



FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERIA Y  
AGRIMENSURA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO

**Escuela de Ingeniería Electrónica**  
**Departamento de Sistemas e Informática**

---

# **Electiva Sistemas Distribuidos**

**Monografía sobre**

## **Sistemas de Control Distribuido**

**Año 2005**

**Juan Pablo Ferrari F-1694/2**  
**Mail: j\_p\_ferrari@hotmail.com**

**Docente: Ing. José L. Simón**

## INDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. EVOLUCIÓN DE LA AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL.....	3
3. ESTRUCTURAS GENERALES DE LOS SISTEMAS DE CONTROL INDUSTRIALES	5
3.1.1 Control centralizado .....	5
3.1.2 Control centralizado multicapa.....	6
3.2.1 Control Distribuido.....	7
4. CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS DE LAS REDES LOCALES INDUSTRIALES .....	8
4.1 Jerarquía entre los niveles de comunicación .....	8
4.1.1 Red de Factoría.....	12
4.1.2 Red de Planta.....	12
4.1.3 Red de Célula .....	13
4.1.4 Bus de Campo (field bus).....	13
5. EJEMPLOS DE ESTUDIO .....	16
5.1 Redes MAP Y TOP .....	16
5.2 Redes MINIMAP.....	18
5.3 Ethernet Industrial .....	19
5.4 PROFIBUS .....	20
5.4.1 Versiones Compatibles .....	21
5.4.2 Estructura de la red .....	22
5.4.3 Tecnología de transmisión.....	24
5.5 AS-I: AKTUATOR SENSOR INTERFACE .....	25
5.6 INTERBUS.....	26
5.7 CAN: CONTROLLER AREA NETWORKING .....	29
5.8 Comparación de los casos estudiados.....	31
6 CONCLUSIONES.....	31
7 BIBLIOGRAFÍA .....	32

## 1. Introducción

El desarrollo del control distribuido en la industria va paralelo al de las comunicaciones . Cada vez es más necesario disponer de dispositivos inteligentes para realizar el control o la supervisión remota, tanto de procesos de fabricación, como de almacenamiento o distribución. Los sistemas o redes de comunicación empleados en entornos industriales se encuentran sometidos a una problemática específica que condiciona enormemente su diseño y los diferencia de las redes de datos o redes de oficina. El desarrollo de los microprocesadores, microcontroladores y los controladores lógicos programables (PLCs) dio lugar a la aparición del control distribuido. En este tipo de esquema, un PLC o un microprocesador controla una o más variables del sistema realizando un control directo de las mismas. Estos equipos de control local se comunican con otros elementos de su nivel y con el nivel superior de supervisión.

En la presente monografía se desarrollará el tema sistemas de control distribuido, refiriéndonos siempre a control en el ámbito industrial. Para esto en primer lugar se describirá sintéticamente la evolución cronológica de los sistemas de control industrial hasta llegar a los controladores actuales. Luego se describirán las estructuras que pueden tener estos sistemas de control y las características que deben tener los sistemas de supervisión. Después se verán todas las redes que están en juego el ambiente de plantas industriales describiendo las características que cada una debe tener, y las implementaciones tecnológicas de las mismas.

Por último se realizará estudio de casos específicos de redes de comunicación en sistemas de control distribuidos y sus principales características

Cabe aclarar que en este se utiliza el termino **control distribuido** para aplicaciones de control de arquitectura distribuida, como las descripta anteriormente, no refiriéndonos específicamente a controladores, conocidos en la jerga de control como **DSC** (sistemas de control distribuidos) únicamente. Esto es porque en la actualidad todos los dispositivos de control ya sean (DSC o PLC u otro) están capacitados para trabajar con arquitecturas distribuidas que serán estudiadas en el presente trabajo.

## 2. EVOLUCIÓN DE LA AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

Los conceptos de automatización tienen sus orígenes con la revolución industrial. Los elementos mediante los cuales se llevaban a cabo las decisiones de control eran elementos mecánicos y electromagnéticos con el advenimiento de la electricidad (motores, relés, temporizadores, contadores ). Esto tenía el problema que los tableros de control (armarios eléctricos) llegan a tomar grandes tamaños según se hacían automatizaciones más complejas.

En los años 50 con la aparición de la electrónica comienzan a utilizarse los semiconductores con lo que se reduce el tamaño de los armarios eléctricos y se reduce el número de averías por desgaste de componentes. Aunque esto resultaba mucho más amigable que los grandes tableros eléctricos del principio presentaba un problema de falta de flexibilidad: ya que un sistema de control sólo sirve para una aplicación específica, y no es reutilizable.

Debido a esto y a la creciente demanda industrial del momento en el año 1968 Ford y General Motors plantean las especificaciones que debe cumplir un controlador electrónico programable para ser realmente útil en la industria.

Es así que Bedford associates desarrolla un prototipo de controlador industrial, que puede ser considerado el primer PLC de la historia (programmable logic controller o autómatas programables industriales). Este presentaba las características que reclamaba la industria:

- Reutilizable.
- Adaptado a entornos agresivos (industria)
- Fácilmente programable por técnicos eléctricos .
- Implementado con electrónica de estado sólido (semiconductores)

Los primeros PLCs se usaron para controlar procesos secuenciales (cadenas de montaje, transporte, etc). El problema que presentaba era que su memoria era cableada, por lo que la reutilización es posible pero costosa.

A principio de 1970 aparece el microprocesador y con los primeros ordenadores digitales. Se empezaron implementar memorias con semiconductores eliminando las memorias cableadas mayor flexibilidad por la facilidad de programación. Pero por entonces todavía la tecnología de los microprocesadores no era utilizable en la industria por falta de robustez , dificultad de conexión a equipos mecánicos y dificultad de programación.

A mediados de los 70 los autómatas incorporan el microprocesador y las memorias semiconductoras lo que permiten programar sin recablear (aumenta flexibilidad). Además permiten realizar cálculos matemáticos y comunicar con un ordenador central (ordenador encargado de controlar la planta enviando órdenes a los autómatas que gobiernan cada proceso). Junto con esto aparecen los primeros DCS (sistemas de control distribuido) que eran controladores lógicos al igual que los PLC's solo que estos en el principio dominaban el reino del control de variables analógicas. De esta manera sistemas DCS trabajaban a la par de sistemas separados de PLC para control discreto de variables on/off.

Hacia los finales de los 70 aparecen mejoras en los autómatas dándole a estos:

- Mayor memoria.
- Capacidad de gobernar bucles de control.
- Más tipos de E/S (conexión más flexible de sensores/actuadores ).
- Lenguajes de programación más potentes .
- Comunicaciones más potentes.

En los años 80 se continua con las mejoras siendo algunas de estas:

- Mayor velocidad de proceso.
- Dimensiones más reducidas.
- Técnicas de control más complejas (PID, inteligente, fuzzy).
- Múltiples lenguajes (contactos, lista instrucciones, GRAFCET, etc).

En los años '90 cuando los sistemas de control basado en PC hicieron su aparición en la escena de la automatización industrial, los partidarios de estos sistemas más poderosos y abiertos afirmaban que dichos sistemas podrían llegar a suplantarse a los controladores lógicos programables (PLC's) y hasta los sistemas de control distribuidos (DCS's) en numerosas aplicaciones. La PC tenía mucho que ofrecer, pero no suplantaría las plataformas ya probadas de control industrial, no por lo menos en la forma de una PC de escritorio. La PC era la mejor opción a la hora de integrar funcionalidad avanzada, como puede ser conectividad de base de datos, integración, control analógico y simulación basados en Web y comunicación de datos con terceros. El problema con el control basado en PC ha sido siempre el control . Las PC's que corren en sistemas operativos estándares con hardware común resultan demasiado frágiles y temperamentales como para brindar un control industrial confiable.

El resultado de todas estas innovaciones fue la aparición de controladores híbridos que permiten manejo de variables analógicas y digitales, en conjunto con características como procesador de punto flotante para cálculos personales, servidor Web interactivo embebido que facilita las tareas de control y monitoreo, flash compacto removible para la recolección y registro de datos, puertos seriales múltiples y conexionado mediante buses de campo para la comunicación con terceros.

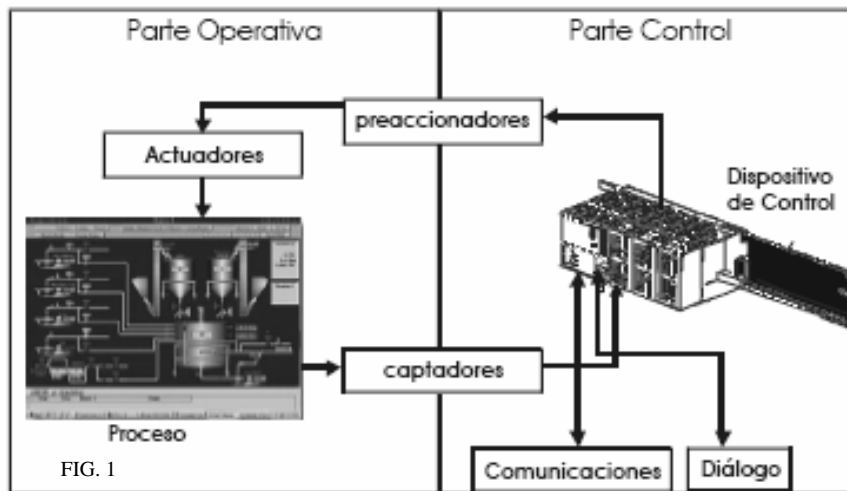
En la actualidad tenemos disponibles gran variedad de autómatas híbridos compactos, sencillos y modulares para aplicaciones incluso domésticas. Presentan grandes posibilidades de ampliación. Y con una tendencia hacia una evolución continua de los sistemas de comunicación, constituyendo redes de autómatas que permitan implementaciones más complejas y seguras. Las nuevas características de los sistemas de automatización apuntan a incorporar características de los sistemas distribuidos como:

- Escalabilidad

- Apertura
- Concurrencia
- Tolerancia a fallas
- Transparencia

### 3. ESTRUCTURAS GENERALES DE LOS SISTEMAS DE CONTROL INDUSTRIALES

La Figura 1 muestra en forma esquemática la estructura control implementadas normalmente en la industria.



En la misma pueden verse dos áreas bien definidas: Una la **parte operativa** y otra la **parte de control**.

En la parte operativa tenemos los dispositivos de hardware y software que brindan la información necesaria para llevar a cabo las operaciones de planta necesarias, con una

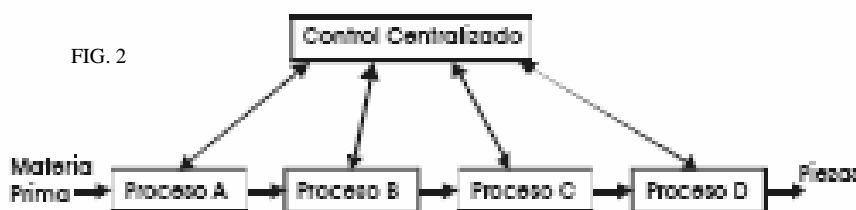
interfase amigable y entendible para el operador.

En la parte de control encontramos a los dispositivos de control (PLC's, DCP'S y o PC industriales) que permiten llevar a cabo las acciones de control en conjunto con los actuadores. Entre todos estos dispositivos hay **comunicación vertical** (desde la parte de control hacia la operativa y viceversa) y **comunicaciones horizontales** (entre distintos dispositivos de control)

A continuación se describirán las dos arquitecturas más conocidas de control, industrial, aunque cabe aclarar que no son las únicas y muchas soluciones de automatizaciones son una mezcla de estas que se adapta a las necesidades específicas de cada situación.

#### 3.1.1 Control centralizado

En la figura 2 puede verse la estructura general del control centralizado

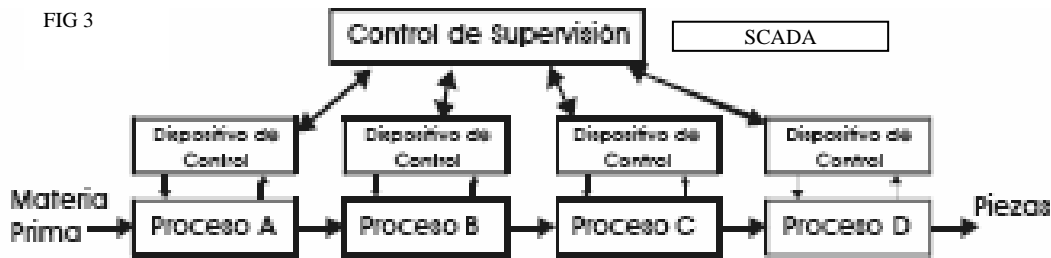


Constituido por una computadora, un interfaz de proceso y una estación de operador (interfaz de operación)

La principal ventaja es que su arquitectura facilita el flujo de información y se hace posible que los objetivos de optimización global del proceso puedan ser alcanzados, pero tiene la desventaja que depende de la fiabilidad del computador. Para solucionar esto se aplica redundancia de servicios críticos como se verá más adelante.

Una variante del control centralizado puede verse en la figura 3 y quizás la más aplicable por la probada robustez de los controladores industriales.

### 3.1.2 Control centralizado multicapa



A partir de esta arquitectura de control aparece el concepto de **SCADA** que viene de las siglas de "*Supervisory Control And Data Acquisition*", es decir: adquisición de datos y control de supervisión. Se trata de una aplicación software especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores en el control de producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos, autómatas programables, etc.) y controlando el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador. Además, provee de toda la información que se genera en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como de otros supervisores dentro de la empresa: control de calidad, supervisión, mantenimiento, etc.

En este tipo de sistemas usualmente existe un ordenador, que efectúa tareas de supervisión y gestión de alarmas, así como tratamiento de datos y control de procesos. La comunicación se realiza mediante buses especiales o redes LAN, los cuales serán abordados más adelante para su estudio específico. Todo esto se ejecuta normalmente en tiempo real, y están diseñados para dar al operador de planta la posibilidad de supervisar y controlar dichos procesos. Los elementos de proceso del sistema de control pueden utilizar una implementación estándar en tiempo real de CORBA (Common Object Request Broker Architecture) para la comunicación entre objetos a través de redes. Además, la especificación de interfaces será muy importante para el mantenimiento y conservación de la inversión teniendo en cuenta los rápidos cambios tecnológicos. Por ello serán usados estándares abiertos como RT POSIX o ATM, y también CORBA.

Los programas necesarios, y en su caso el hardware adicional que se necesite, se denomina en general sistema SCADA.

#### Prestaciones

Un paquete SCADA debe estar en disposición de ofrecer las siguientes prestaciones:

- Posibilidad de crear paneles de alarma, que exigen la presencia del operador para reconocer una parada o situación de alarma, con registro de incidencias.
- Generación de históricos de señal de planta, que pueden ser volcados para su proceso sobre una hoja de cálculo.
- Ejecución de programas, que modifican la ley de control, o incluso anular o modificar las tareas asociadas al autómata, bajo ciertas condiciones.
- Posibilidad de programación numérica, que permite realizar cálculos aritméticos de elevada resolución sobre la CPU del ordenador.

Con ellas, se pueden desarrollar aplicaciones para ordenadores (tipo PC, por ejemplo), con captura de datos, análisis de señales, presentaciones en pantalla, envío de resultados a disco e impresora, etc.

Además, todas estas acciones se llevan a cabo mediante un paquete de funciones que incluye zonas de programación en un lenguaje de uso general (como C, Pascal, o Basic), lo cual confiere una potencia muy elevada y una gran versatilidad. Algunos SCADA ofrecen

librerías de funciones para lenguajes de uso general que permiten personalizar de manera muy amplia la aplicación que desee realizarse con dicho SCADA.

### Requisitos

Un SCADA debe cumplir varios objetivos para que su instalación sea perfectamente aprovechada:

- Deben ser sistemas de arquitectura abierta, capaces de crecer o adaptarse según las necesidades cambiantes de la empresa.
- Deben comunicarse con total facilidad y de forma transparente al usuario con el equipo de planta y con el resto de la empresa (redes locales y de gestión).
- Deben ser programas sencillos de instalar, sin excesivas exigencias de hardware, y fáciles de utilizar, con interfaces amigables con el usuario.

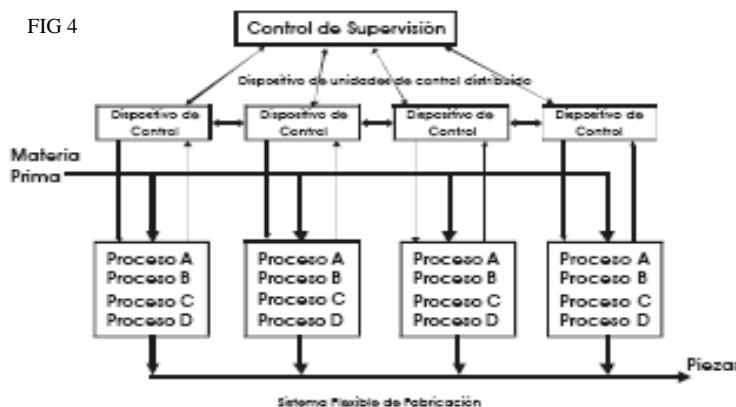
### Módulos de un SCADA.

Los módulos o bloques software que permiten las actividades de adquisición, supervisión y control son los siguientes:

- **Configuración:** permite al usuario definir el entorno de trabajo de su SCADA, adaptándolo a la aplicación particular que se desea desarrollar.
- **Interfaz gráfico del operador:** proporciona al operador las funciones de control y supervisión de la planta. El proceso se representa mediante sinópticos gráficos almacenados en el ordenador de proceso y generados desde el editor incorporado en el SCADA o importados desde otra aplicación durante la configuración del paquete.
- **Módulo de proceso:** ejecuta las acciones de mando preprogramadas a partir de los valores actuales de variables leídas.
- **Gestión y archivo de datos:** se encarga del almacenamiento y procesado ordenado de los datos, de forma que otra aplicación o dispositivo pueda tener acceso a ellos.
- **Comunicaciones:** se encarga de la transferencia de información entre la planta y la arquitectura hardware que soporta el SCADA, y entre ésta y el resto de elementos informáticos de gestión.

### 3.2.1 Control Distribuido

La figura 4 muestra un esquema de control distribuido, donde puede observarse es que es muy similar al control centralizado multicapa solo que aquí se comunicación entre cada controlador de proceso (comunicación horizontal)



Existencia de varias unidades de control que llevan a cabo las tareas. En caso de avería o sobrecarga de trabajo, será posible transferir todo o parte de las tareas a otras unidades.

La idea de poder hacer bypass a las unidades con problemas permite evitar los bloqueos necesarios del sistema,

(paradas de planta) pero por otra parte exige que las diferentes controladores tengan una asignación dinámica de las tareas y por tanto se les va a exigir gran capacidad de acceso a la comunicación y de tratamiento de la información

La desventaja de esto es la disminución de la velocidad de comunicación debido a los retardos, posibles desbordamientos en el procesamiento de datos en cada nivel y falta de flujo

de información directa entre controladores. Pero esto está siendo solucionado por la aparición de nuevas tecnología de comunicación de datos cada vez más potentes

Aquí vemos que también tenemos una unidad de control y supervisión (SCADA) que cumple con las características antes mencionadas para el control centralizado multicapa.

A continuación se muestra una tabla comparativas sobre los aspectos principales de las dos arquitecturas antes mencionadas

TIPO DE ARQUITECTURA	CENTRALIZADA	DISTRIBUÍDA
<b>TIPO DE CONTROL PREDOMINANTE</b>	SUPERVISORIO: Lazos de control cerrados por el operador. Adicionalmente: control secuencial y regulatorio.	REGULATORIO: Lazos de control cerrados automáticamente por el sistema. Adicionalmente: control secuencial, batch, algoritmos avanzados, etc.
<b>TIPOS DE VARIABLES</b>	DESACOPLADAS	ACOPLADAS
<b>ÁREA DE ACCIÓN</b>	Áreas geográficamente distribuidas.	Área de la planta.
<b>UNIDADES DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y CONTROL</b>	Remotas, PLCs.	Controladores de lazo, PLCs, DCS's
<b>MEDIOS DE COMUNICACIÓN</b>	Radio, satélite, líneas telefónicas, conexión directa, LAN, WAN.	Redes de área local, conexión directa.
<b>BASE DE DATOS</b>	CENTRALIZADA	DISTRIBUÍDA

Tabla 1

A partir de lo expuesto hasta aquí se puede observar que la comunicación entre controladores es un aspecto fundamental para el funcionamiento de un sistema de control distribuido. A continuación se detallarán las características que deben tener estas redes de controladores para operar en el ambiente de planta.

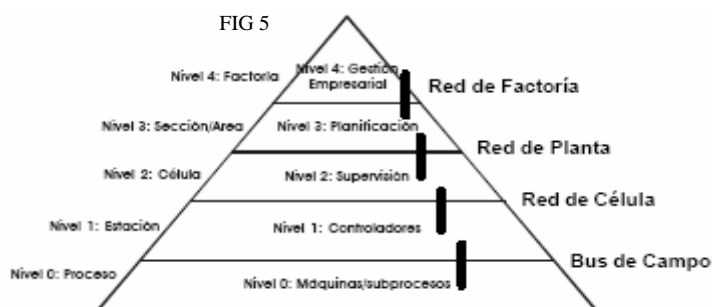
## 4. CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS DE LAS REDES LOCALES INDUSTRIALES

Características:

- **Entorno de funcionamiento hostil:** las redes industriales deben ser lo suficientemente robustas como para soportar golpes, atmósfera agresiva, radiaciones electromagnéticas, ruido eléctrico y otras perturbaciones típicas de la operación en planta.
- **Restricciones temporales:** las redes que comunican elementos de control con requisitos como tiempo máximo de entrega de mensajes, esquemas de prioridades y índices elevados de disponibilidad
- **Arquitecturas adecuadas:** debe ser arquitecturas abiertas que permitan la interconexión de elementos de distintos proveedores sin problemas

### 4.1 Jerarquía entre los niveles de comunicación:

A continuación se realizará una clasificación jerárquica de las redes locales industriales



según el entorno donde van a ser instaladas, el gráfico de la figura 5 muestra un esquema de esto.

En el esquema piramidal presentado, existen diferentes niveles de comunicación, cada uno de ellos con diferentes necesidades.



Se puede hablar en realidad de dos tipos de redes: redes de control y redes de datos. Las redes de control están ligadas a la parte baja de la pirámide, mientras que las redes de datos (o de oficina) están más ligadas a las partes altas de la jerarquía.

En general, las redes de datos están orientadas al transporte de grandes paquetes de datos, que aparecen de forma esporádica (baja carga), y con un gran ancho de banda para permitir el envío rápido de una gran cantidad de datos. En contraste, las redes de control se enfrentan a un tráfico formado por un gran número de pequeños paquetes,

En principio, las redes de datos convencionales podrían emplearse para su uso como redes de control, sin embargo, es evidente que no resultan adecuadas para las necesidades de este tipo de aplicaciones. Por ejemplo, es sabido que la red Ethernet tiene una gran eficiencia, hasta el 90-95% de la capacidad del canal cuando los mensajes son largos y suficientemente espaciados. Sin embargo, la cantidad de información que una red Ethernet es capaz de transportar cae bruscamente cuando se utiliza por encima del 35% de la capacidad del canal, si el tamaño de los mensajes es pequeño, como puede verse en la figura 6. En las redes de control es habitual encontrar este tipo de carga, porque el tráfico de la red depende directamente de eventos externos que están siendo controlados (o monitorizados) por los diferentes nodos que la componen. A menudo, varios nodos necesitan enviar información simultáneamente en función de uno o más eventos externos. Este hecho, junto con el gran número de nodos que suelen estar presentes, implica la existencia de frecuentes periodos en los que muchas estaciones envían pequeños paquetes de información.

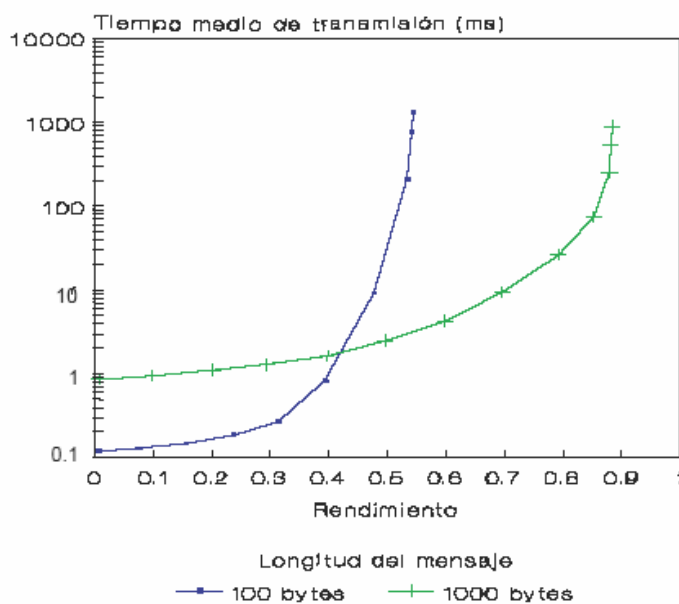


Fig: 6  
Comparación de la red Ethernet ante variaciones del tamaño de los paquetes

Por todas estas razones, es necesario diseñar una arquitectura de red acorde a las características particulares de este tipo de tráfico. En el diseño se deberán tener en cuenta aspectos como los tipos de protocolos utilizados, la interoperabilidad, la topología y la facilidad de administración. Deben usarse protocolos abiertos, disponibles por toda la comunidad de fabricantes y usuarios. Este aspecto es básico para conseguir que equipos de diferentes fabricantes puedan trabajar en conjunto en una misma red. También juega un papel fundamental determinar el tipo de información que viajará por la red. En las redes de oficina, esta información consiste básicamente en datos de usuario y en algunas ocasiones información para la administración y el mantenimiento de la propia red. En una red de control, esta elección es menos clara ya que el correcto funcionamiento de la red es vital.

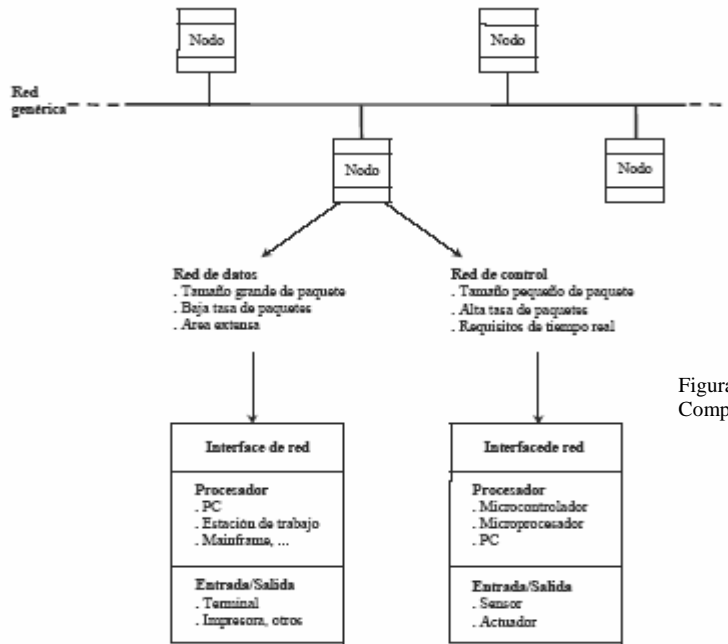


Figura 7:  
Comparación entre redes de datos y redes de control

Pueden distinguirse dos tipos de redes según la información que transporten: redes basadas en comandos y redes basadas en estado. En las redes basadas en comandos, la información consiste en una orden con la que un nodo controla el funcionamiento de otro. El principal problema radica en que si se dispone de un amplio conjunto de tipos de nodos, habrá un aumento exponencial del número de posibles comandos y de la sobrecarga que supone su procesamiento. En las redes orientadas a estado las cosas son más sencillas. En este caso, la funcionalidad de un nodo no depende de ningún otro. Cada nodo enviará mensajes en los que indicará a los demás el estado en que se encuentra. Los nodos que reciban estos mensajes modificarán su estado en función de la nueva información. Existen implementaciones que combinan ambos métodos.

Por lo que se refiere al tipo de topología que deben adoptar las redes de control, cabe destacar que cualquiera de las topologías clásicas de las redes de datos es válida. Cada una de ellas con sus propias ventajas y limitaciones. Cualquiera puede satisfacer las necesidades de cableado, prestaciones y coste de algún tipo de aplicación. La elección está determinada fundamentalmente por el control de acceso al medio y el tipo de medio que se emplea. El conjunto formado por el medio, el control de acceso y la topología, afecta prácticamente a cualquier otro aspecto de la red de control: coste, facilidad de instalación, fiabilidad, prestaciones, facilidad de mantenimiento y expansión.

La selección de la topología suele hacerse basándose en los requisitos específicos de cada sistema en cuanto a coste de instalación y tolerancia a fallos. Muchas redes de control permiten el uso de distintas topologías.

El control de acceso al medio es vital. Elegida una topología, hay que definir como accederá cada nodo a la red. El objetivo es reducir las colisiones (idealmente eliminarlas) entre los paquetes de datos y reducir el tiempo que tarda un nodo en ganar el acceso al medio y comenzar a transmitir el paquete. En otras palabras, maximizar la eficiencia de la red y reducir el retardo de acceso al medio. Este último parámetro es el factor principal a la hora de determinar si una red sirve para aplicaciones en tiempo real o no.

El direccionamiento de los nodos es otro de los aspectos claves. En una red de control, la información puede ser originada y/o recibida por cualquier nodo. La forma en que se direccionen los paquetes de información afectará de forma importante a la eficiencia y la fiabilidad global de la red. Se pueden distinguir tres tipos de direccionamiento:

- Unicast** : El paquete es enviado a un único nodo de destino.

- b) **Multicast** : El paquete es enviado a un grupo de nodos simultáneamente.
- c) **Broadcast** : El paquete es enviado a todos los nodos de la red simultáneamente.

El direccionamiento broadcast presenta la ventaja de su sencillez. Es adecuado para redes basadas en información de estado. Cada nodo informa a todos los demás de cuál es estado actual. El principal inconveniente es que los nodos pueden tener que procesar paquetes que no les afecten directamente. Los esquemas de direccionamiento unicast y multicast son más eficientes, y facilitan operaciones como el acuse de recibo y el reenvío, características que aumentan la fiabilidad del sistema. En redes de control, es muy habitual encontrar esquemas de direccionamiento del tipo maestro-esclavo. Este tipo de esquemas permite plasmar ciertos aspectos jerárquicos del control de forma sencilla, a la vez que simplifica el funcionamiento de la red y por tanto abarata los costes de la interfaz física.

La elección del medio físico afecta a aspectos tales como la velocidad de transmisión, distancia entre nodos y fiabilidad. En muchas redes de control se recurre a una mezcla de distintos medios físicos para cumplir con los requisitos de diferentes secciones al menor coste posible. Se incorporarán los routes, puentes o repetidores necesarios para asegurar el objetivo de una comunicación extremo a extremo transparente, al menor coste posible, y sin que la integración conlleve una disminución de las prestaciones.

El control en tiempo real demanda de las redes de control buenos tiempos de respuesta (baja latencia). Por ejemplo, el retardo entre la detección de un objeto en una línea de montaje de alta velocidad y el arranque de una máquina de pintado puede ser del orden de decenas de milisegundos. En general, las redes de datos no necesitan una respuesta en tiempo real cuando envían grandes conjuntos de datos a través de la red. El control de acceso al medio y el número de capas implementadas en la arquitectura de red resultan determinantes a la hora de fijar la velocidad de respuesta de la red. La implementación de las siete capas del modelo OSI implica una mayor potencia de proceso por la sobrecarga que conlleva con respecto a un sistema más sencillo que por ejemplo sólo implementase las dos primeras capas. En ocasiones, los beneficios que aportan las capas adicionales compensan la sobrecarga adicional (que implica un mayor costo), sobre todo a medida que aumenta la funcionalidad demandada de la red y mejora la tecnología disponible. Cuando la velocidad es el factor esencial, como ocurre con muchos buses de campo, el modelo puede aligerarse ya que en la mayor parte de este tipo de aplicaciones las capas de red, transporte, sesión y presentación no son necesarias, como muestra el esquema de la figura 8.

Capas OSI	Tareas típicas asignadas	Requisitos en redes de control
7 Aplicación	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Semántica de usuario</li> <li>· Transferencia de ficheros</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Objetos de datos</li> <li>· Estructuras estandarizadas de red</li> </ul>
6 Presentación	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Compresión de los datos</li> <li>· Conversión de datos de usuario</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Estructuras de red</li> <li>· Interpretación de datos</li> </ul>
5 Sesión	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Sincronización</li> <li>· Estructura de diálogo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Autentificación</li> <li>· Administración de red</li> </ul>
4 Transporte	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Transferencia de datos fiable</li> <li>· Comunicación extremo a extremo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Reconocimiento extremo a extremo</li> <li>· Detección de duplicados, reintento automático</li> </ul>
3 Red	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Direcciones lógicas, enrutamiento</li> <li>· Interface independiente del MAC</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Direccionamiento: unicast, multicast, broadcast</li> <li>· Routers</li> </ul>
2 Enlace	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Mecanismo de acceso al medio</li> <li>· Corrección de errores y estructuración en tramas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· MAC, evitar/detectar colisión</li> <li>· Estructuración en tramas, codificación de datos</li> </ul>
1 Físico	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Definición del interface físico</li> <li>· Interface Transceiver</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· CRC, chequeo de errores</li> <li>· Prioridad</li> <li>· Transceivers</li> </ul>

Fig. 8 Capas del modelo OSI/ISO y su relación con las redes de control. MAC = mecanismo de acceso al medio CRC = código de redundancia cíclica

Otra forma de favorecer un tiempo de respuesta pequeño es la capacidad para establecer mensajes con diferentes prioridades, de forma que mensajes de alta prioridad (como por ejemplo una alarma) tengan más facilidad para acceder al medio.

Por último, hay que destacar el papel que juega la seguridad de la red. Podemos destacar dos niveles diferentes de seguridad. Por una parte la protección frente a accesos no autorizados a la red, y por otra parte la protección frente a fallos del sistema y averías.

El primer problema es el menos grave, ya que la mayor parte de las redes de control no están conectadas a redes externas a la fábrica. Además, en la práctica, la mayor parte de las veces, las redes pertenecientes a los escalones más bajos de la pirámide no están conectadas siquiera con las redes de nivel superior dentro de la propia fábrica. En cualquier caso, los mecanismos de protección son similares a los empleados en las redes de datos: claves de usuario y autenticación de los nodos de la red.

La protección frente a fallos juega un papel mucho más importante, debido a que se debe evitar a toda costa, que este hecho afecte negativamente a la planta. Por ejemplo, los sistemas de refrigeración de una central nuclear no pueden bloquearse porque la interfaz de comunicaciones de un nodo de la red se averíe. Para ello es fundamental que los nodos puedan detectar si la red está funcionando correctamente o no, y en caso de avería puedan pasar a un algoritmo de control que mantenga la planta en un punto seguro. Si el sistema es crítico, se deben incluir equipos redundantes, que reemplacen al averiado de forma automática en caso de avería. La monitorización de la red y la capacidad de diagnóstico representan por tanto dos puntos básicos de cualquier red de control.

La necesidad de buenas herramientas de mantenimiento y administración de la red son vitales. No sólo por lo dicho anteriormente sino que también porque en las redes de control las operaciones de reconfiguración y actualización de la red son frecuentes.

#### **4.1.1 Red de Factoría**

La constituyen redes de oficina que comunican departamentos contabilidad, administración, ventas, gestión de pedidos, almacén, Red de Planta. Generalmente están basadas en tecnología Ethernet y conectadas a Internet a través de un firewall para proteger la red interna de un ataque exterior. Brindan Servicios de comunicación como transferencia de ficheros y proceso de transacciones teniendo un gran volumen de información intercambiada y los tiempos de respuesta no son tan críticos. (Estas redes no serán estudiadas en el presente trabajo)

#### **4.1.2 Red de Planta**

La función de esta capa es interconectar módulos y células de fabricación entre sí y con departamentos como diseño o planificación. La información vinculada de esta capa es administrada y controlada por aplicaciones SCADA, ya sea en forma centralizada o distribuida según la arquitectura implementada. En estas redes el tráfico de datos es muy variable desde mensajes cortos de órdenes de ejecución hasta mensajes interactivos de terminales de operarios. Al protocolo usado en estas redes se lo denomina MAP (Manufacturing Automation Protocol). En la práctica se emplean soluciones clásicas Ethernet o Token Ring, con características especiales ya presentan menor costo y más experiencia en su implantación frente a soluciones a medida.

##### **Requisitos de estas redes**

- Manejar mensajes de cualquier tamaño.
- Gestión de errores de transmisión eficaces (detectar y corregir).
- Cubrir áreas extensas (puede llegar a varios kilómetros).
- Poder gestionar mensajes con prioridades.
- Amplio ancho de banda disponible

### 4.1.3 Red de Célula

Interconectar dispositivos de control que operan en modo secuencial como por ejemplo PLCs.

Características deseables en estas redes :

- Gestionar mensajes cortos eficientemente.
- Capacidad de manejar tráfico de eventos discretos.
- Mecanismos de control de error (El protocolo de comunicaciones debe detectar y corregir errores).
- Posibilidad de transmitir mensaje prioritarios.
- Bajo coste de instalación y de conexión por nodo.
- Recuperación rápida ante eventos anormales en la red.
- Alta disponibilidad (el tiempo medio entre fallos mayor que 100.000 horas, para poder mejorar la disponibilidad se implementa redundancia de servicios críticos).

En la práctica son redes de tamaño pequeño (5 a 50 dispositivos.) trabajando con Redes propietarias que resultan generalmente difíciles de ampliar a un cuando se dispone de dispositivos de control de proveedores distintos. Se emplean protocolos asíncronos (orientados al carácter) si los paquetes transferidos son del orden de Kbps o síncronos si son de mayor tamaño (Mbps). Con un tráfico de mensajes cortos para control y sincronización entre los dispositivos y ocasional transferencia de archivos.

Si bien falta de una norma de aceptación general para estas redes se las suelen encuadrar en las siguientes categorías

- **Redes de atuómatas** (generalmente dependen del fabricante) : por ejemplo Jnet, Jbus, Modbus, Uni-Telway
- **Redes locales heterogéneas** : LAC-1, LAC-2.
- **Redes normalizadas**: Mini-MAP que resulta de una simplificación de MAP para poder utilizar en entornos de tiempo real, en donde, el nivel de aplicación acceda directamente al nivel de enlace del modelo OSI y PROWAY (Process Data Highway) que consiste en una topología en bus y mecanismo de acceso por paso de testigo, cuyos aspectos funcionales están orientados a su aplicación en control de procesos
- **Redes de propósito general** : Ethernet.

Los controladores actuales disponen de dispositivos configurables de manera de poder comunicarse en alguna o varias de las categorías antes mencionadas. También existen dispositivos que permiten pasar de un protocolo a otro sin problemas, son como los gateway de las redes de computadoras convencionales. (En la sección 5 se abarcaran ejemplos concretos de estas redes)

### 4.1.4 Bus de Campo (field bus)

Un bus de campo es un término genérico que describe un conjunto de redes de comunicación para uso industrial, cuyo objetivo 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 autodiagnóstico, control o mantenimiento, así como de comunicarse bidireccionalmente a través del bus.

El objetivo es reemplazar los sistemas de control centralizados por redes para control distribuido con las que mejorar la calidad del producto, reducir costes 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. Además,

cada dispositivo de campo es un dispositivo inteligente y puede llevar a cabo funciones propias de control, mantenimiento y diagnóstico. 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.

La principal ventaja que ofrecen los buses de campo, y la que los hace más atractivos a los usuarios finales, es la reducción de costes. El ahorro proviene fundamentalmente de tres fuentes: ahorro en coste de instalación, ahorro en el coste de mantenimiento y ahorros derivados de la mejora del funcionamiento del sistema. Una de las principales características de los buses de campo es una significativa reducción en el cableado necesario para el control de una instalación. Cada célula de proceso sólo requiere un cable para la conexión de los diversos nodos. Se estima que puede ofrecer una reducción de 5 a 1 en los costes de cableado. 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 confiabilidad 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 costes de mantenimiento y el tiempo de parada de la planta. Los buses de campo ofrecen mayor flexibilidad al usuario en el diseño del sistema. Algunos algoritmos y procedimientos de control que con sistemas de comunicación tradicionales debían incluirse en los propios algoritmos de control, radican ahora en los propios dispositivos de campo, simplificando el sistema de control y sus posibles ampliaciones. También hay que tener en cuenta que 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. Con la tecnología de los buses de campo, se permite la comunicación bidireccional entre los dispositivos de campo y los sistemas de control, pero también entre los propios dispositivos de campo. Otra ventaja de los buses de campo es que sólo incluyen 4 capas (Física, Enlace, Aplicación y Usuario), y un conjunto de servicios de administración. El usuario no tiene que preocuparse de las capas de enlace o de aplicación. Sólo necesita saber cual es funcionalidad. Al usuario sólo se le exige tener un conocimiento mínimo de los servicios de administración de la red, ya que parte de la información generada por dichos servicios puede ser necesaria para la reparación de averías en el sistema. De hecho, prácticamente, el usuario sólo debe preocuparse de la capa física y la capa de usuario.

### **Comunicación en el Bus**

Los métodos utilizados en los buses de campo para actualizar los datos de proceso o entrada/salida son:

- ***Strobe:***

Petición de información por parte del maestro (dispositivo de control) y envío desde los dispositivos esclavos ( sensores - actuadores ). Este método es muy eficiente para sensores.

- ***Polling:***

El maestro envía información de salida al dispositivo y éste le responde con la información de entradas.

- ***Cambio de estado:***

El dispositivo no transmite información hasta que se modifica el estado de las variables. Muy eficiente en sistemas discretos.

- **Cíclico:**

El dispositivo envía la información a la red en un intervalo de tiempo prefijado

Además el bus de campo debe incorporar los servicios de comunicación necesarios para los procesos de configuración, programación y test del bus.

**Buses de campo existentes:**

Debido a la falta de estándares, diferentes empresas han desarrollado diferentes soluciones, cada una de ellas con diferentes prestaciones y campos de aplicación. En una primera clasificación podríamos dividirlos en los siguientes grupos:

### **1\_ Buses de alta velocidad y baja funcionalidad**

Diseñados para integrar dispositivos simples como finales de carrera, fotocélulas, relés y actuadores simples, funcionando en aplicaciones de tiempo real, y agrupados en una pequeña zona de la planta, típicamente una máquina. Suelen especificar las capas física y de enlace del modelo OSI, es decir, señales físicas y patrones de bits de las tramas. Algunos ejemplos son:

- CAN: Diseñado originalmente para su aplicación en vehículos.
- SDS: Bus para la integración de sensores y actuadores, basado en CAN
- ASI: Bus serie diseñado por Siemens para la integración de sensores y actuadores.

### **2\_ Buses de alta velocidad y funcionalidad media**

Se basan en el diseño de una capa de enlace para el envío eficiente de bloques de datos de tamaño medio. Estos mensajes permiten que el dispositivo tenga mayor funcionalidad de modo que permite incluir aspectos como la configuración, calibración o programación del dispositivo. Son buses capaces de controlar dispositivos de campo complejos, de forma eficiente y a bajo coste. Normalmente incluyen la especificación completa de la capa de aplicación, lo que significa que se dispone de funciones utilizables desde programas basados en PCs para acceder, cambiar y controlar los diversos dispositivos que constituyen el sistema. Algunos incluyen funciones estándar para distintos tipos de dispositivos (perfiles) que facilitan la interoperabilidad de dispositivos de distintos fabricantes. Algunos ejemplos son:

- DeviceNet: Desarrollado por Allen-Bradley, utiliza como base el bus CAN, e incorpora una capa de aplicación orientada a objetos.
- LONWorks Red desarrollada por Echelon.
- BitBus: Red desarrollada por INTEL.
- DIN MessBus: Estándar alemán de bus de instrumentación, basado en comunicación RS-232.
- InterBus-S: Bus de campo alemán de uso común en aplicaciones medias.

### **3\_ Buses de altas prestaciones**

Son capaces de soportar comunicaciones a nivel de toda la factoría, en muy diversos tipos de aplicaciones. Aunque se basan en buses de alta velocidad, algunos presentan problemas debido a la sobrecarga necesaria para alcanzar las características funcionales y de seguridad que se les exigen. La capa de aplicación oferta un gran número de servicios a la capa de usuario, habitualmente un subconjunto del estándar MMS. Entre sus características incluyen:

- Redes multi-maestro con redundancia.
- Comunicación maestro-esclavo según el esquema pregunta-respuesta.
- Recuperación de datos desde el esclavo con un límite máximo de tiempo
- Capacidad de direccionamiento unicast, multicast y broadcast.
- Petición de servicios a los esclavos basada en eventos.
- Comunicación de variables y bloques de datos orientada a objetos.
- Descarga y ejecución remota de programas.
- Altos niveles de seguridad de la red, opcionalmente con procedimientos de autenticación.
- Conjunto completo de funciones de administración de la red.

Algunos ejemplos son:

- Profibus
- FIP
- Fieldbus Foundation

#### **4\_ Buses para áreas de seguridad intrínseca**

Incluyen modificaciones en la capa física para cumplir con los requisitos específicos de seguridad intrínseca en ambientes con atmósferas explosivas. La seguridad intrínseca es un tipo de protección por la que el aparato en cuestión no tienen posibilidad de provocar una explosión en la atmósfera circundante. Un circuito eléctrico o una parte de un circuito tienen seguridad intrínseca, cuando alguna chispa o efecto térmico en este circuito producidos en las condiciones de prueba establecidas por un estándar (dentro del cual figuran las condiciones de operación normal y de fallo específicas) no puede ocasionar una ignición. Algunos ejemplos son HART, Profibus PA o FIP.

### **5. EJEMPLOS DE ESTUDIO**

#### **5.1 Redes MAP Y TOP**

Para competir con las compañías japonesas fabricantes de automóviles, la General Motors quería establecer una red que cubriera todas sus oficinas, fábricas, distribuidores y proveedores. La idea central era que, cuando un cliente, localizado en cualquier parte del mundo, ordenara un coche al distribuidor, éste le enviara inmediatamente su orden mediante su ordenador conectado a la General Motors. A continuación la compañía notificaría sus necesidades a sus proveedores. Una parte importante de la red de General Motors fue la automatización de la fábrica, en la que todos los robots utilizados en las líneas de ensamblado se conectarían por medio de una LAN. Dado que los coches montados sobre la línea de ensamblado se mueven a una velocidad constante, independientemente de si los robots están listos o no, se determinó que era fundamental tener un límite superior del tiempo de transmisión en el peor caso. Ethernet no dispone de dicha característica, es más un mensaje podría no llegar a enviarse nunca. Se optó por un mecanismo de paso de testigo en bus (IEEE 802.4) en el que las máquinas van pasándose el turno, produciendo así un comportamiento determinista. General Motors y otras compañías con interés en la automatización de fábricas, vieron claramente la necesidad de adoptar protocolos específicos en cada una de las capas OSI para evitar incompatibilidades posteriores. Este trabajo dio origen al Protocolo de Fabricación Automatizada (MAP), el cual fue inicialmente adoptado con rapidez por varias compañías. Aproximadamente por la misma época, la compañía Boeing se interesó en el establecimiento de normas para la automatización de oficinas. Prefirió usar como base la red local Ethernet ya que no le preocupaba un funcionamiento determinista de la misma (los aviones no se fabrican en cadenas de montaje), y Ethernet estaba muy extendida. Sobre esta red local, Boeing desarrolló un conjunto de protocolos orientados a la automatización de oficinas llamado TOP (Protocolo Técnico y de Oficina), que varias compañías también adoptaron para la automatización de sus propias oficinas. Los protocolos son TOP son muy similares a los de redes de oficinas convencionales. Aunque MAP y TOP presentan diferencias en sus capas inferiores, sus impulsores decidieron colaborar para asegurar que las capas de nivel medio y superior fueran totalmente compatibles. Las torres de protocolos de las redes MAP y TOP siguen capa a capa el modelo OSI. La principal diferencia entre ambas redes está en el medio físico y en el control de acceso al medio. Mientras las redes MAP sólo contemplan el uso de paso de testigo en bus de acuerdo con el standard IEEE 802.4, paso de testigo en bus (Token Bus), la red TOP permite tanto el uso de Ethernet (o IEEE 802.3), como de paso de testigo en anillo, Token Ring (IEEE 802.5). El resto de protocolos son



coincidentes. Para la capa de enlace, ambas redes se basan en el protocolo 802.2 (LLC) de control lógico de enlace, operando en el modo sin conexión como un servicio ofrecido a la capa de red. La capa de red utiliza el protocolo ISO 8473, que es muy parecido al protocolo IP. La razón de esta elección es porque con el conocimiento que se tenía sobre la interconexión de redes en ARPA (el origen de Internet), se demostró que el planteamiento datagrama es más flexible y robusto cuando se conectan redes heterogéneas múltiples, que es un aspecto importante para las redes MAP y TOP. La capa de transporte se basa en el protocolo ISO 8073. Se supone que la capa de red no es del todo fiable y gestiona el control de error y de flujo. De esta forma MAP y TOP han podido conectarse a casi cualquier tipo de red, sin importar las deficiencias de éstas. El precio que se paga es la necesidad de tener una capa de transporte complicada para ocuparse del servicio no fiable de la red. Las capas de sesión y presentación utilizan los protocolos ISO 8327 e ISO 8823 respectivamente. Las normas OSI también se utilizan en la capa de aplicación, particularmente el protocolo de transferencia de archivos y el de terminal virtual. En la figura 9 puede verse la pila de protocolos de las redes MAP

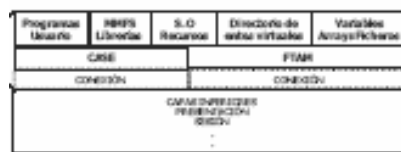


Fig 9 Capa de aplicación protocolo MAP

El protocolo MMPS, especialmente diseñado para aplicaciones industriales, establece un servicio de mensajes entre controladores industriales para realizar las siguientes funciones:

- Acceso a variables
- Manejo de eventos
- Control de ejecución de los programas
- Comunicación con el operario
- Paso de ficheros
- Manejo de recursos comunes
- Acceso al estado de aparatos remotos
- Carga de programas
- Grabación histórica de eventos

En una red MAP, en teoría, todos los nodos llevan implantadas las 7 capas del modelo de referencia OSI.

El grado de complejidad que esto supone y el tiempo necesario para el intercambio de unidades de protocolo de cada capa, ha provocado la aparición de una opción más sencilla, que será estudiada en la sección 5.2.

MAP no cubre el nivel de bus de campo(estación y proceso), lo considera un nivel inferior que se integra en la red mediante dispositivos inteligentes (PLCs, PCs,...).Estos dispositivos dispondrán de una conexión de enlace con MAP directamente o a través de otro dispositivo. El MAP es un protocolo pensado para redes de tipo WAN incluye los niveles de red, transporte, sesión y presentación. Esto le permite el fraccionamiento de paquetes y el encaminamiento de los mismos a través de redes públicas o privadas. Lo que resulta excesivamente costoso y complejo para pequeñas y medianas aplicaciones, sobre todo para la interconexión de pequeños controladores a nivel industrial.

Basada en un bus con transmisión de banda ancha multicanal, que permite interconectar los sistemas de control de planta con las aplicaciones de gestión, oficina, CAD, ordenadores de planta, canales de datos, voz, imágenes, ya sean estos locales o remotos.

#### **Características de la red MAP destacables:**

- Todas las señales se transmiten moduladas en frecuencia
- Ancho de banda de 6 MHZ
- Número de nodos 10000 y distancia entre ellos 10km

## 5.2 Redes MINIMAP

Es el caso de MINI-MAP, que para agilizar las comunicaciones prescinde de las capas 3 a la 6, como puede verse en la figura 10.

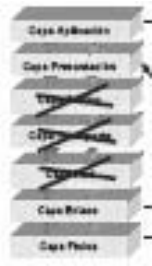


Fig. 10  
Capa de protocolos  
MINIMAP

También se modificaron las capas física y de enlace. En la capa física se prescinde del sistema de transmisión en banda ancha sobre cable coaxial y se pasa a una transmisión en banda portadora, también sobre coaxial, que abarata enormemente el sistema de cableado y sobre todo el interfaz de red que precisa cada dispositivo. Esto permite que pueda ser empleado con elementos de control en tiempo real de bajo coste. En la capa de enlace, en el LLC (control lógico de enlace) se sustituye la norma IEEE 802.2 de tipo 1 por la IEEE 802.2 de tipo 3. Esta última proporciona los servicios de Envío de datos con acuse de recibo y de Petición de datos con respuesta. Esto obliga a una interoperabilidad entre el LLC y el MAC (mecanismo de detección y corrección de colisiones), teniendo este último que incorporar la opción de prioridad de respuesta inmediata. Es decir, la estación que transmite cede (junto con el mensaje que envía) el testigo a la receptora para que esta acuse recibo o responda a la petición de datos de forma inmediata. Esto lógicamente permite minimizar los tiempos de respuesta con el fin de ofrecer un buen servicio en tiempo real.

La capa de aplicación incorpora los mismos servicios MMS que MAP, lo que permite que esta capa se pueda comunicar con una homóloga en una red MAP a través de una pasarela que incorpore las capas que le faltan a MINI-MAP.

La falta de la capa de red impide que haya comunicación extremo a extremo entre nodos que se encuentran en segmentos separados por encaminadores (routers). Esto no plantea ningún inconveniente puesto que elementos que han de trabajar en tiempo real deben conectarse al mismo bus, para evitar las demoras que introducirían los elementos intermedios. Por otro lado, las funciones de la desaparecida capa de transporte son asumidas por el LLC tipo 3 y el mapeado de las funciones entre el LLC y el MMS.

### Topología y estructura lógica

MINIMAP dispone de una topología de bus con un máximo de 64 nodos, pero desde el punto de vista lógico funciona como un anillo. La codificación se realiza por modulación de frecuencia en banda base y la transmisión de tipo síncrono. Cada estación tiene asignada una dirección única e independiente de su situación física, formada por un número de red (0 a 127) más un número de estación (0 a 62). El número de red 0 es para arquitecturas monosegmento y de 1 a 127 para multisegmento (varias MINIMAP integradas en una red MAP).

Al inicializar la red, el testigo se le asigna a la dirección de la estación más alta y el paso de testigo se realiza por orden decreciente de direcciones. Cuando un nodo recibe testigo transmite y pasa el testigo, si no tiene mensajes que transmitir pasa el testigo. El tiempo de posesión del testigo limitado a 800µs.

### Protocolo

La figura 11 muestra la estructura de una trama MINIMAP

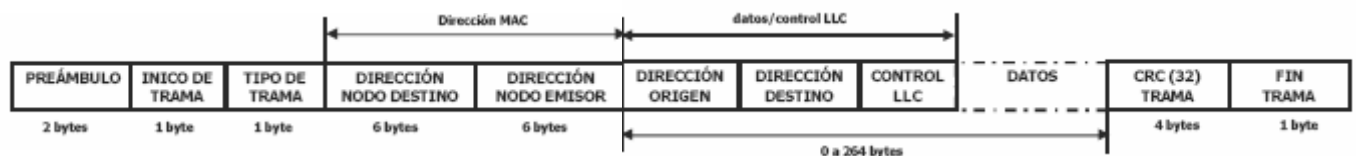


Fig. 11 Estructura de una trama MINIMAP

### Partes Constitutivas:

- **Preámbulo 2 bytes:** 55 Hex secuencia de 0 y 1 que se utiliza para la sincronización y permite localizar el primer bit útil.
- **Inicio trama:** carácter especial que depende de la codificación empleada

- **Tipo de Trama 1 byte:** MAC (Control de acceso al medio) y LLC (control lógico de enlace)
- **Direcciones destino/origen MAC:** 6 bytes indican tipo de mensaje (punto a punto o difundido), los nodos de destino u origen, el número de red y el tipo de servicio (palabras comunes, memoria compartida,...)
- **Datos/control LLC:** Contiene la códigos de registros o áreas de memoria de origen y destino, así como el código de control LLC, que son ya propios de los equipos de origen y destino del mensaje.
- **CRC:** 4 bytes para control de errores
- **Fin de trama:** al menos un bit de error y un bit que marca si es el final de mensaje o se ha interrumpido por límite de tiempo en la posesión del testigo.

Como el acceso a la red es por paso de testigo y este se ejecuta por orden de mayor dirección a menor, en caso de pérdida de testigo o arraque de la red una estación no conoce la dirección de la estación que le precede o le sigue. Para esto existen procedimientos de inicialización y reinicialización los que permiten crear un tabla con esta información en cada estación.

Los procedimientos de inicialización y reinicialización se ejecutarán en los siguientes casos:

- Arranque del sistema
- Eliminación de estaciones en la red
- Pérdida del testigo por error
- Periódicamente para detectar la inserción de nuevas estaciones

El formato de la pila de protocolos de la capa de aplicación es muy similar al del MAP solo que aquí al MMPS se lo denomina MMS y desempeña las mismas tareas que el anterior.

### 5.3 Ethernet Industrial

El protocolo Industrial Ethernet, es una solución abierta estándar para la interconexión de redes industriales que aprovecha los medios físicos y los chips de comunicaciones Ethernet comerciales. Si se tiene en cuenta que la tecnología Ethernet se utiliza desde mediados de los años setenta y su gran aceptación en el mundo, no es de extrañar que Ethernet brinde la mayor comunidad de proveedores del mundo. Al utilizar Ethernet, no solo se sigue con una tendencia tecnológica actual, sino que, además, se posibilita obtener acceso a datos en el nivel de los dispositivos de control mediante Internet.

- Ethernet Industrial es una red abierta que utiliza:
- El estándar de comunicación física y de datos IEEE 802.3
- El conjunto de protocolos TCP/IP
- El protocolo de control e información (CIP)

TCP/IP es el protocolo de nivel de transporte y red de internet y suele estar vinculado con la instalaciones Ethernet y el mundo de los negocios. TCP/IP proporciona una serie de servicios que puede utilizar cualquier pareja de dispositivos para compartir datos. Dado que la tecnología Ethernet y los conjunto de protocolos estándar como TCP/IP han sido proporcionados para uso público, se han producido en forma masiva y pueden conseguirse fácilmente medios físicos y herramientas de software estandarizadas, con lo que puede tenerse las ventajas de una tecnología conocida y una gran facilidad de acceso.

El UDP/IP protocolo de datagrama de usuario) también se utiliza junto con la red Ethernet. Este protocolo proporciona un transporte de datos rápido y eficiente, características necesarias para el intercambio de información en tiempo real.

Para que Ethernet industrial tenga éxito se ha agregado el protocolo CIP al conjunto TCP/UDP/IP con el fin de proporcionar un nivel de aplicaciones común .

Con la introducción de la tecnología de conmutación de Ethernet (switch) y la transmisión de datos full-Duplex, se minimizan las colisiones de datos y el rendimiento en la red aumenta drásticamente.

Por lo general, una red EtherNet utiliza una topología estrella activa en la que los grupos de dispositivos están conectados punto a punto con un conmutador. La ventaja de una topología tipo estrella radica en la compatibilidad con los productos de 10 y 100 Mbps. Puede combinar dispositivos de 10 y 100 Mbps. Y el conmutador EtherNet negociará la velocidad. Asimismo, la topología estrella le ofrece conexiones fáciles de cablear o de depurar, o en las que resulta fácil detectar fallos o llevar a cabo tareas de mantenimiento.

Ethernet Industrial permite cubrir grandes distancias, ya sea a nivel de una LAN: con tecnología de Switching hasta 200 km. O bien extendiéndose a una WAN, en todo el mundo, mediante protocolo TCP/IP.

La tabla 2 muestra un resumen de las características técnicas de Ethernet Industrial.

Estándar	Ethernet según IEEE 802.3
Método de acceso	CSMA/CD (carrier sense multiple access/collision detection)
Velocidad	10/100 Mbit/s - <b>Fast Ethernet</b>
Medio de transferencia	<b>Eléctrico:</b> Cable coaxial doblemente apantallado Par trenzado industrial <b>Óptico:</b> Fibra óptica (cristal)
N. de participantes	Más de 1.000
Tamaño de red (LAN)	Con tecnología de Switching hasta 200 Km
Topología	Línea, estrella, anillo redundante
Aplicaciones	Comunicación de datos y multimedia

Tabla 2

Los dos protocolos más usados son ISO, según normas ISO 8073, y este está optimizado para la transferencia de variables para servicios y observación en tiempo real. Bajo este protocolo resulta difícil de realizar encaminamiento (routing) a través de distintas redes por este motivo se utiliza solo en el ámbito de LAN's.

El otro protocolo utilizado es muy conocido TCP/IP, optimizado para la transferencia de grandes cantidades de datos, y este caso si es más fácil y económico el ruteo entre distintas redes, se utilizan en redes LAN estructuradas y en WAN. Esto permite el uso de tecnologías de información IT, como SNMP (protocolo de administración de redes), http (protocolo de transferencia hipertexto), servicios WEB, etc

Ethernet Industrial ha sido diseñada para gestionar grandes cantidades de datos de transmisión de mensajes, hasta 1500 bytes por paquete. Permite la gestión de grandes volúmenes de datos en modo previsible. Gracias a la gran aceptación de la tecnología EtherNet en los últimos años, el costo por nodo de dispositivos Ethernet está disminuyendo rápidamente.

## 5.4 PROFIBUS

En el año 1987, las firmas alemanas Bosch, Klöckner Möeller y Siemens iniciaron un proyecto de desarrollo de una arquitectura de comunicaciones industriales que permitiera la interconexión de equipos de distintos fabricantes. Esta fue la base de un grupo de trabajo al que se integraron otras grandes empresas tales como ABB, AEG, Landis&Gir, etc., algunas

universidades y organizaciones técnicas estatales, entre ellas la propia VDE y el Ministerio Federal de Investigación Alemán. Se formaron varios grupos de trabajo en distintas áreas, cuya tarea esencial fue la de desarrollar un sistema abierto de comunicaciones apto para integrar desde los sencillos transductores y elementos de campo, pasando por los autómatas y controles numéricos hasta llegar al nivel de los miniordenadores para diseño y gestión de la producción. El primer objetivo fue sólo el diseño de un bus de campo con una estructura abierta y un protocolo compatible que permitiera enlazar con una red adoptada como base en los niveles superiores (MAP). A partir del año 1990 se abrió la posibilidad para cualquier usuario o empresa de integrarse en un consorcio denominado PROFIBUS Nutzerorganisation, que a través de diversos comités sigue desarrollando y dando soporte al nivel de aplicación y certificación de productos. PROFIBUS es actualmente el líder de los sistemas basados en buses de campo en Europa y goza de una aceptación mundial. Sus áreas de aplicación incluyen manufacturación, automatización y generación de procesos. PROFIBUS es un bus de campo normalizado internacional que fue estandarizado bajo la norma EN 50 170. Esto asegura una protección óptima tanto a los clientes como a los vendedores y asegura la independencia de estos últimos. Hoy en día, todos los fabricantes líderes de tecnología de automatización ofrecen interfaces PROFIBUS para sus dispositivos.

#### 5.4.1 Versiones Compatibles

PROFIBUS es un bus de campo standard que soporta un amplio rango de aplicaciones en fabricación, procesado y automatización. Con PROFIBUS los componentes de distintos fabricantes pueden comunicarse sin necesidad de ajustes especiales de interfaces.. Puede ser usado para transmisión crítica en el tiempo de datos a alta velocidad y para tareas de comunicación extensas y complejas. Esta versatilidad viene dada por las tres versiones compatibles que componen la familia PROFIBUS (Figura 12):

##### PROFIBUS PA:

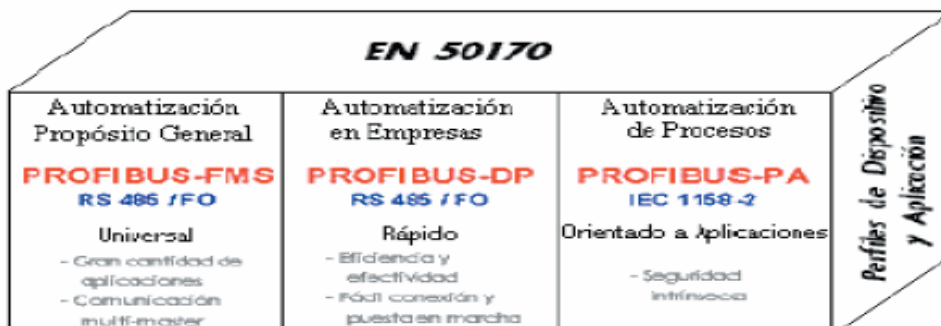
- Diseñado para automatización de procesos.
- Permite la conexión de sensores y actuadores a una línea de bus común incluso en áreas especialmente protegidas.
- Permite la comunicación de datos y energía en el bus mediante el uso de 2 tecnologías (norma IEC 1158-2).

##### PROFIBUS DP:

- Optimizado para alta velocidad.
- Conexiones sencillas y baratas.
- Diseñada especialmente para la comunicación entre los sistemas de control de automatismos y las entradas/salidas distribuidas.

##### PROFIBUS FMS:

- Solución general para tareas de comunicación a nivel de célula.
- Gran rango de aplicaciones y flexibilidad.
- Posibilidad de uso en tareas de comunicación complejas y extensas.



**Figura 12**  
Versiones compatibles de PROFIBUS

Puede decirse sin lugar a dudas que PROFIBUS ha conseguido definir toda una red de comunicación industrial, desde el nivel físico hasta el de aplicación, superando ampliamente los límites de un bus de campo, integrando al máximo las técnicas de comunicación previamente definidas y consolidadas. En la actualidad la estructura es tal que los grupos de los 20 países más industrializados ofrecen un soporte en su idioma para el resto del mundo. Todos los grupos de usuarios se unen bajo la Organización PROFIBUS International (PI), que con más de 750 miembros es la organización de buses de campo más grande del mundo.

### 5.4.2 Estructura de la red

#### Medio físico

La tecnología de transmisión más usada es la RS 485, conocida habitualmente como H2. Su área de aplicación comprende aquellas aplicaciones donde prima su simplicidad, la velocidad de transmisión y lo barato de la instalación. Se usa un par diferencial con cable trenzado, previsto para comunicación semi-duplex, aunque también puede implementarse con fibra óptica y enlaces con estaciones remotas vía módem o vía radio. La velocidad de transmisión varía entre 9.6Kbits/s y 12Mbits/s, dependiendo del medio físico, como se indica en la tabla 3.

Al conectar varias estaciones, hay que comprobar que el cable de las líneas de datos no sea trenzado. El uso de líneas apantalladas es absolutamente esencial para el logro de una alta inmunidad del sistema en ambientes con emisiones altas de electromagnetismo. El apantallamiento se usa para mejorar la compatibilidad electromagnética (CEM).

MEDIO FÍSICO	VELOCIDAD (Kbit/s)				
	9,6-93,75	167,5	500	1500	2000
RS 485 0,5 <sup>2</sup> (24 awg)	1200m	600m	200m	100m	50m
RS 485 0,5 <sup>2</sup> (20 AWG)	2400m	1200m	400m	200m	100m
F.Opt. Cuarzo 622, 5-125mm	1400m	1400m	1400m	1400m	1400m
F.Opt. Plástico					
0-40°C	5-25m	5-25m	5-25m	5-25m	5-25m
0-50°C	10-20m	10-20m	10-20m	10-20m	10-20m

**Tabla 3.** Distancias máximas sin repetidor, según medio físico

#### Elementos del bus

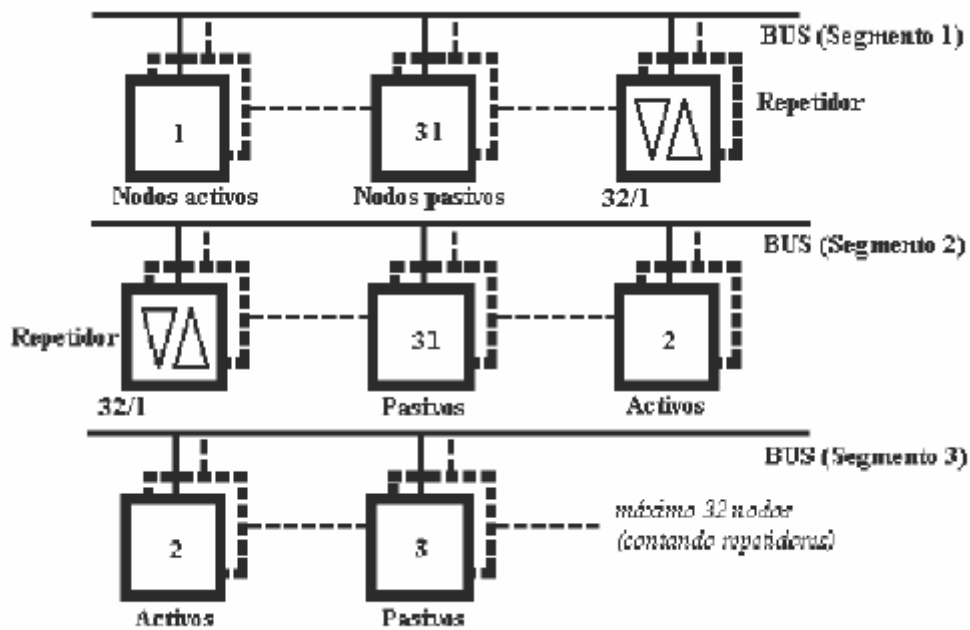
El elemento esencial del bus es el nodo. PROFIBUS prevé la existencia de dos tipos de nodos:

- **Activos:** son nodos que pueden actuar como maestro del bus, tomando enteramente el control del bus.
- **Pasivos:** son nodos 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. Aparte de estos dos tipos de nodos, existen otros dos bloques esenciales en la arquitectura del bus:
- **Expansiones E/S:** este tipo de bloques constituyen la interfaz con las señales de proceso y pueden estar integrados tanto en un nodo activo como en un nodo pasivo.
- **Repetidores:** los repetidores ejecutan el papel de simples transceptores bidireccionables para regenerar la señal.

#### Topología

La topología puede ser simplemente en forma de bus lineal o en forma de árbol, en el que los repetidores constituyen el nudo de partida de una expansión del bus (Figura 13).

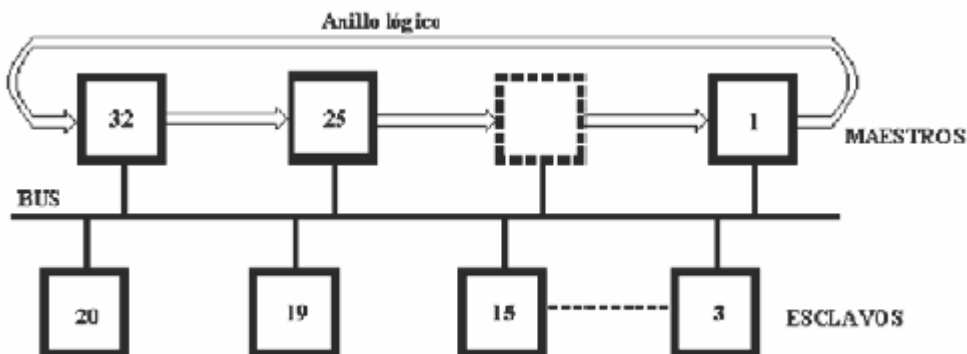
**Fig. 13** Estructura física incluyendo repetidores para expansión del bus



En este caso, la estructura en árbol es puramente una impresión de dibujo, ya que 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. Por tanto, incluso en caso de ramificaciones debe considerarse como un bus único. El número máximo de nodos conectables a cada tramo del bus, sin necesidad de repetidores es de 32. A efectos de esta limitación los propios repetidores cuentan como un nodo. El número máximo de nodos del bus es de 127, de los cuales un máximo de 32 pueden ser nodos activos. 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 esclavos, sea cual sea el maestro activo en cada momento. La Figura 14 ilustra esta estructura.



**Fig. 14** Estructura lógica

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.

### 5.4.3 Tecnología de transmisión

El área de aplicación de un sistema de buses de campo está claramente determinada por la elección de la tecnología de transmisión. Aparte de los requerimientos generales (seguridad de transmisión, distancia de la misma, velocidad) cobran particular importancia los factores electromecánicos. Cuando se mezclan aplicaciones para automatización de procesos, los datos y la energía deben ser transmitidos en un cable común. Como es imposible satisfacer todos los requerimientos con una tecnología de transmisión sencilla, PROFIBUS aprovecha 3 variaciones:

#### RS 485 (Transmisión para DP/FMS)

Es la transmisión más frecuentemente utilizada por PROFIBUS. Esta tecnología de transmisión es conocida como H2. Su área de aplicación incluye todas las áreas en las que se requieren alta velocidad de transmisión y una instalación sencilla. Tiene la ventaja de que posibles ampliaciones no influyen en las estaciones que se encuentran ya en operación.

Algunas de sus características son:

- Velocidad de transmisión de 9.6 Kbit/seg. a 12 Mbit/seg. Se seleccionará una para todos los dispositivos.
- La estructura de la red es linear, con par trenzado.
- Conexión máxima de 32 estaciones sin repetidor (127 con repetidor).
- Longitud máxima del cable dependiente de la velocidad de transmisión.

**Tabla 4.** Distancias basadas en la velocidad de transmisión

<i>V.Baudios (kbit/s)</i>	9,6	19,2	93,75	187,5	500	1500	2000
<i>Distancia</i>	1200m	1200m	1200m	1000m	400m	200m	100m

En la conexión, es conveniente tener en cuenta algunas precauciones, de las que son destacables:

- Se recomienda el uso de líneas de datos escudadas para mejorar la compatibilidad electromagnética (EMC).
- Se recomienda mantener las líneas de datos separadas de los cables de alto voltaje.

#### IEC 1158-2 (Transmisión PROFIBUS PA)

La tecnología de transmisión IEC 1158-2 cumple los requerimientos de las industrias químicas y petroquímicas.

Posee una seguridad intrínseca y permite a los dispositivos de campo ser conectados al bus. Es una tecnología principalmente usada por PROFIBUS PA y suele conocerse como H1.

- La transmisión se basa en los siguientes principios:
- Cada segmento tiene sólo una fuente de energía.
- No se produce ningún tipo de alimentación cuando una estación está enviando datos.
- Los dispositivos actúan como sumideros pasivos de corriente.



- Se permiten redes con estructura linear, en árbol y estrella.
- Para incrementar la fiabilidad, se pueden diseñar segmentos de bus redundantes.

Las características más importantes de este tipo de transmisión son:

- Transmisión de datos digital, asíncrona, codificación Manchester.
- Velocidad de transmisión 31.25 kbit/seg.
- Seguridad de los datos: prueba de error al principio y al final.
- Cable de dos líneas trenzadas.
- Opción de alimentación a distancia.
- Conexión de 32 estaciones por segmento (máximo de 126 con repetidor).
- Posibilidad de expansión hasta a 4 repetidores.
- La estructura de la red es linear, en árbol o una combinación de ambas.

### FIBRA ÓPTICA.

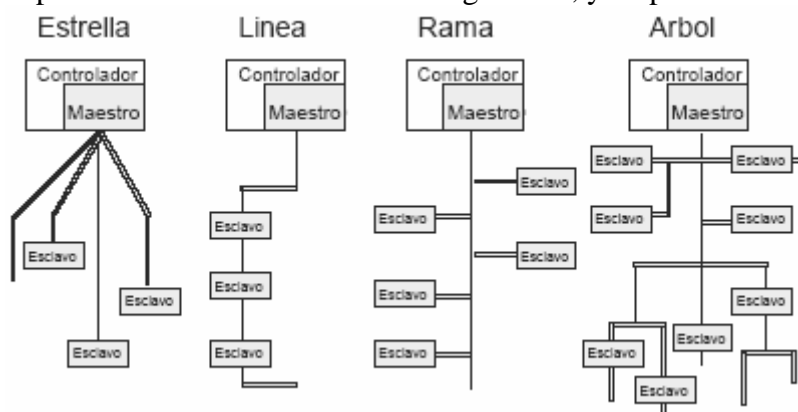
Los conductores por fibra óptica pueden ser usados para aplicaciones PROFIBUS en ambientes con interferencias electromagnéticas muy altas y para incrementar la distancia máxima con velocidades elevadas. Hay disponibles dos tipos de conductores. Los conductores por fibra óptica (plástico) para distancias de 50m. o los conductores por fibra óptica (cuarzo) para distancias de 1Km. Son muy baratos. Muchos fabricantes ofrecen conexiones especiales

que posibilitan una conversión integrada de señales RS 485 para trabajar con conductores de fibra óptica y viceversa. Esto proporciona un método muy sencillo de intercambio entre transmisión RS 485 y transmisión por fibra óptica en un mismo sistema

## 5.5 AS-I: AKTUATOR SENSOR INTERFACE

AS-i es un bus de campo desarrollado inicialmente por Siemens, para la interconexión de actuadores y sensores binarios. Actualmente está recogido por el estándar IEC TG 17B.

A nivel físico, la red puede adoptar cualquier tipo de topología: estructura en bus, en árbol, en estrella o en anillo, como muestra la figura 15. Permite la interconexión de un máximo de 31 esclavos. La longitud máxima de cada segmento es de 100 metros. Dispone de repetidores que permiten la unión de hasta tres segmentos, y de puentes hacia redes Profibus.

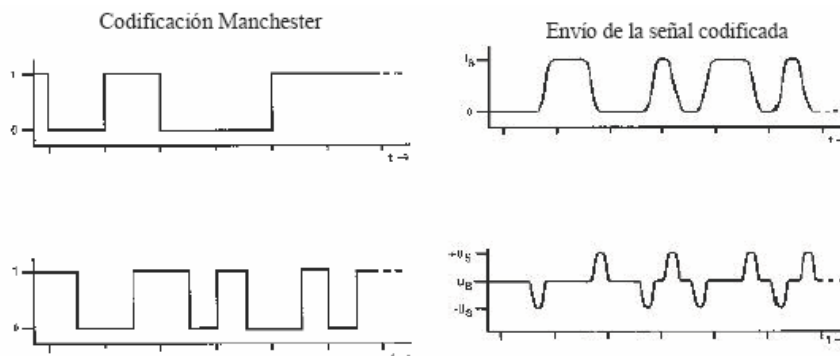


**Fig. 15**  
Arquitecturas AS-I

Como medio físico de transmisión, emplea un único cable que permite tanto la transmisión de datos como la alimentación de los dispositivos conectados a la red. Su diseño evita errores de polaridad al conectar nuevos dispositivos a la red. La incorporación o eliminación de elementos de la red no requiere la modificación del cable.

El cable consta de dos hilos sin apantallamiento. Para lograr inmunidad al ruido, la transmisión se hace basándose en una codificación Manchester. La señal con la codificación Manchester se traduce en pulsos de corriente, que producen pulsos positivos y negativos en la tensión de alimentación, que indican las transiciones en la señal. A partir de la detección de dichas transiciones se reconstruye la secuencia de bits transmitida, como muestra la figura 16.

Fig. 16 Codificación de la información en el bus AS-i



Cada esclavo dispone de hasta 4 entradas/salidas, lo que hace que la red pueda controlar hasta 124 E/S digitales. La comunicación sigue un esquema maestro -esclavo, en la cual el maestro interroga a las estaciones enviándoles mensajes (llamados telegramas) de 14 bits y el esclavo responde con un mensaje de 7 bits. La duración de cada ciclo pregunta- respuesta es de 150  $\mu$ s. En cada ciclo de comunicación se deben consultar todos los esclavos, añadiendo dos ciclos extras para operaciones de administración del bus (detección de fallos). El resultado es un tiempo de ciclo máximo de 5ms. Como muestra la figura 17

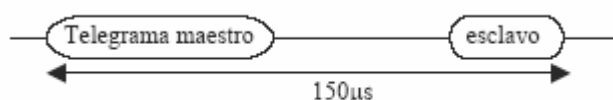


Fig. 17 Comunicación maestro -esclavo

Los telegramas tienen un formato sencillo, como muestra la figura 18

St	SB	A4	A3	A2	A1	A0	I4	I3	I2	I1	I0	PB	EB
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

St: bit de start. 0 indica comienzo de la trama.

SB: Tipo de telegrama. 0 indica trama de datos y 1 indica trama de comandos

A0...A4: Dirección del esclavo I0...I4: Información

PB: Bit de paridad EB: Bit de fin

El esclavo responde con un telegrama de 7 bits de la forma:

St	I3	I2	I1	I0	PB	EB
----	----	----	----	----	----	----

St: bit de start. 0 indica comienzo de la trama.

I0...I3: Información

PB: Bit de paridad

EB: Bit de fin

Fig. 18

Formatos de los telegramas AS-I

## 5.6 INTERBUS

INTERBUS es un bus de campo para la interconexión de sensores y actuadores. Las partes claves de INTERBUS han sido estandarizadas en Alemania por la DKE (Deutsche Elektrotechnische Kommission para DIN y VDE).

INTERBUS se basa en un esquema maestro-esclavo, El maestro del bus actúa simultáneamente como interfaz con los niveles superiores de la jerarquía de comunicaciones. La topología es de anillo, es decir, todos los dispositivos están conectados formando un camino cerrado. El anillo principal es el que parte del maestro, aunque pueden formarse otros anillos para adaptarse a la estructura particular de cada sistema. Este tipo de conexiones se lleva a cabo mediante unos equipos denominados módulos terminadores de bus.

Un rasgo distintivo de INTERBUS es que las líneas de envío y recepción de datos están contenidas dentro de un mismo cable que une todos los dispositivos. De esta forma, el sistema

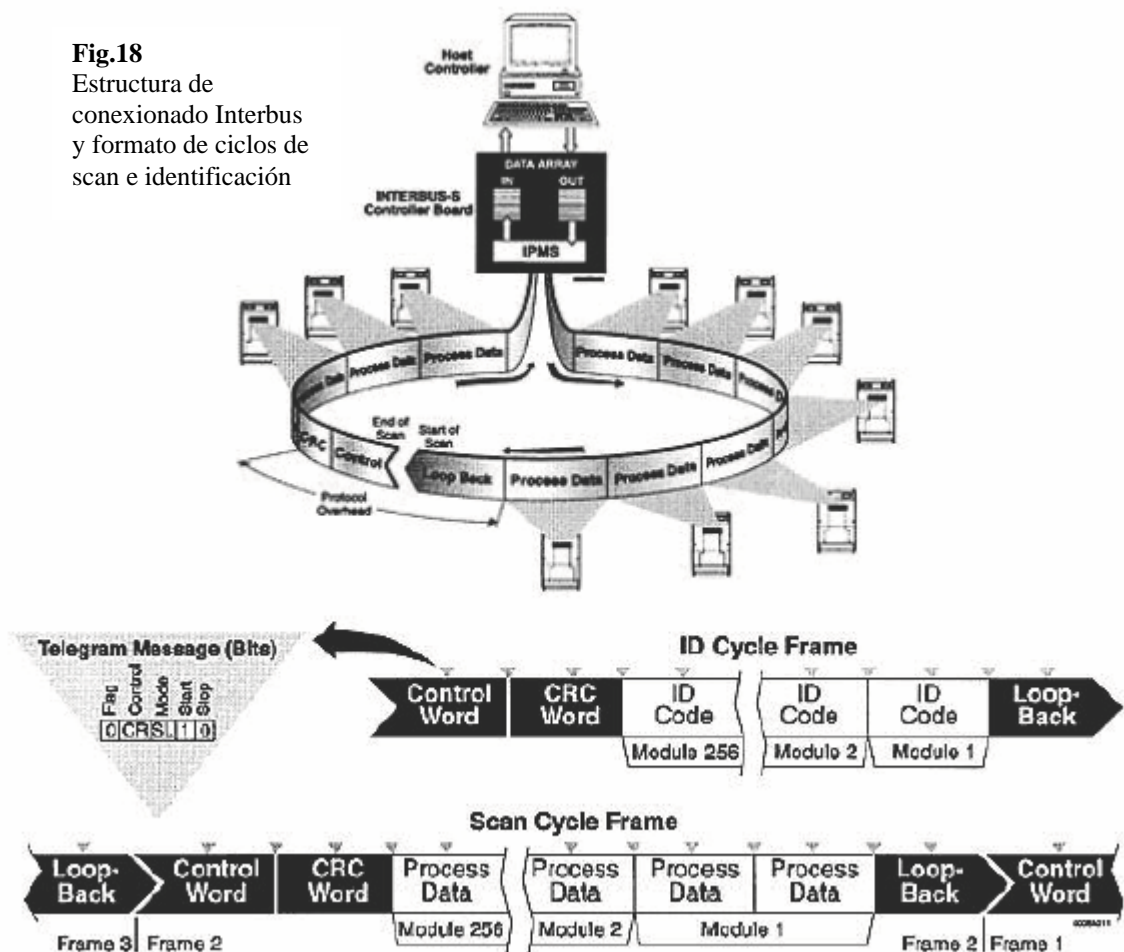
tiene el aspecto físico de un bus o un árbol. Típicamente, la capa física se basa en el estándar RS-485. Debido a la estructura de anillo y a que es necesario transportar la masa de las señales lógicas, INTERBUS requiere un cable de cinco hilos para interconectar dos estaciones. Con velocidades de transmisión de 500 Kbits, pueden alcanzarse distancias de hasta 400 m entre dispositivos. Cada dispositivo incorpora una función de repetidor que permite extender el sistema hasta una longitud total de 13 Km. Para facilitar el funcionamiento de INTERBUS, el número máximo de estaciones está limitado a 512.

La estructura punto a punto de INTERBUS y su división en anillo principal y subanillos es ideal para la incorporación de distintos medios de transmisión en distintas zonas de la planta si esto fuese necesario. La estructura de anillo ofrece dos ventajas. La primera es que permite el envío y recepción simultánea de datos (full duplex). En segundo lugar, la capacidad de autodiagnóstico del sistema se ve mejorada, ya que la conexión de cada nodo a la red es activa. INTERBUS permite la detección preventiva de errores por medio de una evaluación estadística de la calidad de las transmisiones. La determinación de la frecuencia de los errores de transmisión permite prever la aparición de fallo en un componente de la red.

Para facilitar la detección de errores y la puesta en marcha del sistema, INTERBUS permite la desconexión transparente de los subanillos conectados al anillo principal. El direccionamiento se basa en la posición física de cada sistema dentro del anillo, aunque opcionalmente se dispone de la posibilidad del empleo de direcciones lógicas para acceder a dispositivos individuales independientemente de su posición.

**Fig.18**

Estructura de  
conexión Interbus  
y formato de ciclos de  
scan e identificación



El protocolo de transmisión de INTERBUS se estructura en tres capas que se corresponden con capas del modelo OSI. La capa 1 es la capa física. Especifica aspectos

como la velocidad, modos de codificación de la señal física, etc. La capa 2 se corresponde con la capa de enlace. Garantiza la integridad de los datos y permite el soporte de dos tipos de datos, por una parte los datos correspondientes a procesos cíclicos, y por otra parte datos que aparecen asíncronamente. La capa de enlace es determinista, es decir, garantiza un tiempo máximo para el transporte de datos entre dispositivos. El control de acceso al medio se encuadra dentro de los mecanismo TDMA (Time Division Multiple Access), eliminando así la posibilidad de colisiones. Cada dispositivo tiene reservado un slot de tiempo adecuado para su función dentro del sistema. El tiempo de ciclo es la suma de los tiempos asignados a cada dispositivo. Pueden definirse slots adicionales para la transmisión de bloques de datos en modo conexión. De esta forma pueden enviarse grandes bloques de datos a través de INTERBUS, sin alterar el tiempo de ciclo para los datos de proceso. Otra ventaja importante que incorpora este tipo de control de acceso al medio, es que todos los elementos insertan sus datos en el bus simultáneamente, lo que garantiza que las mediciones en las que se basan los bucles de control, fueron realizadas simultáneamente.

Este mecanismo también reduce la sobrecarga con información correspondiente al protocolo, con lo que la eficiencia que se alcanza es alta.

La trama se forma por concatenación de los datos de cada estación. De forma física se realiza mediante un registro. Cada dispositivo se une al anillo mediante un registro cuya longitud depende de la cantidad de información que debe transmitir. Los datos provenientes de las distintas estaciones van llegando al master en función de su posición dentro del anillo. Cada ciclo de transmisión comienza con una secuencia de datos que contiene la palabra de loopback seguida de los datos de salida de los distintos dispositivos, en la línea de salida. Durante el envío de datos, el flujo de retorno entra el maestro como flujo de entrada. Tras el envío de la trama completa, se envía un CRC de 32 bits. Debido a la estructura de conexiones punto a punto, el cálculo siempre se hace entre cada dos nodos, por lo que no es necesario dar una vuelta completa al anillo. Por último se envía una palabra de control para indicar el estado de cada dispositivo (detección de errores de transmisión, etc.). Si no hubo errores comienza un nuevo ciclo, como se ve en el esquema de la figura 18.

Además de los ciclos de datos, también hay ciclos de identificación. Este ciclo permite la administración del bus. Cada dispositivo tiene un código de identificación que indica el tipo de dispositivo de que se trata, y el tamaño de su bloque de datos. La configuración del bus se lleva a cabo por una secuencia de ciclos de identificación en los que el maestro comienza a leer en orden, la identificación de los dispositivos conectados. En función de estas lecturas se configura la trama que circulará en el ciclo de datos. Desde el punto de vista físico INTERBUS funciona según un procedimiento asíncrono de arranque y parada. Se envía una cabecera que contiene información adicional como por ejemplo los delimitadores de trama, código de función y tipo de mensaje, junto con ocho bits de datos adicionales. Los momentos de inactividad se ocupan con mensajes de estado. No contienen datos de la capa de enlace y sólo sirven para garantizar una actividad permanente en el medio de transmisión. Si dicha actividad se interrumpe durante más de 20 ms, se interpreta por todos los dispositivos como una caída del sistema. En respuesta a esta situación, los dispositivos se desconectan de la red y van a un punto seguro definido con antelación.

La tercera de las capas de INTERBUS corresponde la capa de aplicación.

En el maestro se ejecuta de forma cíclica un programa que actualiza continuamente los datos correspondientes a los distintos procesos conectados a la red, y los deja accesibles para el sistema de control, de modo que por ejemplo un PLC puede acceder a ellos de forma sencilla mediante instrucciones de entrada/salida. El uso de técnicas de acceso directo a memoria evita el uso de servicios que necesitan grandes bloques de datos, lo que facilita la consecución del tiempo real. El acceso desde ordenadores se realiza mediante drivers.

INTERBUS implementa en la capa de aplicación un subconjunto de servicios basados en MMS que se denomina PMS (Peripherals Message Specification). Incluye unos 25 servicios

que permiten la comunicación con dispositivos de proceso inteligentes. Estos servicios permiten por ejemplo el establecimiento y monitorización de conexiones, lectura y escritura de parámetros o la ejecución remota de programas.

## 5.7 CAN: CONTROLLER AREA NETWORKING

CAN es un bus de comunicaciones serie estandarizado por ISO, que fue desarrollado inicialmente a finales de los 80 para la industria del automóvil. En su especificación básica, se exigía alta velocidad, alta inmunidad al ruido y capacidad para la detección de cualquier tipo de error. Con el tiempo, CAN ha pasado de la industria automovilística a la fabricación y a la industria aeronáutica.

Los protocolos definidos por CAN se ajustan a la especificación OSI. CAN define sólo las dos capas más bajas: física y de enlace. Otras redes como SDS o DeviceNet proporcionan especificaciones de la capa de aplicación sobre la base de CAN.

El medio físico consiste en un cable de par trenzado con los terminadores adecuados. En la especificación básica de CAN, la velocidad máxima de transmisión es de 250 Kbps, mientras que en la versión ampliada alcanza velocidades de 1 Mbps.

La implementación básica de CAN presenta un fuerte acoplamiento entre la CPU y el controlador CAN (que implementa los protocolos de capa física y de enlace). Los mensajes son difundidos por toda la red y son comprobados por la CPU de cada una de las estaciones que la forman. Este tipo de funcionamiento disminuye el aprovechamiento de la velocidad de transmisión de la red. En la versión conocida como "Full CAN", el controlador de red incorpora un filtro de selección de mensajes en base a un campo de identificación. De esa forma la CPU sólo recibirá aquellos mensajes que le interesen. Philips es el principal líder de la versión básica de CAN, mientras que Intel y Siemens lideran la versión completa.

Full CAN permite dos tamaños distintos de identificadores de mensajes: la versión A permite identificadores de 11 bits (2032 identificadores) figura 19, mientras que la versión extendida (B) tiene identificadores de 29 bits, figura 20 .

La capa de enlace define el formato y la temporización usada para la transmisión de los mensajes. Las tramas CAN tiene dos bytes descriptores y hasta 8 bytes de datos. Los descriptores definen la prioridad de los mensajes y su tipo. El primer campo, o campo de arbitraje está formado por los 11 bits del identificador (en tramas tipo A) y el bit RTR. Si RTR vale 0, indica que se trata de una trama de datos, mientras que si vale 1 indica que se trata de una petición de datos. En ese caso, el campo de datos indicará los bytes que formarán la respuesta.

Fig. 19: Trama tipo A

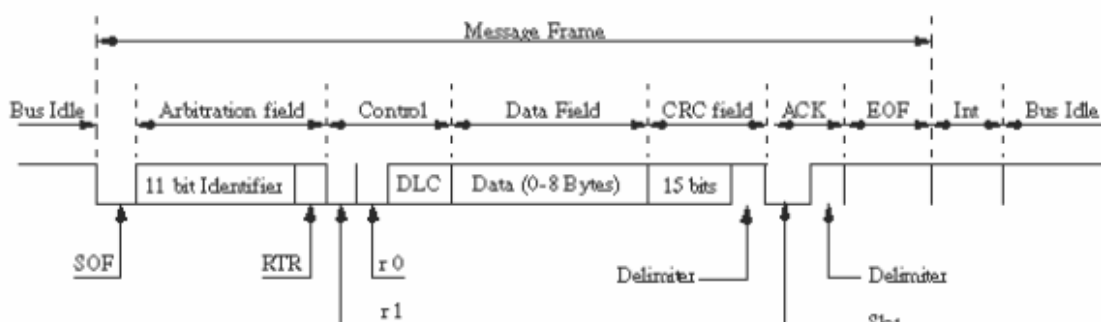
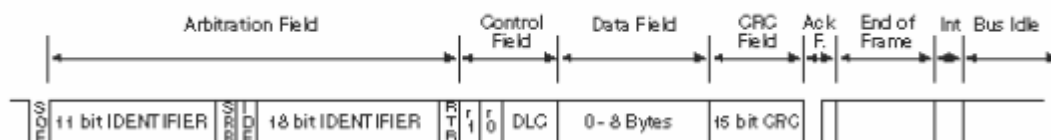


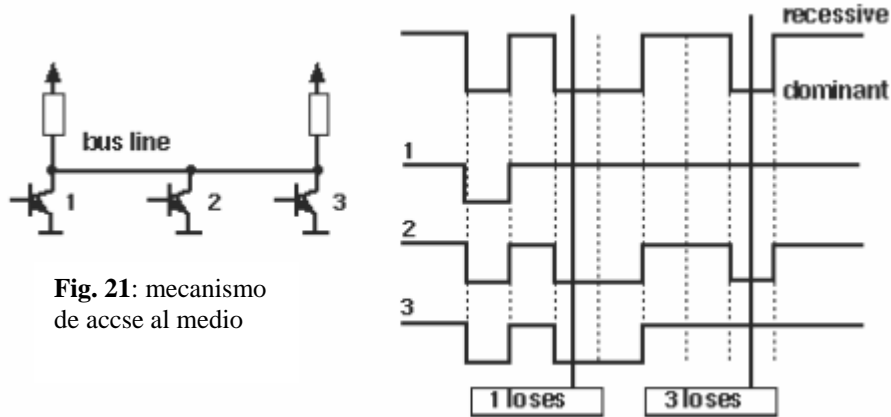
Fig. 20: Trama tipo B



El campo de control está formado por 6 bits. Los bits r1 y r0 están reservados para futuras ampliaciones del protocolo. Los cuatro bits que forman el DLC indican el número de bytes que forman la trama de datos y que van a continuación.

El campo de datos contiene de cero a ocho bytes. El bit más significativo de cada byte es el primero que se transmite. A continuación hay un campo de CRC, que contiene un código de redundancia cíclica de 15 bits y un bit delimitador que siempre vale 1. El campo de acuse de recibo consiste en dos bits. El primer bit se envía a 1 y es puesto a cero por las estaciones que reciben correctamente el mensaje. El segundo es un bit delimitador que vale 1. El delimitador de final de trama consiste en 7 bits a 1. Tras cada trama hay un período de tres bits (deben estar a 1), destinado a dar un tiempo mínimo a las estaciones a prepararse para la recepción o envío de otro mensaje.

Las tramas de tipo B se diferencian en el campo de arbitraje. En este caso hay un primer grupo de 11 bits similar al de las tramas de tipo A, y que actúa como valor base del identificador. La segunda parte del identificador (18 bits) es la extensión del identificador. Para distinguir ambos formatos, la trama tipo B incorpora dos bits que separan los dos trozos del identificador. El primero es el bit SRR (Substitute Remote Request). Se envía siempre a 1 para dar prioridad a las tramas de datos estándar de tipo A con el mismo identificador base. El bit IDE que sigue al bit SRR se envía siempre a 1, y permite distinguir tramas tipo A y tipo B.



**Fig. 21:** mecanismo de acceso al medio

Una característica fundamental de CAN es que cuanto menor sea el identificador del mensaje mayor es su prioridad. Si dos nodos intentan transmitir simultáneamente, el primero que envíe un cero cuando el otro intente enviar un 1 obtendrá el acceso al medio, ya que el valor cero es dominante frente al valor 1. Como cada estación es capaz de monitorizar el medio físico, podrá detectar si su trama ha sido sobrescrita por otra de mayor prioridad (que permanece inalterada). La estación que no ha podido enviar el mensaje, reintentará el envío en cuanto detecte un período de inactividad, como puede verse en la figura 21. Las ventajas de este mecanismo de acceso son la minimización del retardo en el acceso al no tener que esperar por el turno como sucede en un sistema de paso de testigo, y la mejora de la eficiencia al evitar las colisiones destructivas. Los mensajes son enviados por orden de prioridad.

Un bus CAN puede tener un máximo de 32 nodos. El número de mensajes por segundo varía entre 2000 y 5000 en un bus de 250 Kbps, según el número de bytes por mensaje. Aunque se ha dicho que CAN se basa en un medio físico de par trenzado, también existen interfaces para la conexión mediante fibra óptica. El método más común es el par trenzado, de modo que las señales se envían mediante una diferencia de tensión entre los dos hilos. Los hilos reciben los nombres de CAN\_H y CAN\_L, y en estado inactivo la diferencia de tensión entre ambos es de 2.5 V. Un '1' se envía colocando CAN\_H a más tensión que CAN\_L, mientras que un cero se envía colocando CAN\_L a más tensión que CAN\_H. El uso de tensiones diferenciales permite el uso de CAN incluso si una de las líneas está dañada, o en ambientes muy ruidosos.

## 5.8 Comparación de los casos estudiados

Para finalizar la sección 5 se presenta la tabla 4 donde se muestra en forma resumida los parámetros más importantes de las distintas redes de comunicación de sistemas de control estudiadas.

Parámetro/Tipo red	Bus de sensor AS-I	Ethernet	PROFIBUS			CAN	Interbus
			DP	FMS	PA		
Tasa de transmisión	167 kB	10/100MB	Hasta 1.5 MB y 12 MB	500 kB	31.25 kB	Hasta 1 MB	500 kB
Comunicación	Master/Slave	Master/Slave Peer to Peer	Master/Master y Master/Slave con Token Peer to Peer			Producer/ Consumer, Peer to Peer	Master/Slave
Acceso a la red	Polling cíclico	CSMA/CD	Polling cíclico/ aciclico		Token Passing	CSMA/CD/ NDA	Ninguno
Medio de transmisión	Par trenzado	Cable Coaxial/ Par trenzado	Par trenzado/ Fibra óptica			Par trenzado/ Fibra óptica	Par trenzado/ Fibra óptic
Cantidad máx. de nodos	31 por Red	400 por segmento	127 por segmento	14400 por Segmento		2048	256 estaciones
Seguridad intrínseca	No	NO	No			No	No
Alimentación por Bus	Si	NO	No			No	No
Normativa (s) aplicable (s)	IEC947-5-2/D EN 60 947 DIN VDE D660/208	IEE802.3 ISO 8802.3	EN 50170 (parte 2) DIN 19245			ISO 11898	DIN E 19258 pr(EN 50254)

Tabla 5

## 6 CONCLUSIONES

A lo largo de la presente monografía se pudo observar en primer lugar la ventaja que presenta los sistemas de control distribuidos frente a los centralizados ya que los distribuidos permite la ejecución de rutinas de control en paralelo, ejecutadas por algún controlador inteligente (PC/PLC o microcontrolador). También se pudo observar que las características de las características especiales que deben tener los protocolos de comunicación para el uso en el control donde generalmente se usa solo 3 o 4 capas, según el caso, del clásico modelos de 7 capas de OSI (Física, Enlace , Presentación y Aplicación ), para acotar los tiempos se intercambio de mensajes entre equipos.

También pudo verse que al igual que en los sistemas distribuidos de computadoras, cuando el volumen de información intercambiada es grande y no se requiere una respuesta en tiempo real o cuasi real las tramas intercambiadas son de mayor tamaño. En cambio cuando es crítico el tiempo de entrega de un paquete de información el protocolo debe trabajar con tramas pequeñas sin ser crucial el control de errores y estas.

Siempre en este trabajo se trató de ser abstracto en las explicaciones de las distintas tecnologías existentes, cosa que resultó muy difícil ya que si bien del tema existe infinidad de información, esta es específica de cada fabricante, y no existe muchas normas de aplicación general sobre protocolos de comunicación. Si bien esto puede verse con claridad que todos los fabricantes apuntan a darles a sus productos características propias de los sistemas distribuidos como:

- **Escalabilidad**, que implica la posibilidad de ampliarlo sin dificultades, y a voluntad, sin que esto signifique algún perjuicio para la estructura preinstalada.
- **Apertura** : Software y hardware que permitan interconexiones de distintos proveedores y soluciones particulares para cada caso.
- **Concurrencia**: básicamente que se pueda realizar rutinas de control simultáneamente en toda la planta.
- **Tolerancia a fallas**, con la inclusión de redundancia de comunicación y operativa de modo que ni el control ni la comunicación entre equipos fallen o reduciendo al mínimo esta posibilidad.

## 7 BIBLIOGRAFÍA

- [1] “**The Measurement and Automation**” catalog 2004 National Instruments
- [2] Revista “**Instrumentación y Control Automático**” n° 122
- [3] “**EtherNet/IP**” Rockwell automation Noviembre 2000
- [4] “**NetLinx**” Rockwell automation Noviembre 2002
- [5] “**Latinoamericana Advance**” Siemens 2004
- [6] “**Sistemas De Control**” Carmen D'Sousa [www.monografias.com](http://www.monografias.com)
- [7] “**Tecnologías y actividades de estandarización para la interconexión de Industrial Networks**” Alcatel para Fundación AUNA
- [8] “**Comunicaciones Industriales**” Autores: V.Sempere, J. Silvestre, J.A. Martínez  
Editorial : SPUPV (SPUPV-2002.213) Año:2002