de monitorización están normalmente localizados en las salas de control de la planta (zonas no intrínsecamente seguras), mientras que los procesadores principales de comunicaciones encargados de gestionar una red PROFIBUS-PA operan siempre en la zona no intrínsecamente segura. Por ello es necesario utilizar adaptadores de segmento que convierten las señales RS-485 a IEC 61158-2.

Los adaptadores de segmento (DP/PA Adapter) constituyen, desde el punto de vista de la comunicación, un puente (Bridge) que se coloca entre la red PROFIBUS-DP y la PROFIBUS-PA y se encarga tanto de adaptar las capas de aplicación de ambas, como de alimentar los dispositivos de campo conectados a esta última. También realiza funciones de aislamiento galvánico entre ambas redes, generalmente mediante opto-acopladores.

Desde el punto de vista de la red PROFIBUS-DP, el adaptador de segmento se comporta como un procesador subordinado de comunicaciones que se encarga de gestionar los elementos de la zona PA, y desde el punto de vista de la red

PROFIBUS-PA, constituye un procesador principal de comunicaciones que puede comunicarse con un máximo de 32 procesadores principales de comunicaciones o dispositivos de campo inteligentes. Este número también está limitado por el tipo de protección contra explosiones que se necesite.

Cuando se utilizan redes intrínsecamente seguras, tanto la tensión máxima como la corriente máxima aportada por la fuente de alimentación están especificadas dentro de unos límites perfectamente definidos que se indican en la Tabla A2.2

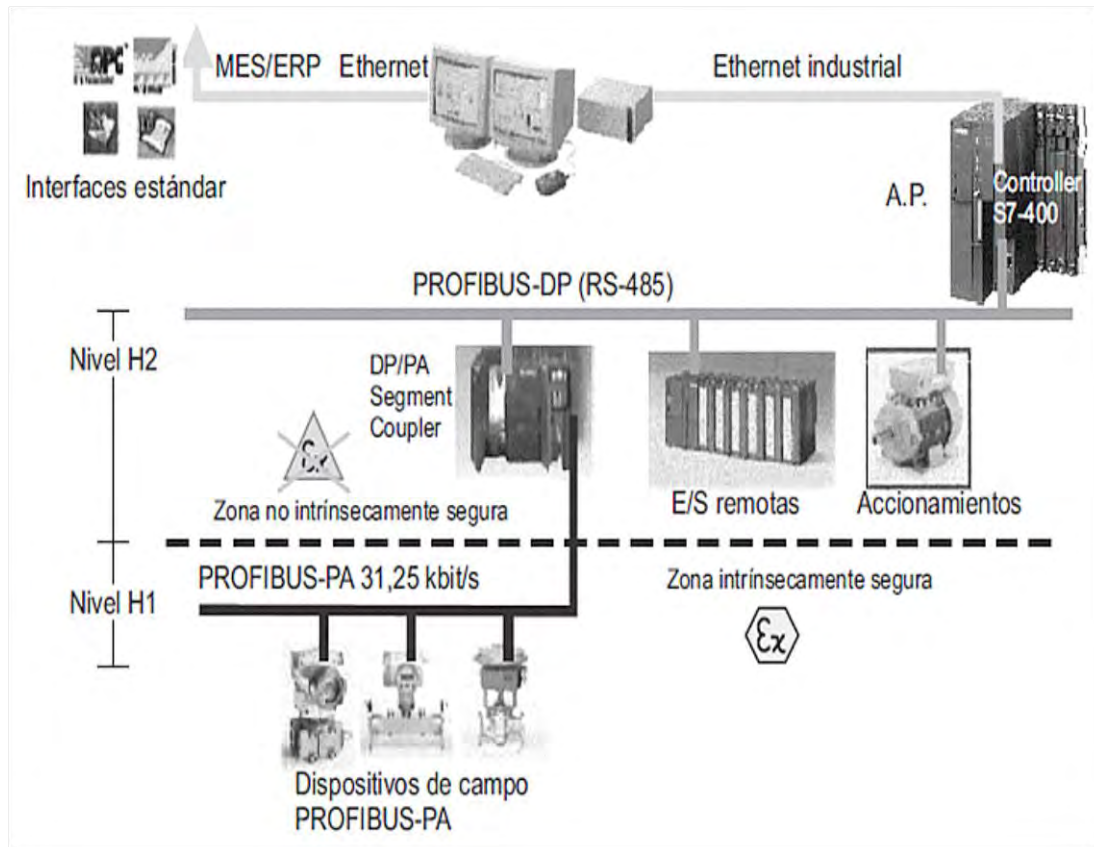


Figura A2.3 Configuración típica de una red de control, realizada con la familia de redes PROFIBUS, que posee un segmento en el que se utiliza la red PROFIBUS-PA.

Tipo	Área de aplicación	Fuente de tensión	Corriente máxima	Potencia máxima	Número de procesadores de comunicaciones
I	EEx ia/ib IIC	13,5 V	110 mA	1,8 W	8
II	EEx ib IIC	13,5 V	110 mA	1,8 W	8
III	EEx ib IIB	13,5 V	250 mA	4,2 W	22
IV	No EEx	24 V	500 mA	12 W	32

Tabla A2.2 Límites eléctricos de una red PROFIBUS-PA en función del nivel de seguridad exigido.

Para la transmisión en las áreas intrínsecamente seguras, se debe utilizar un cable, preferentemente blindado, de dos hilos de cobre. Cuando se conecta a la red PROFIBUS-PA un procesador de comunicaciones con la polaridad invertida, no se produce ninguna interferencia en su funcionamiento. No obstante, la norma recomienda que los elementos conectados a la red estén equipados con sistemas de reconocimiento automático de polaridad.

Anexo A3 Introducción y características de Ethernet industrial

Ethernet Industrial aporta soluciones eficientes de automatización en el ámbito industrial, dispone de una potente red de los niveles más altos de la pirámide CIM hasta el nivel más bajo de proceso. Sigue los estándares IEEE 802.3 (Ethernet) y 802.11 (Wireless LAN). Actualmente Ethernet es, con una proporción de más del 80%, el número uno en todo el mundo entre las redes LAN.

Este sistema permite crear en la industria, potentes redes de comunicación de gran extensión. Además las múltiples posibilidades de Intranet, Extranet e Internet que ya están disponibles actualmente en el ámbito de la oficina también se pueden aprovechar en la automatización de manufactura y de procesos.

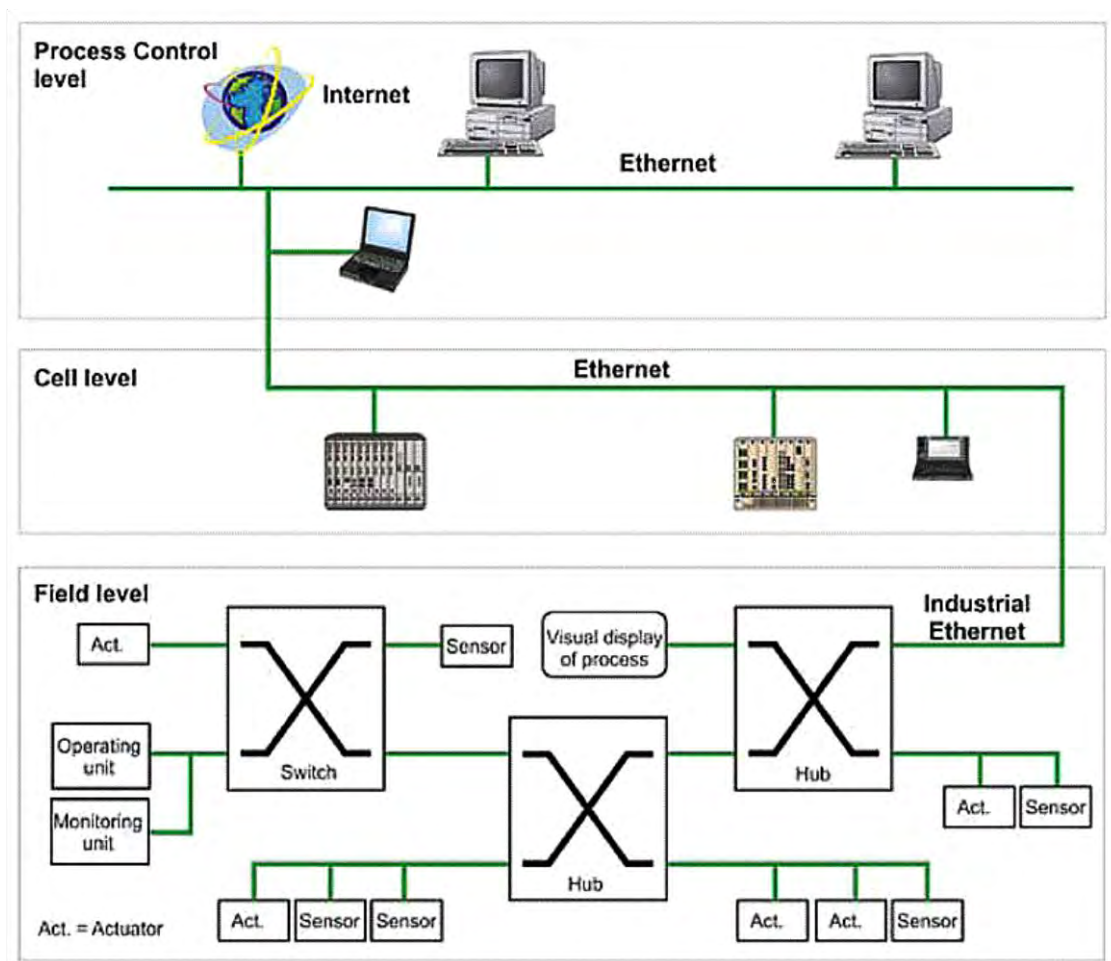


Figura A3.1 Ethernet en todos los niveles de una empresa

La tecnología Ethernet, ingreso en el ámbito industrial con gran éxito desde hace años, en combinación fundamentalmente con: switching, full dúplex, y las altas velocidades alcanzadas. Ofrece al usuario la posibilidad de adaptar el rendimiento necesario en su red de forma precisa a sus exigencias. La velocidad de transmisión de datos se puede elegir según las necesidades, porque la compatibilidad sin lagunas permite la introducción escalonada de la nueva tecnología. Ethernet posee características importantes que pueden aportar ventajas esenciales:

- Puesta en marcha rápida gracias a un sistema de conexión extremadamente simple.
- Alta disponibilidad; las instalaciones existentes se pueden ampliar sin efectos negativos.
- Rendimiento de comunicación prácticamente ilimitado; si se necesita, se puede escalar el rendimiento aplicando tecnología de conmutación y elevadas velocidades de transferencia de datos.
- Interconexión de las áreas más diversas, como oficina y proceso.
- Comunicación a escala corporativa gracias a la posibilidad de acoplamiento por WAN (Wide Area Network) como RDSI o Internet.
- Seguridad para las inversiones gracias a desarrollos y perfeccionamientos compatibles.
- Reserva de ancho de banda en LAN Inalámbrica Industrial (IWLAN).

A3.1 Componentes de red pasivos para Ethernet industrial cables y conectores

El cableado estructurado según ISO IEC 11801/EN 50173 describen un tipo de cableado, que es independiente de la aplicación, pensado para complejos de edificios y aplicaciones de tecnologías de la información. Con el sistema de cableado rápido se pueden efectuar conexiones in situ de forma rápida y sencilla, lo que permite utilizar la técnica de cableado RJ45 como estándar actual para modelos aptos para la industria.

Los cables de bus están preparados para poder realizar una fácil instalación. Los conectores que se utilizan a nivel de campo están protegidos contra perturbaciones gracias a su robusta carcasa de metal.

El conector para la industria RJ45 es inmune a perturbaciones gracias a su robusta carcasa de metal, lo cual proporciona la solución ideal para realizar montajes en campo con cables de par trenzado de cuatro hilos, (su instalación es rápida y libre de errores). El diseño compacto y robusto de los conectores permite utilizar el RJ45 en entornos industriales y en equipos del mundo de oficina.



Figura A3.2 Diferentes tipo de cables y conectores.

A3.2 Componentes de red activos para Ethernet industrial switches y gateway

El switch Ethernet Industrial tiene las funciones siguientes:

- Según el número de puertos disponibles, los switches pueden conectar simultáneamente de forma temporal y dinámica varias subredes o estaciones; cada conexión dispone de todo el caudal de datos.
- Mediante filtrado del tráfico de datos en base a la dirección Ethernet (MAC) de los equipos terminales, el tráfico de datos local permanece a dicho nivel. El Switch solo retransmite los datos a estaciones de otra

- subred cuando es requerido.
- Se puede ampliar el número de terminales conectables.
- La propagación de errores está limitada a la subred afectada.

La tecnología de conmutación ofrece ventajas decisivas:

- Posibilidad de crear redes parciales y segmentos de red.
- Aumento del volumen de transmisión de datos y, en consecuencia, del rendimiento de la red por estructuración del intercambio de datos.
- Reglas sencillas para la configuración de redes.
- Topologías de red con 50 switches y una extensión total de hasta 150 km se realizan sin problemas y sin necesidad de tener en cuenta tiempos de propagación de señales.
- Ampliación ilimitada de la extensión de la red mediante la conexión de distintos dominios de colisión con redes parciales.
- A partir de 150 km se tienen que considerar los tiempos de propagación de señales.
- Ampliación sencilla y sin repercusiones en redes existentes.

Las pasarelas o gateways permiten la conexión con otros sistemas como por ejemplo RS485, o Profibus, muchos PLC incorporan módulos con esta función como se puede apreciar en la siguiente figura.

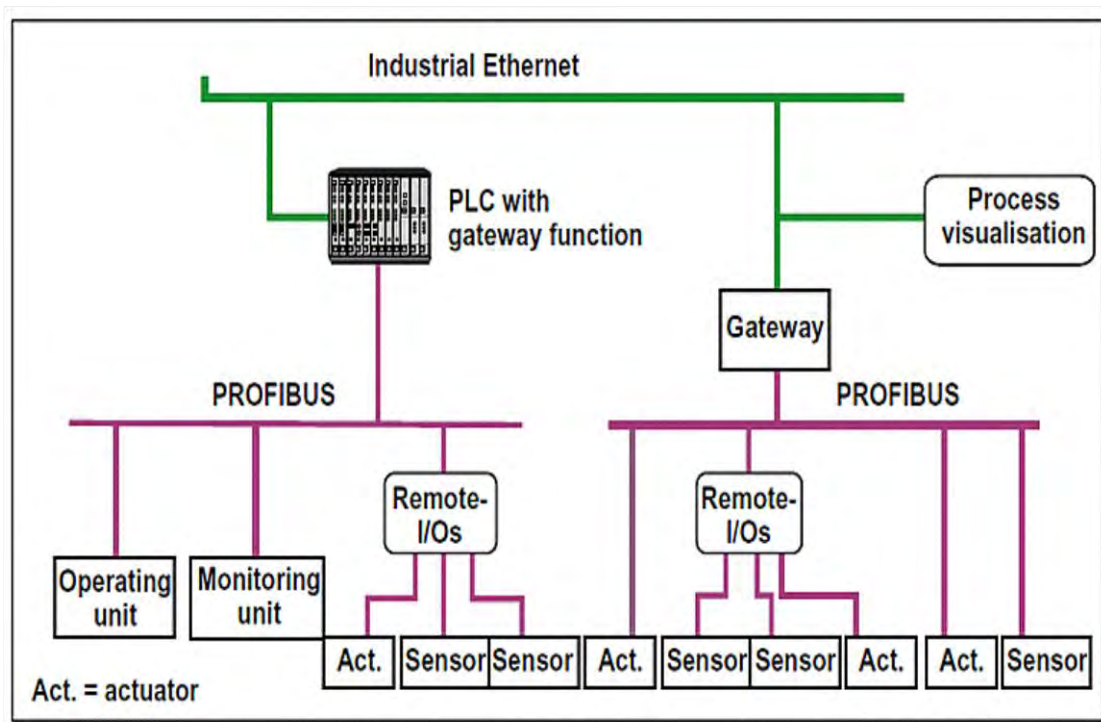


Figura A3.3 Conexión a través de pasarelas para a Profibus en el nivel de sensores

Anexo A4 Introducción y características de PROFINET

Basado en Ethernet Industrial, PROFINET permite la comunicación directa de equipos de campo con controladores, así como la solución de aplicaciones isócronas de control de movimiento. Además, PROFINET permite la automatización distribuida con ayuda de la tecnología de componentes específicos.

En el contexto de la Totally Integrated Automation (TIA), PROFINET es la evolución lógica del bus de campo Profibus DP y de Ethernet Industrial. La experiencia de ambos sistemas ha sido y está siendo integrada en PROFINET. PROFINET, como estándar de automatización, está basado en Ethernet, que Profibus Internacional (Profibus User Organisation) define como un modelo abierto de comunicación e ingeniería.

A4.1 Objetivos y ventajas de PROFINET

Los objetivos de PROFINET son:

- Ser un estándar abierto para la automatización basado en Ethernet Industrial.
- Que los componentes de Ethernet Industrial y Ethernet estándar puedan utilizarse conjuntamente, aunque los equipos de Ethernet Industrial sean más robustos y por consiguiente más apropiados para el entorno industrial (temperatura, seguridad de funcionamiento, etc.).
- Usar estándares TCP/IP y de tecnologías de la información, TI.
- Automatización con Ethernet en tiempo real.
- Integrar de forma directa sistemas con bus de campo.
- PROFINET especifica las funciones para la realización de una solución total de automatización desde la instalación de la red hasta el diagnóstico basado en la web.
- Gracias a su estructura modular, PROFINET puede ampliarse fácilmente con funciones futuras.

De todo lo escrito anteriormente, podemos deducir las siguientes ventajas:

- Flexibilidad gracias al empleo de Ethernet y de los estándares acreditados de TI.
- Ahorro de ingeniería y puesta en marcha gracias a la modularización.
- Protección de la inversión para equipos y aplicaciones Profibus.
- Más rápido que los actuales buses especiales en el ámbito de control de movimiento.
- Amplio abanico de productos disponibles en el mercado.

A4.2 Arquitectura PROFINET

Se tuvieron en cuenta principalmente los siguientes aspectos para la arquitectura de PROFINET:

- Comunicación entre aparatos de campo como por ejemplo, los aparatos de la periferia y los accionamientos.
- Las arquitecturas Profibus existentes pueden integrarse dentro de PROFINET, de este modo, se protege la inversión para equipos Profibus y sus aplicaciones.
- Comunicación entre autómatas como componentes de sistemas distribuidos. La estructura modular técnica es una garantía de ahorro tanto en la ingeniería como en el mantenimiento.
- Técnica de instalación con conectores y componentes de red estandarizados, para aprovechar el potencial innovador de Ethernet y de los estándares de TI.

A4.3 Ventajas y Características de PROFINET

La interfaz PROFINET con dos o más puertos permite configurar el sistema con una arquitectura en línea sin necesidad de switches externos adicionales.

Todo dispositivo PROFINET puede ser identificado en la red de forma unívoca a través de su propia interfaz. Para ello, cada interfaz en PROFINET dispone de:

- Una dirección MAC (ajustada de fábrica).
- Una dirección IP.
- Un nombre (Nombre de Estación).

A4.4 Integración de buses de campo en PROFINET

PROFINET ofrece la posibilidad de integrar sistemas de bus de campo ya existentes (por ejemplo, Profibus, AS-i, etc.) a través de un Proxy. Ello permite configurar sistemas mixtos a partir de subsistemas basados en buses de campo y Ethernet. De este modo se consigue una transición continua de las tecnologías a PROFINET.

Gracias a las diferentes interfaces, podemos acoplar una red PROFINET con otra red.

También es posible integrar en PROFINET configuraciones de otras redes ya existentes.

Tipos de acoplamientos de redes:

- Acoplamiento de Profibus con PROFINET a través del IE/PB Link.
- Acoplamiento de Profibus DP con PROFINET a través de una red Industrial Wireless LAN a través de un LAN/PB Link inalámbrico.
- Acoplamiento de AS-i, y PROFINET a través de un IE/AS-i Link PN IO.

A4.5 PROFINET IO

PROFINET IO define un modelo abierto de comunicación, automatización e ingeniería.

Se basa en años de experiencia con Profibus DP y combina las propiedades de uso habitual en Profibus con la incorporación de innovadores conceptos de la tecnología Ethernet. Con ello se garantiza la migración sin problemas de Profibus DP al entorno PROFINET.

Con PROFINET IO se aplica una tecnología de conmutación que permite a cualquier estación acceder a la red en todo momento. Así, la red permite un uso mucho más efectivo gracias a la transmisión de datos simultánea de varias estaciones. El modo dúplex del sistema conmutado Ethernet permite transmitir y recibir al mismo tiempo, con un ancho de banda de 100 Mbits/s.

A la hora de desarrollar PROFINET IO, se ha puesto especial cuidado en proteger la inversión de los usuarios y los fabricantes de dispositivos. La migración a PROFINET IO se desarrolla manteniendo el modelo de aplicación de Profibus. Comparando con Profibus DP, la vista de los datos del proceso se conserva plenamente en cuanto a:

- Datos I/O (acceso a datos de periferia a través de direcciones lógicas).
- Registros (almacenamiento de parámetros y datos).
- Integración con un sistema de diagnóstico (notificación de eventos de diagnóstico, y buffer de diagnóstico).

La herramienta de ingeniería STEP 7 nos ayudará a configurar y parametrizar las soluciones de automatización, disponiendo de la misma vista de la aplicación, independientemente de si configuramos los dispositivos PROFINET o aparatos Profibus. La creación del programa de usuario es igual en PROFINET IO y en Profibus DP.

Por otra parte, también es posible utilizar dispositivos IO que soportan una frecuencia de envío de 1ms en un controlador IO que funcione con una frecuencia de envío de 250 μ s, el tiempo mínimo de actualización de los dispositivos IO en cuestión será entonces de, 1ms.

A4.6 Topologías

A continuación, se muestran en síntesis las distintas posibilidades de configurar e instalar una red PROFINET.

- Estrella

Conectando las estaciones a un switch se obtiene automáticamente una topología en forma de estrella.

En caso de que falle un solo dispositivo PROFINET, al contrario que con otras estructuras, con esta no se producirá necesariamente un fallo de toda la red. El fallo de un solo switch provoca tan solo el fallo de una parte de la red.

- **Árbol**

Interconectando varias estructuras en forma de estrella se crea una topología en forma de árbol.

- **Línea o Bus**

Todas las estaciones que intervienen en la comunicación se conectan una tras otra en línea. Cuando falla un elemento acoplador (por ejemplo, un switch), la comunicación ya no es posible a través de dicho elemento acoplador. Entonces se divide la red en dos segmentos parciales.

En PROFINET, la estructura en línea se realiza mediante switches que ya están incorporados en los dispositivos PROFINET. Por ello, la estructura en línea no es más que una variante de la estructura en árbol o en estrella, y en esta se destaca, que tiene la ventaja de requerir mucho menos cableado.

El concepto de subred, aquí involucra a todos los aparatos interconectados que se encuentran vinculados con la red, a través de un punto (router) de extensión de la línea, formando la subred. Todos los dispositivos de una subred pueden comunicarse directamente unos con otros. La máscara de subred es idéntica en todos los dispositivos que están conectados a la misma subred. Esta se limita físicamente mediante un router.

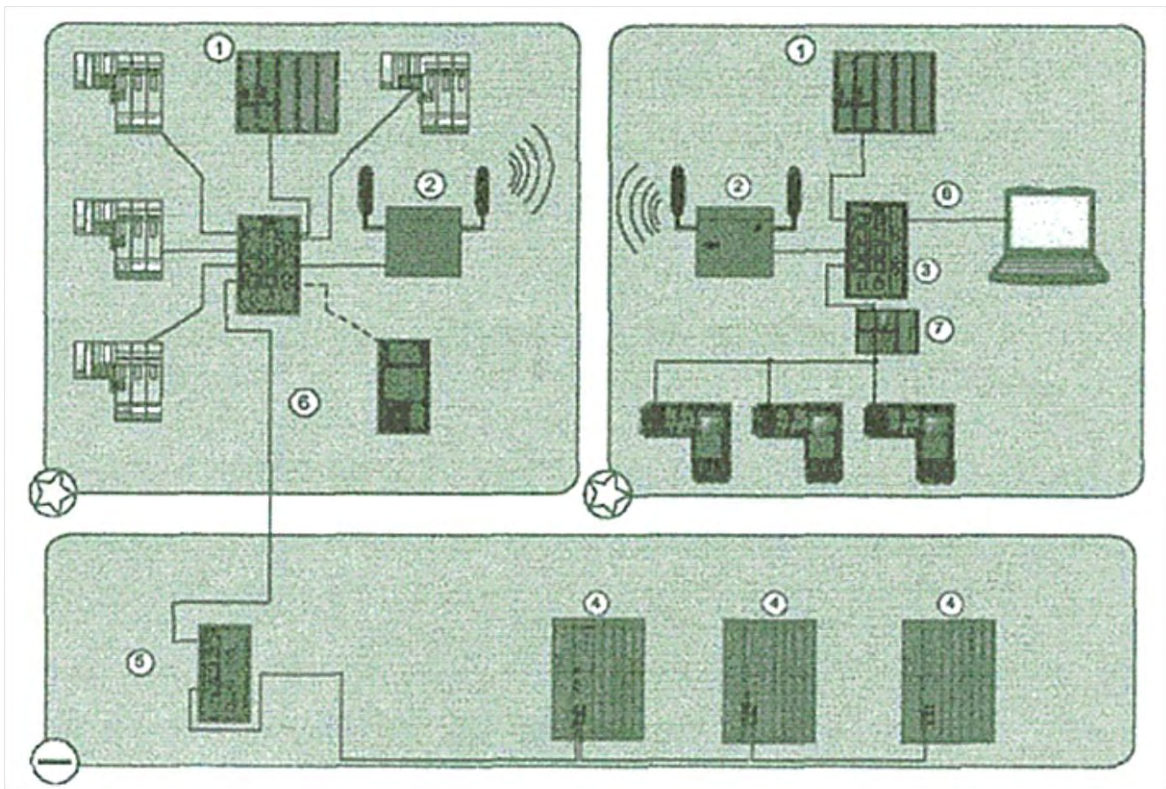


Figura A4.1 Diferentes topologías de red, estrella, árbol y bus.

Anexo A5 Otros Buses

A5.1 InterBus

Es un protocolo propietario, inicialmente, de la empresa Phoenix Contact GmbH, aunque posteriormente ha sido abierta su especificación. Normalizado bajo DIN 19258, norma europea EN 50 254. Fue introducido en el año 1984.

Utiliza una topología en anillo y comunicación mediante un registro de desplazamiento en cada nodo. Se pueden enlazar buses periféricos al principal.

Capa física basada en RS-485. Cada dispositivo actúa como repetidor. Así se puede alcanzar una distancia entre nodos de 400 m para 500Kbps y una distancia total de 12 KM. Es posible utilizar también enlaces de fibra óptica.

Capa de transporte basada en una trama única que circula por el anillo llamada trama de suma.

La información de direccionamiento no se incluye en los mensajes, los datos se hacen circular por la red. Posee alta eficiencia, en aplicaciones de pocos nodos y un pequeño conjunto de entradas/salidas por nodo, pocos buses pueden ser tan rápidos y eficientes como InterBus.

Físicamente tiene la impresión de seguir una topología en estrella, pero realmente cada nodo tiene un punto de entrada y otro de salida hacia el siguiente nodo.

Es muy sensible a corte completo de comunicación al abrirse el anillo en cualquiera de los nodos. Por otra parte, la estructura en anillo permite una fácil localización de fallos y diagnóstico.

Es muy apropiado para comunicación determinista a alta velocidad.

A5.2 DeviceNet

Bus basado en CAN. Su capa física y capa de enlace se basan en ISO 11898, y en la especificación de Bosh 2.0. DeviceNet define una de las más sofisticadas capas de aplicaciones industriales sobre bus CAN.

DeviceNet fue desarrollado por Allen-Bradley a mediados de los noventa, posteriormente pasó a ser una especificación abierta soportada en la ODVA (Open DeviceNet Vendor Association), Cualquier fabricante puede asociarse a esta organización y obtener especificaciones, homologar productos, etc.

Es posible la conexión de hasta 64 nodos con velocidades de 125 Kbps a 500 Kbps en distancias de 100 a 500 m.

Utiliza una definición basada en orientación a objetos para modelar los servicios de comunicación y el comportamiento externo de los nodos. Define mensajes y conexiones para funcionamiento maestro-esclavo, interrogación cíclica, "strobing" o lanzamiento de interrogación general de dispositivos, mensajes espontáneos de cambio de estado, comunicación uno-uno, modelo productor-consumidor, carga y descarga de bloques de datos y ficheros etc.

DeviceNet ha conseguido una significativa cuota de mercado. Existen más de 300 productos homologados. Está soportado por numerosos fabricantes: Allen-Bradley, ABB, Danfoss, Crouzet, Bosh, Control Techniques, Festo, Omron, .etc.

A5.3 Foundation FieldBus

Un bus orientado sobre todo a la interconexión de dispositivos en industrias de proceso continuo. Su desarrollo ha sido apoyado por importantes fabricantes de instrumentación (Fisher-Rosemount, Foxboro,...). En la actualidad existe una asociación de fabricantes que utilizan este bus, que gestiona el esfuerzo normalizador, la Fieldbus Foundation. Normalizado como ISA SP50, IEC-ISO 61158 (ISA es la asociación internacional de fabricantes de dispositivos de instrumentación de proceso).

En su nivel H1 (uno) de la capa física sigue la norma IEC 11158-2 para comunicación a 31,25 Kbps, es por tanto, compatible con Profibus PA, su principal contendiente. Presta especial atención a las versiones que cumplen normas de seguridad intrínseca para industrias de proceso en ambientes combustibles o explosivos. Se soporta sobre par trenzado y es posible la reutilización de los antiguos cableados de instrumentación analógica 4-20 mA.

La capa de aplicación utiliza un protocolo sofisticado, orientado a objetos con múltiples formatos de mensaje. Distingue entre dispositivos con capacidad de arbitraje (Link Master) y normales. En cada momento un solo Link master arbitra el bus, puede ser sustituido por otro en caso de fallo. Utiliza diversos mensajes para gestionar comunicación por paso de testigo, comunicación cliente-servidor, modelo productor-consumidor etc. Existen servicios para configuración, gestión de diccionario de objetos en nodos, acceso a variables, eventos, carga descarga de ficheros y aplicaciones, ejecución de aplicaciones, etc.

El nivel H2 (dos) está basado en Ethernet de alta velocidad (100 Mbps) y orientado al nivel de control de la red industrial.

A5.4 FIP o World FIP

Desarrollado en Francia a finales de los ochenta y normalizado por EN 50170, que también cubre Profibus. Sus capas física y de aplicación son análogas a las de Foundation Fieldbus H1 y Profibus PA. La división Norteamérica de World FIP se unió a mediados de los noventa a la Fieldbus Foundation en el esfuerzo por la normalización de un bus industrial común.

Utiliza un modelo productor-consumidor con gestión de variables cíclicas, eventos y mensajes genéricos.

A5.5 LonWorks

La empresa Echelon, localizada en California, fue fundada en 1988. Comercializa el bus de campo LonWorks basado en el protocolo LonTalk y soportado sobre el NeuronChip. Alrededor de estas marcas ha construido toda una estructura de

productos y servicios, hábilmente comercializados, dirigidos al mercado del control distribuido en domótica para edificios inteligentes, control industrial etc. Asegura que varios miles de empresas trabajan con LonWorks, que cientos de empresas comercializan productos basados en su bus y que se han instalado millones de nodos.

El protocolo LonTalk cubre todas las capas OSI. Este protocolo se soporta en hardware y firmware sobre el NeuronChip. Se trata de un micro controlador que incluye el controlador de comunicaciones y toda una capa de firmware que, además de implementar el protocolo, ofrece una serie de servicios que permiten el desarrollo de aplicaciones en el lenguaje Neuron C, una variante de ANSI C. Motorola y Toshiba fabrican el NeuronChip, además Echelon ofrece la posibilidad de abrir la implementación de LonWorks a otros procesadores.

La red Lonworks ofrece una variada selección de medios físicos y topologías de red: par trenzado en bus, anillo y topología libre, esto sobre fibra óptica, radio, transmisión sobre red eléctrica, etc. El soporte más usual es par trenzado a 38 o 78 Kbps. Se ofrece una amplia gama de servicios de red que permiten la construcción de extensas arquitecturas con multitud de nodos, dominios y grupos, típicas de grandes edificios inteligentes.

El método de comparación de medio es acceso CSMA predictivo e incluye servicios de prioridad de mensajes.

Echelon ofrece herramientas de desarrollo, formación, documentación y soporte técnico. Echelon basa su negocio en la comercialización del bus, medios, herramientas y soporte.

A5.6 CANOpen

Bus de campo basado en CAN. Fue el resultado de un proyecto de investigación financiado por la Comunidad Europea y se está extendiendo de forma importante entre fabricantes de maquinaria e integradores de células de proceso. Está soportado por la organización CIA (CAN In Automation), organización de fabricantes y usuarios de CAN, que también apoya DeviceNet, y otros.

A5.7 MODBUS

En su definición inicial Modbus era una especificación de tramas, mensajes y funciones utilizada para la comunicación con los PLCs Modicon. Modbus puede implementarse sobre cualquier línea de comunicación serie y permite la comunicación por medio de tramas binarias o ASCII con un proceso interrogación-respuesta simple. Debido a que fue incluido en los PLCs de la prestigiosa firma Modicon en 1979, ha resultado un estándar de facto para el enlace serie entre dispositivos industriales.

Modbus Plus define un completo bus de campo basado en técnicas de paso de testigo. Se utiliza como soporte físico el par-trenzado o fibra óptica.

En la actualidad Modbus es soportado por el grupo de automatización Schneider (Telemecanique, Modicon, etc.).

A5.8 BITBUS

Introducido por Intel a principios de los 80. Es un bus maestro-esclavo soportado sobre RS485 y normalizado en IEEE- 1118. Debido a su sencillez ha sido adoptado en redes de pequeños fabricantes o integradores. En su capa de aplicación se contempla la gestión de tareas distribuidas, es decir que en cierto modo es un sistema multitarea distribuido. Existe una organización europea de soporte (Bitbus European User's Group).

A5.9 CONTROLNET

Bus de alta velocidad (5 Mbps) y distancia (hasta 5 Km), muy seguro y robusto promovido por Allen-Bradley. Utiliza cable RG6/U (utilizado en televisión por cable) y se basa en un controlador ASIC de Rockwell.

No es soportado por muchos fabricantes y resulta de elevado precio por nodo. Se ha utilizado para interconexión de redes de PLCs y computadores industriales en aplicaciones de alta velocidad y ambientes muy críticos.

A5.10 HART

Es un protocolo para bus de campo soportado por la HART Communication Foundation y la Fieldbus Foundation, Su campo de aplicación básico es la comunicación digital sobre las líneas analógicas clásicas de los sistemas de instrumentación, manteniendo éstas en servicio. Sus prestaciones como bus de campo son reducidas.

Utiliza el bus analógico estándar 4-20 mA sobre el que transmite una señal digital modulada en frecuencia (modulación FSK 1200-2200 Hz). Transmite a 1200 bps manteniendo compatibilidad con la aplicación analógica inicial y sobre distancias de hasta 3 Km. Normalmente funciona en modo maestro-esclavo.

<h2>Glosario</h2>	
A	
ABB Wisa	Comunicación inalámbrica en tiempo real, de la empresa ABB
Actuadores	Un actuador es un dispositivo capaz de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica, para la activación de un proceso, o con la finalidad de generar un efecto sobre éste, automáticamente. Este recibe la orden de un regulador o controlador y en función de ello, genera la acción para activar un elemento final de control, como por ejemplo una electroválvula.
Ad-Hoc Network	Una red ad-hoc es una red inalámbrica descentralizada. La red es ad-hoc porque cada nodo está preparado para reenviar datos a los demás y la decisión sobre qué nodos reenvían los datos se toma de forma dinámica en función de la conectividad de la red. Esto contrasta con las redes tradicionales en las que los router llevan a cabo esa función. También difiere de las redes inalámbricas convencionales en las que un nodo especial, llamado punto de acceso, gestiona las comunicaciones con el resto de nodos.
Asic Microchip	Un Circuito Integrado para Aplicaciones Específicas, o ASIC por sus siglas en inglés, es un circuito integrado hecho a la medida para un uso en particular, en vez de ser concebido para propósitos de uso general. Se usan para una función específica.
B	
BacNet	Un protocolo de comunicación de datos para la automatización de edificios y redes de control. Desarrollado bajo los auspicios de la Sociedad Americana de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE), BACnet es un estándar nacional americano, una norma europea, una norma nacional en más de 30 países, y una norma ISO mundial.
Bluetooth	Especificación para redes inalámbricas de Área Personal, WPAN, que posibilita la transmisión de datos y voz, entre diferentes dispositivos, mediante un enlace de radiofrecuencia bastante seguro y de característica libre en 2,4 GHz.
Buses de Campo	Desarrollo que sustituye el cableado entre sensores-actuadores y los correspondientes elementos de control. Este tipo de buses debe ser de bajo coste, tiempo real, permitir la transmisión serie sobre un bus digital de datos con capacidad de interconectar controladores, con todo tipo

	de dispositivos de entrada-salida, sencillos, y permitir controladores esclavos inteligentes. Además, deben gestionar mensajes cortos eficientemente, tener capacidad de manejar tráfico de eventos discretos, poseer mecanismos de control de error, transmitir mensajes prioritarios, tener un bajo coste de instalación y de conexión por nodo, poder recuperarse rápidamente de eventos anormales en la red y responder rápidamente a los mensajes recibidos.
Buses a nivel de borde o periféricos	Bus para la Interconexión de Componentes Periféricos PCI, consiste en un bus de ordenador estándar para conectar dispositivos periféricos directamente a su placa base.
Broadcast	Transmisión de mensaje para ser recibido por todos los terminales de una red.
C	
CAN	Protocolo de comunicación para datos en serie, cumple los servicios de las capas físicas y de enlace de datos del modelo OSI.
CAN Open	CANopen está basado en CAN, e implementa la capa de aplicación. Actualmente está ampliamente extendido, y ha sido adoptado como un estándar internacional
CC-Link IE	Protocolo de Control y Comunicación en Ethernet Industrial. Fue la primera red de Ethernet Industrial, de 1 Gbit/s integrada totalmente para la automatización en la industria.
CDMA	La multiplexación por división de código, acceso múltiple por división de código o CDMA, es un término genérico para varios métodos de multiplexación o control de acceso al medio basado en la tecnología de espectro expandido.
CIM	Definido como: La integración de las computadoras digitales en todos los aspectos del proceso de manufactura. Tiene que ver con proporcionar asistencia de computador, automatizar, también controlar, y mejorar la integración en todos los niveles de la fábrica, entre otros aspectos. Se asimila a una estructura piramidal.
CIP	Protocolo de Control de Información.
ControlNet	Es un protocolo de red abierto para aplicaciones de automatismos industriales. ControlNet define una única capa física basada en cable coaxial RG-6 con conectores BNC. Las características que distinguen a ControlNet de otros buses de campo incluyen el soporte incorporado para cables, totalmente redundantes y el hecho de que toda comunicación en ControlNet, es estrictamente planificada y altamente determinista.

CSMA/CA.	<p>Acceso Múltiple por Detección de Portadora con Evasión de Colisiones, es un protocolo de control de redes de bajo nivel que permite que múltiples estaciones utilicen un mismo medio de transmisión. Cada equipo anuncia su intención de transmitir antes de hacerlo para evitar colisiones entre los paquetes de datos usado comúnmente en redes inalámbricas, ya que éstas no cuentan con un modo práctico para transmitir y recibir simultáneamente. De esta forma, el resto de equipos de la red sabrán cuando hay uso del canal y en lugar de transmitir la trama en cuanto el medio está libre, se espera un tiempo aleatorio adicional corto y si, tras ese corto intervalo el medio sigue libre, se procede a la transmisión, reduciendo la probabilidad de colisiones en el canal. CSMA/CA es utilizada en canales en los que por su naturaleza no se puede usar CSMA/CD. CSMA/CA se utiliza en IEEE 802.11 basada en redes_ inalámbricas.</p>
CSMA/CD	<p>Acceso múltiple con Detección de Portadora y Detección de Colisiones. Tipo de control de acceso al medio para medios de transmisión de múltiple acceso. Una estación que quiere transmitir, prueba que el medio éste libre, y luego transmite.</p>
D	
Device-Net	<p>Bus de campo para el control en tiempo real de dispositivos en los niveles más bajos de la pirámide CIM de automatización.</p>
E	
EEPROM	<p>Es un tipo de memoria ROM que puede ser programado, borrado y reprogramado eléctricamente, a diferencia de la EPROM que ha de borrarse mediante un aparato que emite rayos ultravioletas. Son memorias no volátiles</p>
EIB	<p>El Bus de Instalación Europeo (EIB o EIBus) es un sistema de demótica basado en un Bus de datos, a través de pasarelas, puede ser utilizado en sistemas inalámbricos como los infrarrojos, radiofrecuencia, o incluso empaquetado para enviar información por internet u otra red TCP/IP</p>
Ethernet	<p>Ethernet es un estándar de redes de computadoras de área local con acceso al medio por contienda CSMA/CD. Ethernet define las características de cableado y señalización de nivel físico y los formatos de tramas de datos del nivel de enlace de datos del modelo OSI.</p>
Ethernet industrial	<p>Ethernet industrial es el nombre dado a la utilización del protocolo Ethernet en un entorno industrial, de automatización y control, de máquinas de producción. Ethernet industrial no se trata sólo de una versión más robusta de TI de Ethernet. Se centra en el entorno de</p>

	producción, es altamente robusto y puede cumplir con las necesidades de tiempo real y de seguridad, entre otras.
Ethernet de alta velocidad	Fast Ethernet o Ethernet de alta velocidad es el nombre de una serie de estándares de IEEE para redes Ethernet de 100 Mbps. En su momento el prefijo "fast" se le agregó para diferenciarla de la versión original Ethernet de 10 Mbps.
EtherCat	Código abierto, de alto rendimiento, utiliza protocolos de Ethernet en el entorno industrial. Es Ethernet para automatización.
ETHERNET POWER LINK.	Es un protocolo determinista de tiempo real basado en Ethernet.
EtherNet/IP	Protocolo industrial específico, de Ethernet TCP/IP, los mensajes del Protocolo de Control de Información, CIP; de la capa de aplicación, se encapsulan en las tramas TCP/IP como datos.
F	
FieldBus Fundación	Es una asociación de fabricantes que administran, investigan y promueven este protocolo.
FIP	Factory Instrumentation Protocol o FIP, es un bus de campo que tiene por objeto permitir el intercambio de información entre sensores, actuadores y autómatas de diferentes fabricantes (PLC). Es pues una red abierta. El intercambio de la información entre las distintas entidades conectadas a la red se efectúa utilizando el modelo Productor/Distribuidor/Consumidor. La red FIP se inició en Francia en 1982; se desarrolló en todo el mundo a partir de 1990 para convertirse en WorldFIP. En la actualidad, FIP es una norma francesa la UTE NF C 46-601 e internacional IEC adaptada a las exigencias de comunicación "tiempo real" para la aplicación automatismos distribuidos.
Flexware	Proyecto de automatización flexible inalámbrico en tiempo real, tiene como objetivo implementar una plataforma nueva, que tendrá una comunicación en tiempo real basados en WLAN (IEEE 802.11). Este middleware de comunicación entre la capa física y la de aplicación se diseñó con un respeto especial a la seguridad, flexibilidad y movilidad, en tiempo real, de los nodos habilitados que pueden moverse entre los puntos de acceso del sistema.
FPGA	Field Programmable Gate Array, es un dispositivo semiconductor que contiene bloques de lógica cuya interconexión y funcionalidad puede ser configurada "in situ" mediante un lenguaje de programación especializado. Esta lógica programable puede reproducir desde funciones sencillas hasta complejas. Las FPGAs se utilizan en aplicaciones similares a los chips ASIC sin embargo son

	<p>más lentas, tienen un mayor consumo de energía y no pueden abarcar sistemas muy complejos como ellos. A pesar de esto, las FPGAs tienen las ventajas de ser reprogramables, sus costes de desarrollo y adquisición son muchos menores para pequeñas cantidades de dispositivos y el tiempo de desarrollo es también menor.</p>
Full Dúplex	<p>La mayoría de los sistemas y redes de comunicaciones modernos funcionan en modo dúplex permitiendo canales de envío y recepción simultáneos. Podemos conseguir esa simultaneidad con por ejemplo, el empleo de frecuencias separadas, o cables separados.</p>
G	
GPIO/IEEE488	<p>Es un estándar bus de datos digital de corto alcance, desarrollado por Hewlett-Packard en los años 1970 para conectar dispositivos de test y medida, por ejemplo multímetros, osciloscopios, etc., con dispositivos que los controlen como un ordenador. Otros fabricantes lo copiaron, llamando a su implementación General Purpose Instrumentation Bus (GP-IB). En 1978 el bus fue estandarizado por IEEE como el IEEE 488.</p>
GPRS	<p>Servicio General de Paquetes vía Radio, extensión de GSM, para la transmisión de datos por paquetes (no conmutada). Permite velocidades de transferencia de 56 a 114 Kbit/s.</p>
GPS	<p>Sistema de Posicionamiento Global, conocido por las siglas GPS, es un Sistema Global de Navegación por Satélite, GNSS que permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto, una persona, un vehículo, etc., con alta precisión.</p>
GSM	<p>Sistema Global para las Comunicaciones Móviles, está definido para la comunicación mediante teléfonos móviles, con tecnología digital.</p>
H	
HART	<p>El protocolo HART (Highway Addressable Remote Transducer) es uno de los estándares líderes en la comunicación con instrumentación de campo inteligente, modelo mundialmente establecido para este tipo de tareas. Están muy extendidas en la actualidad, las instalaciones de HART en el mundo.</p>
HMI	<p>Interfaz de Usuario, (Human Machine Interface) que se usa para referirse a la interacción entre humanos y máquinas. Aplicable a sistemas de automatización de procesos.</p>
HSE Foundation Fieldbus	<p>Fundación para Bus de Campo, es una asociación de fabricantes que administran, investigan y promueven este</p>

	protocolo.
I	
ICMP	El Protocolo de Mensajes de Control de Internet o ICMP es el sub protocolo de control y notificación de errores del Protocolo de Internet (IP). Como tal, se usa para enviar mensajes de error, indicando por ejemplo que un servicio determinado no está disponible o que un router o host no puede ser localizado.
ICT	Tecnología de la comunicación e información.
IEC	Comisión electrotécnica internacional
IP	Protocolo IP, un protocolo usado para la comunicación de datos a través de una red. Dirección IP, el número que identifica a cada dispositivo dentro de una red con protocolo IP.
ISA 100.11.a	Norma que tiene por objeto proporcionar una operación inalámbrica confiable y segura para el monitoreo no crítico, alerta, control de supervisión, control de circuito abierto y cerrado, en aplicaciones de control de bucle.
ISM	Industrial, Científica y Médica son bandas de radiofrecuencias reservadas internacionalmente para uso no comercial en áreas industrial, científica y médica. En la actualidad estas bandas han sido popularizadas por su uso en comunicaciones WLAN como Wi-Fi o también WPAN con Bluetooth.
IWLAN.	Redes Ethernet Inalámbricas Industriales.
J	
Jitter	Se denomina Jitter a la variabilidad temporal durante el envío de señales digitales, una ligera desviación de la exactitud de la señal de reloj. El jitter suele considerarse como una señal de ruido no deseada. En general se denomina jitter a un cambio indeseado y abrupto de la propiedad de una señal. Esto puede afectar tanto a la amplitud como a la frecuencia y la situación de fase. El jitter es la primera consecuencia de un retraso de la señal. La representación espectral de las variaciones temporales se denomina ruido de fase
K	
Konex	Bus de Instalación Europeo
L	
LAN	Una red de área local, red local o LAN, es la interconexión de varias computadoras y periféricos. Su extensión está limitada físicamente a un edificio o a un entorno de 200

	metros, con repetidores podría llegar a la distancia de un campo de 1 kilómetro. Su aplicación más extendida es la interconexión de computadoras personales y estaciones de trabajo en oficinas, fábricas, etc.
Latencia	En redes informáticas de datos se denomina latencia a la suma de retardos temporales dentro de una red. Un retardo es producido por la demora en la propagación y transmisión de paquetes dentro de la red
LonWorks	Sistema de control de la compañía Echelon, USA. Posee una visión integral los sistemas de control, para resolver distintos tipos de problemas mediante comunicación y control.
M	
MAC	Control de acceso al medio, de la capa de enlace de datos del modelo OSI. Se refiere a la dirección, y/o tipo de acceso al medio.
MAP	Los protocolos MAP (Manufacturing Automation Protocol), fueron creados específicamente como un protocolo funcional de red, para fábrica.
MEMS	Sistemas Microelectromecánicos (Microelectromechanical Systems, MEMS) se refieren a la tecnología electromecánica, micrométrica y sus productos, y a escalas relativamente más pequeñas (escala nanométrica) que se fusionan en sistemas nanoelectromecánicos (Nanoelectromechanical Systems, NEMS) y Nanotecnología. MEMS en general varían en tamaño desde un micrómetro (una millonésima parte de un metro) a un milímetro (milésima parte de un metro). La tecnología de sensores ha hecho progresos significativos debido a los MEMS. La complejidad y el rendimiento avanzado de los sensores MEMS ha ido evolucionando con las diferentes generaciones de sensores MEMS
MES	Los MES se basan en definiciones de estándares consistentes (terminologías, modelos y conceptos) que son creadas por organismos como la ISA (S95), la ISO (15704) y la MESA, organización que define los Sistemas de Ejecución de Manufactura.
MIPS/W	MIPS es el acrónimo de "millones de instrucciones por segundo", y /W es sobre Watt de consumo.
MODBUS/TCP	Es una variante o extensión del protocolo Modbus que permite utilizarlo sobre la capa de transporte TCP/IP, por lo cual se lo puede usar en Internet.
ModBus RTPS	Se han definido nuevas extensiones adicionales para el protocolo MODBUS, en tiempo real. Estas extensiones

	<p>utilizan un editor en tiempo real. El protocolo RTPS se ejecuta en una red para aplicaciones. Hay dos modelos de comunicaciones uno para la transferencia de datos (es de datos de proceso) y otro es un modelo compuesto para el intercambio de información de estado. Contrariamente al protocolo estándar MODBUS, el protocolo RTPS no se utiliza mucho en la práctica industrial en las aplicaciones de hoy y por lo tanto no se sabe exactamente lo que tipo de rendimiento tiene realmente este protocolo. El protocolo RTPS está diseñado para poder funcionar en UDP / IP.</p>
N	
NRT	No Tiempo Real
NTP	<p>Network Time Protocol (NTP) es un protocolo de Internet para sincronizar los relojes de los sistemas informáticos a través de ruteo de paquetes en redes con latencia variable. NTP utiliza UDP como su capa de transporte, usando el puerto 123. Está diseñado para resistir los efectos de la latencia variable.</p>
O	
ODVA	<p>ControlNet es un protocolo de red abierto para aplicaciones de automatismos industriales, fue mantenido en un principio por ControlNet Internacional, pero en 2008 el soporte y administración de ControlNet fue transferido a ODVA, que administra actualmente todos los protocolos de la familia del protocolo industrial común.</p>
OPNET/OMNeT++	<p>Es una herramienta de simulación de eventos discretos diseñado para simular redes de computadoras, procesadores y otros sistemas distribuidos. Sus aplicaciones se puede extender para el modelado de otros sistemas también. Se ha convertido en una herramienta de simulación de red popular en la comunidad científica, así como en la industria en los últimos años</p>
OPC	<p>Sistema integral que especifica parámetros para comunicación en tiempo real entre diferentes aplicaciones y diferentes dispositivos de control de diferentes proveedores</p>
OSI	<p>Modelo de referencia para la interconexión de sistemas abiertos.</p>
P	
PAN	<p>IEEE 802.15 es un grupo de trabajo dentro de IEEE 802 especializado en redes inalámbricas de área personal (wireless personal area networks, WPAN). Se divide en cinco subgrupos, del 1 al 5. Los estándares que desarrolla definen redes tipo PAN o HAN, centradas en las cortas distancias. Al igual que Bluetooth o ZigBee, el grupo de</p>

	estándares 802.15 permite que dispositivos portátiles como PC, PDA's, teléfonos, pagers, sensores y actuadores utilizados en domótica, entre otros, puedan comunicarse e ínter operar. Debido a que Bluetooth no puede coexistir con una red inalámbrica 802.11.x, se definió este estándar para permitir la interoperabilidad de las redes inalámbricas LAN con las redes tipo PAN o HAN.
Pathloss	Es la pérdida en el trayecto (o atenuación en el camino) es la reducción en la densidad de potencia (atenuación) de una onda electromagnética que se propaga a través del espacio. Es un componente importante en el análisis y el diseño del enlace de un sistema de telecomunicaciones.
PLC	Controlador Lógico Programable: Sistemas de automatismo integrado en un solo bloque. Se programa en alto nivel. Es hardware industrial.
P-Net / IP	P-NET es Ethernet en tiempo real sobre IP. También es un Organismo Internacional, P-NET de usuarios, que apoya y está activo en el interior de los comités internacionales de normalización y en varios grupos de trabajo asociadas a comunicaciones industriales en general, y la tecnología de bus de campo en particular.
PowerLink	Ethernet PowerLink es un protocolo de comunicación en tiempo real basado en hardware estándar Ethernet. Su principio de funcionamiento hace que el PowerLink sea apto para aplicaciones de automatización industrial donde varios elementos de control (autómatas, pantallas de operador, módulos de E/S, variadores de frecuencia, servo controladores, módulos de seguridad, sensores etc.) tengan que comunicar entre ellos de forma rápida, isócrona y sobre todo precisa (es decir minimizando el tiempo de latencia de la red), garantizando desde luego que el proceso de comunicación sea fiable y repetitivo. PowerLink no es un hardware, es un software que funciona sobre un hardware estándar.
ProFiBus	Estándar de comunicación para buses de campo. Viene de la conjunción de Process-Field-Bus.
PROFIBUS DP	Periferia Distribuida Descentralizada, desarrollada en 1993, es la más extendida. Está orientada a control a nivel sensor/actuador.
PROFIBUS FMS	Diseñada para control a nivel de célula.
PROFIBUS PA	Es la solución integrada para control a nivel de proceso, en ambientes peligrosos.
ProfiNet	Estándar de Ethernet Industrial de Siemens, para la automatización en la industria. Es un estándar abierto de

	<p>Ethernet Industrial de ProFiBus, y ProfiNet Internacional (PI) para la automatización.</p> <p>ProfiNet utiliza TCP / IP y estándares de TI, y es, en efecto, Ethernet en tiempo real. El concepto ProfiNet cuenta con una estructura modular, de manera que los usuarios pueden seleccionar las funciones propias en cascada.</p>
ProfiNet IO	<p>La Interfaz con el periférico se realiza mediante ProfiNet IO. Se define la comunicación con los dispositivos periféricos conectados. Su base es el concepto de tiempo real en cascada. ProfiNet IO define el intercambio de datos entre los controladores de todos los dispositivos con funcionalidad de maestro y los dispositivos con la funcionalidad de esclavos, así como el establecimiento de parámetros y el diagnóstico. ProfiNet IO está diseñado para el rápido intercambio de datos y sigue el modelo de proveedor-consumidor.</p>
Proxy	<p>Hace referencia a un dispositivo hardware/software que realiza una acción en representación de otro. Su finalidad más habitual es la de servidor Proxy, que sirve para permitir el acceso a Internet a los equipos de una red interna, cuando sólo se puede disponer de un único equipo conectado hacia afuera, con una única dirección IP.</p>
Puerta de Enlace (Gateway)	<p>Es un dispositivo, con frecuencia un ordenador, que permite interconectar redes con protocolos y arquitecturas diferentes, a todos los niveles de comunicación. Su propósito es traducir la información del protocolo utilizado en una red al protocolo usado en la red de destino.</p>
Punto de Acceso	<p>Punto de Acceso Inalámbrico, usado en las redes inalámbricas de infraestructura.</p>
PTP	<p>Protocolo de Tiempo de la precisión (PTP) está definido en IEEE estándar 1588, permite la sincronización exacta de redes (por ejemplo Ethernet). Una exactitud dentro de la gama del nanosegundo se puede alcanzar con este protocolo.</p>
Q	
QoS.	<p>Calidad de Servicio. Característica de algunos protocolos de red para asegurar, niveles de confiabilidad, calidad, y latencia de acuerdo con el tipo de tráfico.</p>
R	
Rayleigh distribución	<p>Es un modelo estadístico para el efecto de la propagación de la señal de radio en el ambiente. Asume que la magnitud de una señal que ha pasado tal medio de transmisión variará aleatoriamente, según a la distribución de Rayleigh.</p>
Redes Inalámbricas	<p>El término red inalámbrica (Wireless network), es un</p>

	término que se utiliza en informática para designar la conexión de nodos sin necesidad de una conexión física (cables), ésta se da por medio de ondas electromagnéticas.
Relación Señal/Ruido	La relación señal/ruido (en inglés Signal to noise ratio SNR o S/N) se define como el margen que hay entre la potencia de la señal que se transmite y la potencia del ruido que la corrompe (ruido). Este margen es medido en decibelios.
Roaming	Significa en español "Itinerancia" y está relacionado con la capacidad de un dispositivo inalámbrico para moverse de una zona de cobertura a otra. Cuando es utilizado por ejemplo, en redes Wi-Fi, significa que el dispositivo Wi-Fi cliente, puede desplazarse y ser servido, por diferentes puntos de acceso.
RSSI	RSSI es la abreviatura en inglés de Receive Signal Strength Indication, Indicador de fuerza de señal de recepción. Este término se usa comúnmente para medir el nivel de potencia de las señales recibidas en las redes inalámbricas (por ejemplo en WIFI o en telefonía móvil). Cuanto más alto sea el número, mejor es la captura de la misma.
RS485	RS-485 o también conocido como EIA-485, que lleva el nombre del comité que lo convirtió en estándar en 1983. Es un estándar de comunicaciones en bus de la capa física del Modelo OSI. Está definido como un sistema en bus de transmisión multipunto diferencial, es ideal para transmitir a altas velocidades sobre largas distancias (35 Mbps hasta 10 metros y 100 Kbps en 1.200 metros) y a través de canales ruidosos, ya que reduce los ruidos que aparecen en los voltajes producidos en la línea de transmisión. El medio físico de transmisión es un par entrelazado que admite hasta 32 estaciones en 1 solo hilo, con una longitud máxima de 1.200 metros operando entre 300 y 19.200 bps y la comunicación half-dúplex (semiduplex). Soporta 32 transmisiones y 32 receptores.
S	
SCADA	Registro de Datos y Control de Supervisión, Es una aplicación de software especialmente diseñada para funcionar sobre computadoras, para control de producción, proporcionando comunicación hasta con los dispositivos de campo (PLC) y controlando el proceso automáticamente desde el ordenador. También da información que se genera en el proceso productivo de todos los niveles de la empresa, para: supervisión, control de calidad, control de la producción, almacenamiento de datos, etc.
SC6SC	Sub-comité de la IEC.
Sensores	Un sensor es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas: variables de instrumentación,

	y transformarlas en variables eléctricas. Las variables de instrumentación pueden ser por ejemplo: temperatura, intensidad lumínica, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, etc.
Sensores Inteligentes	Un sensor inteligente, es un transductor de magnitudes físicas, a eléctricas, y que proporciona además funciones ampliadas para generar una representación correcta de una variable controlada, por ejemplo, temperatura, presión, presión, caudal, pH, etc. Los sensores inteligentes, tienen mejorada su funcionalidad para simplificar la integración del transductor a las aplicaciones en un entorno de red.
Sincronización	En términos informáticos se habla de sincronización cuando varios procesos se ejecutan a la vez con el propósito de completar una tarea y evitar así condiciones anómalas. También se habla de sincronización de datos cuando dos dispositivos se actualizan de forma que contengan los mismos datos.
Sercos III	Es una interface digital abierta globalmente estandarizada para la comunicación entre controles industriales, dispositivos de movimiento, y dispositivos de entradas/salidas (I/O), es la tercera generación de la interface de SERCOS. SERCOS III une los aspectos de tiempo real de la interface de SERCOS con Ethernet. Está basada sobre y conforme, a los estándares de Ethernet IEEE 802.3 y ISO/IEC 8802-3.
SOAP	Es un protocolo estándar que define cómo dos objetos en diferentes procesos pueden comunicarse por medio del intercambio de datos XML. SOAP fue creado por Microsoft, IBM y otros y está actualmente bajo el auspicio de la W3C. Es uno de los protocolos utilizados en los servicios Web
Switch	Un conmutador o switch es un dispositivo digital de lógica de interconexión de redes de computadores que opera en la capa 2 (nivel de enlace de datos) del modelo OSI. Su función es interconectar dos o más segmentos de red, de manera similar a los puentes (bridges), pasando datos de un segmento a otro de acuerdo con la dirección MAC de destino. Los conmutadores se utilizan cuando se desea conectar múltiples redes, fusionándolas en una sola.
T	
TCP	Protocolo de Control de Transmisión. Capa de transporte del modelo OSI que está orientado a conexión.
TCnet	Time Critical Control Network: redes de control de tiempo crítico,(tiempo real) de la empresa Toshiba
TDMA	Acceso múltiple por división de tiempo. Técnica de división transmisiones, en una frecuencia común, dentro de

	periodos de tiempo, que permite más cantidad de usuarios usando una determinada frecuencia.
TEDS	Hoja de datos electrónica del transductor (TEDS). Por medio del TEDS, el sensor/actuador se identifica y se describe asimismo hacia el sistema de adquisición de datos al cual está conectado.
TI	Tecnología de la Información, se refiere fundamentalmente al mundo de la Oficina.
Trafico Suavizado	Sistema de asignación de espacios de tiempo para la transferencia de paquetes a través de una pasarela de red de datos en informática. Suprime el tráfico a ráfagas, mejora la eficiencia de las comunicaciones de banda ancha en largas distancias por ejemplo, a través de Internet, y contribuye a mejorar la calidad de la prestación.
Transceptor	Dispositivo de radio enlace con capacidad para transmitir o recibir información. Es abreviación de transmisor/receptor.
Tiempo Real Duro	Tiempo real duro es una forma de referirse a los sistemas y tareas cuyo fin o respuesta se produce antes de un tiempo mínimo considerado. Se usa en los sistemas informáticos que realizan funciones cuyos resultados han de recibirse dentro de un tiempo razonable para no entorpecer o paralizar el funcionamiento del conjunto.
Tiempo Real Suave	O también llamado, Tiempo real blando es una forma de caracterizar una tarea o sistema de tiempo real, en el que se busca que el tiempo medio de respuesta sea menor que un tiempo predefinido. Se usa en sistemas de propósito general, como los ordenadores personales, donde se desea que el tiempo medio de respuesta de la mayor parte de tareas, no esenciales, sea pequeño pero que no es crítico.
Transductores	Un transductor es un dispositivo capaz de transformar o convertir un determinado tipo de energía de entrada, en otra diferente a la salida. El nombre del transductor ya nos indica cual es la transformación que realiza, por ejemplo: electromecánica, transforma una señal eléctrica en mecánica o viceversa, aunque no necesariamente la dirección de la transformación. Es un dispositivo usado principalmente en la industria, en la medicina, en la agricultura, en robótica, en aeronáutica, etc. para obtener la información de entornos físicos y químicos y conseguir, a partir de esta información, señales útiles para control o medición.
U	
UDP	User Datagram Protocol, es un protocolo del nivel de transporte basado en el intercambio de datagramas

	(Paquete de datos). Permite el envío de datagramas a través de la red sin que se haya establecido previamente una conexión, ya que el propio datagrama incorpora suficiente información de direccionamiento en su cabecera. Tampoco tiene confirmación ni control de flujo, por lo que los paquetes pueden adelantarse unos a otros; y tampoco se sabe si ha llegado correctamente, ya que no hay confirmación de entrega o recepción
UIT	La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) es el organismo especializado de las Naciones Unidas encargado de regular las telecomunicaciones, a nivel internacional, entre las distintas administraciones y empresas operadoras.
UMTS	Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles, tecnología que utilizan los móviles de tercera generación 3G, llamada también W-CDMA, sucesora de GSM.
USB	Bus Universal Serie, abreviado comúnmente USB, es un puerto de enlace para la transmisión serie de datos, comúnmente utilizado para conectar periféricos a una computadora u otro equipo. Fue creado por varias empresas en 1996.
UTC	El tiempo universal coordinado, o UTC, en español, también conocido como tiempo civil, es el tiempo de la zona horaria de referencia respecto a la cual se calculan todas las otras zonas del mundo.
UWB	Banda Ultra Ancha, se usa para referirse a cualquier tecnología de radio que usa un ancho de banda mayor de 500 Mhz.
V	
Vnet/IP	Es una red en tiempo real para la automatización de procesos basada en Ethernet de 1Gbit/s, de la empresa YOKOGAWA
W	
WI-FI	Estándar inalámbrico de Ethernet para áreas de entre 10 y algo más de 100 metros.
WI-MAX	Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas. Es una norma de transmisión de datos usando ondas de radio de muy alta frecuencia.
WLAN	Red de Área Local Inalámbrica.
WPAN	Red de Área Personal Inalámbrica.
6loWPAN	El grupo de trabajo 6loWPAN del Internet Engineering Task Force (IETF), trabaja en métodos para trabajar con redes IPv6 sobre esta base. Ya está disponible el RFC 4919 que describe los supuestos, la descripción del problema y las

	metas para transmitir IP sobre redes 802.15.4.
WireShark	Antes conocido como Ethereal, es un analizador de protocolos utilizado para realizar análisis y solucionar problemas en redes de comunicaciones para desarrollo de software y protocolos, y como una herramienta didáctica para educación. Cuenta con todas las características estándar de un analizador de protocolos.
WorkShop	Lugar de venta de diferentes equipos para trabajo.
WSN	Redes de Sensores Inalámbricas
X	
XML	Lenguaje de Marcas Extensible, es un metalenguaje extensible de etiquetas creado por el Consorcio World-Wide-Web, W3C. Permite definir la gramática de lenguajes específicos, de manera análoga a HTML. XML no es realmente un lenguaje en particular, sino una manera de definir lenguajes para diferentes necesidades. Algunos de estos lenguajes que usan XML para su definición son XHTML, SVG, entre otros.
Y	
Z	
ZigBee	Conjunto de protocolos de alto nivel para la comunicación inalámbrica. Su utilización con radios digitales de bajo consumo, basada en el estándar IEEE 802.15.4 de Redes Inalámbricas de Área Personal, WPAN. Su objetivo son las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras, con baja tasa de envío de datos, y máxima vida útil de las baterías en los nodos.

Referencias Bibliográficas de Libros y Publicaciones.

- 1) Vicente Gerrero, Ramon Yuste, Luis Martinez —“Comunicaciones Industriales”; Alfaomega Marcombo ediciones técnicas; 2010.
- 2) Ronal Dietrich —“Industrial Ethernet” Harting, ” Harting Electric GmbH & Co. KG, e-Book,2005
- 3) Gilbert Held —“Comprendiendo la Comunicación de Datos”, Hasa Sams editora 1992.
- 4) William Stalling —“Comunicaciones y Redes de Computadoras”, Pearson editora 2007
- 5) Enrique Mandado Perez, Jorge Marcos Acevedo, Celso Fernandez Silva, Jose Armesto Quiroga, Serafin Perez Lopez —“Automatas Programables Entornos y Aplicaciones”; Thomson editora, 2008.
- 6) William D. Cooper, Albert D. Helfrick —“Instrumentación Electrónica Moderna y Técnicas de Medición”, Prentice Hall editora, 1991
- 7) IDC Technologies —“Practical Fieldbus, DeviceNet and Ethernet for Industry”, e-Book, 2008
- 8) W Bolton —“Meatronics Sistemas de Control Electrónico en la Ingeniería Mecánica y Eléctrica”, Alfaomega editora, 2001.
- 9) Deon Reynders, Edwin Wright —“Practical TCP/IP and Ethernet Networking” Elsevier editora 2003
- 10) Jeffrey I., Gilmore C., Siemens G., LoVetri J., Hardware invariant protocol disruptive interference for 100BaseTX Ethernet communications, Electromagnetic Compatibility, IEEE Transactions on , Volume: 46 , Issue: 3 , Aug. 2004, Pages:412 – 422
- 11) Flammini, P. Ferrari, D. Marioli, E. Sisinni, A. Taroni, —“Sensor Networks for industrial Applications” Advances in Sensors and Interface, 2007 IWASI 2007, 2nd International Workshop, June 2007.
- 12) Cavalieri, S.; di Stefano, A.; Mirabella, O., Impact of fieldbus on communication in robotic systems, Robotics and Automation, IEEE Transactions on , Volume: 13 , Issue: 1 , Feb. 1997 Pages:30 - 48
- 13) Cena, G.; Valenzano, A.; FastCAN: a high-performance enhanced CAN-like network, Industrial Electronics, IEEE Transactions on, Volume 47, Issue 4, Aug. 2000 Page(s):951 - 963
- 14) Tovar, E.; Vasques, F.; Real-time fieldbus communications using Profibus networks, Industrial Electronics, IEEE Transactions on, Volume 46, Issue 6, Dec. 1999 Page(s):1241 – 1251
- 15) Ramón Piedrafita Moreno —“Ingeniería de Automatización Industrial”, Ra-Ma editora; 2004
- 16) T. Sauter —“The Three Generations of field-Level Networks—evolution and Compatibility Issues” IEEE Trans. Vol. 57 no 11, pp 3585-3595, Nov. 2010
- 17) T. Sauter, —“The continuing evolution of integration in manufacturing automation,” IEEE Ind. Electron. Mag., vol. 1, no. 1, pp. 10–19, Spring 2007.
- 18) W. Kastner, G. Neugschwandtner, S. Soucek, and H. M. Newman, —“Communication systems for building automation and control,” Proc. IEEE, vol. 93, no. 6, pp. 1178–1203, Jun. 2005.
- 19) J. P. Thomesse, —“Fieldbus technology in industrial automation,” Proc. IEEE, vol. 93, no. 6, pp. 1073–1101, Jun. 2005.

- 20) M. Felser and T. Sauter, —“The fieldbus war: History or short break between battles?” in Proc. IEEE WFCS, Västerås, Sweden, 2002, pp. 73–80.
- 21) M. Felser, —“Real-time Ethernet—Industry prospective,” Proc. IEEE, vol. 93, no. 6, pp. 1118–1129, Jun. 2005.
- 22) L. Lo Bello, G. Kaczynski, and O. Mirabella, —“Improving the real-time behaviour of Ethernet networks using traffic smoothing,” IEEE Trans. Ind. Informat., vol. 1, no. 3, pp. 151–161, Aug. 2005.
- 23) Skeie, S. Johannessen, and Ø. Holmeide, —“Timeliness of real-time IP communication in switched industrial Ethernet networks,” IEEE Trans. Ind. Inf., vol. 2, no. 1, pp. 25–39, Feb. 2006.
- 24) J. D. Decotignie, —“Ethernet-based real-time and industrial communications,” Proc. IEEE, vol. 93, no. 6, pp. 1102–1117, Jun. 2005.
- 25) J. Jasperneite and J. Feld, —“PROFINET: An integration platform for heterogeneous industrial communication systems,” in Proc. IEEE Conf. ETFA, Catania, Italy, 2005, pp. 815–822.
- 26) G. Gaderer, P. Loschmidt, and T. Sauter, —“Improving fault tolerance in high-precision clock synchronization,” IEEE Trans. Ind. Informat., vol. 6, no. 2, pp. 206–215, May 2010.
- 27) M. Bertoluzzo, G. Buja, S. Vitturi, “Ethernet Networks for Factory Automation”, IEEE IES Newsletter, Vol- 50, No. 4, 2003, pp. 5-10
- 28) J.-P. Thomesse, —“Fieldbus technology in industrial automation”, Proceedings of the IEEE, Vol. 93, Issue 6, pp:1073 – 1101, June 2005.
- 29) P. Ferrari, A. Flammini, D. Marioli, A. Taroni, F. Venturini —“Experimental Analysis to Estimate Jitter in PROFINET IO Class 1 Networks”, Proc. of 11th IEEE ETFA2006, Sept. 2006, Prague CZ, CF-002151.
- 30) P. Ferrari, A. Flammini, D. Marioli, S. Rosa, A. Taroni, C. Cattaneo, C. Manduca, GDNET: a Specific Approach to Distributed Input/Output Synchronization for Plastic Machinery, Proc. of IEEE WFCS2006, Torino, June 2006. pp 1206-1213.
- 31) Depari, P. Ferrari, A. Flammini, D. Marioli, A. Taroni, —“Multi-probe measurement instrument for real-time ethernet networks”, Proc. of IEEE WFCS2006, pp. 313-320, June 2006.
- 32) V. C. Gungor and G. P. Hancke, —“Industrial wireless sensor networks: Challenges, design principles, and technical approaches,” IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 46, no. 10, pp. 4258–4265, Oct. 2009.
- 33) R. Moraes, F. Vasques, P. Portugal, and J. A. Fonseca, —“VP-CSMA: A virtual token passing approach for real-time communication in IEEE 802.11 wireless networks,” IEEE Trans. Ind. Informat., vol. 3, no. 3, pp. 215–224, Aug. 2007.
- 34) T. Sauter, J. Jasperneite, and L. Lo Bello, —“Towards new hybrid networks for industrial automation,” in Proc. IEEE Conf. ETFA, Palma de Mallorca, Spain, 2009, pp. 1141–1148.
- 35) G. Cena, L. Seno, A. Valenzano, and C. Zunino, —“On the performance of IEEE 802.11e wireless infrastructures for soft-real-time industrial applications,” IEEE Trans. Ind. Informat., vol. 6, no. 3, pp. 1–13, Jun. 2010.
- 36) H. Ye, G. C. Walsh, and L. G. Bushnell, —“Real-time mixed-traffic wireless networks,” IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 48, no. 5, pp. 883–890, Oct. 2001.
- 37) G. Scheible, D. Dzung, J. Endresen, and J.-E. Frey, —“Unplugged but

- connected," IEEE Ind. Electron. Mag., vol. 1, no. 2, pp. 25–34, Summer 2007.
- 38) Alippi and L. Sportiello, —Energy-aware wireless-wired communications in sensor networks," in Proc. IEEE SENSORS Conf., Lecce, Italy, 2009, pp. 83–88.
 - 39) H.-J. Körber, H. Wattar, and G. Scholl, —Modular wireless real-time sensor/actuator network for factory automation applications," IEEE Trans. Ind. Informat., vol. 3, no. 2, pp. 111–119, May 2007.
 - 40) Willig, K. Matheus, and A. Wolisz, —Wireless technology in industrial networks," Proc. IEEE, vol. 93, no. 6, pp. 1130–1151, Jun. 2005.
 - 41) F. De Pellegrini, D. Miorandi, S. Vitturi, and A. Zanella, —On the use of wireless networks at low level of factory automation systems," IEEE Trans. Ind. Informat., vol. 2, no. 2, pp. 129–143, May 2006.
 - 42) G. Cena, A. Valenzano, and S. Vitturi, —Hybrid wired/wireless networks for realtime communications," IEEE Ind. Electron. Mag., vol. 2, no. 1, pp. 8–20, Mar. 2008.
 - 43) Willig, A.; Kubisch, M.; Hoene, C.; Wolisz, A.; Measurements of a wireless link in an industrial environment using an IEEE 802.11-compliant physical layer, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Volume 49, Issue 6, Dec. 2002 Page(s):1265 – 1282.
 - 44) J. Kjellsson, A. E. Vallestad, R. Steigmann, and D. Dzung, —Integration of a wireless I/O interface for PROFIBUS and PROFINET for factory automation," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 56, no. 10, pp. 4279–4287, Oct. 2009.
 - 45) Sixth Framework Programme, Priority 2, —Information Society Technologies", Project Name: Reconfigurable Ubiquitous Networked Embedded Systems, Public deliverable D8.1.2 Proceedings of the RUNES Industry Forum, http://www.istrunes.org/public_deliverables.html
 - 46) A. Flammini; D. Marioli; G. Mazzoleni; E. Sisinni; A. Taroni; Received Signal Strength Characterization for Wireless Sensor Networking, in Proceedings of the IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2006. IMTC 2006. April 2006 Page(s):207- 211
 - 47) Ramon Pallas Areny —Sensores y Acondicionadores de Señal", Marcombo Boixareu editora, 1994.

Referencias a Figuras y tablas por capítulo

Capítulo 1

- 1), www.uhu.es/antonio.barragan/content/caracteristicas-principales
2), 5), Ronal Dietrich —“Industrial Ethernet” Harting” Harting Electric GmbH & Co. KG, e-Book, 2005
3), 4), —“Introducción a las Redes de Comunicación Industriales”, Apunte Tema 1, Universidad Miguel Hernández, División Ingeniería de Sistemas y Automática, www.umh.es/

Capítulo 2

- 2), 3), 4), 5), 6), 7), 9), 10), 11), 12), 13), 16), 17), 19), 20), 21), 22), 24), 26), 27), 29), 30), 32), 33), 40), 41), 42), 44), Vicente Gerrero, Ramon Yuste, Luis Martinez —“Comunicaciones Industriales”; Alfaomega Marcombo ediciones técnicas; 2010.
8), <http://perso.wanadoo.es/pictob/comserie.htm>
14), 15) Tabla 2.3), <http://perso.wanadoo.es/pictob/comserie.htm>
18), 25), 31), 34), Tabla 2.5: <http://japan.maxim.ic.com/datasheet/>
23), 37), —“Sistema de Comunicaciones Industriales” SILICA (AVNET Iberia S.A.U.), Jordy Mayné, www.silica.com/
2.28, —“Redes de Comunicación Industriales, Buses de Campo”, Apunte: www.linux0.unsl.edu.ar/~rvilla/c3m10/tema13.pdf
35), 36), 37), 38), 39), 39), 43), Ramón Piedrafita Moreno —“Ingeniería de Automatización Industrial”, Ra-Ma editora; 2004

Capítulo 3

- 1), 2), 3), 8), 9), Flammini, P. Ferrari, D. Marioli, E. Sisinni, A. Taroni, —“Sensor Networks for industrial Applications” Advances in Sensors and Interface, 2007 IWASI 2007, 2nd International Workshop, June 2007.
4), 5), 6), 7), T. Sauter —“The Three Generations of field-Level Networks—evolution and Compatibility Inssues” IEEE Trans. Vol. 57 no 11, pp 3585-3595, Nov. 2010

Capítulo 4

- 1), 2), T. Sauter —“The Three Generations of field-Level Networks—evolution and Compatibility Inssues” IEEE Trans. Vol. 57 no 11, pp 3585-3595, Nov. 2010

Capítulo 5

- 1), 2), 3), 4), 5), Flammini, P. Ferrari, D. Marioli, E. Sisinni, A. Taroni, —“Sensor Networks for industrial Applications” Advances in Sensors and Interface, 2007 IWASI 2007, 2nd International Workshop, June 2007.

Capítulo 6

1), Tabla 1) Universidad de Vigo Ingenieros Industriales Instalación de Sistemas de Automatización y Datos, José Ignacio Armesto Quiroga, Curso 2007 y 2008 presentación, <http://www.dissa.uvigo.es/>

2), 3), 4), 5), 6), 7), 8), 10), 11), 12), 13), 14), Tablas 2), 3), 4). Enrique Mandado Perez, Jorge Marcos Acevedo, Celso Fernandez Silva, Jose Armesto Quiroga, Serafin Perez Lopez —“Automatas Programables Entornos y Aplicaciones”; Thomson editora, 2008.

9), http://www.siemens.com.ar/sites/internet/legacy/sie-pe/pe/pdf_catalogos/Sensores%20BERO_NSK10_2002_es.pdf

Anexo 1

A.1.1), A1.7), A1.8), A1.9), A1.10), Enrique Mandado Perez, Jorge Marcos Acevedo, Celso Fernandez Silva, Jose Armesto Quiroga, Serafin Perez Lopez —“Automatas Programables Entornos y Aplicaciones”; Thomson editora, 2008.

A1.2), A1.3), Universidad de Vigo Ingenieros Industriales Instalación de Sistemas de Automatización y Datos, José Ignacio Armesto Quiroga, Curso 2007 y 2008 presentación, <http://www.dissa.uvigo.es/>

A1.4), A1.5), A1.6), Vicente Gerrero, Ramon Yuste, Luis Martinez —“Comunicaciones Industriales”; Alfaomega Marcombo ediciones técnicas; 2010

A1.11), A1.12), Manual Siemens, Bus Asi, AG 2009, www.grupdap.es/ficheros/descrip-tecnicas/AS-Interface_2009.pdf

Anexo 2

A2.1), A2.2), www.uv.es/rosado/sid/Capitulo3/rev0.pdf, Universidad de Valencia, Sistemas Industriales Distribuidos, Redes de comunicaciones industriales.

A2.3), Enrique Mandado Perez, Jorge Marcos Acevedo, Celso Fernandez Silva, Jose Armesto Quiroga, Serafin Perez Lopez —“Automatas Programables Entornos y Aplicaciones”; Thomson editora, 2008.

Anexo 3

A3.1), A3.2), A3.3), Ronal Dietrich —“Industrial Ethernet” Harting” Harting Electric GmbH & Co. KG, e-Book, 2005

Anexo 4

A4.1) Emilio García Moreno —“Automatización de Procesos Industriales” Alfaomega editora 2004 Universidad Politécnica de Valencia

Normas

IEC 61158	Comunicaciones de datos de Digitales para la medida y el control, Bus de Campo para el uso en sistemas de control industriales.
IEC 61158.5	Comunicaciones de datos Digitales para la medida y el control, Bus de campo, para el uso en sistemas de control industriales, parte 5: Definición del servicio de la capa de uso.
IEC 61748	Comunicaciones de datos Digitales para la medida y el control
IEC 61784-1	Comunicaciones de datos Digitales para la medida y el control, parte 1: Sistemas del perfil para el uso en relación con del bus de campo de fabricación continua y discreta en sistemas de control industriales
IEEE802.11	Define el uso de los dos niveles inferiores de la arquitectura OSI, física y enlace de datos, especificando sus normas de funcionamiento en una WLAN.
IEEE 802.11a.	El estándar 802.11a utiliza el mismo juego de protocolos de base que el estándar original, y opera en la banda de 5 Ghz.
IEEE 802.11b	El estándar 802.11b tiene una velocidad máxima de transmisión de 11 Mbit/s y utiliza el mismo método de acceso definido en el estándar original CSMA/CA. El estándar 802.11b funciona en la banda de 2.4 Ghz.
IEEE 802.11e	Soporta los servicios que requieran garantías de calidad de servicio, permite íter-operar entre entornos públicos, de negocios y usuarios residenciales, con la capacidad añadida de resolver las necesidades de cada sector.
IEEE 802.11g	La evolución del estándar 802.11b. Utiliza la banda de 2,4 GHz, pero opera a 54 Mbps. Compatible con 802.11.b.
IEEE 802.11h	Es una modificación del estándar 802.11, para WLAN que intenta resolver problemas derivados de la coexistencia de las redes 802.11 con sistemas de radares y satélites.
IEEE 802.11i	Está dirigido a batir la vulnerabilidad actual en la seguridad para protocolos de autenticación y de codificación.
IEEE 802.11n	Especifica un enlace inalámbrico de alta velocidad, es una nueva revisión del estándar 802.11. La velocidad real de transmisión podría llegar a los 600 Mbps (lo que significa que las velocidades teóricas de transmisión serían aún mayores), y debería ser hasta 10 veces más rápida que una red bajo los estándares 802.11a y 802.11g. Hace uso simultáneo de las bandas de 2,4 y 5,4 GHz.
IEEE 802.15.4	WPAN de baja velocidad, <i>Low Rate WPAN</i> trata las

	necesidades de sistemas con poca transmisión de datos, pero vidas útiles muy altas con alimentación limitada (pilas, baterías, etc.), y una complejidad muy baja. Los protocolos ZigBee se basan en la especificación producida por este grupo de trabajo.
IEEE 802.1Q	Proyecto del grupo de trabajo 802 de la IEEE para desarrollar un mecanismo que permita a múltiples redes compartir de forma transparente el mismo medio físico, sin problemas de interferencia entre ellas. Es también el nombre actual del estándar establecido en este proyecto y se usa para definir el protocolo de encapsulado usado para implementar este mecanismo en redes Ethernet.
IEEE 802.3	La primera versión fue un intento de estandarizar Ethernet aunque hubo un campo de la cabecera que se definió de forma diferente, posteriormente ha habido ampliaciones sucesivas al estándar que cubrieron las ampliaciones de velocidad: Fast Ethernet, Giga bit Ethernet y el de 10 Giga bits, redes virtuales, hubs, conmutadores y distintos tipos de medios, tanto de fibra óptica como de cables de cobre (tanto par trenzado como coaxial).
IEEE 1451	El estándar IEEE 1451, es una familia de estándares de interfaz para transductor inteligente, describe una serie de interfaces de red de comunicación independiente para la conexión de transductores (sensores o actuadores) a los microprocesadores, sistemas de instrumentación y control. La función de estas normas es la definición de la hoja datos electrónica del transductor (TEDS).
IEEE 1588	Con el protocolo del tiempo de la precisión (PTP) descrito en IEEE 1588, es posible sincronizar los relojes distribuidos con una exactitud de menos de 1 microsegundo vía las redes de Ethernet. La información exacta del tiempo es especialmente importante para los sistemas distribuidos en tecnología de la automatización.
ISO/IEC 8802-3	Norma de Tecnología de la información - Telecomunicaciones e intercambio de información entre sistemas - locales y redes de área metropolitana - Requisitos específicos - Parte 3: Detección de portadora de acceso múltiple con detección de colisiones (CSMA / CD) Método de acceso y las especificaciones de la capa física.
MIL 1553	MIL-STD-1553 es el estándar militar publicado por el Departamento de Defensa de Estados Unidos que define las características mecánicas, eléctricas y funcionales de un bus de datos en serie. Fue diseñado en principio, para su uso en aviación militar, pero ha terminado por utilizarse habitualmente en subsistemas embarcados de manejo de datos en vehículos espaciales, tanto militares como civil.

Links

Links para Buses de Campo, en general

- ArcNet www.arcnet.de
- ASInterface www.as-interface.net
- Bitbus www.bitbus.org
- CAN www.can-cia.de
- CANopen www.canopen.de
- ControlNet www.controlnet.org
- DeviceNet www.odva.org
- DIN Messbus www.measurement-bus.de
- EIB www.eiba.com
- Foundation Fieldbus www.fieldbus.org
- INTERBUS www.interbusclub.com
- LON www.lonmark.org
- ODVA www.odva.org
- OPC Foundation www.opcfoundation.org
- PROFIBUS www.profibus.com

Links para Ethernet Industrial

- EtherCAT www.ethercat.org
- Ethernet/IP www.odva.org
- ETHERNET Powerlink www.ethernet-powerlink.com
- Industrial Ethernet Book www.iebmedia.com
- Gigabit-Ethernet Alliance www.gigabit-ethernet.org
- HSE www.fieldbus.org
- IAONA www.iaona.org
- Industrial Ethernet Association www.industrialethernet.com
- JetSync www.jetter.de
- LON www.lonmark.org
- Modbus-IDA Group www.modbus-ida.org
- ODVA www.odva.org
- PROFINET www.profibus.com
- SERCOS-III www.sercos.de
- safeethernet www.hima.de

Otros Links

- EIA www.eia.or
- HARTING Electric GmbH & Co. KG www.HARTING.com
- IEEE www.ieee.org
- ISO Standards www.iso.ch
- Virtual Private Networking Technologies www.vpn.com
- IEEE – Lista de normas actuales <http://standards.ieee.org>
- OPNET Model OPNET Technologies <http://www.opnet.com>
- OMNET++ Community <http://www.omnetpp.org>