

REDES Y BUSES DE CAMPO

MAURICIO JOSÉ GÁNDARA JADID

PEDRO JULIO PÉREZ ROMERO

Director

Jorge Eliécer Duque Pardo

Ingeniero Electricista

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLIVAR

CARTAGENA DE INDIAS, D.T. Y C.

AGOSTO DE 2005

REDES Y BUSES DE CAMPO

MAURICIO JOSÉ GÁNDARA JADID

PEDRO JULIO PÉREZ ROMERO

Trabajo final presentado como requisito parcial

Aprobar el Minor de Automatización Industrial

Director

Jorge Eliécer Duque Pardo

Ingeniero Electricista

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLIVAR

MINOR DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

CARTAGENA DE INDIAS, D.T. Y C.

NOVIEMBRE DE 2004

Cartagena de Indias Noviembre 29 de 2004

Señores

Universidad Tecnológica de Bolívar

Comité de Evaluación de Proyectos

Ciudad

Estimados señores:

Con el mayor agrado me dirijo a ustedes para poner a consideración el trabajo final titulado “**Redes Industriales y Buses de Campo**”. El cual fue llevado a cabo por los estudiantes **Mauricio José Gándara Jadid y Pedro Julio Pérez Romero**, bajo mi orientación.

Agradeciendo su amable atención,

Cordialmente,

Jorge Eliécer Duque P.

Ingeniero Electricista.

Cartagena de Indias Noviembre 29 de 2004

Señores

Universidad Tecnológica de Bolívar

Comité de Evaluación de Proyectos

Ciudad

Estimados señores:

De la manera mas cordial, nos permitimos presentar a ustedes para su estudio, consideración y aprobación el trabajo final titulado “**Redes Industriales y Buses de Campo**”. Trabajo final presentado para aprobar el Minor de Automatización Industrial.

Esperamos que este proyecto sea de su mayor agrado.

Cordialmente,

Mauricio José Gándara J.

Código: 0004051

Pedro Julio Pérez R.

Código: 0004093

AUTORIZACIÓN

Cartagena De Indias D.T. y C. Diciembre 17 de 2004.

Nosotros MAURICIO JOSÉ GÁNDARA JADID Y PEDRO JULIO PÉREZ ROMERO identificados con numero de cédula 73'196.028 de Cartagena y 84'091.664 de Riohacha respectivamente, autorizamos a la **Universidad Tecnológica de Bolívar**, para hacer uso de nuestro trabajo de grado y publicarlo en el catalogo online de la biblioteca.

Mauricio José Gándara J.

Pedro Julio Pérez R.

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Cartagena de Indias, Noviembre de 2004

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1.Introducción.....	1
2.El Concepto CIM y la Pirámide de Automatización.....	3
3. Normas Relativas a las Comunicaciones Industriales.....	7
3.1 Modelo de referencia OSI.....	7
3.1.1.Capa Física.....	8
3.1.2.Capa de Enlace de datos.....	9
3.1.3.Capa de Red.....	9
3.1.4.Capa de Transporte.....	10
3.1.5 Capa de Sesión.....	10
3.1.6 Capa de Presentación.....	11
3.1.7 Capa de Aplicación.....	11
3.2 Integración y Compatibilidad de sistemas.....	12
3.2.1 Conformidad.....	12
3.2.2 Interconectividad.....	13
3.2.3 Intercambiabilidad.....	13
3.2.4 Interoperabilidad.....	13
3.2.5 Cooperación entre dispositivos.....	14
3.3 Estándares básicos RS-232C.....	15
3.3.1Características eléctricas.....	15
3.3.2 Características funcionales y mecánicas	16

3.4 Estándar básico RS-485.....	17
4. Redes de Comunicación.....	20
4.1 MAP.....	20
4.1.2 Estructura de la red y protocolo.....	21
4.2 MINIMAP.....	22
4.2.1 Estructura de la red.....	22
4.2.2 Protocolo.....	24
5. Buses de Campo.....	26
5.1 Introducción.....	26
5.2 PROFIBUS.....	29
5.2.1 Reseña histórica.....	29
5.2.2 Estructura de la red.....	30
5.2.3 Protocolo.....	34
5.2.4 Aplicación.....	36
5.3 MODBUS.....	37
5.3.1 Reseña Histórica.....	37
5.3.2 Estructura de la red.....	38
5.3.3 Protocolo.....	39
5.3.4 Aplicación.....	41
5.4 CAN.....	41
5.4.1 Reseña Histórica.....	41
5.4.2 Estructura de la red	42
5.4.3 Protocolo.....	43

5.5 AS-i.....	46
5.5.1 Creación y desarrollo de a tecnología.....	48
5.5.2 Características fundamentales de AS-interface.....	48
5.5.3 Propiedades del sistema.....	49
5.5.4 Características de diseño.....	50
5.5.5 Datos cuantitativos de AS-interface.....	53
5.5.6 Panorámica de los componentes del sistema AS-i.....	54
5.5.7 Aplicación.....	54
5.6 HART.....	55
5.6.1 Reseña histórica.....	55
5.6.2 Estructura de la red.....	56
5.6.3 Protocolo.....	58
5.6.4 Aplicación.....	60
5.7 Otros Buses de Campo.....	61
5.7.1 FOUNDATION FIELDBUS.....	61
5.7.2 LONWORKS.....	62
5.7.3 DEVICENET.....	63
5.7.4 INTERBUS.....	64
5.7.5 WOLRDFIP, BITBUS Y CONTROLNET.....	65
6. INDUSTRIAL ETHERNET.	67
6.1 Reseña histórica	67
6.2 Estructura de la red.....	69
6.2.1 Medio Físico	69
6.2.2 Interfaz con el bus.....	69

6.2.3 Topología y estructura lógica.....	70
6.3 Protocolo.....	71
6.4 Aplicación.....	73
7.CONCLUSIONES.....	75
BIBLIOGRAFÍA.....	77
GLOSARIO.....	79

LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1. Pirámide de Automatización.....	4
Figura 2. Modelo OSI para comunicación entre dos nodos.....	8
Figura 3. Tensión entre niveles permitida.....	16
Figura 4. Conector DB-9 de buses RS-232.....	17
Figura 5. Trama de mensaje MINIMAP	24
Figura 6. Arquitectura tradicional de los lazos de corriente.....	27
Figura 7. Arquitectura de bus de campo.....	28
Figura 8. Estructura física con repetidores.....	33
Figura 9. Estructura lógica de Profibus.....	34
Figura 10. Capa de protocolo Modbus.....	37
Figura 11. Intercambio punto a punto.....	38
Figura 12. Mensaje difundido.....	39

Figura 13. Trama genérica del mensaje según el código empleado.....	40
Figura 14. Implementación punto del bus CAN.....	43
Figura 15. Estructura de trama CAN.....	44
Figura 16. Esquema de distribución de una red ASi.....	47
Figura 17. Cable Asi y método de conexión.....	51
Figura 18. Componentes y posibilidades de conexión en Asi.....	54
Figura 19. Sustitución de los mazos de cables en los últimos años.....	55
Figura 20. Modo de operación punto a punto.....	57
Figura 21. Modo de operación multipunto.....	58
Figura 22. Comunicación análogo y digital simultanea.....	59
Figura 23. Topología en árbol.....	70

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Distancia máxima sin repetidor según el medio físico.....	31
Tabla 2. grados de protección IP.....	53
Tabla 3. Datos cuantitativos de una red basada en ASi.....	53

1. INTRODUCCIÓN

La industria actual está presenciando grandes avances en el campo de la automatización particularmente con el desarrollo del concepto CIM (*Computer Integrated Manufacturing*), el cual representa una metodología de trabajo y una filosofía de diseño de los sistemas de automatización, producción y gestión, orientados principalmente a la mejora de los niveles de calidad y a la optimización de los procesos de fabricación.

Estas cualidades se logran uniendo entre sí a todas las máquinas y sistemas que intervienen en el proceso productivo, mediante elementos que permiten una buena comunicación o transferencia de información entre ellos. Esta transferencia de información debe cumplir ciertas exigencias para poder obtener una transmisión de datos segura, ágil, rápida y confiable. Esto ha propiciado la aparición de los buses de campo, como los sistemas de comunicación por excelencia para la interconexión entre los diferentes niveles de la pirámide de automatización.

Los buses de campo utilizan la tecnología digital para comunicar los sistemas de control industriales con los instrumentos de campo proporcionado de esta manera muchas ventajas con respecto a la tecnología tradicional de lazos de corriente analógicos, en lo referente al ahorro de cableado, mayor cantidad

de información y posibilidades de realizar mantenimiento e ingeniería a distancia.

Hoy en día el bus de campo se ha extendido ampliamente en la industria y se ha convertido en elemento indispensable a considerar cuando se aborda la automatización de cualquier proceso. En este sentido, el documento ofrece una visión general de las comunicaciones industriales y en particular de las tecnologías de buses de campo más difundidas en la actualidad, con el fin de establecer sus principales características, y de esta forma tener criterios técnicos a la hora de seleccionar la tecnología más adecuada para una aplicación en particular.

En los primeros capítulos del documento se desarrolla el concepto de Manufactura Integrada por Computador y lo referente al modelo OSI y su relación con las comunicaciones industriales. Posteriormente se realiza el análisis de las Redes Industriales y su evolución. Finalmente se abordan los principales buses de campo utilizados actualmente, tales como: Profibus, Modbus, ASi, CAN, entre otros y se analizarán sus principales características y campos de aplicación.

2. El Concepto CIM y La Pirámide de Automatización

El concepto CIM (Computer Integrated Manufacturing), en sí mismo no indica la aplicación de ninguna tecnología o procedimiento en particular sino la aplicación de ciertas técnicas con una visión integradora. Podría definirse como: “una metodología de trabajo y una filosofía de diseño de los sistemas de automatización, producción y gestión orientados a la mejora de los niveles de calidad y a la optimización en los procesos de fabricación”¹

El ideal de una fábrica completamente automatizada bajo el concepto CIM se representa como una pirámide en la que en los niveles bajos se encuentran los sensores, motores y otros elementos de accionamiento, en los intermedios se encuentran los elementos de control tales como PLCs (Controladores Lógicos Programables) y controladores PIDs, y en los superiores estaciones de trabajo o DCSs (Sistemas de Control Distribuido).

La integración de los diferentes equipos y dispositivos existentes en una planta se hace dividiendo las tareas entre grupos de procesadores con una organización jerárquica. Así, dependiendo de la función y el tipo de conexiones, se suelen distinguir cuatro niveles en una red industrial (figura 1):

¹ Rosado, A. Sistemas Industriales Distribuidos . consultado en : <http://www.uv.es/~rosado>

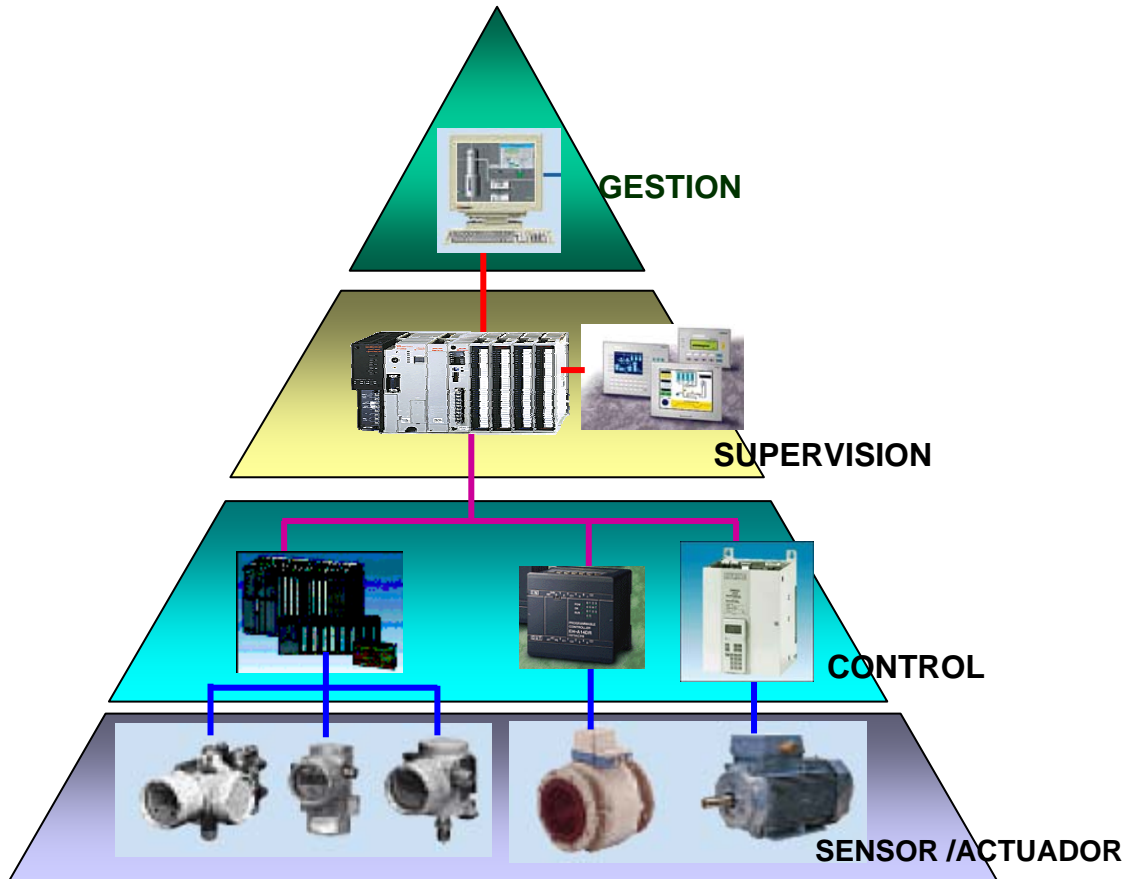


Figura 1. Pirámide de Automatización. Fuente (Balcells y Romeral²)

Nivel de Sensores-Actuadores: Conocido también como etapa de instrumentación, es el nivel más próximo al proceso. Aquí es donde se encuentran las máquinas con las que opera la empresa, y con ellas, todos los sensores y actuadores para la toma de mediciones y la realización de acciones de control sobre el proceso.

Nivel de Control: Este es el nivel de los elementos capaces de controlar a los actuadores y sensores del nivel anterior tales como autómatas programables, o equipos de aplicación específica basados en

² Balcells J. y Romeral J. L. Autómatas programables. Editorial Alfaomega. Barcelona 1999

microprocesador como robots o tarjetas de control. Estos dispositivos permiten que los actuadores y sensores funcionen de forma conjunta para ser capaces de realizar el proceso industrial deseado, además los controladores envían información de actuación directa a los del nivel más bajo e información de estado al nivel superior siguiente (nivel de supervisión) integra pequeños automatismos (PLCs compactos, PIDs, multiplexores de e/s, etc.) en subredes o islas. En el nivel más alto de estas redes podemos encontrar uno o varios autómatas modulares actuando como maestros de la red o maestros flotantes. En este nivel se emplean los buses de campo.

Nivel de Supervisión: Entrelaza las células de fabricación o zonas de trabajo. A este nivel se sitúan los autómatas de gama alta y los ordenadores dedicados al diseño, control de calidad, programación, etc. En este nivel es donde se suelen emplear las redes de tipo LAN (MAP o Ethernet). Conocido como nivel de planta es donde se realizan por las tareas de adquisición y tratamiento de datos, monitorización de alarmas, mantenimiento correctivo y preventivo, control de calidad, coordinación de transporte, alimentación de líneas, seguimiento de etapas, seguimiento de órdenes de trabajo.

Todos los dispositivos de control existentes en planta es posible monitorizarlos si existe un sistema de comunicación adecuado capaz de comunicar estos elementos con otro tipo de dispositivos no dedicados al control sino para la gestión y supervisión, y que habitualmente están constituidos por computadores o sistemas de visualización tales como pantallas industriales. En este nivel es posible visualizar como se están

llevando a cabo los procesos de planta, y a través de entornos SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) . Mediante este tipo de acciones resulta inmediato disponer de acceso inmediato a cada uno de los sectores de la planta. Para ello, resulta imprescindible la conexión con el nivel de control mediante buses de campo de altas prestaciones, pues a veces resulta necesaria la transmisión de importantes cantidades de datos y la conexión con un gran número de elementos de control.

Nivel de gestión: Es el nivel más alto y se encarga de integrar los siguientes niveles en una estructura de fábrica o varias fábricas. Se suelen emplear estaciones de trabajo que establecen la conexión entre el proceso productivo y la gestión de la empresa. Las redes empleadas son de tipo LAN o WAN. “Gracias a la información recogida por el nivel de supervisión de toda la planta los gestores de la empresa pueden extraer estadísticas acerca de los costes de fabricación, rendimiento de la planta, estrategias de ventas para liberar posibles excesos de producto almacenado, y en general, disponer de datos que permitan a los niveles directivos la toma de decisiones conducentes a una mejor optimización en el funcionamiento de la planta, todo ello de una manera rápida y flexible dada la rapidez del acceso a los datos de fabricación.”³

³ Rosado, A. Sistemas Industriales Distribuidos . consultado en : <http://www.uv.es/~rosado>

3. Normas Relativas a las Comunicaciones Industriales

Para poder realizar la comunicación de cualquier tipo de dispositivos estos deben cumplir con ciertos requisitos que van desde el software, características eléctrica, mecánicas entre otras. Aquí veremos los mas importantes, basándonos en los estándares mas comunes.

3.1 Modelo de referencia OSI .

Al producirse un intercambio de datos entre equipos a través de un sistema de bus es preciso definir el sistema de transmisión y el método de acceso, así como informaciones relativas al establecimiento de los enlaces. Por tal motivo, la ISO (*International Standards Organization*) especificó el modelo de referencia ISO/OSI, convertido en un estándar esencial a la hora de describir redes de comunicación y las diferentes partes en que se divide. El estándar describe siete capas, de tal modo que una se fundamenta en la anterior, aunque no es necesario emplear todas ellas para construir un sistema de comunicación ya que dentro de cada capa la comunicación se lleva a cabo siguiendo reglas y convenciones predefinidas, lo que generalmente se conoce como protocolo. Entre las capas adyacentes debe existir una interfaz que permite el intercambio de información, lo que se conoce como especificaciones de servicio. El conjunto total de capas y protocolos constituye la arquitectura de una red.

Estas normas en el campo industrial son de aceptación general y suficientemente abiertas para dar cabida a todas las aplicaciones actuales y prever la integración de otras en el futuro. Lo que pretende el modelo OSI es subdividir las tareas del proceso de dialogo a través de maquinas digitales. Una parte de dichas tareas del sistema de comunicación están dirigida a dar soporte al usuario (niveles 7, 6 y 5), y las restantes están dirigida a facilitar el flujo de información digital entre terminales y/o maquinas (niveles 4, 3, 2 y 1). El modelo establece una clara diferencia entre ambos grupos de funciones y, a su vez, subdivide cada una de ellas en varios niveles o capas, estas capas del modelo OSI son las que deben ser implementadas en cada nodo de la red.

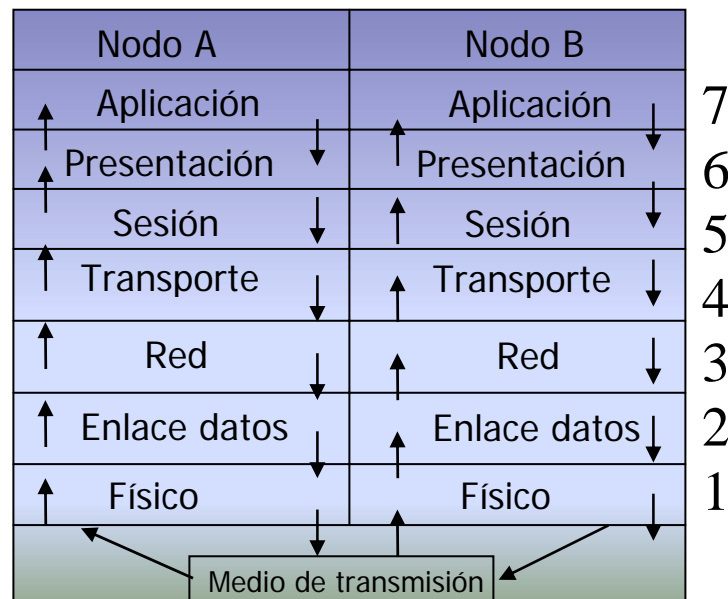


Figura 2. Modelo OSI para comunicación entre dos nodos. Fuente (Balcell y Romeral⁴)

3.1.1 Capa física.

Este nivel procura la transmisión transparente de bits a través del soporte físico (cables, fibra óptica, modems, etc) en el orden definido por el nivel de

⁴ Ballcells J. y Romerall J. L. Autómatas programables. Editorial Alfaomega. Barcelona 1999

enlace (capa 2). Esta capa solo entiende 1's y 0's, sin importarle que representan. Se definen las características eléctricas y mecánicas de la línea de transmisión (bus), así como conectores o medios de enlace hardware.

3.1.2 Capa de enlace de datos.

Este nivel tiene como función asegurar la transmisión de la cadena de bits entre dos sistemas apoyándose de un medio físico de conexión. Este nivel es el encargado de recoger los datos del nivel de red (capa 3) para formar las tramas de envío (añadiendo datos de control), y viceversa. También impone los métodos de direccionamiento, detección y recuperación de errores, reenvío de tramas perdidas y regulación del tráfico de información en cuanto a velocidades de transmisión. Este nivel se divide en dos subniveles, MAC (*Medium Access Control*) y LLC (*Logic Link Control*), Las normas mas conocidas para los métodos de acceso aplicados en el subnivel MAC son IEEE 802.3 (Ethernet, CSMA/CD), IEEE 802.4 (Token Bus), IEEE 802.5 (Token Ring). Para el subnivel LLC se aplica generalmente la norma IEEE 802.2.

3.1.3 Capa de red.

Este nivel se encarga de la operatividad de la red, controlando la ruta de la comunicación de datos entre sistemas finales, entendiendo por sistemas finales el emisor y el receptor de una información. El nivel de red debe seleccionar la ruta a seguir, lo que normalmente se denomina encaminamiento (*Routing*). Este control de ruta se realiza a través de un

medio físico, sin importar cual sea dicho medio ni el contenido del mensaje. Además esta capa es la encargada de traducir nombres lógicos en direcciones físicas y controlar la congestión en la red.

3.1.4 Capa de transporte.

Este nivel tiene como misión ofrecer al usuario un enlace entre nodos fiable, capaz de interpretar las direcciones, fraccionar, si es preciso, los paquetes muy largos para realizar la conexión mas rápida (varias conexiones a nivel de transporte) y llevar los mensajes a su destino correcto, sin precisar cual va a ser la ruta o los medios utilizados para ello, entregando datos libres de error al nivel 5 (capa de sesión). Los servicios ofrecidos incluyen el establecimiento del enlace de transporte, la transmisión de datos, así como la disolución del enlace. Para ello el usuario puede exigir, en general, una determinada calidad en el servicio (QoS, *Quality of Service*). Parámetros de calidad son, por ejemplo, la velocidad de transferencia y la tasa de errores residuales.

3.1.5 Capa de sesión.

La tarea principal del nivel de sesión es sincronizar las relaciones de comunicación, es decir, permitir establecer una sesión de comunicación entre dos capas de aplicación (nivel 7), una para cada nodo. También permite configurar el tipo de diálogo (full-duplex o semi-duplex), así como realizar ciertas verificaciones de seguridad. Esta capa no aparece en numerosos sistemas de comunicación.

3.1.6 Capa de presentación.

esta capa Resuelve el problema de semántica y sintaxis de la información transmitida. Generalmente, ocasionados al intercambiar datos con diferentes sistemas que utilizan lenguajes distintos. este nivel convierte los datos del nivel 7 (capa de aplicación) a un lenguaje que es el acordado para la transmisión (aquí también podría incluirse la encriptación y compresión de datos), y modifica los datos recibido para que la aplicación reciba los datos conforme a su criterio. Para ello se utiliza en la mayor parte de los casos el *Abstract Syntax Notation One* (ASN.1) definido en ISO 8824 y las *Basic Encoding Rules* (BER) asociadas.

3.1.7 Capa de aplicación.

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

3.2 Integración y compatibilidad de sistemas.

La mayoría de aplicaciones industriales implican el uso de una gran cantidad de elementos de campo como sensores y actuadores. Estos elementos no solo deben ser capaces de realizar complicadas funciones sino que también deben ser capaces de comunicarse y trabajar en conjunto con otros equipos, de acuerdo a las necesidades del usuario. Por consiguiente para poder integrar dispositivos y lograr que trabajen en equipo estos, a nivel de comunicación deben ofrecer propiedades como la conformidad en cuanto al estándar y también las llamadas interoperabilidad o cooperación entre dispositivos. Por eso para entender este tipo de procedimiento es necesario conocer los conceptos de conformidad, interconectividad, interoperabilidad, cooperación e Intercambiabilidad.

3.2.1 Conformidad.

Hoy en día con el concepto de sistemas abiertos y específicamente para dispositivos de campo, teniendo en cuenta la gran cantidad de fabricantes, los servicios y protocolos deben ser estandarizados. ISO define el concepto de prueba de conformidad y también la manera de realizarla. La prueba de conformidad es una operación que permite decir si una implementación particular de un protocolo o un grupo de protocolos se ajustan a lo expresado en el estándar. En segundo lugar estas pruebas nunca son exhaustivas. En tercer lugar las consideraciones de tiempo y recursos no son tomadas en cuenta en las pruebas de conformidad. Estas razones, expuestas

precedentemente, originan la necesidad de introducir la noción de interoperabilidad.

3.2.2 Interconectividad.

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

3.2.3 Intercambiabilidad.

La Intercambiabilidad es la propiedad que presenta un dispositivo de ser reemplazado por otro, funcionalmente similar pero de fabricante diferente, sin tener que modificar el sistema. Cada equipo debe, obviamente, ser interoperable con los otros equipos del sistema global.

3.2.4 Interoperabilidad.

La interoperabilidad de dispositivos que tienen la conformidad de un mismo estándar es una propiedad que expresa la capacidad de estos de comunicarse para cooperación y para participar de un objetivo común. La prueba de interoperabilidad es vista como un complemento a la prueba de conformidad y su primera aproximación se puede realizar reuniendo equipos

reales que habían pasado las pruebas de conformidad en la misma plataforma y probar si tales equipos son capaces de comunicarse correctamente, y por consiguiente, si ellos pueden interoperar. Esta es una operación costosa y difícil dado lo heterogéneo de los dispositivos y el número de equipos. La interoperabilidad de las comunicaciones sin embargo no está definida de una manera estándar. Se puede entonces introducir el concepto de cooperación entre dispositivos para distinguirlo de la interoperabilidad. La interoperabilidad está reservada a las capas de comunicación y a los perfiles de todas las partes estandarizadas.

3.2.5 Cooperación entre dispositivos.

Podemos definir la cooperación entre dispositivos de campo como la propiedad que tienen las aplicaciones software o procesos de aplicación, de cada uno de los elementos que cooperan, para poder interactuar y satisfacer un objetivo determinado. Podemos decir que los dispositivos cooperan cuando:

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

3.3 Estándar básico RS-232C

El estándar RS-232 o v.24(equivalente europeo) fue propuesto por primera vez en 1962, el nombre oficial es EIA/TIA-232-E, haciendo referencia al organismo que lo define EIA, (*Electronics Industry Association*) y TIA (*Telecommunication Industry Association*), el término RS hace referencia a su descripción inicial (*Recommended Standard*, estándar recomendado), y que actualmente sigue siendo el mas empleado. El RS-232C ofrece un estándar de intercomunicación entre los comúnmente conocidos como DTE (equipos terminales de datos) y DCE (equipos de comunicación o de terminación de circuito de datos). La norma básica se ocupa esencialmente con respecto a la especificación RS-232 en tres ámbitos de la comunicación: Los niveles de tensión de las señales, el patinaje de las señales y la información de control que debe existir entre los equipos. RS-232 describe, además de las características eléctricas, las características mecánicas y funcionales.

3.3.1 Características eléctricas

Estas características definen los niveles de tensión, tiempos de bajada y subida de niveles, e impedancia de línea. Debido a que anteriormente no existía una estandarización en cuanto a lógica TTL, los niveles de tensión definidos no coinciden, pero este estándar deja un rango de tensiones amplio para la definición de niveles, con un espacio de margen de tensión entre niveles suficientemente amplio como para evitar confusiones. Que se resume en la siguiente tabla de tensión de niveles.

	"0" lógico	"1" Lógico
Salida	+5 a +15	-5 a -15
Entrada	+3 a +15	-3 a -15

Figura 3. Tensión entre niveles permitida. Fuente (Balcells y Romeral⁵)

Dependiendo del cable: capacidad mutua entre conductores, capacidad de entrada del *driver* y capacidad por unidad de longitud, será posible alcanzar diferente longitud de conexión.

3.3.2 Características Funcionales y Mecánicas.

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

En cuanto a las características mecánicas inicialmente, dado el gran número de líneas definidas, la conexión se realizaba mediante un conector de 25

⁵Balcells J. y Romerall J. L. Autómatas programables. Editorial Alfaomega. Barcelona 1999

patillas (de tipo DB25), pero en la gran mayoría de aplicaciones se emplea una conexión de 9 líneas mediante un conector del tipo DB9 (Figura 4).

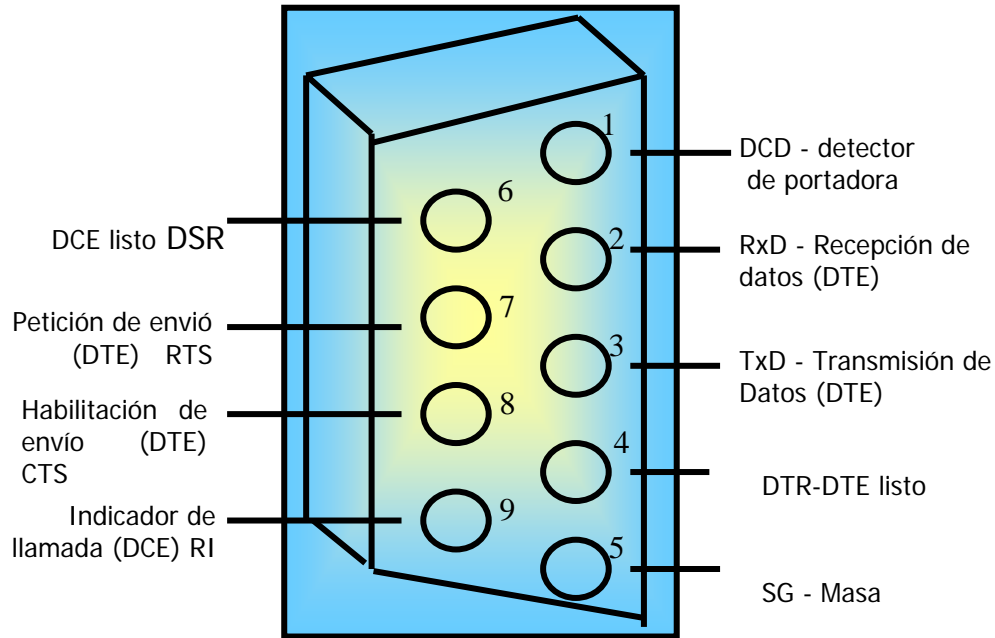


Figura 4. Conector DB-9 de buses RS-232.fuente (Balcells y Romeral⁶)

3.4 Estándar básico RS-485

Este estándar surgió como necesidad para ampliar la capacidad de comunicación de RS-232 en aspectos como la velocidad de transmisión, inmunidad al ruido, longitud de conexión, y conexión multipunto. Tiene como principal característica la de trabajar con señales digitales de voltaje balanceado (también llamado voltaje diferencial), evitando así problemas de referencia de niveles respecto a una tierra que a veces puede variar entre dispositivos, produciendo errores.

⁶ Ballcells J. y Romerall J. L. Autómatas programables. Editorial Alfaomega. Barcelona 1999

El RS-485 es uno de los más empleados en comunicaciones industriales debido a su robustez y sencillez en la instalación. RS-485 permite hasta 32 nodos en la misma red por razones de carga (pero actualmente debido a la mejora de la circuitería electrónica, se llega a admitir hasta 255 nodos), siendo posible que todos ellos ejerzan como iniciadores de la transmisión hacia el resto, es decir, tiene capacidad multimaestro. Otra característica importante de RS-485 es el número de líneas de transmisión necesarios para implementar la comunicación, en este estándar existen dos posibilidades, emplear una única línea compartida para transmisión y recepción, o bien utilizar una implementación similar a RS-422, que permite transmitir y recibir al mismo tiempo, incrementando la velocidad de transmisión. En el caso de una sola línea de comunicación, la sencillez del cableado es mayor, aunque existen mayores problemas en la gestión de las comunicaciones.

A pesar de que la instalación de líneas de comunicación RS-485 resulta sencilla, deben tenerse en cuenta ciertas consideraciones para evitar la aparición de problemas en la comunicación.

Puesta a tierra: Cada dispositivo puede estar conectado a una tierra diferente, pero debe tenerse en cuenta que existe un máximo de diferencia de potencial entre las tierras establecido por el estándar de $-7V$ a $+12V$.

Protección contra cortocircuito: se debe establecer una protección para corrientes mayores de 150mA entre A o B y tierra, o de 250mA entre A y B.

Protección contra sobretensiones y descargas: en entornos industriales resulta habitual que existan cambios de tensión bruscos que pueden llegar a

las centenas o miles de voltios debido a la puesta en marcha de maquinaria, alumbrado, o descargas electrostáticas (ESD).

Topologías: ciertas topologías de red no son admisibles debido a las reflexiones de la línea, por tanto, topologías como estrella o anillo no son admisibles. La mejor topología para estas redes es la de bus.

4. Redes de Comunicación

La automatización en las industrias ha seguido un proceso gradual, aplicando la tecnología disponible en cada momento. Esto a dado lugar a las denominadas “islas automatizadas”, término empleado para designar a una serie de equipos aislados entre sí y dedicados al control de una máquina o parte del proceso, para que dichos equipos pueden comunicarse lo deben hacer a través de una red que deben cumplir con un protocolo aquí veremos dos de los mas importantes.

4.1 MAP

Para la década de los ´90 se preveía que se debía ingresar en red un gran número de sistemas dedicados con diferentes características basados en microprocesadores y de distintas marcas, General Motors junto a IEEE crearon el protocolo MAP (*Manufacturing Automation Protocol*) a fin de realizar una estandarización de redes industriales, desde el nivel de red local hasta el nivel WAN para enlazar incluso varias factorías. El costo previsto de las interfaces de protocolo para poder enlazarlos era muy elevado por lo que se decidió no incorporar ningún sistema de control que no fuera 100% compatible con el protocolo MAP. Dado el gran poder de compra de la firma americana y a el apoyo que tuvo por parte de otras firmas del sector del

automóvil muchos fabricantes de autómatas incorporaron a sus productos de gama alta una interfaz de comunicaciones con protocolo MAP.

4.1.2 Estructura de la red y protocolo.

Entorno a MAP se ha regulado una estructura de comunicaciones industrial que recibe el nombre, como en muchos caso, gracias al protocolo MAP y que manejados normalmente en la industria.

- *Nivel de bus de campo:* Se considera un nivel inferior que se integra a la red mediante autómatas o terminales que actúan aisladamente pero disponen de una pasarela entre el bus de campo y la red MAP, la red MAP no cubre esta parte, estos terminales disponen de dos canales de comunicación: uno que conecta con el bus de campo (con protocolo propio) y otro que enlaza con la red MAP. De esta forma MAP se muestra lo suficientemente abierto como para poder integrar producto de gama baja trabajando con otros protocolos.
- Nivel de LAN : El MAP es un protocolo pensado para redes del tipo WAN; por tanto, incluyendo los niveles de red, transporte, sesión, y presentación, que le permiten el fraccionamiento de paquetes y el encaminamiento de los mismos a través incluso de redes publicas o privadas. No obstante, resulta excesivamente caro y complejo para aplicaciones de pequeña y mediana envergadura sobre todo para la interconexión pequeños controladores a nivel industrial. En vista de ellos se creo un subconjunto de protocolo pensado para redes industriales de tipo LAN totalmente compatible con MAP. Este protocolo simplificado se

conoce como MINIMAP y esta previsto para gestionar una red local con una arquitectura tipo BUS.

- Nivel LAN/WAN: a este nivel la red MAP propiamente dicha cubre todos los niveles del modelo OSI. Esta basada en un bus con transmisión en banda ancha multicanal que permite interconectar los sistemas de control de planta con las aplicaciones de gestión, oficina, CAD computadores de planta canales de dato, voz, imágenes con emplazamientos locales o remotos. En este último caso esta prevista la interconexión de redes WAN de uso publico a través de estaciones o nodos que actúan de pasarela entre la red local y la red WAN.

4.2 MINIMAP

La red MINIMAP no es mas que un subconjunto de la red MAP, este protocolo se simplifica a base de eliminar las capas intermedias del modelo OSI previstas para la conexión a redes conmutadas y queda reducido a los nivel 1,2,3 y 7. “Su ventaja respecto a los otros protocolos de gestión de redes LAN estriba en el hecho de que permite integración de la red local en redes WAN, simplemente añadiendo a la trama las funciones de transporte y sesión propias del MAP”⁷.

4.2.1. Estructura de la red.

La topología y la estructura lógica de la red MINIMAP pueden resumirse en los siguientes puntos:

⁷ Ballcells J. y Romerall J. L. Autómatas programables. Editorial Alfaomega. Barcelona 1999

- En lo referente a la parte físico, tiene una topología de bus, con un máximo de 64 nodos, pero desde el punto de vista lógico funciona como un anillo.
- La codificación se hace por modulación de frecuencia en banda base y la transmisión es de tipo síncrono.
- Cada estación tiene asignada una dirección única e independiente de situación física, formada por un numero de red (0 a 127) mas un numero de estación (0 a 63). El numero de red toma los valores: de 0 para las arquitecturas monosegmento y de 1 a 127 para las multisegmento (esto prevé la posterior integración de varias MINIMAP en una red de rango superior de tipo MAP).
- Al inicializar la red, el testigo se asigna a la estación con dirección mas alta y el paso de testigo se realiza por orden decreciente de direcciones.
- Cada estación, al recibir el testigo emite sus mensajes y al terminar cede dicho testigo a la estación con dirección inmediatamente inferior, hasta llegar a la estación 1, que cede el testigo a la dirección mas alta.
- Si una estación recibe el testigo y no tiene mensajes para transmitir lo pasa inmediatamente a la siguiente.
- El tiempo de posesión del testigo esta limitado a unos 800microseg, después del cual la estación que lo tenga debe cederlo aun en el caso de no haber finalizado la transmisión de sus mensajes. De esta forma el tiempo máximo de ciclo esta acotado.

Precisamente la ultima afirmación permite detectar la perdida de testigo. Esto desencadena un procedimiento especial de inicialización, que consiste en que cada estación intenta emitir una trama de petición de testigo. La duración de la trama es proporcional a la dirección en la red. Si en esta fase existiera colisión en el bus se resuelve de forma que cada estación, después de emitir la trama de petición de testigo, escucha en el bus. Si detecta señal se inhibe y si no se apropia del testigo.

4.2.2 Protocolo

La trama de protocolo MINIMAP tiene en su estructura diferentes partes que se explican a continuación con mas detalle, desde la primera hasta la ultima en orden cronológico.

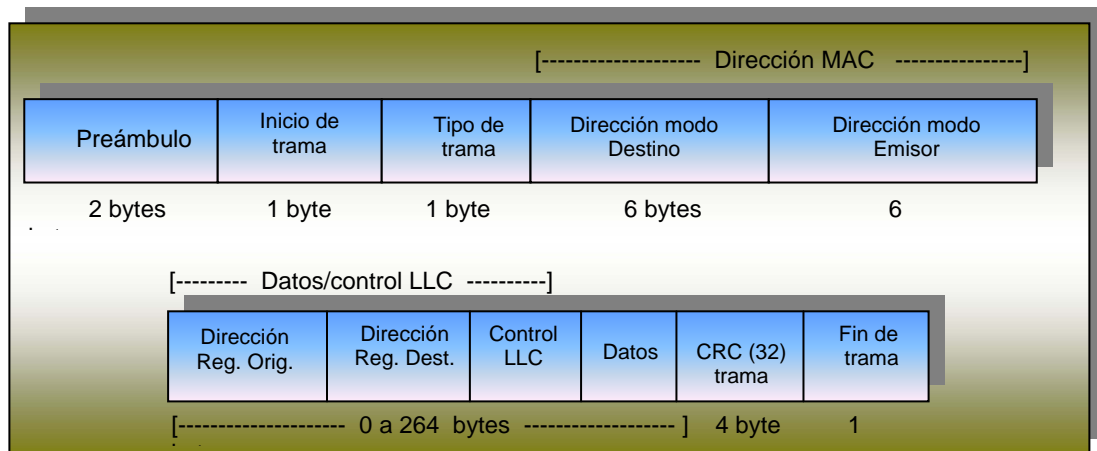


Figura 5. Trama del mensaje MINIMAP.Fuente(Balcells y Romeral⁸)

⁸ Ballcells J. y Romerall J. L. Autómatas programables. Editorial Alfaomega. Barcelona 1999

Preámbulo: El preámbulo consta de 2 bytes de valor 55_H. Esto da una secuencia de ceros y unos consecutivos que se utilizan para sincronización de la transmisión sincrónica y permite localizar el primer bit útil.

Inicio de trama: El inicio de trama es un carácter especial que depende de la codificación empleada.

Tipo de trama: El tipo de trama se codifica con 1 byte. Hay dos tipos de trama MAC y trama LLC.

Direcciones destino/origen MAC: cada una de estas direcciones se compone de 6 bytes e indican el tipo de mensaje (punto a punto o difundido), los nodos de destino o de origen, el número de red y el tipo de servicio (palabras comunes, memoria compartida, etc.).

Datos/control LLC: MINIMAP designa este campo como <<datos>>, aunque el encabezamiento de dichos datos contiene los códigos de registros o áreas de memoria de origen y destino, así como el código de control de LLC, que son ya propios de los equipos de origen y destino del mensaje.

Así pues, la interpretación de esta parte del protocolo la hacen los propios equipos terminales, puesto que designan direcciones de memoria internas y códigos de lectura, escritura o error que dependen de la arquitectura, de la función y del nivel de inteligencia del terminal.

CRC(32): se trata del campo de control de error (<<checksum>>) módulo 32, el CRC(32) está formado por 4 bytes (32 bits).

Fin de trama: el carácter de fin de trama contiene al menos un bit de error y un bit que marca si es final de mensaje o se ha interrumpido por límite de tiempo en la posesión del testigo.

5. BUSES DE CAMPO

5.1 Introducción.

Un bus de campo es un sistema de transmisión de información (datos) que simplifica enormemente la instalación y operación de máquinas y equipamientos industriales utilizados en procesos de producción. El objetivo de un bus de campo es sustituir las conexiones punto a punto entre los elementos de campo y el equipo de control a través del tradicional bucle de corriente de 4-20mA.

Típicamente son redes digitales, bidireccionales, multipunto, montadas sobre un bus serie, que conectan dispositivos de campo como PLCs, transductores, actuadores y sensores. Cada dispositivo de campo incorpora cierta capacidad de proceso, que lo convierte en un dispositivo inteligente, manteniendo siempre un costo bajo. Cada uno de estos elementos será capaz de ejecutar funciones simples de diagnóstico, control o mantenimiento, así como de comunicarse bidireccionalmente a través del bus.

La idea es reemplazar los sistemas de control centralizados por redes de control distribuido mediante el cual permita mejorar la calidad del producto, reducir los costos y mejorar la eficiencia. Para ello se basa en que la información que envían y/o reciben los dispositivos de campo es digital, lo que resulta mucho más preciso que si se recurre a métodos analógicos. De esta forma, cada nodo de la red puede informar en caso de fallo del

dispositivo asociado, y en general sobre cualquier anomalía asociada al dispositivo. Esta monitorización permite aumentar la eficiencia del sistema y reducir la cantidad de horas de mantenimiento necesarias.

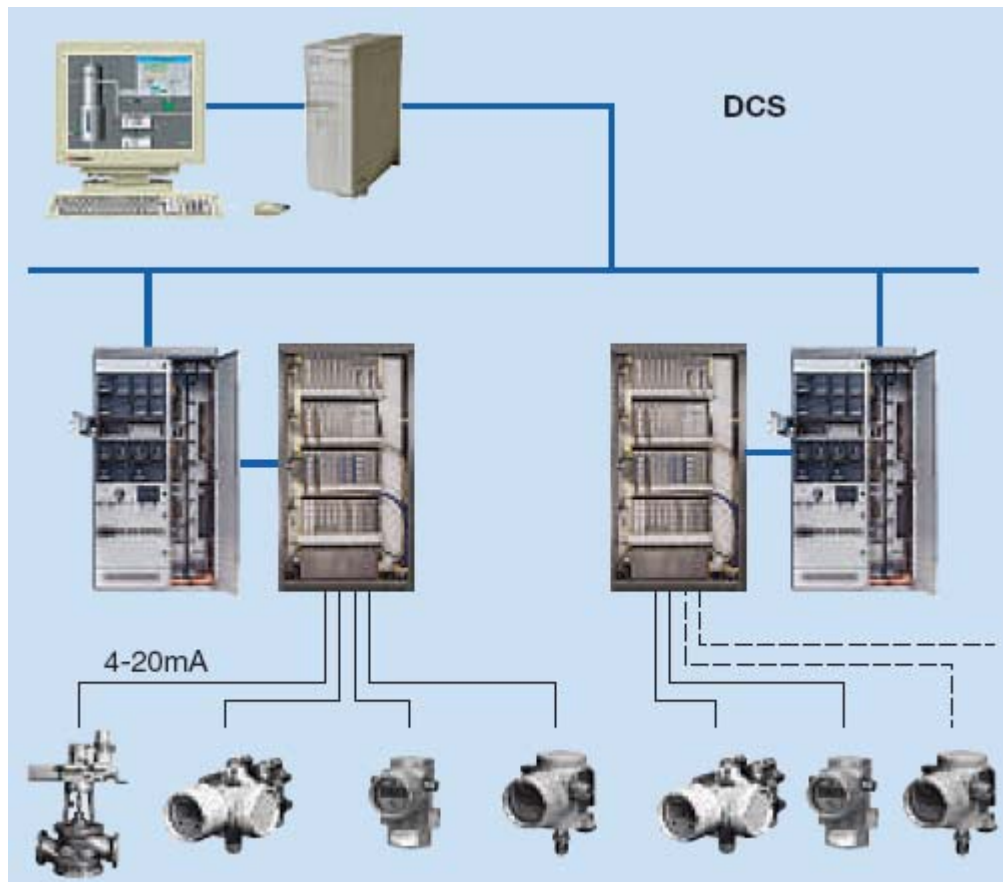


Figura 6. Arquitectura tradicional de lazos de corriente (Fuente: ABB.com)

La principal ventaja que ofrecen los buses de campo, y la que los hace más atractivos a los usuarios finales, es la reducción de costos de cableado que varían de 5 a 1. El ahorro proviene fundamentalmente de tres fuentes: ahorro en costo de instalación, ahorro en el costo de mantenimiento y ahorros derivados de la mejora del funcionamiento del sistema. Una de las

principales características de los buses de campo es su significativa reducción en el cableado necesario para el control de una instalación.

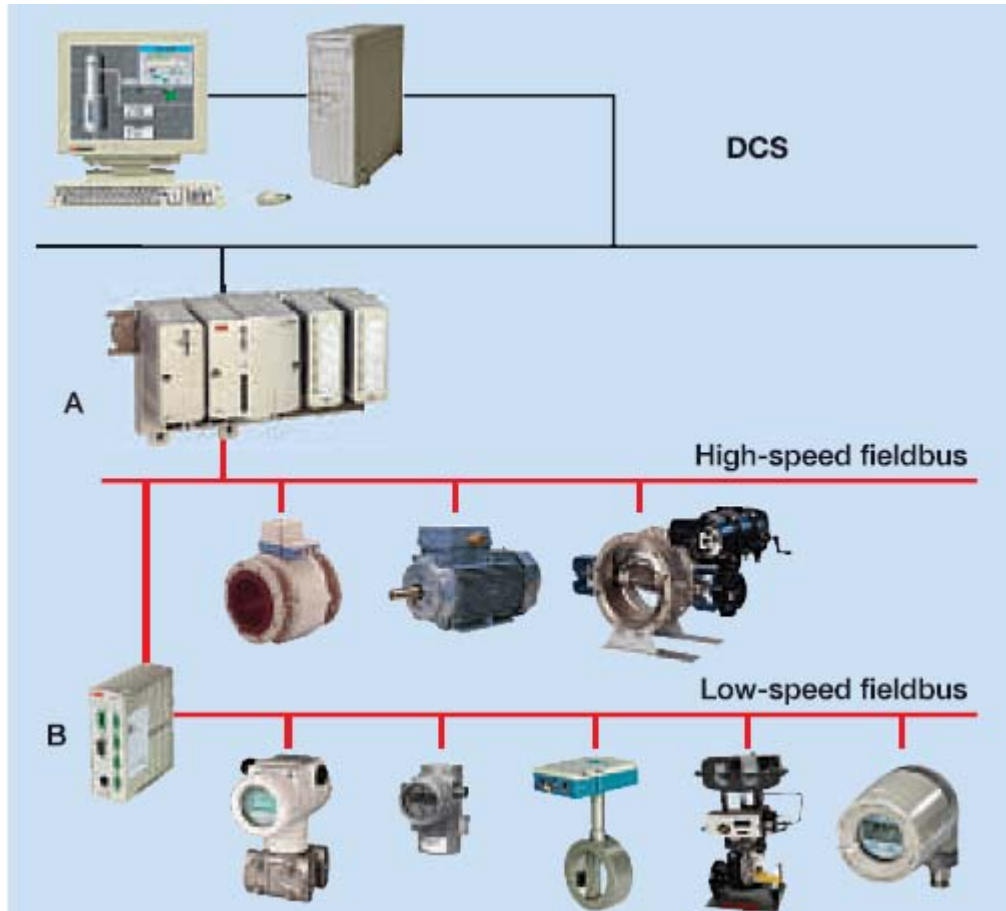


Figura 7. Arquitectura de bus de campo. (Fuente: ABB.com)

En comparación con otros tipos de redes, dispone de herramientas de administración del bus que permiten la reducción del número de horas necesarias para la instalación y puesta en marcha. El hecho de que los buses de campo sean más sencillos que otras redes de uso industrial como por ejemplo MAP, hace que las necesidades de mantenimiento de la red sean menores, de modo que la fiabilidad del sistema a largo plazo aumenta.

Además, los buses de campo permiten a los operadores monitorizar todos los dispositivos que integran el sistema e interpretar fácilmente las interacciones entre ellos. De esta forma, la detección de las fuentes de problemas en la planta y su corrección resulta mucho más sencilla, reduciendo los costos de mantenimiento y el tiempo de parada de la planta. Las prestaciones del sistema mejoran con el uso de la tecnología de los buses de campo debido a la simplificación en la forma de obtener información de la planta desde los distintos sensores. Las mediciones de los distintos elementos de la red están disponibles para todos los demás dispositivos. La simplificación en la obtención de datos permitirá el diseño de sistemas de control más eficientes. La comunicación bidireccional es posible entre los dispositivos de campo y los sistemas de control, pero también entre los propios dispositivos de campo. Debido a la falta de estándares, diferentes compañías han desarrollado diferentes soluciones, cada una de ellas con diferentes prestaciones y campos de aplicación por tal motivo a continuación mostraremos los tipos mas comunes de buses de campo y cuales son sus aplicaciones.

5.2 PROFIBUS

5.2.1 Reseña Histórica

La base de la especificación del estándar Profibus fue un proyecto de investigación llevado a cabo por los siguientes participantes: ABB, AEG, Bosch, Honeywell, Moeller, Landis & Gyr, Phoenix Contact, Rheinmetall, RMP, Sauter-cumulus, Schleicher, Siemens entre otros.

La idea era desarrollar un sistema abierto de comunicaciones apto para integrar desde los sencillos transductores y elemento de campo pasando por los autómatas, controles numéricos hasta llegar al nivel de los mini computadores para diseños y gestión de producción. Con el fin de crear un bus de campo con una estructura abierta y un protocolo compatible para enlazar con MAP, en los niveles de red jerárquicamente mas altos se adopto esta red.

El resultado de este proyecto fue el primer borrador de la norma DIN 19245, el estándar Profibus, parte 1 que define las técnicas de acceso (MAC) y enlace lógico (LLC) y la parte 2 que define el nivel de aplicación a través del protocolo denominado FMS (*field bus message specification*). La parte 3, Profibus-DP, se definió en 1993. Recientes estudios de mercado llevados a cabo señalan a éste como el bus con más futuro en el campo de los procesos industriales gracias a que integra y aplica cada una de las técnicas de comunicaciones previamente definidas en algunas normas. Su inconveniente es la poca disponibilidad de información en ingles que dificulta a fabricantes no germanos.

5.2.2 Estructura De La Red

Medio Físico.

Generalmente se usa un par diferencial para interconexión de estaciones, previsto para comunicación semiduplex, aunque también se puede hacer a través de fibra óptica, radio, MODEM. Es fuerte en aplicaciones donde prima

la simplicidad, la velocidad de transmisión y lo barato de la instalación, la tecnología de transmisión más usada es la RS 485, conocida como H2. La velocidad de transmisión varía entre 9.6Kbits/s y 2Mbits/s, dependiendo del medio físico, como se indica en la siguiente tabla:

Medio físico	Velocidad (Kbits/s)				
	9.6-93.75	167.5	500	1500	2000
RS-485 0,2 ² (24 AWG)	1200m	600m	200m	100m	50m
RS-485 0,5 ² (20 AWG)	2400m	1200m	400m	200m	100m
F. óptica cuarzo 62,5/125µm	1400m	1400m	1400m	1400m	1400m
F. óptica plástico 0-40°C	5-25m	5-25m	5-25m	5-25m	5-25m
F. óptica plástico 0-50°C	10-20m	10-20m	10-20m	10-20m	10-20m

Tabla 1. Distancias máximas sin repetidor, según medio físico. Fuente (Balcells y romeral⁹)

Elementos Del Bus.

El elemento primordial es el nodo y PROFIBUS prevé la existencia de dos tipos de nodo. Pueden ser pasivos, los que únicamente pueden actuar como esclavos y, por tanto, no tienen capacidad para controlar el bus. Estos nodos pueden dialogar con los nodos activos mediante un simple mecanismo de pregunta-respuesta, pero no pueden dialogar directamente entre sí. También pueden ser activos que tienen la posibilidad de actuar como maestro del bus, tomando por completo el control del bus.

Aparte de los tipos de nodos, existen en la arquitectura del bus otros dos bloques esenciales: Las Expansiones E/S son bloques que constituyen la interfaz con las señales de proceso y pueden estar integrados tanto en un

⁹ Balcells J. y Romerall J. L. Autómatas programables. Editorial Alfaomega. Barcelona 1999

nodo activo como en un nodo pasivo. Los bloques Repetidores ejecutan el papel de simples transceptores bidireccionales para regenerar la señal. Los repetidores no se requieren señales de control (RTS+, RTS-) para conmutar el sentido de la línea de datos, ya que el sistema de codificación en PROFIBUS es del tipo NRZ (*no return zero*) por niveles y las velocidades son mas bajas.

Topología.

La topología puede ser simplemente en forma de bus lineal o en forma de árbol, en el que los repetidores constituyen el nodo de partida de una expansión del bus.

La estructura en árbol es solamente una impresión de dibujo, ya que, como se verá, el PROFIBUS admite una estructura lógica de maestro flotante y una estación activa, ejerciendo el papel de maestro, que puede estar físicamente conectada a lo que se pudiera considerar una expansión del bus.

El número máximo de nodos conectados a cada tramo del bus, sin necesidad de repetidores es de 32. El número máximo de nodos del bus es de 127, de los cuales un máximo de 32 pueden ser nodos activos.

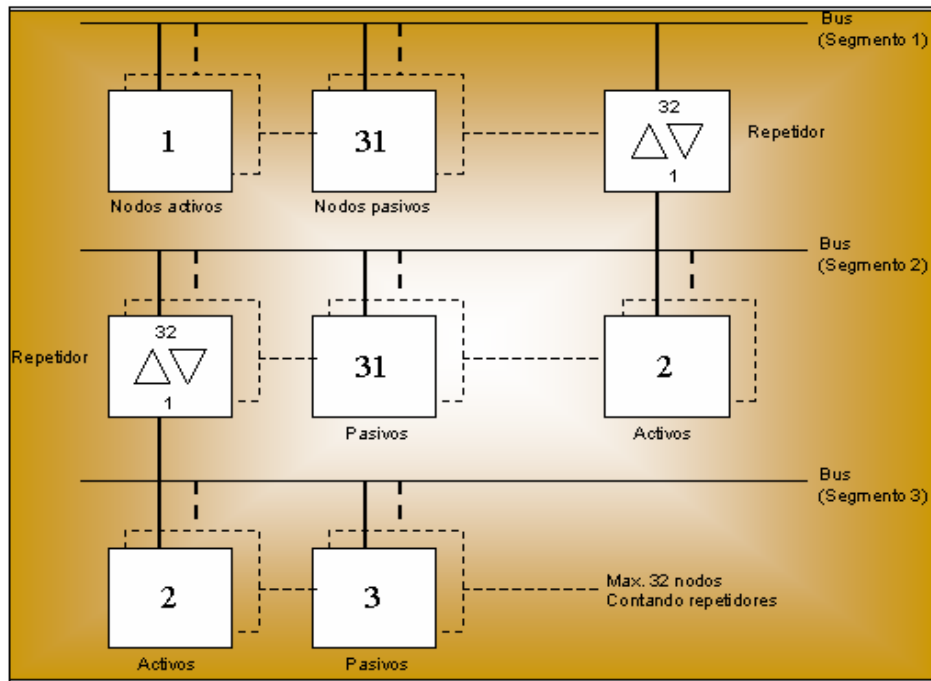


Figura 8. Estructura física con repetidores (Fuente: Balcells y Romeral¹⁰)

No existe ninguna limitación en cuanto a poder configurar una estructura con buses anidados (un esclavo puede ser, a su vez, maestro de otro bus de nivel inferior), aunque deben considerarse como buses independientes, dado que el protocolo no permite direccionar desde arriba las estaciones de niveles inferiores.

Estructura Lógica

La estructura lógica es de tipo híbrido: las estaciones activas comparten una estructura de maestro flotante, relevándose en el papel de maestro mediante paso de testigo. Las estaciones pasivas sólo pueden ejercer el papel de

¹⁰ Balcells J. y Romeral J. L. Autómatas programables. Editorial Alfaomega. Barcelona 1999

esclavos, sea cual sea el maestro activo en cada momento. La estructura lógica es la siguiente:

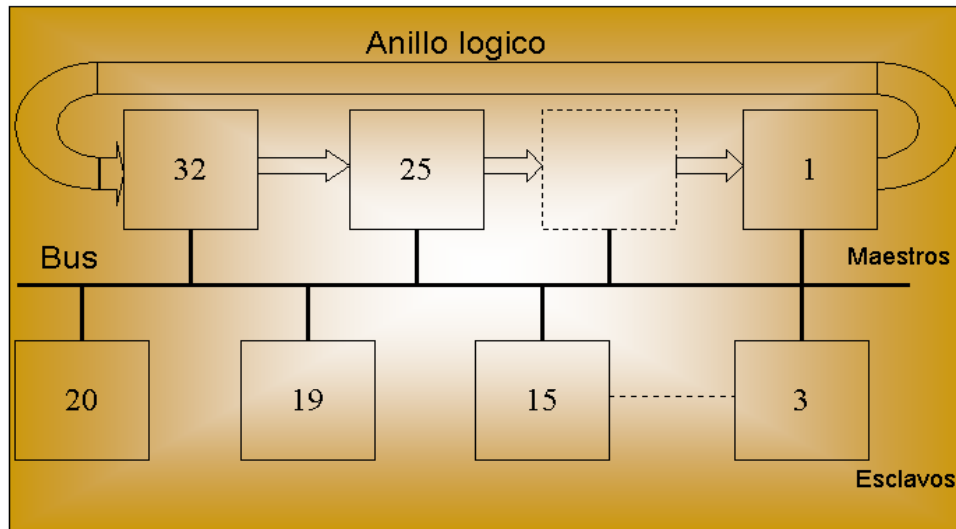


Figura 9. Estructura Lógica de Profibus (Fuente: Balcells y Romeral¹¹)

Naturalmente esta estructura admite la posibilidad de que exista un solo nodo activo en el bus, con lo que se convertiría en un bus con una estructura del tipo maestro esclavo. Cabe señalar que cuando una estación activa posee el testigo, considera a todas las demás como esclavos, incluyendo también al resto de estaciones activas que no poseen el testigo en aquel momento.

5.2.3 Protocolo

PROFIBUS especifica las características técnicas y funcionales de un sistema de buses de campo serie con el cual controladores digitales descentralizados pueden trabajar juntos en red desde el nivel de campo

¹¹ Ballcells J. y Romerall J. L. Autómatas programables. Editorial Alfaomega. Barcelona 1999

hasta el nivel de célula. Esto lo hace distinguiendo entre elementos Maestro y elementos Esclavo. Los primeros dispositivos determinan la comunicación de datos en el bus. Un Maestro puede enviar mensajes sin una petición externa cuando mantiene el derecho de acceso al bus (*llamado de forma común "testigo"*). Los segundos son dispositivos periféricos. Algunos de ellos son las entradas y salidas, las válvulas y los transmisores de medida. No tienen derecho de acceso al bus y sólo pueden reconocer mensajes recibidos o enviar mensajes al Maestro cuando este se lo ordena.

Su implementación es especialmente económica ya que sólo requieren una pequeña parte del bus. El protocolo PROFIBUS establece las reglas de la comunicación desde el nivel de enlace hasta el nivel de aplicación, en una estructura de bus basada solo en tres niveles (*1,2 y 7 del modelo OSI*). Por otra parte existen dos tipos de mensajes son los que ofrece como básicos el protocolo PROFIBUS los cíclicos y acíclicos.

Los Mensajes Cíclicos *permiten* el intercambio de datos de baja prioridad y por tanto no críticos en cuanto tiempo de respuesta. Los servicios disponibles son los siguientes: *SDN (Send Data with No acknowledge)*: Mensajes de difusión (de Maestro a todos los esclavos), *SDA (Send Data with Acknowledge)*: Mensaje punto a punto cuya función es enviar datos o funciones de control del Maestro a uno de los esclavos entre otros.

La respuesta a uno de estos mensajes está condicionada por el tiempo total de ciclo del testigo entre todos los nodos activos.

Los Mensajes Acíclicos permiten acortar el tiempo de respuesta de los datos críticos. A cada turno de Maestro se puede enviar un mensaje de difusión

conteniendo los valores críticos de todos los esclavos. Los mensajes pueden ser de 2 tipos: *CRDR (Cyclic Request Data with Reply)* y del tipo *CSRD (Cyclic Send and Request Data)*.

La petición de estos mensajes se realiza mediante un telegrama especial de difusión, que contiene de forma encadenada las peticiones a todos los esclavos. Las respuestas se producen de forma escalonada mediante una instrucción de lectura rápida en cada uno de los esclavos, pero sin tener que esperar el tiempo de procesamiento de la orden, puesto que la petición se hizo ya anteriormente mediante el mensaje de difusión.

5.2.4 Aplicación

La capa de aplicación ofrece servicios orientados a la conexión de dispositivos de distinta índole. Denominados *FMS (File bus Message Specification)*, son un subconjunto de las funciones MMS propias del nivel de aplicación MAP, con lo cual se pretende garantizar la fácil integración del bus de campo en la estructura de automatización jerárquica, utilizando como bus jerárquicamente superior el MAP.

Para poder diseñar una capa de aplicación independiente de los dispositivos físicos conectados al bus se utilizan dispositivos virtuales. La idea es crear un soporte orientado a objetos, lo que lleva a que el nivel de aplicación se encargue solo de encadenar una serie de tareas manejando para ello variables, vectores, estructuras y bases de datos, pero es incapaz de interpretarlas. La interpretación y los datos necesarios para su tratamiento están contenidos en el objeto.

5.3. MODBUS

5.3.1. Reseña Histórica

La designación Modbus corresponde a una marca registrada por Gould Inc. la designación no corresponde propiamente al estándar de red, incluyendo todos los aspectos desde el nivel físico hasta el de aplicación, sino a un protocolo de enlace (nivel OSI 2).¹²

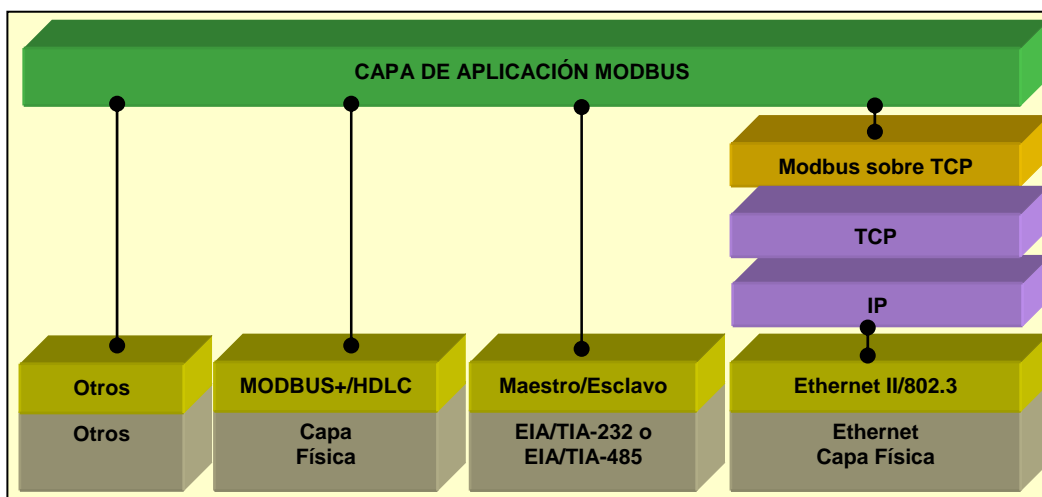


Figura 10. Capas del protocolo Modbus (Fuente: modbus.org)

Modbus es un protocolo de comunicaciones tipo maestro/esclavo o cliente/servidor entre dispositivos conectados sobre diferentes tipos de redes, para el cual existen tres tipos de implementación:

- Transmisión serial asíncrona sobre diferentes medios: cable, fibra óptica y radio.
- TCP/IP sobre Ethernet.
- Modbus Plus, sobre redes de alta velocidad.

¹² Ballcells J. y Romerall J. L. Autómatas programables. Editorial Alfaomega. Barcelona 1999

Por tanto, MODBUS puede implementarse con diversos tipos de conexión física y cada fabricante suele suministrar un software de aplicación propio, que permite parametrizar sus productos. No obstante, se suele hablar de MODBUS como un estándar de bus de campo, cuyas características esenciales son las que se detallan a continuación.

5.3.2. Estructura De La Red

Medio físico

El medio físico de conexión puede ser un bus semidúplex (*half duplex*) (RS-485 o Fibra óptica) o dúplex (*full duplex*) (RS-422, BC 0-20mA o fibra óptica).

La comunicación es asíncrona y las velocidades de transmisión previstas van desde los 75 a 19.200 baudios. La máxima distancia entre estaciones depende del nivel físico, pudiendo alcanzar hasta 1200 m sin repetidores.

Acceso al medio

La estructura lógica es del tipo maestro-esclavo, con acceso al medio controlado por el maestro. El número máximo de estaciones previsto es de 63 esclavos más una estación maestra. Los intercambios de mensajes pueden ser de dos tipos.

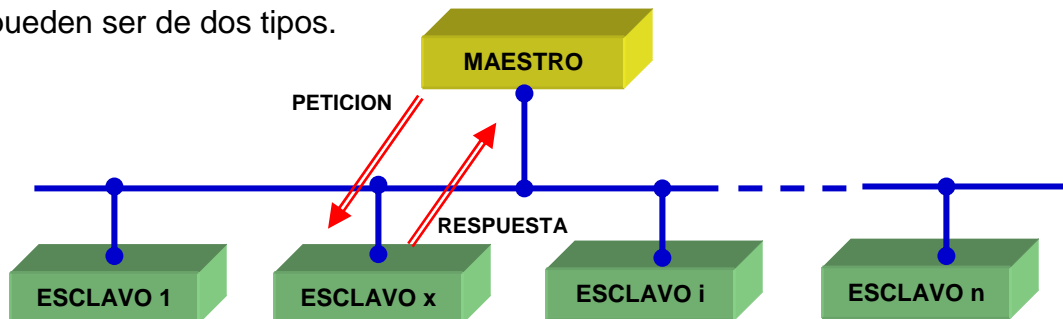


Figura 11. Intercambio punto a punto (Fuente: Balcells y Romeral¹³)

¹³ Balcells J. y Romerall J. L. Autómatas programables. Editorial Alfaomega. Barcelona 1999

- *Intercambios punto a punto, que comportan siempre dos mensajes:* una demanda del maestro y una respuesta del esclavo (puede ser simplemente un reconocimiento («*acknowledge*»)).
- *Mensajes difundidos:* Estos consisten en una comunicación unidireccional del maestro a todos los esclavos. Este tipo de mensajes no tiene respuesta por parte de los esclavos y se suelen emplear para mandar datos comunes de configuración, reset, etc.

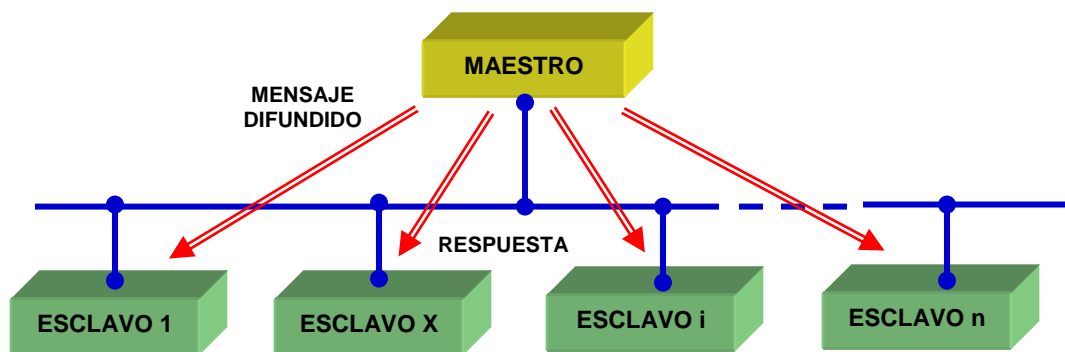


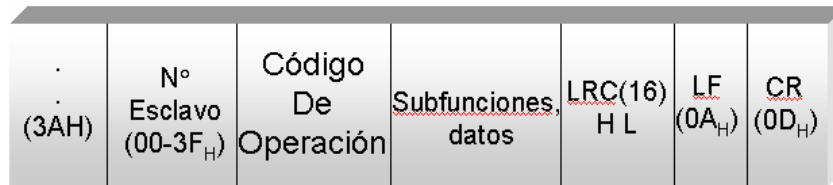
Figura 12. Mensaje difundido (Fuente: Balcells y Romeral)

5.3.3 Protocolo

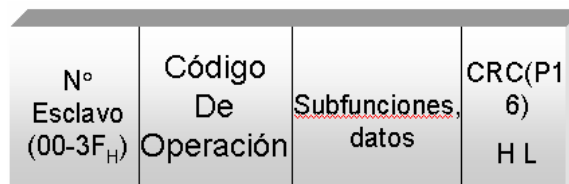
La codificación de datos dentro de la trama puede hacerse en modo ASCII o Puramente binario, según el estándar RTU (*Remote Transmission Unit*). En cualquiera de los dos casos, cada mensaje obedece a una trama que contiene cuatro campos principales, según se muestra en la figura 5.1. La única diferencia está en que la trama ASCII incluye un carácter de encabezamiento («:»=3AH) y los caracteres CR y LF al final del mensaje.

Pueden existir también diferencias en la forma de calcular el CRC, puesto que el formato RTU emplea una fórmula polinómica en vez de la simple suma en módulo 16. Con independencia de estos pequeños detalles, a

continuación se da una breve descripción de cada uno de los campos del mensaje:



Codificación ASCII



Codificación RTU

Figura 13. Trama genérica del mensaje según el código empleado.

Fuente (Balcells y Romeral¹⁴)

Número de esclavo (1 byte): Permite direccionar un máximo de 63 esclavos con direcciones que van del 01H hasta 3FH. El número 00H se reserva para los mensajes difundidos.

Código de operación o función (1 byte): Cada función permite transmitir datos u órdenes al esclavo. Existen dos tipos básicos de órdenes:

- Ordenes de lectura/escritura de datos en los registros o en la memoria del esclavo.
- Ordenes de control del esclavo y el propio sistema de comunicaciones (RUN/STOP, carga y descarga de programas, verificación de contadores de intercambio, etc.)

¹⁴ Ballcells J. y Romerall J. L. Autómatas programables. Editorial Alfaomega. Barcelona 1999

Campo de subfunciones/datos (n bytes): Este campo suele contener, en primer lugar, los parámetros necesarios para ejecutar la función indicada por el byte anterior. Estos parámetros podrán ser códigos de Subfunciones en el caso de órdenes de control (función 00H), o direcciones del primer bit o byte, número de bits o palabras a leer o escribir, valor del bit o palabra en caso de escritura, etc.

5.3.4 Aplicación.

Como se ha dicho a nivel general de buses de campo, el nivel de aplicación de MODBUS no está cubierto por un software estándar, sino que cada fabricante suele suministrar programas para controlar su propia red. No obstante, el nivel de concreción en la definición de las funciones permite al usuario la confección de software propio para gestionar cualquier red, incluso con productos de distintos fabricantes. Este es un protocolo utilizado en comunicaciones vía MODEM-RADIO, para cubrir grandes distancia a los dispositivos de medición y control, como el caso de pozos de petróleo, gas y agua.

5.4 CAN

5.4.1 Reseña Histórica

CAN significa red de área de control (*Controller Area Network*), originalmente fue desarrollado por Bosch-siemens en Alemania, CAN suministra un bus de comunicaciones serial confiable que es comúnmente usado en aplicaciones de control industrial y en automoción, donde existe gran cantidad de

electrónica asociada a los elementos instalados tanto en el motor como en el resto del vehículo (airbag, cinturones de seguridad, climatización, iluminación, etc.) y es necesario el acceso distribuido, por lo que CAN proporciona una buena implementación para la comunicación entre estos elementos.

5.4.2 Estructura de la red

Medio físico

El medio físico es un Interfaz de 2 hilos en modo diferencial por un par trenzado apantallado (STP) o un par trenzado no apantallado (UTP) o un cable plano (cinta). La velocidad del bus es programable , a alta velocidad hasta 1Mbit/s sobre distancias de 40 m y a baja velocidad de 5Kbit/s sobre distancias de 10Km. La distancia de la comunicación depende de la velocidad de los datos.

Implementación del bus CAN

El bus CAN se puede implementar a partir de un microcontrolador con puerto CAN o utilizando un microcontrolador convencional junto con un controlador de protocolo CAN como el SJA 1000, posteriormente se utiliza en los dos casos un “*driver*” de la capa física de CAN. El enlace con el SJA 1000 es en paralelo y el enlace con el “*driver*”, y utiliza las señales Tx y Rx del microcontrolador.¹⁵

¹⁵ Información de CAN extraída de: www.st.com, www.semiconductors.philips.com/buses

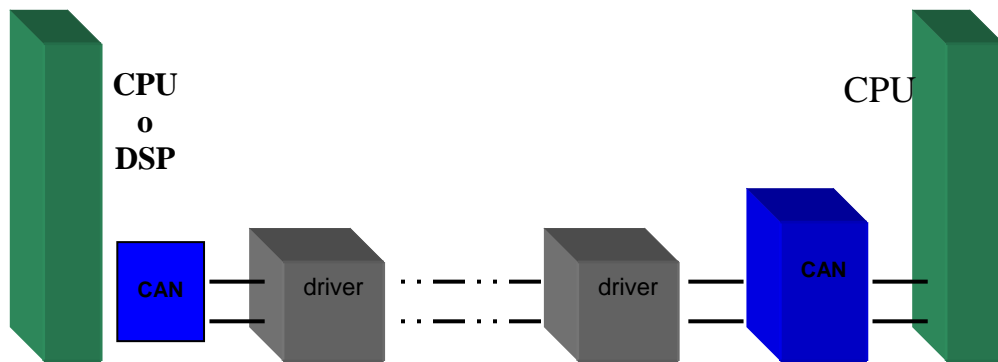


Figura 14. Implementación punto del bus CAN

5.4.3 Protocolo

Este protocolo está basado en el principio “productor/consumidor” donde cada equipo está siempre a la escucha y las transmisiones se realizan bajo el control de un equipo especial, verificando si el bus está ocupado antes de transmitir y permite que múltiples nodos puedan transmitir y recibir al mismo tiempo. Cuando ocurre una colisión de mensajes en el bus, empieza el arbitraje para la recepción del mensaje. El mensaje de prioridad más alta se recibe primero y así sucesivamente, hasta que todos los mensajes hayan sido recibidos. El esquema de arbitraje que usa el protocolo CAN es de bit inteligente no destructivo. Esto significa que se comparan los mensajes con cada bit en un momento determinado, pero el mensaje con la prioridad más alta no se destruye y se retransmite; solo el mensaje que no gana el arbitraje de bus se detiene y se retransmite, esto ayuda a minimizar el tiempo de fuera de servicio del bus y aumenta al máximo uso eficaz del ancho de banda disponible.

Estructura estándar del Mensaje

La estructura del mensaje esta dividida en 2 partes (A y B). La versión 2.0A salió con un segmento identificador de 11 bits, mientras que se ha aumentado a 29 bits para la versión 2.0B. Actualmente se utiliza mas el estándar CAN 2.0B (29 bits) y es capaz de recibir una expansión del mensaje CAN 2.0A (11bits).

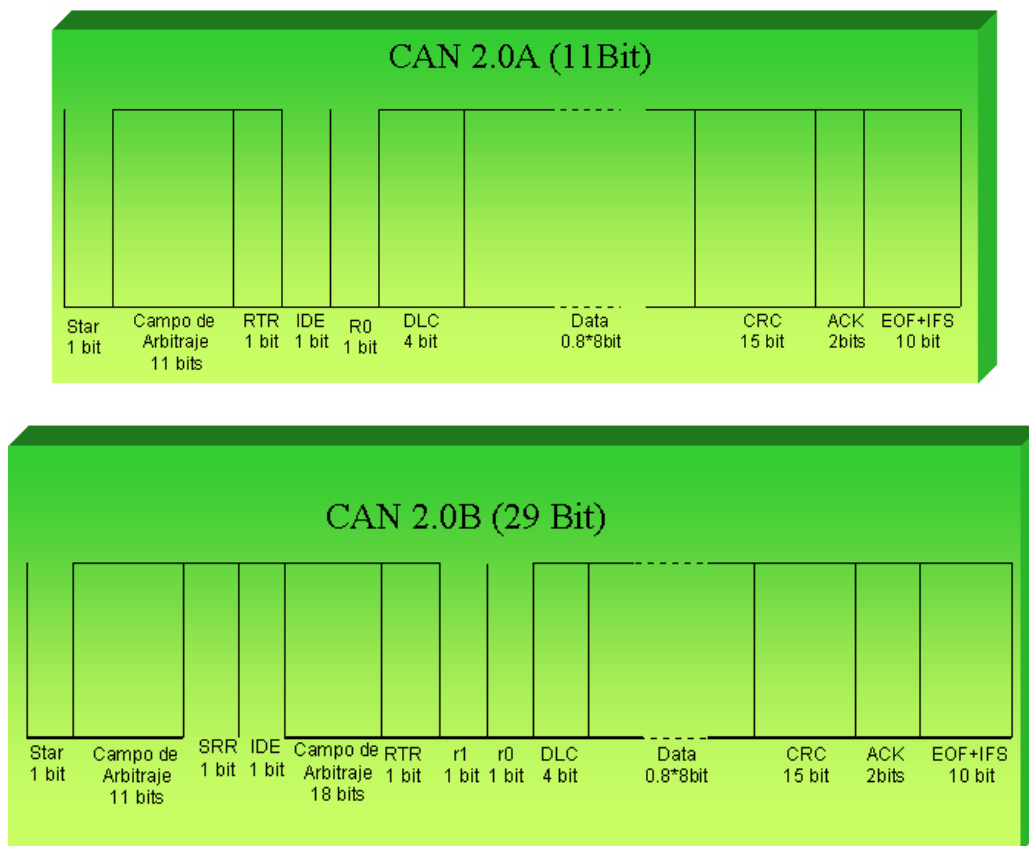


Figura 15. Estructura de trama CAN

La interfaz CAN usa transmisión asíncrona controlada por un bit de inicio al principio y de un bit de parada al final de cada carácter. La “trama” de datos esta compuesto de un campo de arbitraje, el campo de control, el campo de datos (que puede ser de 0 a 8bits), el CRC y el de ACK.

Campo de inicio del mensaje: el mensaje se inicia con 1 bit dominante, cuyo flanco descendente es utilizado por las unidades de control para sincronizarse entre si.

Campo de arbitraje: los bits de este campo se emplean como identificador que permite reconocer a las unidades de control la prioridad del mensaje. Cuanto mas bajo sea este valor, mayor será la prioridad del mensaje.

RTR: indica si el mensaje contiene datos (RTR=0) o si se trata de una trama remota sin datos (RTR=1). Una trama de datos siempre tiene una prioridad mas alta que una trama remota. La trama remota se emplea para solicitar datos a otras unidades de mando o bien porque se necesitan o para realizar un chequeo.

Campo de control: este campo informa sobre las características del campo de datos. Cuando IDE es "0" se trata de una trama estándar y cuando es "1" es una trama extendida. La diferencia entre estas 2 tramas es que la primera tiene 11 bits y la segunda 29 bits. Los 4 bits que componen el campo DLC indican el número de bytes contenidos en el campo de datos.

Campo de datos: en este campo aparece la información del mensaje con los datos que la unidad de control correspondiente introduce en la línea de bus CAN.

Campo de aseguramiento (CRC): tiene una longitud de 16 bit y es utilizado para la detección de errores por los 15 primeros, mientras el ultimo bit delimita el campo CRC.

Campo de confirmación (ACK): esta compuesto por 2 bits que son siempre transmitidos como recesivos (1). Todas las unidades de control que reciben

el mismo CRC modifican el primer bit del campo ACK por uno dominante (0), de forma que la unidad de control que esta todavía transmitiendo reconoce que al menos alguna unidad de control ha recibido un mensaje escrito correctamente. De no ser así, la unidad de control transmisora interpreta que su mensaje presenta un error.

Campo de fin de mensaje (EOF): este campo indica el final del mensaje con una cadena de 7 bits recesivos. Puede ocurrir que en determinados mensajes se produzcan largas cadenas de 0 y 1, y que esto provoque una pérdida de sincronización entre unidades de control. El protocolo CAN resuelve esta situación insertando un bit de diferente polaridad cada 5 bits iguales: cada cinco “0” se inserta un “1” y viceversa. La unidad de control que utiliza el mensaje, descarta un bit posterior a cinco iguales. Estos bits reciben el nombre de bit “*stuffing*”.

5.5 AS-i

El bus ASi (*Actuator-Sensor Interface*) nació en 1990 como un intento de eliminar el cableado existente entre los sensores y actuadores binarios (todonada) con la característica añadida de proporcionar la tensión de alimentación sobre el mismo cable (hasta 8A). Posteriormente, el bus ha evolucionado para comunicarse con elementos inteligentes y poder transmitir datos y parámetros además de las señales binarias. El bus ASi es considerado uno de los sistemas de comunicación más sencillos y con menos prestaciones, por lo que se emplea a nivel de campo en la parte más baja de la pirámide de automatización. ASi es un sistema abierto definido por

el estándar europeo EN50295 y el estándar IEC 62026-2. La Figura CCC muestra el esquema de distribución adoptado en estas redes.

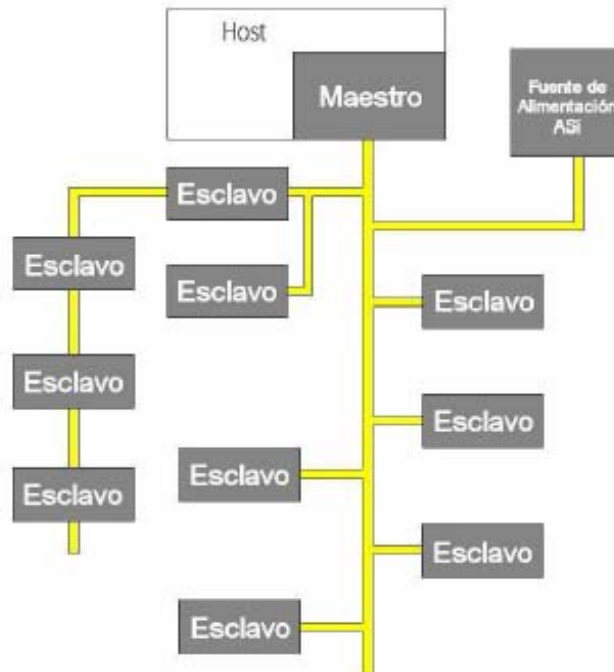


Figura 16. Esquema de distribución de una red ASI (Fuente: <http://www.uv.es/~rosado>)

El bus AS-i (*Actuator Sensor Interface*) constituye un estándar internacional basado en la norma europea EN 50295 y su función es permitir la integración a redes de comunicación de actuadores y sensores para los que no es técnicamente viable o antieconómico un acoplamiento directo a otro bus de campo. Así mismo, puede realizar el control y supervisión de un proceso de forma independiente o bien delegar estas funciones a un equipo integrado a un bus o red superior (en el caso de estar configurada como subred de una red de nivel superior, por ejemplo una red Profibus).

5.5.1 Creación y desarrollo de la tecnología.

El concepto AS-i surgió en el año 1990, por iniciativa de un grupo de trabajo formado por una decena de empresas, en su mayoría fabricantes de sensores y actuadores, cuyo objetivo inicial era definir y adoptar un sistema de transmisión único para todos los sensores y actuadores, independientemente del fabricante, lo que determinó la denominación AS-i (*Actuator Sensor Interface*). Como consecuencia de este acuerdo, en 1992 se creó una asociación encargada de desarrollar y coordinar las actividades relativas a AS-Interface. En la actualidad, la asociación AS-i reúne a los líderes europeos del mercado de sensores, actuadores, autómatas programables, sistemas de control y redes en general. Cuenta con el apoyo de poderosas empresas de Alemania (donde nació la asociación) y numerosos países europeos (Francia, España, Países Bajos, Suiza, etc.).

La misión de la asociación AS-i consiste en:

- ✓ Difundir el concepto AS-i a escala mundial.
- ✓ Proporcionar a los usuarios información constante sobre los trabajos relacionados con AS-i.
- ✓ Trabajar en la elaboración de los perfiles y especificaciones AS-i.
- ✓ Certificar los productos adaptados a las normas unificadas AS-i.
- ✓ Gestionar la normalización de las tecnologías relacionadas.

5.5.2 Características fundamentales de AS-Interface.

- **Flexibilidad.** Fundamentada principalmente en la topología tipo árbol que se adapta las necesidades de cada usuario, ya que en este sentido las posibilidades solo están limitadas a la aplicación.

- **Simplicidad.** Como se dijo anteriormente el cable de AS-Interface permite el manejo de las señales de control al mismo tiempo que por él viaja la energía necesaria para operar los sensores y actuadores.
- **Cableado es sencillo y económico.** El montaje se realiza mediante la técnica de perforación del aislamiento, esta técnica nos permite reubicación rápida de los diferentes componentes de la red, así como ampliaciones con demoras pequeñas y con mínimo de personal capacitado en AS-Interface. Además los sistemas de conexión vienen protegidos contra conexión en polaridad incorrecta.
- **Alta velocidad de comunicación.** El maestro AS-i necesita como máximo 5 mseg por esclavo para el intercambio de datos cíclico con hasta 31 estaciones conectadas, esta característica nos permite acercarnos al monitoreo y control en tiempo real, para procesos delicados.

5.5.3 Propiedades del sistema.

El funcionamiento del sistema AS-Interface, reúne las siguientes características:

- **Método de acceso maestro-esclavo.** AS-Interface es un, así llamado, "*sistema Single Master*", lo que significa que por cada red AS-i sólo existe un maestro que controla el intercambio de datos. Este maestro llama consecutivamente a todos los esclavos AS-i y espera su respuesta.

- **Ajuste electrónico de direcciones.** La dirección del esclavo AS-i es su identificación. Sólo existe una vez dentro de un AS-Interface. El ajuste se puede efectuar con un direccionador especial o a través de un maestro AS-i. La dirección se almacena siempre de forma no volátil en el esclavo AS-i. A la entrega, los esclavos AS-i tienen siempre la dirección "0".
- **Seguridad de funcionamiento y flexibilidad.** El método de transmisión utilizado (*modulación de corriente*) garantiza un alto grado de seguridad de funcionamiento. El maestro supervisa la tensión en la línea así como los datos transmitidos. Detecta errores de transmisión al igual que el fallo de esclavos y los comunica al PLC (SPS). El usuario puede reaccionar a estos avisos.

El cambio o la incorporación de esclavos AS-i durante el funcionamiento normal no perturban la comunicación con los demás esclavos AS-i.

5.5.4 Características de diseño.

Las características de diseño más importantes del AS-Interface y sus componentes son:

- **Cable bifilar para datos y energía auxiliar.** Para la interconexión en la red se puede utilizar un simple cable bifilar con una sección de 2 x 1,5cm². No son necesarios apantallamiento ni trenzado. Por este cable se transportan tanto los datos como la energía. La magnitud de la energía disponible depende de la fuente de alimentación AS-i utilizada.

Para optimizar el cableado se ofrece el cable AS-i codificado mecánicamente (y por lo tanto a prueba de polaridad incorrecta), que se puede conectar fácilmente gracias a la técnica de perforación de aislamiento de los módulos de usuario AS-i.

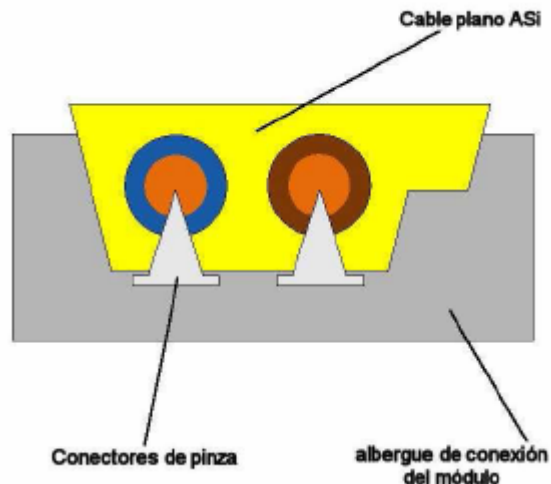


Figura 17. Cable ASi y método de conexión (Fuente: <http://www.uv.es/~rosado>)

- **Integración directa.** Prácticamente toda la electrónica necesaria para un esclavo se ha integrado en un CI (*chip integrado*) especial. Esto hace posible una integración directa de la conexión de AS-i en actuadores o sensores binarios. Todos los componentes necesarios se pueden alojar en un volumen de aproximadamente 2 cm^3 .
- **Más funciones, mayor utilidad para el usuario.** La integración directa permite dotar de más funciones a los aparatos. Se dispone de 4 cables de datos y 4 de parámetros. Los actuadores/sensores "inteligentes" que así se crean ofrecen nuevas posibilidades, como son la vigilancia, la parametrización, el control de desgaste o suciedad y otras.

- **Alto grado de protección IP.** El grado de protección IP corresponde al grado de protección de las envolventes para materiales eléctricos según las normas CEI 529, DIN 40050 y NFC 20010. El código IP está formado por dos números característicos (por ejemplo, IP 55) a los que se puede añadir una letra cuando la protección real de las personas contra el acceso a las partes peligrosas sea mejor que la que indica la primera cifra (por ejemplo IP 20C, ver tabla 4).

Cuando los números característicos no están especificados, se sustituyen por la letra X (por ejemplo, IP XXB). La protección de grado IP67 significa, por tanto, que los aparatos están protegidos contra las inmersiones temporales, es decir, inmersiones en agua a 1 m de profundidad durante 30 minutos y también completamente protegidos contra el polvo (no es necesario instalarlos dentro de un armario).

Este es el caso de los equipos para máquinas (sensores/accionadores, etc.) y de los frontales de los elementos de diálogo hombre/máquina. La protección de grado IP20 resulta más indicada para los equipos instalados en armario o en cofre, ya que no están protegidos contra los contactos con líquidos o cuerpos sólidos muy pequeños (por ejemplo, polvo).

Primer número		Segundo número		Letra adicional	
Protección del material contra la penetración de cuerpos extraños sólidos		Protección de las personas contra el acceso a las partes peligrosas con		Protección de las personas contra el acceso a las partes peligrosas con	
0	Sin Protección	Sin Protección	0	Sin Protección	A Dorso de la mano
1	Diámetro ≥ 50 mm	Dorso de la mano	1	Gotas de agua verticales	B Dedo
2	Diámetro ≥ 12.5 mm	Dedo	2	Gotas de agua (inclinación: 15°)	C Herramienta \varnothing 2,5 mm
3	Diámetro ≥ 2.5 mm	Herramienta \varnothing 2,5 mm	3	lluvia	D Hilo \varnothing 1 mm
4	Diámetro ≥ 1.0 mm	Hilo \varnothing 1 mm	4	Salpicaduras de agua	
5	Protección contra el polvo	Hilo \varnothing 1 mm	5	Chorro de agua	
6	Estanco al polvo	Hilo \varnothing 1 mm	6	Chorro de agua brusco	
			7	Inmersión temporal	
			8	Inmersión prolongada	

Tabla 2. Grados de Protección IP.

5.5.5 Datos cuantitativos de AS-Interface.

En la tabla 4.1 resumimos los principales parámetros de una red AS-i.

Dato	Maestro estándar	Maestro extendido
Tiempo de Ciclo	160 mseg Máximo 5 mseg/esclavo	320 mseg Máximo 5 mseg/esclavo
Numero de Esclavos	31 Esclavos	62 Esclavos
Numero Ent. Sal.	124 entradas 124 salidas	248 entradas 186 salidas
Longitud de red	100 m. Todas las ramas 300 m. Con repetidores	100 m. Todas las ramas 300 m. Con repetidores

Tabla 3. Datos cuantitativos de una red basada en AS-i.

5.5.6 Panorámica de los componentes del sistema AS-i.

Los componentes básicos del sistema en la red AS-i son (ver figura 18):

Maestro AS-i, Esclavos AS-i, que por su técnica de construcción, hay que distinguir entre: (Módulos AS-i - Sensores/actuadores con conexión AS-i integrada), Cable AS-i, Fuente de alimentación AS-i, repetidores/Extensores, Direccionador, SCOPE para AS-Interface.

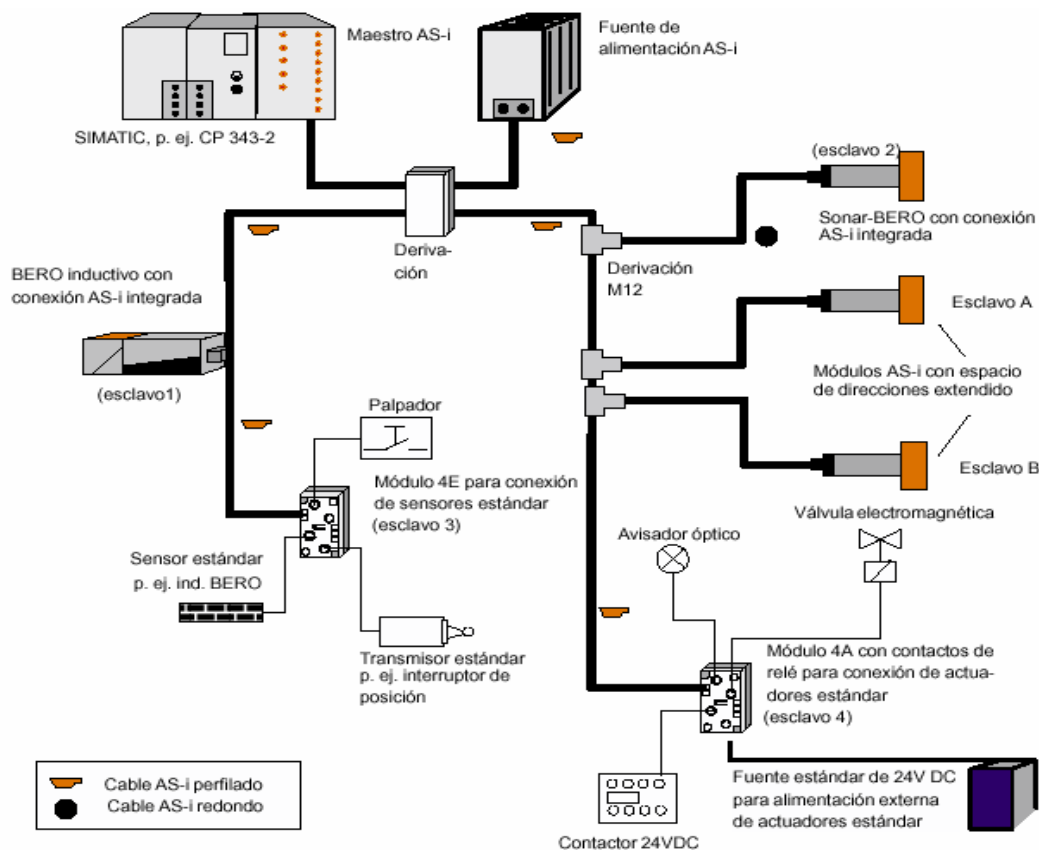


Figura 18. Componentes y posibilidades de conexión en AS-i.

5.5.7 Aplicación.

La tecnología AS-i ofrece un modelo industrial abierto, para conectar los sensores y actuadores digitales o análogos de nivel jerárquico más bajo al sistema de control de nivel superior o general de una industria. Una de las

principales ventajas y características que le ha abierto paso en los últimos años, es la posibilidad de sustituir los “mazos de cables” por un único cable (ver figura 19), por el que transportan las señales y simultáneamente la energía necesaria para operar la mayoría de sensores y actuadores, diseñados según esta tecnología.

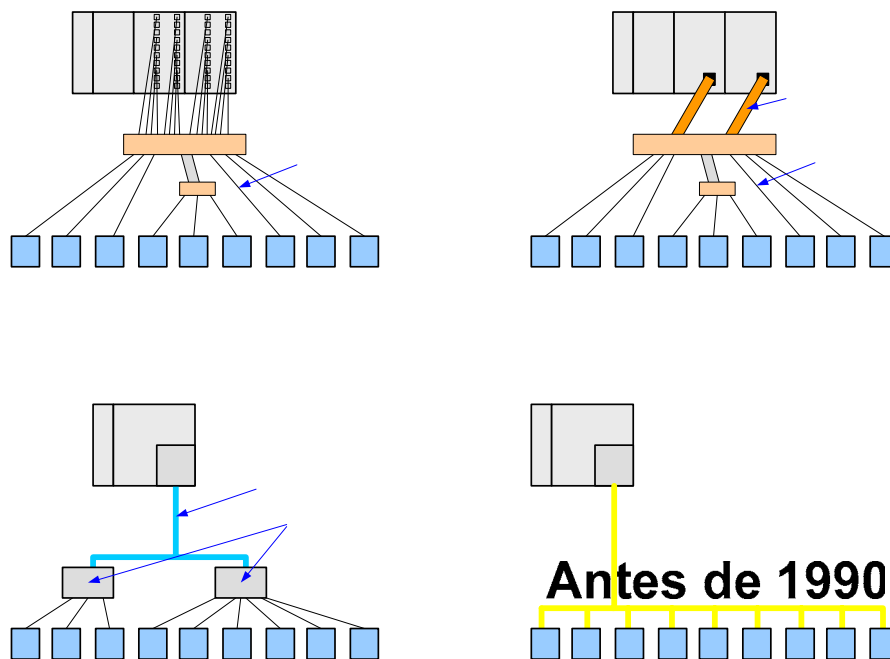


Figura 19. Sustitución de los mazos de cables en los últimos años.

5.6 HART.

5.6.1 Reseña histórica.

El protocolo de comunicación HART (*transductor remoto direccionable de alta velocidad*) fue introducido por primera vez por la compañía rosemount Inc. En 1986 como un estándar de diseño exclusivo para la comunicación de transmisores. El motivo de la aceptación obtenida por el protocolo se debe a

Bornera

**Cables
Hilo a hilo**

las ventajas que ofrece HART al usuario. Puede usarse en los sistemas existentes de control de 4-20mA con gastos mínimos para su implementación.

5.6.2 Estructura de la red

Acceso al medio

La estructura lógica es del tipo maestro-esclavo, durante operación normal, en cada esclavo (equipo de terreno) la comunicación es iniciada por un equipo de comunicación tipo maestro. Dos maestros pueden conectarse a cada lazo de comunicación HART. El maestro primario es generalmente un aparato de control tipo DCS (*sistema de control distribuido*), controlador de lógica programable (PLC) o un computador personal (PC). El maestro secundario puede ser un terminal portátil de comunicación u otro PC. Los aparatos esclavos incluyen transmisores, actuadores de válvula y controladores que responden al comando del maestro primario o secundario.

Redes de comunicación HART

Los aparatos HART pueden operar en una o dos configuraciones diferentes de red: punto a punto o multipunto (multidrop).

Comunicación punto a punto

La señal tradicional de 4-20mA es usada para comunicar una variable de proceso mientras otras variables adicionales, parámetros de configuración y otras informaciones de aparatos son transmitidos digitalmente usando el protocolo HART. La señal análoga de 4-20mA no es afectada por la señal

HART y puede ser usada para el monitoreo o control en la forma normal. La señal de comunicación HART le da acceso a variables secundarias y a otras informaciones, que pueden ser usadas para propósitos de operación y diagnóstico.

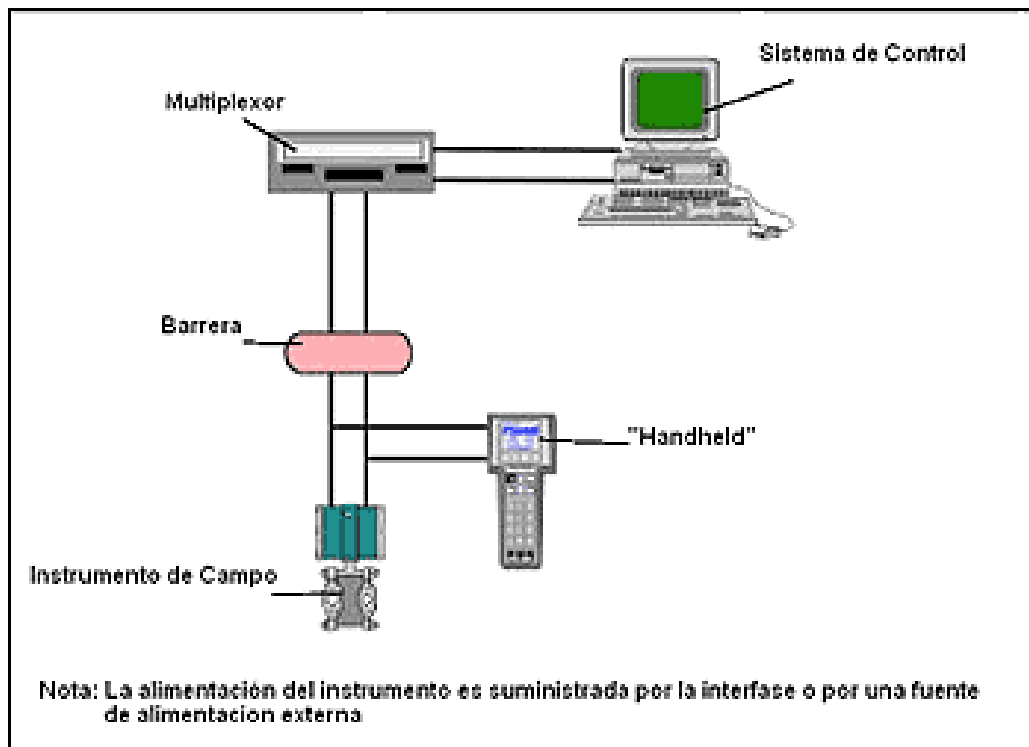


Figura 20. Modo de operación punto a punto. Fuente:(www.electroindustria.cl)

Comunicación multipunto

El modo multipunto requiere solamente un par de alambres y si es aplicable, el lazo también puede tener barreras de seguridad y fuentes de poder auxiliares para hasta 15 aparatos de terreno (esclavos). Todos los valores del proceso son transmitidos digitalmente y la corriente a través de cada equipo esta fijada a un mínimo valor, típicamente de 4mA.

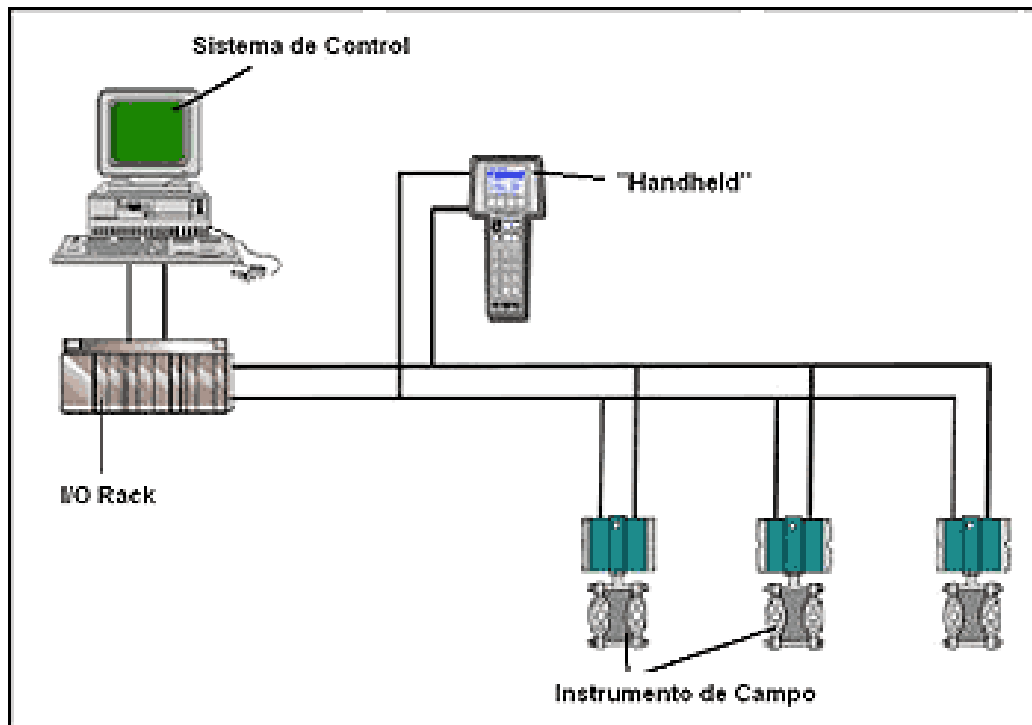


Figura 21. Modo de operación multipunto. Fuente:(www.electroindustria.cl)

5.6.3 Protocolo

El protocolo de comunicación HART esta basado en el sistema de comunicación telefónica estándar BELL 202, desarrollada por AT & T, y opera usando el principio del cambio codificado de frecuencia (*FSK*). La señal digital esta construida de dos frecuencias principales, 1200 Hz y 2200 Hz, representando los bits 1 y 0, respectivamente. Las ondas seno de estas dos frecuencias están superpuestas en la señal de corriente continua análoga de 4-20mA DC. Con esto, cables de comunicación con señales análogas transportan a la vez comunicación análoga y digital.

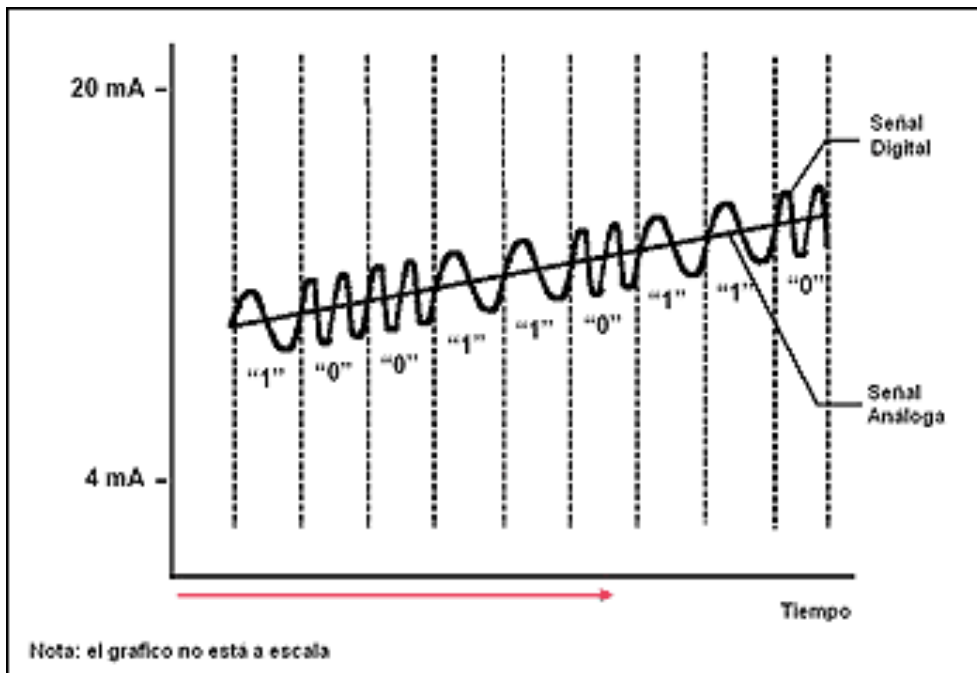


Figura 22. Comunicación analógica y digital simultáneas. Fuente: (www.electroindustria.cl)

La señal de 4-20mA, no es afectada en ningún modo por esta comunicación digital. La comunicación digital tiene un tiempo de respuesta promedio aproximado de dos a tres actualizaciones por segundo, sin interrumpir la señal analógica, y se requiere una mínima impedancia de lazo analógico de 230 ohms.

Este protocolo satisface solamente algunas de las siete capas del modelo de interconexión de sistemas abiertos (OSI) estas son: la capa física, la de enlace y la de aplicación. La primera, basada en la norma Bell 202, especifica una velocidad de transferencia de datos de 1200bit/seg. para el lógico 1 y de 2200bit/seg. para el 0, permiten utilizar el cableado que ya existe en las instalaciones típicas de control de procesos. Solo en casos extremos, como ocurre con distancias de 3000 m o ambientes con muchas interferencias

electromagnéticas, se utiliza cable torcido blindado. La capa de enlace define la estructura del mensaje HART. Todas las comunicaciones se inician en un dispositivo maestro (consola, terminal, etc.) y luego se transmiten al domicilio del dispositivo receptor especificado, que interpreta y responde al mensaje, por esto se dice que el protocolo es del tipo maestro/esclavo. En la capa de aplicación es donde entra en juego el conjunto de instrucciones o comandos que hacen posible que los dispositivos se entiendan entre si. Con objeto de que la interacción entre los dispositivos compatibles con HART sea lo mas eficiente posible se han desarrollado tres clases de comandos para que tenga validez. *Los comandos universales* son los comprendidos por todos los dispositivos. *Los comandos comunes* establecen las funciones que pueden llevarse a cabo por la mayoría de los dispositivos. Los *comandos específicos* están restringidos a uno en particular y permiten incorporar características únicas.

5.6.4 Aplicación.

Se recomienda el uso del modo multipunto para aplicaciones con instalaciones de control de supervisión, que tengan equipamientos bastantes alejados entre si, tales como tendidos de cañería en gasoductos, oleoductos, etc. También en instalaciones en plantas de almacenamiento de combustibles u otros fluidos o en estaciones de transferencia controlada de fluidos, algunos beneficios de la comunicación HART son: mejora las operaciones en planta, otorga mas flexibilidad operacional, protege la inversión hecha en la instrumentación de la planta, da una alternativa

económica de comunicación digital e implica un ahorro considerable en materiales eléctricos en las instalaciones multipunto.

5.7 OTROS BUSES DE CAMPO

5.7.1 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).¹⁶

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. Se utiliza comunicación síncrona con codificación Manchester Bifase-L.

La capa de aplicación utiliza un protocolo sofisticado, orientado a objetos con múltiples formatos de mensaje. Distingue entre dispositivos con capacidad de

¹⁶ Dr.-ing. Héctor Kaschel c. Ing. Ernesto Pinto I. Documento Análisis del estado del arte de los buses de campo aplicados al control de procesos industriales.

arbitración (*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. La codificación de mensajes se define según ASN.1. El nivel H2 (dos) está basado en Ethernet de alta velocidad (100 Mbps) y orientado al nivel de control de la red industrial.

5.7.2 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, 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. El protocolo se soporta en hardware y firmware sobre el NeuronChip. Se trata de un microcontrolador 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.¹⁷

La red Lonworks ofrece una variada selección de medios físicos y topologías de red: par trenzado en bus, anillo y topología libre, 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.

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

5.7.3 DEVICENET

Bus basado en CAN. Su capa física y capa de enlace se basan en ISO 1898, 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.

¹⁷ Dr.-ing. Héctor Kaschel c. Ing. Ernesto Pinto I. Documento Análisis del estado del arte de los buses de campo aplicados al control de procesos industriales.

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 y se indica que el número de nodos instalados superaba los 300.000 en 1998, Está soportado por numerosos fabricantes: Allen-Bradley, ABB, Danfoss, Control Techniques, Festo, Omron, .etc.

5.7.4 INTERBUS

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 (trama de suma).

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

5.7.5 WOLRDFIP, BITBUS y CONTROLNET.

WOLRDFIP fue 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 WorldFIP 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.

Por su parte BITBUS fue 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 es, en cierto modo, un sistema multitarea distribuido. Existe una organización europea de soporte (*Bitbus European User's Group*).

Finalmente CONTROLNET es un 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.

6. INDUSTRIAL ETHERNET

” El propósito inicial de la red era el de poner a disposición de múltiples usuarios una serie de recursos costosos como memorias masivas, impresoras de calidad ..etc., de forma que pudieran ser compartidos por todos ellos como si estuvieran directamente conectados a su terminal. Pero Ethernet fue adoptado por algunas redes de uso industrial en una época en la que no existían ningún estándar suficientemente implantado.”¹⁸

6.1 Reseña histórica.

Es la tecnología de red de área local más extendida en la actualidad, fue diseñado originalmente por Digital, Intel y Xerox por lo cual, la especificación original se conoce como Ethernet DIX. Posteriormente en 1.983, fue formalizada por el IEEE como el estándar Ethernet 802.3.

La velocidad de transmisión de datos en Ethernet es de 10Mbits/s en las configuraciones habituales pudiendo llegar a ser de 10Gbits/s en las especificaciones Fast Ethernet.

Al principio, sólo se usaba cable coaxial con una topología en BUS, sin embargo esto ha cambiado y ahora se utilizan nuevas tecnologías como el cable de par trenzado (10 Base-T), fibra óptica (10 Base-FL) y las conexiones a 100 Mbits/s (100 Base-X o Fast Ethernet). La especificación actual se llama

¹⁸ Ballcells J. y Romerall J. L. Autómatas programables. Editorial Alfaomega. Barcelona 1999

IEEE 802.3u. Ethernet/IEEE 802.3, está diseñado de manera que no se puede transmitir más de una información a la vez.

El objetivo es que no se pierda ninguna información, y se controla con un sistema conocido como CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection, Detección de Portadora con Acceso Múltiple y Detección de Colisiones*), cuyo principio de funcionamiento consiste en que una estación, para transmitir, debe detectar la presencia de una señal portadora y, si existe, comienza a transmitir.

Si dos estaciones empiezan a transmitir al mismo tiempo, se produce una colisión y ambas deben repetir la transmisión, para lo cual esperan un tiempo aleatorio antes de repetir, evitando de este modo una nueva colisión, ya que ambas escogerán un tiempo de espera distinto. Este proceso se repite hasta que se reciba confirmación de que la información ha llegado a su destino.

Ethernet es mundialmente usada porque permite un buen equilibrio entre velocidad, costo y facilidad de instalación. Estos puntos fuertes, combinados con la amplia aceptación en el mercado y la habilidad de soportar virtualmente todos los protocolos de red populares, hacen a Ethernet la tecnología ideal para la red de la mayoría los usuarios de la informática actual.

6.2 Estructura de la red.

6.2.1 Medio físico.

El medio de conexión estándar es, un cable coaxial de 50ohm conocido como cable Ethernet previsto para la transmisión en banda bases, la longitud máxima, sin repetidor es de 500 metros y cada nodo debe de estar separado del otro por lo menos 2.5 metros.

Tenemos también la posibilidad de transmisión en banda ancha multicanal a través de cable o fibra óptica. Para ello debe utilizarse una interfaz especial (MODEM) denominada DECOM para la red estándar y DESTA para la versión de cable delgado.

En cualquiera de estos medios la conexión debe hacerse en ciertos puntos concretos del cable para evitar que la carga distorsione la señal. Además debe disponer de terminaciones para evitar que se degrade la señal por reflexión.

6.2.2 Interfaz con el bus

Cada estación se conecta a la red mediante un controlador y un transceptor. El primero se encarga e controlar el acceso al medio y la codificación y decodificación de datos, es el mas próximo al terminal. Antes de transmitir genera una orden de LBT (*listen before talking*) que permite detectar la ocupación del bus. Durante la transmisión pone en marcha un procedimiento denominado LWT (*listen while talking*) que detecta la colisión que pudiera producirse a causa de los retardos de propagación del LBT. Si dos

estaciones intentan transmitir a la vez, el transceptor detecta la colisión por le nivel de señal eléctrica y el LWT interrumpe la trasmisión.

Por otra parte el transceptor es el mas próximo a la conexión en el bus. Dispone de un sistema de detección de portadora que proporciona el estado de ocupación del bus y se encarga del aspecto mas físico de la conexión básicamente de la modulación y desmodulación.

6.2.3 Topología y estructura lógica.

La topología de Ethernet se basa en un estructura en bus o en árbol. Los nodos de partidas de las ramificaciones se denominan normalmente repetidores y tienen la misión de regenerar la señal del bus con objeto de aumentar su alcance.

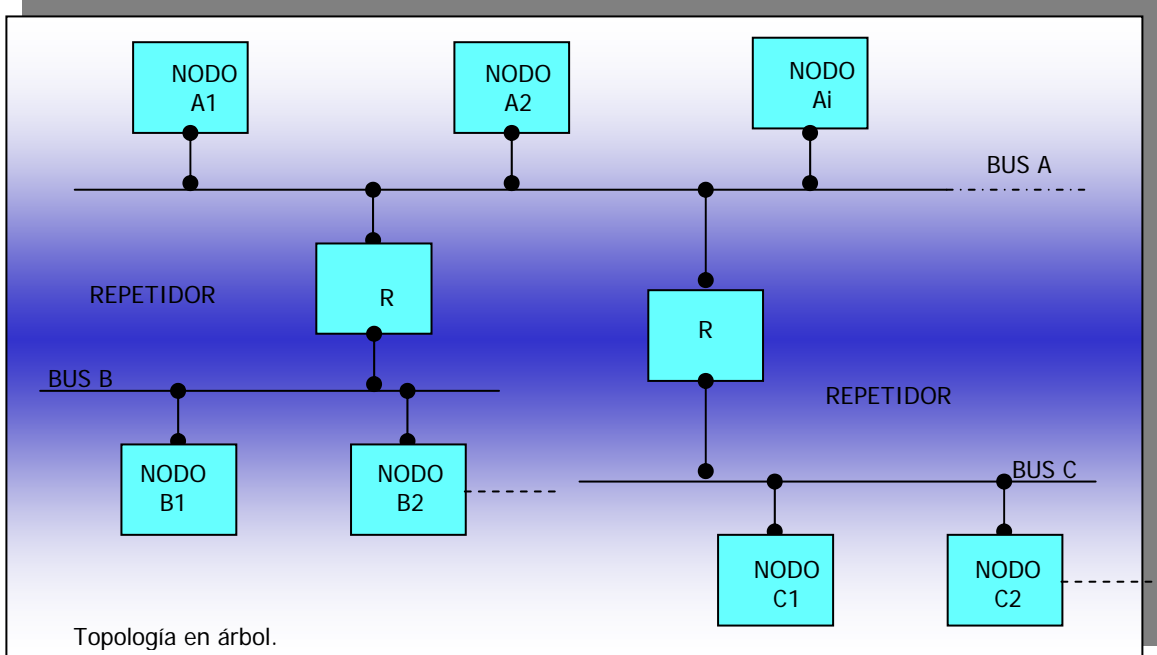


Figura 23. Topología en Árbol. Fuente (Balcells y Romeral¹⁹)

¹⁹ Ballcells J. y Romerall J. L. Autómatas programables. Editorial Alfaomega. Barcelona 1999

Entre dos nodos no puede haber mas de dos repetidores para evitar excesivos retardos en la detección de colisión. Para resolver estos problemas se propone otro tipo de bloque denominado puente Ethernet, este dispositivo dispone de un buffer de memoria propia donde se recibe la información y re transmite cuando el medio esta libre. Esto permite interconectar dos o mas redes locales en lo que se denomina una red extendida puede decirse, que es el dispositivo encargado de gestionar el nivel OSI 3 (red).

6.3 Protocolo.

El protocolo Ethernet esta previsto únicamente para gestionar el nivel de enlace. El nivel red debe ser gestionado tal como se indico anteriormente, a nivel de puentes entre redes homónimas y/o pasarelas con otras redes pero, en cualquier caso, no forma parte del estándar Ethernet.

Según lo mencionado la trama podrá ser relativamente simple, puesto se trata de direccionar solo dentro de una red local con un máximo de 1024 nodos. A continuación se explican cada una de las partes del formato básico de dicha trama. Los significados se detallan a continuación.

- *Preámbulo:* El propósito de este campo es la sincronización de bits. Para ello el preámbulo consiste en repetir los caracteres AA_H, es decir, una secuencia 10101010..., con un total de 7 caracteres.
- *Inicio:* El octavo carácter es AB_H (10101011_B) e indica el inicio de mensaje.
- *Dirección de destino:* Este campo puede tener una longitud de 2 o 6 bytes (generalmente 6) e indica la dirección física o lógica de los nodos destino

para la trama. Téngase en cuenta que la Ethernet básica soporta solo 1024 nodos, pero, como se ha dicho pueden utilizarse <<nodos puentes>> con su propia gestión de encaminamiento (routers) para enlazar varias redes y, por tanto, no debe extrañarnos que la dirección este formada por 48 bytes.

- ❖ Si el primer bits es 0, los que siguen indican la dirección lógica de un nodo destino único (comunicación punto a punto).
 - ❖ Si e primer bits es 1, los que siguen indican un rango de direcciones de destino (conexión multipunto).
 - ❖ Si todos los bits son 1, indica que se trata de un mensaje de difusión, donde los destino son todos los nodos.
- *Dirección de origen:* El campo puede estar formado por 2 o 6 bytes (generalmente 6) e indica la dirección del nodo origen.
- *Tipo de trama :*En realidad la norma IEEE 802.3 utiliza este campo de 2 bytes para indicar la longitud del campo de datos, pero Ethernet lo emplea para indicar la longitud del campo de datos.
- *Campo de datos:* Este campo contiene en realidad toda la información, datos, ordenes, direcciones físicas de memoria o registros de cada nodo, etc. No obstante, todo ello es transparente para el protocolo Ethernet, que no se para a analizar el contenido de dicho campo ni a interpretarlo.

La longitud máxima del campo de datos es de 1500 bytes. Algunos estándares fijan además una longitud mínima de 46 bytes y , en caso de no existir datos suficientes , se insertan caracteres NUL (00_H).

- CRC(32) :El CRC (código de redundancia cíclica de 32 bits), calculado con los campos: dirección de origen, dirección de destino, longitud, datos y relleno. se calcula mediante un polinomio del tipo:

$$x^{32} + x^{26} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + 1$$

6.4 Aplicación.

"Las aplicaciones industriales Ethernet constituyen una potente herramienta para la gestión de la producción. Debido al gran éxito que desde hace años goza Ethernet conjuntamente con las prestaciones de Switching (Conmutación), Full Duplex y Autosensing (Auto detección). Permite adaptarse exactamente a los requisitos y prestaciones de cualquier tipo de red, es por ello que esta herramienta puede ser utilizada prácticamente en cualquier entorno industrial."²⁰

La introducción de este tipo de tecnologías en los procesos industriales aporta una serie de ventajas como son:

- Proporcionan las ventajas tradicionales de la programación orientada a objetos, entre las que cabe destacar la flexibilidad, modularidad, reusabilidad de código y escalabilidad de la aplicación.
- Permiten independizar la complejidad de la problemática de la comunicación de la funcionalidad de la aplicación.

²⁰ Teledata Networks consultado en www.teledata-networks.com

- Es posible re-utilizar objetos ya diseñados en otras aplicaciones de forma independiente a su implementación concreta.
- Es posible modelar dispositivos físicos, si bien éstos deberían poseer un relativo grado de inteligencia.
- Por lo general, aportan una serie de servicios que facilitan las tareas de implementación de la aplicación (como pueden ser, por ejemplo, los servicios de seguridad en el caso de la arquitectura CORBA)
- Ofrecen mecanismos para implementar la tolerancia a fallos.

7. CONCLUSIONES

El avance de las Redes Industriales y los Buses de Campo son en definitiva la causa de que se pueda establecer una comunicación absoluta entre cada uno de los niveles de la planta y han demostrado que la estandarización que se comenzó a mediados de la década de los 80's esta dando resultado.

Se han presentado diferentes características de los buses de campo algunos con mas detalle que otros en diferentes enfoque de trabajo, esto sumado a conceptos como CIM y la estructura OSI, es vital para los profesionales pues les facilita encontrar soluciones racionales y bien encaminadas para los problemas de comunicaciones a los niveles de producción, a pesar la falta de normas internacionales definitivas, dentro de la gama de buses de campo existentes.

Es difícil decir cual es el mejor bus de campo, debido a que las diferencias se acortan cada día mas y esto se debe a un factor importante que se trato en este trabajo y al cual se le dedico una capitulo, es la estandarización que aunque no es por así decirlo perfecta ya que aun existen algunas diferencias entre dispositivos ha alcanzado una avance notorio que se ve reflejado en el éxito que han tenido la integración en entornos automatizados de fabricantes de diferentes marcas.

Aunque se puede pensar en el ya el denominado “bus de campo universal” como solución, este bus sobre el cual ya existe un debate sobre su especificación, y aunque esta apoyado por varias sociedades grandes no ha tenido por así decirlo resultado, entonces que los años pasan, la norma del supuesto bus universal nunca llega y en el camino aparecen nuevas opciones.

La realidad es que sólo los usuarios están realmente interesados en la obtención de normas de uso general. Los fabricantes luchan por su cuota de mercado y, en general, sólo están a favor de una norma cuando ésta recoge las características de su propia opción, lo cual es comprensible dadas las fuertes inversiones necesarias para el desarrollo de un bus industrial normalizado.

BIBLIOGRAFÍA

- Balcells, Joseph. Romeral, José. Autómatas Programables. Primera Edición. Alfaomega Marcombo.
- Fred, Halsall. Comunicaciones de datos, redes de computadores y Sistemas Abiertos. Cuarta Edición. Addison Wesley Iberoamericana. 1998.
- Tanenbaum, Andrew S. Redes de computadoras. Tercera Edición. Pearson.
- www.modbus.org
- www.profibus.org
- www.fielbus.org

Documentos Web.

- Documento Internet Sistemas Industriales Distribuidos. Rosado, A. consultado en: <http://www.uv.es/~rosado>.
- Documento Internet Estado de Buses Industriales y Aplicaciones. Quesada, Jerónimo.
- Documento Internet Introducción a las Redes de Comunicación Industrial. Universidad Miguel Hernández. División de Ingeniería de Sistemas y Automáticas.
- Documento Internet Comunicaciones Industriales. Universidad Politécnica de Cartagena. Departamento de Tecnología Electrónica.

- Documento de Internet Análisis Protocolar del Bus de Campo CAN. Dr.-Ing. Héctor Kaschel. Ing. Ernesto Pinto. Universidad de Santiago de Chile. Facultad de Ingeniería, Eléctrica.
- Documento de Internet Análisis del Estado del Arte de los Buses de Campo Aplicados al Control de Procesos Industriales. Dr.-ing. Héctor kaschel. Ing. Ernesto Pinto. Universidad de Santiago de Chile. Facultad de Ingeniería Eléctrica.
- Documento de Internet Comunicaciones en Entornos Industriales. Universidad de Cuyo. Departamento de Automática y Electrónica Industrial.
- Documento de Internet Ethernet en la Primera Milla. Teledata Networks consultado en: www.teledata-networks.com.

ANEXO GLOSARIO

Información digital: Información de diversa índole (números, textos, imágenes voz, etc).

Comunicación digital : Se denomina comunicación digital a la técnica que permite el intercambio de información digital entre dos o mas sistemas, generalmente basados en microprocesadores.

Código: Regla o convenio que permite interpretar una información digital.

Terminal de datos (DTE): Equipo que dispone al menos de un canal para transmitir y/o recibir información digital.

Terminal de comunicaciones (DCE): Equipo previsto para transmitir y recibir información digital a distancia, generalmente por vía telefónica o vía radio. Por lo general usan un MODEM .

Bus: Conjunto de conductores compartidos por dos o mas sistemas digitales. La comunicación a través de bus implica que solo uno de los terminales conectados podrá enviar datos en un instante determinado pero no hay limite de recepción de mensajes.

Conexión Punto a punto: Conexión en la que intervienen solo dos terminales o sistemas digitales, uno a cada extremo de la línea de comunicación.

Conexión multipunto: Conexión de mas de dos terminales o sistemas digitales a través de una misma línea o bus.

Enlace Simple: Comunicación entre dos terminales que permite solo flujo de datos en un solo sentido.

Enlace Half Duplex : Comunicación entre dos terminales que permite el flujo de datos en ambos sentidos, pero no simultáneamente, utilizando los mismos cables o medios físicos.

Enlace Full Duplex : Comunicación entre dos terminales que permite el flujo simultaneo de datos en ambos sentidos, lógicamente necesita mas cableado

Protocolo: Procedimiento de arbitraje o de reglas que tiene como fin determinar cual de los terminales esta autorizado para transmitir por la línea o bus y quien debe recibir el mensaje en determinado momento.