

INTEROPERATIVIDAD ENTRE FIELDBUS Y ETHERNET

**JOSÉ ALBERTO ALARCÓN AHUMADA
BETTY GINA BAUTISTA RUIZ**

**DIRECTOR
JAIME TADEO ARCILA IRIARTE**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.**

2007

INTEROPERATIVIDAD ENTRE FIELDBUS Y ETHERNET

**JOSÉ ALBERTO ALARCÓN AHUMADA
BETTY GINA BAUTISTA RUIZ**

**Trabajo de monografía presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero Mecatrónico**

**DIRECTOR
JAIME TADEO ARCILA IRIARTE
INGENIERO ELECTRICISTA
MAGISTER EN AUTOMATIZACIÓN E INFORMÁTICA INDUSTRIAL**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.**

2007

Artículo 107

La Universidad Tecnológica de Bolívar se reserva el derecho de propiedad de los trabajos de grado aprobados y no pueden ser explotados comercialmente sin autorización.

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Cartagena, Abril de 2007

Cartagena D. T. Y C., Abril de 2007

Señores

COMITÉ DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS

Programa de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

La ciudad

Respetados señores:

Con toda atención nos dirigimos a ustedes con el fin de presentarles a su consideración, estudio y aprobación la monografía titulada INTEROPERATIVIDAD ENTRE FIELDBUS Y ETHERNET como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Mecatrónico

Atentamente

José Alberto Alarcón Ahumada

Betty Gina Bautista Ruiz

Cartagena D. T. Y C., Abril de 2007

Señores

COMITÉ DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS

Programa de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

La ciudad

Cordial saludo:

A través de la presente me permito entregar la monografía titulada INTEROPERATIVIDAD ENTRE FIELDBUS Y ETHERNET para su estudio y evaluación que fue realizada por los estudiantes JOSÉ ALBERTO ALARCÓN AHUMADA y BETTY GINA BAUTISTA RUIZ, de la cual acepto ser su director.

Atentamente,

JAIME TADEO ARCILA IRIARTE

ING. Electricista, Magíster en Automatización e Informática Industrial

AUTORIZACIÓN

Nosotros JOSÉ ALBERTO ALARCÓN AHUMADA y BETTY GINA BAUTISTA RUIZ, identificados con Cédula de Ciudadanía número 73.202.549 de Cartagena y 32.938.823 de Cartagena respectivamente, autorizamos a la **Universidad Tecnológica de Bolívar** para hacer uso de nuestro trabajo de grado y publicarlo en el catálogo on-line de la biblioteca.

José Alberto Alarcón Ahumada

Betty Gina Bautista Ruiz

Agradecimientos

*Agradezco infinitamente a Dios por las bendiciones y oportunidades que me ha dado,
A mis padres Martha Cecilia y José Joaquín por el amor, la confianza y el apoyo
brindado en cada momento de mi vida, y por los sacrificios que han tenido que pasar
en pro de mi bienestar y el de la familia.*

A mis hermanos Nayib y Jaifa por su apoyo y comprensión.

*A mi novia Betty Gina con la cual he compartido gran parte de mi formación académica y personal
y quien con su amor, ternura y tenacidad ha marcado mi vida de manera muy especial.*

*A todas las demás personas que de una u otra manera han contribuido
en mi formación profesional y personal
en especial a Oscar Segunda Acuña y al grupo de profesores de la facultad de eléctrica y electrónica
quienes siempre me han ayudado con la mayor disposición.*

José Alberto Alarcón Ahumada

Agradecimientos

*Doy gracias a Dios por todo lo que me ha dado,
A mis Padres por su apoyo incondicional
que me brindan las 24 horas del día,
A mi novio, José Alberto que me acompañó
En la realización de este trabajo y fue un soporte
durante gran parte de mi carrera profesional.
A todos mis profesores,
pero muy especialmente a Oscar Acuña,
Jaime Arcila y William Cuadrado
que estuvieron siempre en la mejor
disposición de ayudarme e influyeron
de manera muy importante en mi
formación profesional.*

Betty Gina Bautista Ruiz

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	20
1. TECNOLOGIAS DE BUSES DE CAMPO	25
1.1. MODBUS	26
1.1.1. Transacciones en las Redes de MODBUS	27
1.1.2. Modos de Transmisión Serial	28
1.2. ASI (Actuador Sensor Interface)	29
1.2.1. Capa física	29
1.2.2. Métodos de Comunicación	30
1.3. PROFIBUS	32
1.3.1. Profibus DP (Decentralized Periphery)	32
1.3.2. Profibus FMS (Fieldbus Message Specification)	33
1.3.3. Profibus PA (Process Automation)	34
1.3.4. Control de acceso al medio	35
1.4. HART (Highway Addressable Remote Transducer)	35
1.4.1. Fundamento tecnológico de HART	35
1.4.2. Métodos para la comunicación	37
1.4.3. Comandos en HART	39
1.5. FOUNDATION FIELDBUS H1	39
1.5.1. Características	40
2. FIELDBUS FOUNDATION	45
2.1. ¿Qué es Fieldbus Foundation?	45
2.2. ¿Qué es Foundation Fieldbus?	46
2.3. Historia de Fieldbus Foundation	47
2.4. Foundation Fieldbus H1	49

2.4.1.	Capa Física	50
2.4.2.	Pila de Comunicaciones	51
2.4.3.	Aplicación de usuario	54
2.4.3.1.	Fieldbus Access Sublayer (FAS).....	54
2.4.3.2.	Fieldbus Message Specification (FMS)	55
3.	ETHERNET	62
3.1.	¿Qué es Ethernet?	62
3.2.	Historia de Ethernet	62
3.3.	Descripción de Ethernet	63
3.3.1.	Estándares definidos para los tipos de Ethernet	64
3.3.1.1.	Estándares para Ethernet	64
3.3.1.2.	Estándares para Fast Ethernet.....	65
3.3.1.3.	Estándares para Gigabit Ethernet	66
3.4.	Principios de Operación de Ethernet	67
3.4.1.	Trama Ethernet.....	68
3.4.2.	Topologías de Ethernet	69
3.4.2.1.	Topología Bus	70
3.4.2.2.	Topología Estrella	71
4.	INTEROPERATIVIDAD ENTRE FIELDBUS Y ETHERNET	73
4.1.	¿Qué es interoperatividad?	73
4.2.	Ethernet en la Industria del Control	73
4.2.1.	Limitaciones	74
4.2.1.1.	Limitaciones Generales	74
4.2.1.2.	Robustez Física y Cableado.....	75
4.2.1.3.	Falta de Determinismo	75
4.2.1.4.	Seguridad Intrínseca	76
4.2.2.	Beneficios de Ethernet para Sistemas de Medición y Control	78

4.2.2.1.	Tecnología Omnipresente	78
4.2.2.2.	Comunicación Simplificada entre Máquinas.....	79
4.2.2.3.	Comunicaciones a la Empresa.....	79
4.2.2.4.	Ancho de Banda.....	80
4.3.	Protocolos Híbridos Basados en Ethernet.....	82
4.4.	Relación entre Fieldbus Foundation y Ethernet.....	84
5.	HSE: APLICACIÓN DE FIELDBUS FOUNDATION SOBRE ETHERNET	89
5.1.	Especificaciones de HSE.....	89
5.1.1.	Presencia Ethernet.....	89
5.1.2.	Agente FDA (FDA Agent)	89
5.1.3.	Gestión del Sistema HSE (HSE System Management o SM)	90
5.1.4.	Gestión de la Red HSE (HSE Network Management o NM)	91
5.2.	Dispositivos HSE	92
5.2.1.	Linking Device (LD)	92
5.2.2.	Gateway Device (GD).....	92
5.2.3.	Ethernet Device (ED).....	93
5.2.4.	Host Device (HD).....	94
5.3.	Beneficios de HSE.....	94
5.3.1.	Alto Rendimiento	95
5.3.2.	Interoperatividad de Subsistemas	95
5.3.3.	Bloques funcionales	95
5.3.4.	Red troncal de control	96
5.3.5.	Ethernet estándar.....	96
5.3.6.	Interoperatividad.....	96
5.3.7.	Robustez Física y Cableado.....	97
5.3.8.	Determinismo	98
5.3.9.	Redundancia	99
5.3.10.	Seguridad Intrínseca	100

6. OTRAS TECNOLOGÍAS DE CAMPO BASADAS EN ETHERNET	101
6.1. PROFINET	101
6.2. ETHERCAT	104
6.3. ETHERNET / IP	111
CONCLUSIONES	115
BIBLIOGRAFÍA	117

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Niveles Jerárquicos en una Red Industrial.....	21
Figura 2. Ciclo Pregunta - Respuesta Maestro/Esclavo.....	28
Figura 3. Bus AS-I Estructura del Telegrama del dispositivo maestro.....	30
Figura 4. Bus AS-I Estructura de Respuesta del dispositivo Esclavo.....	31
Figura 5. Bus AS-I Codificación Manchester y envío de la señal codificada.....	31
Figura 6. Comunicación digital HART superpuesta a la señal analógica de 4-20mA.....	36
Figura 7. Comunicación HART Maestro/Esclavo.....	38
Figura 8. Comunicación HART modo “Burst”.....	38
Figura 9. Determinación de la Longitud Total de los Segmentos.....	41
Figura 10. Capas Constitutivas de Fieldbus Foundation H1.....	50
Figura 11. Macro ciclo para Múltiples Bloques de Función en ejecución.....	53
Figura 12. Ejemplo de implementación de bloques funcionales.....	60
Figura 13. Trama Ethernet.....	68

Figura 14. Topología Bus.....	70
Figura 15. Topología Estrella.....	72
Figura 16. Protocolos híbridos con respectivos buses de campo.....	83
Figura 17. Topología Típica de una Red HSE.....	85
Figura 18. Capas OSI que forman a HSE.....	87
Figura 19. Linking Device.....	92
Figura 20. Uso de un Gateway Device para integrar una red PROFIBUS DP a una red HSE.....	93
Figura 21. Dispositivos HSE.....	94
Figura 22a. Redundancia de dispositivos.....	98
Figura 22b. Redundancia de Red y Dispositivos.....	98
Figura 23. Prestaciones de Profinet.....	102
Figura 24. Comunicación Industrial utilizando Profinet.....	103
Figura 25. Red Ethercat.....	110
Figura 26. Comunicación utilizando EtherNet/IP.....	112

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Dispositivos Totales que pueden ser conectados en una red H1.....	41
Tabla 2. Longitud Total de los Segmentos.....	42
Tabla 3. Características de los principales Buses de Campo.....	44
Tabla 4. Bloques funcionales básicos definidos por Fieldbus Foundation.....	58
Tabla 5. Bloques funcionales avanzados definidos por Fieldbus Foundation.....	59
Tabla 6. Comparación entre H1 y HSE.....	88

GLOSARIO

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

COMMERCIAL OFF THE SHELF: Expresión “Sacado del estante” que hace referencia a dispositivos producidos en serie.

CSMA/CD: Carrier Sense Multiple Access with Carrier Detection, es el método de acceso al medio que se emplea en Ethernet, consiste en que antes de empezar a transmitir, los dispositivos escuchan para verificar si hay alguien transmitiendo, y en caso de ser así esperan a que acabe, de lo contrario transmiten pero comprobando si hubo una colisión, es decir si otro dispositivo transmitió simultáneamente y de ser así se notifica y se espera un tiempo aleatorio antes de volver a transmitir.

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

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

CONEXIÓN MULTIPUNTO: Conexión de más de dos terminales o sistemas digitales a través de una misma línea o bus.

END USER COUNCILS: Concilio de usuarios finales

FF: Fieldbus Foundation.

FIP: Factory Instrumentation Protocol. Protocolo de Instrumentación industrial

FISCO: Fieldbus Intrinsically Safe Concept. Es un modelo de diseño de buses de campo para zonas intrínsecamente seguras basado en reglas empíricas

HSE: High Speed Ethernet

IEC: International Electrotechnical Comisión. Comisión Electrotécnica Internacional.

ISA: International Standardization Association. Asociación Internacional de estandarización

ISP: Interoperable Systems Project. Proyecto de Sistemas Interoperables

MANCHESTER BIFASE-L: Es el código en el cual se codifican las señales de Fieldbus Foundation H1, la señal de este código se denomina “serial sincrónica” debido a que en este código la información del reloj se encuentra embebida dentro del mismo. Para este código el “0” lógico corresponde a una transición positiva en el medio del tiempo de bit, mientras que el “1” lógico corresponde a una transición negativa.

MODELO OSI: El modelo OSI (Open Systems Interconnection) de ISO fue una propuesta para la estandarización de las redes de ordenadores que permite interconectar sistemas abiertos y ofrece al usuario la posibilidad de garantizar la

interoperatividad de los productos entre si. Este modelo tiene siete capas las cuales son, de inferior a superior, física, enlace, red, transporte, sesión, presentación y aplicación. El modelo OSI por si mismo no es una arquitectura de red puesto que no especifica el protocolo que debe emplearse en cada capa.

OPC: es un sistema homogéneo de acceso a dispositivos de automatización equivalente a lo que el servidor de impresión de Windows lo es a las impresoras.

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

PROCOLO MAC: El protocolo de acceso al medio de Ethernet (MAC, Medium Access Control) está basado en CSMA/CD, y transmite unas tramas con una estructura muy sencilla. Además de un preámbulo que permite sincronizar los relojes, y de las dos direcciones físicas del emisor y receptor, contiene los datos y un CRC al final que permite detectar errores en recepción. En caso de error, Ethernet no se encarga de retransmitir la trama y simplemente la descarta. La retransmisión será tarea de los protocolos de las capas superiores, caso de ser necesaria.

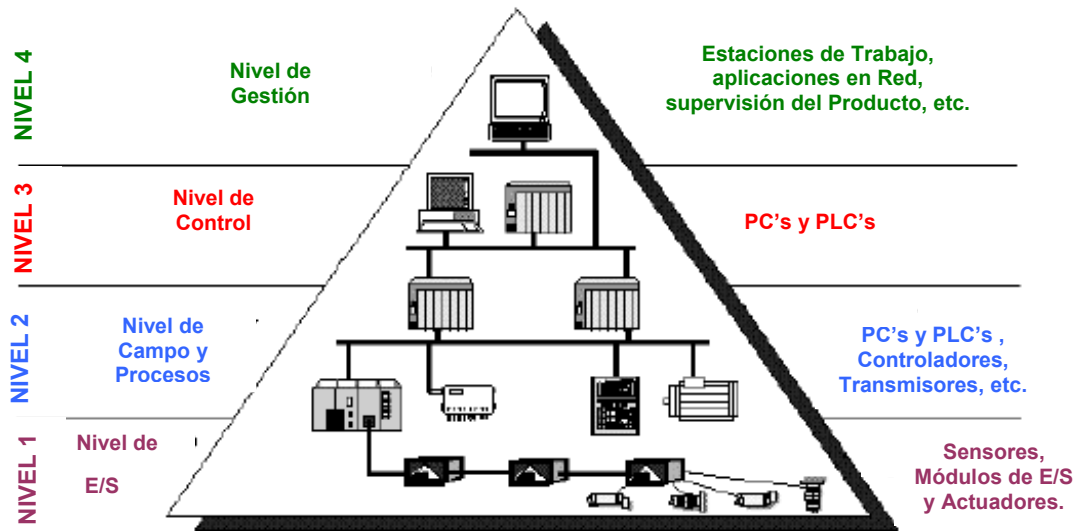
RTU: Remote Terminal Unit, Unidad Terminal Remota. Es un dispositivo instalado en una locación remota el cual recopila datos y los codifica en un formato con el cual los transmite a unidades de almacenamiento de datos en una estación central o hacia dispositivos maestros, de igual manera un RTU también recopila datos de dispositivos maestros e implementa procesos dirigidos por éstos últimos. Los RTU's están equipados con canales de entrada para medición y canales de salidas para control, indicación de alarmas y puerto de comunicaciones.

INTRODUCCIÓN

Las redes de información son para las plantas industriales lo que el sistema nervioso es para el cuerpo humano. Sin ellas, las fallas no podrían ser detectadas o previstas y, en consecuencia, ser atendidas adecuadamente. En la industria de procesos, el término de redes se aplica por lo general a las pistas corporativas, de dispositivos y de campo.

El primer nivel, de planta ó procesos, lo integran las señales de sensores y actuadores montados en las líneas de producción. En el segundo nivel, las pistas de campo constituyen el sistema digital que conduce las señales entre los diferentes dispositivos del sistema de control de proceso. Las señales fluyen en ambas direcciones entre un controlador y un dispositivo de campo (transmisor de presión, flujo, temperatura o válvula de control) de tal manera que cualquier cambio en las variables se transmita de forma inmediata al controlador y se realicen las acciones correctivas pertinentes.

Finalmente, en el nivel superior o corporativo se integra la información generada en las etapas anteriores y es aquí donde se encuentran los sistemas de gestión y toma de decisiones de la planta (ver Figura 1). La principal ventaja al utilizar redes industriales es que se logra una reducción importante en el costo de instalación y de propiedad del sistema. En las conexiones digitales pueden circular múltiples señales por un mismo cable, por lo que el ahorro en hardware es considerable. Y gracias a que las redes constituyen un sistema integrado, se recibe gran cantidad de datos del proceso que simplifica mucho la administración y el mantenimiento del sistema.



Tomado de <http://isa.uniovi.es/docencia/iea/comunicacionesindustrialestransparencias.pdf>

Es muy difícil detectar deterioros en los instrumentos de campo de una planta que no opera bajo el concepto de redes. Cuando se hace, ya es demasiado tarde y el daño en la producción puede ser catastrófico. En cambio, si se cuenta con la infraestructura adecuada, los sistemas de diagnóstico alertan al operador cuando ocurre una falla en algún dispositivo de la planta. El sistema de diagnóstico determina el momento, el lugar preciso y la naturaleza del problema para que el personal de mantenimiento realice la reparación correspondiente. La respuesta es tan rápida, que la contingencia se ataca antes de causar daños graves en la producción.

La aparición de los buses de campo se remontan a los años 40, con el uso de instrumentación de procesos en base a señales neumáticas de entre 3 y 15 Psi para el monitoreo y control de dispositivos. Por desgracia, frecuentemente surgía la necesidad de emplear varios niveles de señal para adaptarse a los numerosos instrumentos que no estaban diseñados para seguir esas especificaciones.

Estos primeros buses siguieron su evolución, hasta que en los años 70 con el desarrollo de procesadores digitales se introdujo el uso de computadores para monitorear y controlar los sistemas de instrumentación de forma centralizada. La naturaleza específica de las tareas a controlar permitió el diseño un alto número de instrumentos y métodos de control específicos para las diferentes aplicaciones. De esta manera comienza a utilizarse el sistema de 4 a 20mA el cual dio origen a un proceso formal de estandarización sobre la interconexión de los dispositivos de campo, los cuales acabarían siendo reemplazados más tarde por los buses de campo.

Un bus de campo simplifica en gran medida la instalación y operación de máquinas y equipos industriales empleados en los procesos de producción, éstos conectan actuadores, controladores, sensores y dispositivos similares en el nivel inferior de la estructura jerárquica de la automatización industrial. Una arquitectura de bus de campo es un sistema abierto de tiempo real, pero no necesariamente ha de conformarse con el modelo OSI de 7 capas, pues es más importante que la conexión sea de bajo costo y alta fiabilidad frente a las posibilidades de interconexión a redes generales.

Una característica importante de los buses, la cual impulsó su difusión, es que ellos se comunican digitalmente, permitiendo una comunicación bidireccional y redundante, evitando los problemas inherentes a una transmisión analógica y sobre todo, permitiendo conectar varios dispositivos a un mismo cable, reduciendo así los costos de instalación y mantenimiento. Los primeros buses de campo empezaron a verse ya desde los primeros años de la década de los ochenta, pero no fue sino hasta mediados de ésta que se dio comienzo a un verdadero trabajo de estandarización.

El objeto principal de un estándar es establecer una especificación formal, la cual impide los cambios rápidos, brindando cierta estabilidad al usuario e incluso a los fabricantes, y además permite que varios proveedores fabriquen productos interconectables, proporcionándole al usuario una mayor libertad y variedad a la hora de elegir productos. Sin embargo, fue otra característica de los estándares la que originó una auténtica “guerra de buses” que comenzó a partir de estos años: en muchos países los estándares poseen valor legal, de forma que si el gobierno acepta un estándar en una aplicación, el uso de éste se vuelve de carácter obligatorio. Así un sistema estandarizado consigue una ventaja competitiva sobre los rivales no estandarizados¹.

En el área de las comunicaciones en entornos industriales, la estandarización de protocolos es un tema en permanente discusión, donde intervienen problemas técnicos y comerciales. Cada protocolo está optimizado para diferentes niveles de automatización y en consecuencia responden al interés de diferentes proveedores. Por ejemplo Fieldbus Foundation, Profibus y HART, están diseñados para instrumentación de control de procesos. En cambio DeviceNet y SDC están optimizados para los mercados de los dispositivos discretos (on-off) de detectores, actuadores e interruptores, donde el tiempo de respuesta y repetitividad son factores críticos. Cada protocolo tiene un rango de aplicación; fuera del mismo disminuye el rendimiento y aumenta la relación costo/prestación.

Debido a la no aceptación de un protocolo estándar único en las comunicaciones industriales, los múltiples buses de campo han perdido terreno ante la incursión de tecnologías de comunicación emergentes como Ethernet en esta área.

¹ Tomado de Max Felser, “The Fieldbus Standards: History and structures”, University of Applied Science Berne 2002

La aceptación mundial de Ethernet en los entornos administrativos y de oficina ha generado el deseo de expandir su aplicación a la planta. Ethernet se está moviendo rápidamente hacia el mercado de los sistemas de control de procesos y la automatización, para la interconexión a nivel de campo de sensores y actuadores, de esta forma reemplazando a los buses de campo en las industrias.

Es posible que con los avances de Ethernet y la tecnología emergente Fast Ethernet se pueda aplicar también al manejo de aplicaciones críticas de control. Una desventaja inherente en los buses de campo es su imposibilidad para proveer conectividad directa con Internet y extender su dominio hacia el espacio virtual. Sin embargo, es posible establecer una conectividad entre los buses de campo y Ethernet, y luego, mediante esta combinación, conectarse a la web para que los datos del proceso puedan accederse de forma remota. Así, es factible efectuar a distancia la supervisión y vigilancia de algunas aplicaciones de control de proceso.

A diferencia de Ethernet, donde no se puede garantizar determinismo sobre la llegada de paquetes, los diseñadores optimizan los buses de campo para el intercambio de mensajes cortos de comando y de control con altísima seguridad y temporización estricta. En las aplicaciones industriales, Ethernet es usado en conjunto con la pila de protocolos TCP/IP universalmente aceptada. TCP/IP es el conjunto de protocolos usado en Internet, suministrando un mecanismo de transporte de datos confiable entre máquinas y permitiendo la interoperabilidad para diversas plataformas. Usar TCP/IP sobre Ethernet a nivel de campo en la industria permite tener una verdadera integración con la Intranet corporativa, y de esta forma se ejerce un estricto control sobre la producción.

1. TECNOLOGIAS DE BUSES DE CAMPO

Los buses de datos que permiten la integración de equipos para la medición y control de variables de proceso, reciben la denominación genérica de buses de campo. Generalmente son redes digitales, bidireccionales, multipunto, montadas sobre un bus serie, que conectan dispositivos de campo como PLC's, transductores, actuadores, sensores y equipos de supervisión².

Cada dispositivo de campo incorpora cierta capacidad de proceso, que lo convierte en un dispositivo inteligente, manteniendo siempre un costo bajo. Cada uno de estos elementos será capaz de ejecutar funciones simples de diagnóstico, control o mantenimiento, así como comunicarse bidireccionalmente a través del bus.

El objetivo de un bus de campo es sustituir las conexiones punto a punto entre los elementos de campo y el equipo de control a través del tradicional lazo de corriente de 4 -20mA o 0 a 10V DC, según corresponda, por redes de control distribuido las cuales permiten mejorar la calidad del producto, reducir los costos y mejorar la eficiencia. Para ello se basa en que la información que envían y/o reciben los dispositivos de campo es digital, lo que resulta mucho más preciso que si se recurre a métodos analógicos³.

Varios grupos han intentado generar e imponer una norma que permita la integración de equipos de distintos proveedores. Sin embargo, hasta la fecha no existe un bus de campo universal.

² Tomado de www.quiminet.com.mx, "Buses de Campo Aplicados al Control de Productos Industriales", 2006

³ Tomado de Kaschel Héctor, Pinto Ernesto, "Análisis del Estado del Arte de los Buses de Campo Aplicados al Control de procesos Industriales", Universidad de Santiago de Chile.

Los buses de campo con mayor presencia en el área de control y automatización de procesos son:

- ❖ • HART
- ❖ • Profibus
- ❖ • Fieldbus Foundation
- ❖ Modbus

1.1. MODBUS

Fue diseñado por Modicon en 1979 para emplearlo en su gama de Controladores Lógicos Programables (PLC). Es un protocolo de comunicaciones que describe el proceso empleado por el controlador para solicitar acceso a otro dispositivo, cómo responde a los requerimientos de otros controladores y cómo se detectan y reportan los errores de comunicación y se ha convertido, en la práctica, en un estándar para la industria, a pesar de no estar reconocido por ninguna normal internacional.

Este protocolo define la estructura de los mensajes que los PLC's reconocen, sin importar el tipo de red sobre la cual se comunican, representa uno de los medios más comunes para conectar casi cualquier dispositivo electrónico industrial y que permite grandes ahorros en costes del cableado.

Una de las Principales razones del uso extenso de Modbus en lugar de otros protocolos, es el hecho de que están publicados abiertamente, dando lugar a las diversas variantes y mejoras del original Modbus.

Actualmente, se utiliza según distintas implementaciones, puede ser implementado utilizando para transmisiones seriales asincrónicas sobre una variedad de medios físicos como cable: RS-232, RS-422, RS-485; fibra óptica, radio enlaces, entre otras, o bien sobre una red de alta velocidad con pasaje de testigo como control de acceso al medio. Velocidades de 75 a 19200 baudios y permite hasta 1200 m entre nodos.

1.1.1. Transacciones en las Redes de MODBUS

Los puertos estándares Modbus en los controladores de Modicon usan una interfase serial RS-232C que define los pines de salida del conector, el cableado, los niveles de la señal, la tasa de baudio de la transmisión y comprobación de paridad. Los controladores pueden estar conectados a la red directamente o vía o módems.

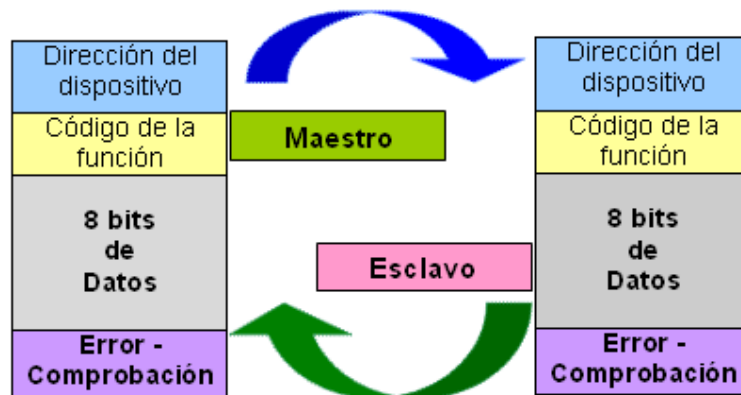
Modbus es un protocolo serie para el intercambio de mensajes, posicionado en el nivel 7 del modelo OSI, es decir en la capa de Aplicación. Los controladores se comunican usando el método Maestro/esclavo. Los dispositivos maestros típicos incluyen Hosts y tableros de programación. Los esclavos típicos incluyen a los controladores programables.

El Maestro puede dirigirse individualmente a los esclavos, o puede enviar un mensaje a todos los esclavos. Los esclavos por su parte devuelven una respuesta en el primer caso pero no así en el segundo.

El protocolo de Modbus establece el formato para las preguntas o requerimientos del maestro colocando en dicho formato la dirección o direcciones, un código de la función que define la acción pedida, Los datos a ser enviados, y un campo del

error-comprobación. El mensaje de respuesta del esclavo se construye empleando también el protocolo Modbus, y contiene un campo de confirmación de la acción tomada, cualquier dato a ser devuelto, y un campo del error-comprobación. Ver figura 2. Si un error ocurriera en la recepción del mensaje, o si el esclavo es incapaz de realizar la acción pedida, éste construirá un mensaje del error y lo enviará como respuesta.

Figura 2. Ciclo Pregunta - Respuesta Maestro/Esclavo.



1.1.2. Modos de Transmisión Serial

El estándar Modbus permite dos modos de la transmisión, el ASCII o el RTU. Los usuarios seleccionan el modo deseado, junto con los parámetros de comunicación de puerto de serie. El modo y los parámetros de serie deben ser el mismo para todos los dispositivos en una red de Modbus. La selección uno u otro define el contenido de bits del mensaje transmitido y determina cómo se empaquetará y decodificará la información en el mensaje.

- ❖ **Modo ASCII:** Cuando los controladores emplean el modo ASCII (Código de Norma Americano para el Intercambio de Información), cada byte en

un mensaje se envía como dos caracteres ASCII. La ventaja principal de este modo es que permite que los intervalos de tiempo entre los caracteres suban a 1 segundo sin causar un error.

- ❖ **Modo de RTU:** Cuando los controladores son el arreglo para comunicar en una red de Modbus que usa el Modo RTU (Unidad Terminal Remota) cada byte en un mensaje contiene dos caracteres hexadecimales de 4 bits. La ventaja principal de este modo es que su mayor densidad de caracteres permite el paso de una cantidad mayor de datos que en el modo ASCII para la misma tasa de baudio. Cada mensaje debe transmitirse en una cadena continua.

1.2. ASI (Actuador Sensor Interface)

Bus de campo desarrollado en principio por la compañía Siemens, para la interconexión de actuadores y sensores binarios. Actualmente está referenciado por el estándar IEC TG 17B.

1.2.1. Capa física

- ❖ La red puede adoptar cualquier tipo de topología: bus, estrella o anillo.
- ❖ La longitud máxima de cada segmento es de 100 metros.
- ❖ Permite la interconexión de un máximo de 31 esclavos.
- ❖ Dispone de repetidores que permiten la unión de hasta tres segmentos, y de puentes hacia redes Profibus.

- ❖ Para la transmisión se utiliza un solo cable, el consta de 2 hilos sin apantallamiento, que permite la transmisión de datos y la alimentación de los dispositivos conectados a la red.
- ❖ Su diseño evita errores de polaridad al conectar nuevos dispositivos.
- ❖ La incorporación o eliminación de elementos de la red no requiere la modificación del cable.

1.2.2. Métodos de Comunicación

La comunicación sigue un esquema Maestro/Esclavo, donde las peticiones del maestro se llaman telegramas y constan de 14 bits, ver figura3, mientras que las respuestas de los esclavos constan de 7 bits (ver figura 4). La duración de un ciclo de pregunta y respuesta es de 150µS, donde en cada ciclo se deben consultar a todos los esclavos y añadir 2 ciclos extras para la detección de fallos, obteniéndose de esta manera un tiempo de ciclo máximo de 5mseg.

Figura 3. Bus AS-I Estructura del Telegrama del dispositivo maestro

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

St: Bit de Inicio. 0 indica el comienzo de la trama.

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

A4 al A0: Dirección del esclavo.

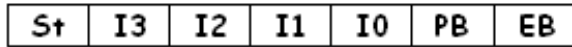
I4 al I0: Información.

PB: Bit de paridad.

EB: Bit de parada

Tomado de Distefano, Mario. "Electrónica General y Aplicada: Comunicaciones en Entornos Industriales". Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Cuyo.

Figura 4. Bus AS-I Estructura de respuesta del dispositivo esclavo



St: Bit de Inicio. 0 indica el comienzo de la trama.

I4 al I0: Información.

PB: Bit de paridad.

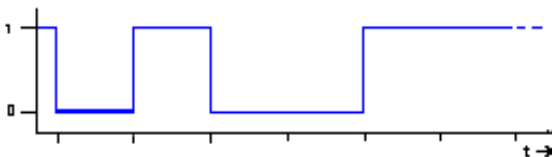
EB: Bit de parada

Tomado de Distefano, Mario. "Electrónica General y Aplicada: Comunicaciones en Entornos Industriales". Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Cuyo.

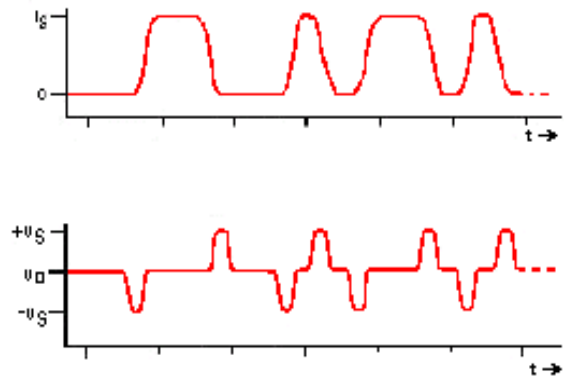
La transmisión de la señal se realiza basándose en una codificación Manchester, en la cual dicha codificación se traduce en pulsos de corriente que a su vez originan pulsos positivos y negativos en el voltaje de alimentación, lo cual indica las transiciones en la señal. Ver figura 5

Figura 5. Bus AS-I Codificación Manchester y envío de la señal codificada

Codificación Manchester



Envío de la señal codificada



Tomado de Sánchez Miralles Álvaro. "Informática Industrial". UPCO ICAI Departamento de Electrónica y Automática.

1.3. PROFIBUS

La base de la especificación del estándar Profibus fue un proyecto de investigación llevado a cabo en (1987-1990) por la ABB, AEG, Bosch, Honeywell, Moeller, Landis & Gyr, Phoenix Contact, Rheinmetall, RMP, Sauter-cumulus, Schleicher, Siemens y cinco institutos alemanes de investigación. Está normalizado en Alemania por la norma DIN E 19245 y en Europa por EN 50170.

Cumple también con el modelo OSI de 7 niveles y las normas ISA/IEC, y actualmente se encuentra controlado por la PNO (Profibus User Organisation) y la PTO (Profibus Trade Organisation).

Profibus es hoy en día el líder de los sistemas basados en buses de campo en Europa. Este bus de campo se basa en la idea de que diferentes tipos de comunicación presentan diferentes problemas y requieren diferentes soluciones, por esta razón se encuentran tres modalidades de Profibus.

1.3.1. Profibus DP (Decentralized Periphery)

Esta diseñado para la comunicación con sensores y actuadores, donde prima la velocidad sobre la cantidad de datos. Usa las capas 1 y 2 y la interfase de usuario, mientras que no define de las capas 3 a la 7.

En una red DP un controlador central como PLC o PC se comunica con los dispositivos de campo. Se caracteriza por lo siguiente:

- ❖ Puede utilizarse para sustituir los bucles de corriente de 4 a 20mA.
- ❖ Optimizado para alta velocidad.
- ❖ Tiempo de ciclo del bus < 10 mseg.
- ❖ Conexiones sencillas y baratas.
- ❖ Se permite una comunicación RS-485, por fibra óptica o ambas.
- ❖ Diseñada especialmente para la comunicación entre los sistemas de control de automatismos y las entradas/salidas distribuidas.
- ❖ Las funciones de aplicación disponibles por el usuario así como el comportamiento del sistema se especifican en la interfase de usuario.

1.3.2. Profibus FMS (Fieldbus Message Specification)

Esta diseñada para proveer facilidades de comunicación entre varios controladores programables (PLC's y PC's) y acceder también a dispositivos de campo. Este servicio permite acceder a variables, transmitir programas y ejecutar programas de control tan pronto ocurra un evento.

Tiene definido los niveles 1, 2 y 7 del modelo OSI y presenta además las siguientes características:

- ❖ Se permite una comunicación RS-485, por fibra óptica o ambas.
- ❖ Tiempo de ciclo del bus < 100 mseg.
- ❖ Contiene el protocolo de aplicación y proporciona al usuario una amplia selección de potentes servicios de comunicación.
- ❖ La capa 2 (capa de enlace de datos) ofrece el control de acceso al bus y garantiza la seguridad de los datos.

1.3.3. Profibus PA (Process Automation)

Esta diseñado específicamente para procesos de automatización, permite conectar los sistemas de automatización y los sistemas de control de procesos con los dispositivos de campo.

Profibus PA puede ser usado como sustituto para la tecnología analógica de 4 a 20 mA y se encuentra estandarizado por la norma IEC 1158.2, norma de comunicación síncrona entre sensores de campo que utiliza modulación sobre la propia línea de alimentación de los dispositivos.

Profibus PA presenta las siguientes características:

- ❖ El mismo bus suministra energía a los dispositivos de campo.
- ❖ Emplea un cable de par trenzado de dos hilos con apantallamiento transportando datos a 31.25 Kbit/s.
- ❖ Utiliza el mismo protocolo de transmisión que el DP, de tal manera que ambos pueden ser integrados en la red con el uso de un segmento acoplador.
- ❖ Intrínsecamente seguro.
- ❖ Usa un indicador que define el comportamiento de los dispositivos de campo.
- ❖ La tecnología de transmisión permite un alto grado de seguridad y deja que los elementos de campo sean conectados al bus.

1.3.4. Control de acceso al medio

En cuanto al acceso al bus, las tres versiones utilizan el mismo protocolo, el cual es implementado en la capa de enlace e incluye la seguridad de datos, el manejo de los protocolos de transmisión y telegramas, control de acceso al medio (MAC), disponibilidad de los servicios de transmisión de datos y funciones de administración.

1.4. HART (Highway Addressable Remote Transducer)

En 1986 fue introducido por primera vez por la compañía Rosemount Inc. el protocolo de comunicación HART (Highway Addressable Remote Transducer). Este protocolo proporciona una solución para la comunicación de instrumentos inteligentes, compatible con la transmisión analógica en corriente 4-20mA, que permite que la señal analógica y las señales de comunicación digital sean transmitidas simultáneamente sobre el mismo cableado.

La mayor limitación es su velocidad (1200 baudios), normalmente se pueden obtener 2 respuestas por segundo. La alimentación se suministra por el mismo cable y puede soportar hasta 15 dispositivos.

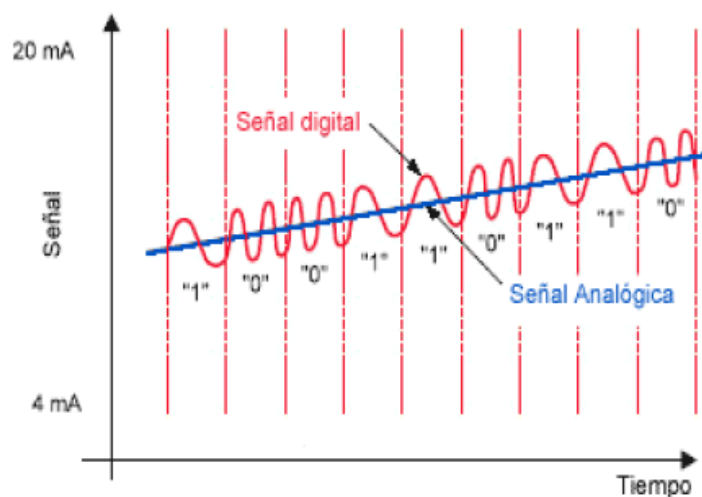
1.4.1. Fundamento tecnológico de HART

El protocolo HART utiliza el estándar Bell 202 FSK (Codificación por Cambio de Frecuencia) para superponer las señales de comunicación digital al bucle de corriente 4-20mA.

La información binaria es representada mediante una señal de dos frecuencias distintas. Un cero lógico es representado por una frecuencia de 2200Hz, mientras un uno lógico es representado por una frecuencia de 1200Hz. Estos tonos se superponen a la señal de continua, y como la señal AC tiene un valor promedio cero, la señal continua no es afectada. Ver figura 6

El protocolo HART permite la comunicación digital en los dos sentidos de forma que es posible enviar información adicional a la variable de proceso transmitida hacia o desde un instrumento de campo inteligente. La variable de proceso es portada por la señal analógica mientras que mediante la comunicación digital se accede a medidas adicionales, parámetros de proceso, configuración de instrumentos, calibración e información de diagnóstico que mediante el protocolo HART viaja sobre el mismo cable y simultáneamente a la señal analógica. Esto supone una gran ventaja a la hora de implantar esta tecnología de comunicación digital, frente a otras tecnologías digitales, ya que es compatible con los sistemas existentes.

Figura 6. Comunicación digital HART superpuesta a la señal analógica de 4-20mA



Tomado de Sánchez Miralles Álvaro. "Informática Industrial". UPCO ICAI Departamento de Electrónica y Automática.

1.4.2. Métodos para la comunicación

HART es principalmente un protocolo Maestro/esclavo, es decir, que el dispositivo de campo (esclavo) habla solo cuando es preguntado por un maestro. Adicionalmente dos maestros (primario y secundario) pueden comunicar con un dispositivo esclavo, los maestros secundarios pueden comunicarse con los dispositivos de campo sin distorsionar la comunicación con el maestro primario. Un maestro primario típicamente es un DCS, un PLC, o un sistema central de monitoreo o control basado en PC, mientras un maestro secundario puede ser un comunicador portátil.

Existen varios modos para la comunicación desde/hacia instrumentos de campo inteligentes y el controlador central:

- ❖ La comunicación digital Maestro/esclavo simultánea con la señal analógica 4-20mA es la más común. Ver figura 7. Este modo, permite que el esclavo responda a las peticiones del maestro 2 veces por segundo, mientras que la señal analógica, que es continua, puede seguir portando la variable de control.

- ❖ Otro modo de comunicación opcional es el modo "Burst" (Figura 8) que permite que un único dispositivo esclavo emita continuamente un mensaje HART de respuesta estándar.

Figura 7. Comunicación HART Maestro/Esclavo.



Tomado de Sánchez Miralles Álvaro. "Informática Industrial". UPCO ICAI Departamento de Electrónica y Automática.

Figura 8. Comunicación HART modo "Burst".



Tomado de Sánchez Miralles Álvaro. "Informática Industrial". UPCO ICAI Departamento de Electrónica y Automática.

El protocolo HART también tiene la capacidad de conectar múltiples dispositivos de campo sobre el mismo par de hilos en una configuración de red multipunto, en esta configuración la comunicación está limitada a la comunicación digital maestro/esclavo.

La corriente a través de cada dispositivo esclavo se fija al mínimo valor para alimentar el dispositivo y no tiene ningún significado relativo al proceso.

Desde la perspectiva de la instalación, para las señales de comunicación HART se utiliza el mismo cable usado para transmitir la señal analógica 4-20mA. Las

longitudes de cable permitidas van a depender del tipo de cable utilizado y del número de dispositivos conectados.

1.4.3. Comandos en HART

La comunicación HART está basada en comandos. Hay tres tipos de comandos que proporcionan acceso de lectura-escritura a la información disponible en los instrumentos de campo compatibles con HART. Estos son:

- ❖ **Comandos Universales:** garantizan la interoperabilidad entre los productos de distintos fabricantes, y proporcionan el acceso a la información útil en la operación habitual en planta. Todos los esclavos compatibles HART deben responder a todos los Comandos Universales.
- ❖ **Comandos de Práctica Común:** proporcionan acceso a funciones que son implementadas en muchos dispositivos, pero no en todos. Son opcionales, pero si se implementan, debe ser como se especifica.
- ❖ **Comandos Específicos del Dispositivo:** ofrecen la libertad para que cada aparato particular tenga parámetros o funciones exclusivos.

1.5. FOUNDATION FIELDBUS H1

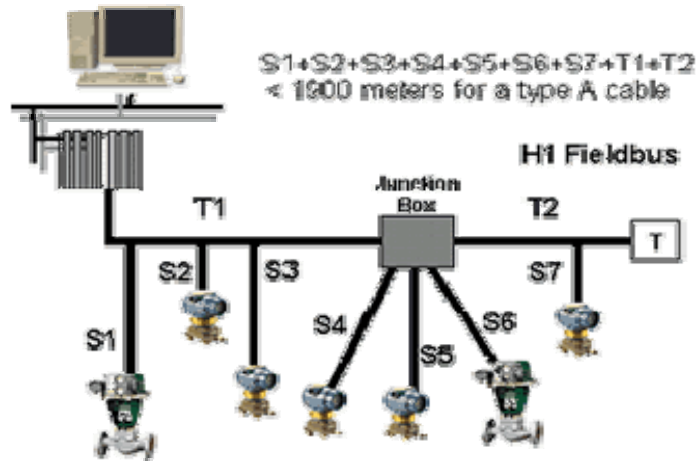
Foundation Fieldbus H1 es un protocolo de comunicación digital para redes industriales, específicamente utilizado en aplicaciones de control distribuido. Está orientado principalmente a la interconexión de dispositivos en industrias de proceso continuo.

Esta arquitectura se encuentra diseñada para aplicaciones críticas, donde la transferencia correcta de los datos es esencial, adicionalmente, al ser una arquitectura abierta, no es propiedad de ninguna compañía ni está controlada por el cuerpo regulador de ninguna nación, sino que depende directamente de las decisiones tomadas por sus propios usuarios a través de los *End User Councils*, repartidos alrededor del mundo.

1.5.1. Características

- ❖ El protocolo H1 está basado en el estándar IEC 61158-2.
- ❖ Se transfiere la información utilizando codificación Manchester a una velocidad de 31.25Kbps.
- ❖ La tensión mínima aceptable en el bus para que los dispositivos alimentados a través del mismo puedan funcionar correctamente es de 9V. La fuente de alimentación se conecta al bus en paralelo, igual que cualquier otro dispositivo. Por supuesto, para no interferir las señales de datos enviadas, debe contener un filtro que bloquee la frecuencia de 31.25Kbps y sus armónicos.
- ❖ No solo admite la clásica topología lineal, si no que mediante cajas de uniones se pueden conseguir otras topologías como árboles, estrellas o combinaciones. Se establece una longitud total para el cable sumando todos los segmentos (ver figura 9), se especifica el número de dispositivos por segmento (ver tabla 1) y se recomienda conectar los dispositivos al bus mediante segmentos cortos y conectores en T.

Figura 9. Determinación de la Longitud Total de los Segmentos



Tomado de www.elo.utfsm.cl/~elo373/Sistema%20de%20Control%203.ppt

Tabla 1. Dispositivos Totales que pueden ser conectados en una red H1

Dispositivos Totales en un segmento	Dispositivos por Spur		
	1m	2m	3m
1-12	120m	90m	60m
13-14	90m	60m	30m
15-18	60m	30m	1m

Tomado de www.elo.utfsm.cl/~elo373/Sistema%20de%20Control%203.ppt

- ❖ Se admiten varios tipos de cable, dependiendo la longitud máxima del segmento y de la calidad del cable (ver tabla 2). Sin repetidores y con el mejor cable contemplado⁴, la longitud máxima de un segmento H1 puede ser de hasta 1900m, y se admite un máximo de 4 repetidores, con los que se pueden alcanzar 9500m de cable en un único segmento.

⁴ Par Trenzado Apantallado, AWG 18

Longitud Total de los Segmentos

Type	Description	Size	Maximum length
A	Individual shielded, twisted pair	#18 AWG (0.8 mm ²)	1900 m (6232 ft.)
B	Multiple-twisted-pair with overall shield	#22 AWG (0.32 mm ²)	1200 m (3936 ft.)
C	Multiple-twisted-pair without shield	#26 AWG (0.13 mm ²)	400 m (1312 ft.)
D	Two wires with no shield and not twisted	#16 AWG (1.25 mm ²)	200 m (656 ft.)

Tomado de www.elo.utfsm.cl/~elo373/Sistema%20de%20Control%203.ppt

Fieldbus Foundation se diferencia de cualquier otro protocolo de comunicaciones, porque no está hecho simplemente como un medio de transmisión de datos, sino que se encuentra diseñado para resolver aplicaciones de control de procesos. La característica más sobresaliente e interesante de FF, es que la estrategia de control se define mediante bloques funcionales estándar, de una forma similar a como se programa en LabView, pero con la diferencia de que dichos bloques funcionales tienen una representación directa en el hardware del sistema. Muchas de las funciones del sistema, como las entradas y salidas o bloques PID (Proporcional/Integrador/Derivador) pueden ser realizadas por el propio dispositivo de campo, de esa forma, la estrategia de control se distribuye a través de los dispositivos de campo, gracias a que además de implementar bloques funcionales en sus microprocesadores, también tienen la capacidad de comunicarse de forma directa con cualquier otro dispositivo a través del bus.

La distribución del control en los dispositivos de campo puede reducir las necesidades de equipo de control y de entrada/salida. Además, aumenta la fiabilidad del sistema, ya que aunque los sistemas centrales sufran una avería, mientras el bus esté alimentado el control puede continuar, e incluso en un sistema pequeño puede llegar a ser prescindible un sistema de control central, realizando todas las tareas de cálculo y control los propios dispositivos.

La tabla 3 muestra un cuadro comparativo con las características más sobresalientes de los buses de campo descritos anteriormente.

Tabla 3. Características de los principales Buses de Campo.

	MODBUS	ASI	HART	PROFIBUS PA	PROFIBUS DP	PROFIBUS FMS	FOUNDATIO FIELDBUS H1	INTERBUS-S
Rata de Transmisión [bits/s]	No determinado 1,2 k-115,2 k típico	167K	1200 Baudios	31,25K	1,5M 12M	500K	31,25K	500k
Topología	Bus, estrella, árbol red con segmentos	Bus, anillo, árbol estrella	---	Bus, estrella anillo	Bus, estrella anillo	---	Bus, estrella árbol con segmentos	Segmentado
Comunicación	Maestro Esclavo	Maestro Esclavo	Maestro Esclavo	Maestro/Esclavo Peer to peer	Maestro/Esclavo Peer to peer	Maestro/Esclavo Peer to peer	Single/Multi Master	Maestro Esclavo
Acceso a la Red	Paso de Testigo	Modulación de corriente	Ninguno	Paso de Testigo	Comunicación Sincrónica Asíncrona	Comunicación Sincrónica Asíncrona	Paso de Testigo	Ninguno
Medio de Transmisión	Cable Par Trenzado	Cable Par Trenzado	Cable Par Trenzado	Par Trenzado Fibra óptica	Par Trenzado Fibra óptica	Par Trenzado Fibra óptica	Cable Par Trenzado	Par Trenzado Fibra óptica
Cantidad de dispositivos	247 Por Red	31 Por Red	15 Por segmento	14400 por segmento	127 Por segmento	127 Por Segmento	240 Por seg 32,768 sistema	256 Nodos
Seguridad Intrínseca	No	No	Si	Si	No	No	Si	No
Alimentación por el Bus	No	Si	Si	Si	No	No	Si	No
Distancia Máx. [Km]	0,35	0,1 - 0,3 Con Repetidor	---	0,1 por seg 24 fibra	0,1 por seg 24 fibra	---	1,9	0,5 - 0,3 Con Repetidos
Medio de transmisión Normativa	No especificado	IEC TG 17B	No especificado	IEC/ISA//FF IEC 1158-2	RS 485 IEC 1158-2	RS 485	IEC 1158-2	RS 485

Tomado de <http://www.texca.com/prod0010/compodebus.htm>

2. FIELDBUS FOUNDATION

A partir de este capítulo el documento se centrará en tratar la interoperatividad entre la tecnología Ethernet con el bus de Campo H1 de la Fielbus Foundation, ya que después de comparar las características de los principales buses de campo se observa que FF H1 presenta ciertas prestaciones que lo destacan sobre los demás como son las siguientes:

FF H1 es una arquitectura abierta para la integración total de la información, además es el único protocolo de bus de campo desarrollado para resolver los requisitos originales del IEC 61158 y a diferencia de otros protocolos, FF H1 proporciona sincronización exacta para las comunicaciones y tareas de control para garantizar determinismo, además puede ser empleado en zonas intrínsecamente seguras.

La tecnología Fieldbus H1 es más reciente que los buses de campo HART y PROFIBUS PA e incorpora características de éstos. Adicionalmente H1 presenta un entorno de programación gráfico que facilita configuración de los dispositivos.

2.1. ¿Qué es Fieldbus Foundation?

Fieldbus Foundation es una organización independiente y sin ánimo de lucro creada con el fin de desarrollar un único bus de campo internacional, abierto e interoperable.⁵

⁵ Tomado de "Foundation Fieldbus Technical Overview", Fieldbus Foundation 1996

La organización esta basada en los siguientes principios:

- ❖ La tecnología de FF ha de ser abierta y cualquier compañía ha de poder disponer de ella.
- ❖ La tecnología de FF ha de estar basada en el trabajo del IEC y de ISA.
- ❖ Los miembros de la Fieldbus Foundation apoyan a los comités de estandarización, nacionales e internacionales y trabajan con ellos.

2.2. ¿Qué es Foundation Fieldbus?

El producto de Fieldbus Foundation, denominado Foundation Fieldbus⁶, es una arquitectura abierta para la integración total de la información. Se trata de un sistema de comunicaciones completamente digital, serie y bidireccional⁷, puede operar independientemente de una PC porque dispositivos llamados Link Masters tienen capacidades de procesamiento tales que pueden controlar el bus. Actualmente están definidas dos versiones:

- ❖ **H1:** con una velocidad de 31.25Kbps, Interconecta equipamiento de campo, como sensores, actuadores. En el mercado ocupa un nicho similar al de Profibus PA, mientras que PA está mucho más extendido en Europa, H1 tiene su origen y su área de mayor distribución en América y Asia.
- ❖ **HSE:** con una velocidad de 100Mbps/1Gbps, provee integración de controladores de alta velocidad, como PLCs, redes H1, servidores de datos, y estaciones de trabajo.

⁶ Se trata de un juego de palabras “La fundación del bus de campo” y “El bus de campo de la Fundación”

⁷ Tomado de “Foundation Fieldbus Technical Overview”, Fieldbus Foundation 1996

En las primeras fases del desarrollo de Fieldbus Foundation se consideró el desarrollo de una versión ligada aún al campo pero de una velocidad intermedia entre H1 y HSE. Dicha versión se denominaría H2, y tendría una velocidad de entre 1Mbps y 2.5Mbps. Sin embargo, debido a la gran popularidad que consiguieron las soluciones basadas en Ethernet de cara a aplicaciones industriales, finalmente se optó por desechar H2, siendo absorbida por HSE.

2.3. Historia de Fieldbus Foundation

Como ya se ha mencionado los buses estandarizados poseen una ventaja competitiva frente a los otros, sin embargo lograr la aprobación de ciertas especificaciones a nivel nacional no representaba un trabajo muy complicado debido a que la competencia dentro de un país no es mucha, por lo cual la mayoría de los buses de campo con mayor relevancia se convertirían en estándares nacionales. Los problemas aparecen con la necesidad de buscar soluciones internacionales.

Para mediados de los años 80, el esfuerzo por desarrollar buses de campo lo realizaba principalmente Europa, motivada por proyectos de investigación de contextos académicos, y desarrollos propietarios. Los dos resultados más prometedores fueron FIP por parte de Francia y Profibus por parte de Alemania. Ambos se posesionaron como estándar en sus respectivos países y posteriormente fueron propuestos a la IEC para su estandarización internacional. Por desgracia las propuestas de cada sistema eran completamente diferente la una de la otra, por un lado Profibus se basada en una idea de control distribuido y en su forma original soportaba una comunicación vertical orientada a objetos, en un modelo cliente servidor, por su parte FIP estaba diseñado con un control centralizado pero capaz de implementar esquemas de control estrictamente de

tiempo real, empleando comunicación horizontal según el modelo productor-consumidor o publicador-suscriptor. Debido a sus diferencias, los dos sistemas eran apropiados para áreas de aplicación complementarias. Evidentemente, un bus universal requiere combinar los beneficios de ambos. En 1992 surgieron dos grupos, cada uno compuesto por muchas compañías de todo el mundo, para ofrecer una solución al mercado de los buses de campo, La ISP y WorldFIP (fundación creada alrededor de FIP), que pese a que tenían distintos puntos de vista de la implementación de los buses de campo ofrecieron modificar sus productos para dar cabida a las prestaciones del otro.

Para los años 90 WorldFIP y Profibus PA se seguían peleando en sus respectivos terrenos, y la IEC no lograba ningún avance significativo. La única excepción fue la definición de la capa física, que se adoptó como el estándar IEC 61158-2 ya en 1993, el cual fue muy utilizado desde entonces sobre todo en el área de la automatización. Sobre la capa física, sin embargo, los borradores se volvían cada vez más comprehensivos, con el fin de dar cabida a todos los sistemas⁸.

Hacia Septiembre de 1994, tras varios años de luchas, WorldFIP y la ISP se unieron para formar la Fieldbus Foundation. El objetivo de la Fieldbus Foundation era crear un único bus de campo internacional para entornos peligrosos, por su parte Profibus PA (la organización de usuarios de Profibus) siguió persiguiendo el mismo objetivo por su cuenta. Mientras Profibus PA tiene sus raíces y su mayor comunidad de usuarios en Europa, los fabricantes y usuarios de Foundation Fieldbus están concentrados en América y Asia⁹.

⁸ Tomado de Max Felser, "The Fieldbus Standards: History and structures", University of Applied Science Berne 2002

⁹ Tomado de "Foundation Fieldbus Communication", Samson AG, 2000

Fieldbus Foundation decidió realizar un bus práctico sin la exigencia de albergar todos los sistemas previos, para conseguir resultados más rápidos el trabajo se dividió en dos secciones: H1 el cual sería un bus de campo de baja velocidad, y H2, que sería su equivalente de alta velocidad. En 1998 surge por primera vez la posibilidad de combinar Ethernet con Foundation Fieldbus para crear una red de control de alta velocidad, y se menciona por primera vez HSE (High Speed Ethernet).

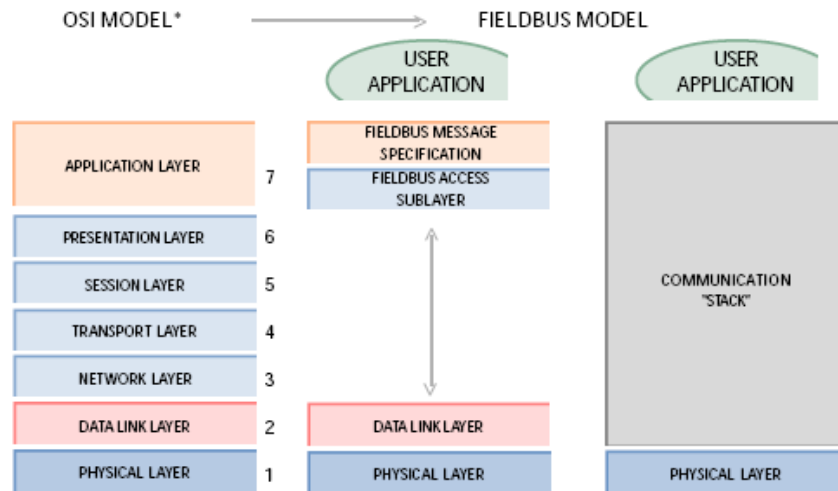
Para 1996, la Fieldbus Foundation contaba con 185 compañías asociadas dentro de las que figuraban muchas de gran importancia a nivel global, representaban el 90% de la fabricación mundial de productos de instrumentación y control. Uno de los principales métodos de organización y decisión, como se mencionó anteriormente, son los *End User Councils* los cuales repartidos por todo el mundo, revisan las actividades de la fundación y se aseguran de que las especificaciones cumplan las necesidades del mercado.

2.4. Foundation Fieldbus H1

Fieldbus Foundation H1 se puede descomponer en tres partes. (Ver figura 10)

- ❖ La capa física
- ❖ La pila de comunicaciones
- ❖ La capa de usuario.

Figura 10. Capas Constitutivas de Fieldbus Foundation H1



Tomado de "Fieldbus Tutorial, A Foundation Fieldbus Technology Overview", Smar, 2001

2.4.1. Capa Física

La capa física corresponde directamente con la capa 1 del modelo OSI y está definida en estándares aprobados por la IEC y la ISA. Las señales H1 se codifican con la técnica Manchester Bifase-L, por lo que se puede considerar serie síncrono con la señal de reloj embebida en el mismo código.

El dispositivo transmisor envía 10mA a 31.25kbps sobre una carga equivalente de 50Ω para crear una tensión de 1Vpp modulada sobre la componente continua de alimentación. Las especificaciones del bus admiten tensiones de alimentación entre 9V y 32V, pero para aplicaciones intrínsecamente seguras el rango de tensiones admitidas dependerá del grado de la barrera. Si ningún dispositivo lo necesita, también se admite que el bus no transporte la tensión de alimentación, por lo cual la información será lo único transmitido por el bus, y todos los dispositivos necesitarán una fuente de energía alternativa¹⁰.

¹⁰ Tomado de Steve Mackay, "Foundation Fieldbus High Speed Ethernet (HSE) and TCP/IP", IDC Technologies, 2002

H1 también soporta buses de campo intrínsecamente seguros con dispositivos alimentados por el bus. Para permitirlo, se introduce una barrera intrínsecamente segura entre la fuente de alimentación en el área segura y el dispositivo intrínsecamente seguro en la zona peligrosa. H1 no está basado en FISCO, y por tanto el instalador deberá cerciorarse de que se cumplen las normas y todos los valores se encuentran dentro de los valores admisibles, como por ejemplo en lo referente a la inductancia y la capacidad del bus, o a la potencia máxima disponible para los dispositivos.

La topología del bus no se reduce a ser en árbol o completamente lineal, como en otros buses de campo, si no que además se permiten combinación de topologías utilizando cajas de conexiones que permiten la incorporación de derivaciones. Para evitar problemas con las reflexiones se limita la longitud total del cable.

2.4.2. Pila de Comunicaciones

No necesita ser muy complicada, ya que no son necesarias tareas de enrutado o establecimiento de conexiones y por tanto, está contenida completamente en las capas OSI 2 y 7 del modelo OSI. Los dispositivos Fieldbus Foundation tienen la capacidad de asumir funciones de control basándose en una comunicación distribuida, la cual permite lo siguiente:

- Cada dispositivo puede intercambiar datos directamente con los otros.
- Todos los dispositivos son servidos a tiempo, de forma que los bucles de control tengan un rendimiento estable.
- Para que el comportamiento sea determinista, es necesario evitar las colisiones.

Para garantizar estas premisas, H1 utiliza un sistema por paso de testigo con un controlador principal, el **LAS** (Link Active Scheduler). La función del LAS puede ser asumida por un dispositivo de campo normal, o por un dispositivo especializado. Un dispositivo con capacidad para convertirse en un LAS se denomina **Link Master**, mientras que los que no tienen esa capacidad se llaman **Basic Devices**. De esta manera, en un bus pueden estar presentes varios Link Masters, para que en caso de fallar el LAS activo otro pueda reemplazarlo.

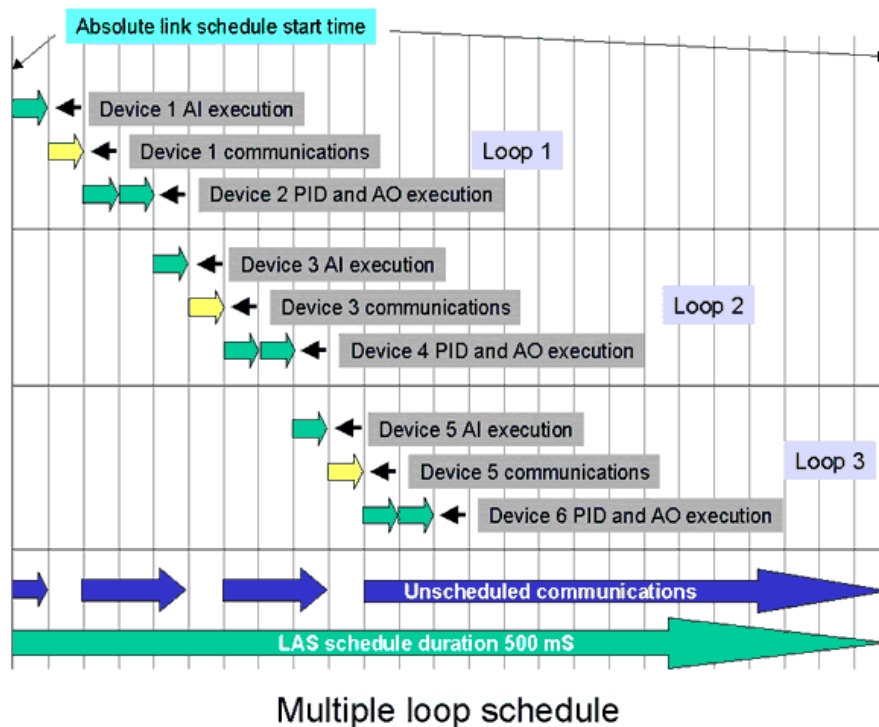
El LAS controla y temporiza las comunicaciones en el bus, utilizando varios testigos y comandos que envía de forma rotativa a todos los dispositivos, comunicación determinística. También se encarga de auto detectar los dispositivos recién conectados o los que están fallando, configurando así un sistema plug and play; todas las tareas con dependencias temporales fuertes se realizan manteniendo una agenda estricta de transmisiones. Esta planificación debe ser creada por el operador al configurar el sistema Fieldbus Foundation.

FF ofrece servicios de comunicaciones con transmisión de datos programada (planificada de antemano de forma periódica) y no programada (asíncrona, transmitida bajo demanda). Las tareas con una fuerte dependencia del tiempo y periódicas, como la comunicación de una variable para un bucle de control, se realizan de forma programada, mientras que las transmisiones de diagnóstico, configuración, y demás, se realizan de forma no programada. El LAS transmite periódicamente un paquete de sincronización (TD: Time Distribution), para que todos los dispositivos tengan exactamente la misma hora. Así en una transmisión programada, el instante en que se inicia y la duración de la misma están preestablecidos de forma precisa,

Estas planificaciones se repiten cíclicamente en lo que se denominan macrociclos. Cada tarea periódica (no sólo las transmisiones, si no también el momento de

ejecución de cada bloque funcional) estará programada para un instante concreto dentro del macrociclo, pero teniendo en cuenta que no puede haber más de una simultáneamente que implique acceso al bus¹¹, ya que para asegurarse de que no haya colisiones, un dispositivo sólo puede transmitir cuando el LAS le cede el control del bus mediante un paquete testigo. El LAS se asegura de que el testigo pase por todos los dispositivos de la lista de dispositivos activos. La figura 11 muestra un macrociclo en el cual se observa la transmisión de tres lazos.

Figura 11. Macrociclo para Múltiples Bloques de Función en ejecución



Tomado de www.elo.utfsm.cl/~elo373/Sistema%20de%20Control%203.ppt

¹¹ Es decir, así como se puede programar la ejecución de varios bloques funcionales independientes para 3ms después de comenzar el macrociclo, no se puede hacer lo mismo con varias transferencias de información a través de un mismo segmento H1 ya que provocaríamos una colisión.

2.4.3. Aplicación de usuario

La aplicación de usuario es una capa adicional que no está definida por el OSI, la cual se encuentra inmediatamente por encima de la capa 7 y es la misma tanto para H1 como para HSE.

Fieldbus Foundation divide la capa de Aplicación del modelo OSI colocando dos capas propias, las cuales son la capa de especificación de mensajes (Fieldbus Message Specification o FMS) y la subcapa de acceso al bus (Fieldbus Access Sublayer o FAS).

2.4.3.1. Fieldbus Access Sublayer (FAS)

La FAS proporciona una interfaz entre FMS y la capa de enlace (DLL), ofreciendo servicios de control y manejo de “relaciones virtuales”. Las Relaciones de Comunicación Virtual (Virtual Communication Relationships o VCR) describen diferentes tipos de procesos de comunicación, y permiten que las operaciones asociadas sean procesadas más rápidamente. Básicamente, lo que hacen es asignar un código de conexión corto a la dirección completa de una conexión, simplificando el funcionamiento de las capas superiores y reduciendo la cantidad de información a transmitir por el bus, además de controlar el funcionamiento de dicha “relación virtual” y gestionar parte del comportamiento redundante de la red. La capa de acceso al bus (FAS) soporta tres tipos de VCRs¹²:

- ❖ **Publicador/Suscriptor:** Se utiliza para transmisiones de uno a muchos de datos que varían con el tiempo, de modo que cada dato transmitido sustituye el anterior. Pueden ser comunicaciones periódicas o no

¹² Tomado de “Foundation Fieldbus Technical Overview”, Fieldbus Foundation 1996

programadas. Generalmente los dispositivos de campo utilizan este tipo para transmitir (publicador) o recibir (suscriptor) los parámetros de entrada/salida de sus bloques funcionales.

- ❖ **Cliente/Servidor:** Se emplea para transmisiones encoladas¹³, no programadas, de uno a uno. El modo cliente/servidor suele ser utilizado por el operador para tareas de configuración, asentimiento de alarmas, y transmisiones varias a los dispositivos.
- ❖ **Notificación de eventos:** Se utiliza para transmisiones encoladas, no programadas, de uno a muchos. Suele utilizarse para transmitir alarmas y notificaciones a las consolas de los operadores.

2.4.3.2. Fieldbus Message Specification (FMS)

Los servicios de la capa de especificación de mensajes (FMS) permiten a las aplicaciones de usuario y a los dispositivos enviar mensajes a través del bus de campo utilizando un conjunto de formatos de mensajes estándar.

Los tipos de datos que pueden ser comunicados sobre el bus de campo se asignan a ciertos servicios de comunicaciones. Para una asignación uniforme, se emplean descripciones de objeto (object descriptions). Las descripciones de objeto contienen definiciones de todos los formatos de mensaje estándar, y también incluyen datos específicos de aplicación. Para cada tipo de objeto hay servicios de comunicaciones predefinidos.

Las descripciones de objeto se recopilan en un diccionario de objetos (Object Dictionary, OD).

¹³ Encolados significa que se envían todos los datos en el orden en que fueron solicitando su emisión, ya que en el tipo Publicador/Suscriptor cada dato nuevo dejaba obsoleto al anterior por lo que éste era eliminado.

Se identifica entonces la descripción de cada objeto por su índice dentro del diccionario¹⁴:

- ❖ El índice 0 describe la estructura del propio diccionario.
- ❖ Los índices entre 1 y 255 describen tipos de datos básicos (entero, cadena, punto flotante).
- ❖ Las descripciones de objetos de las aplicaciones del usuario pueden empezar en cualquier índice a partir del 255.

El FMS define los Virtual Field Devices (VFD), dispositivos de campo virtuales que permiten utilizar remotamente los datos locales de cualquier dispositivo descritos en el diccionario de objetos. Un dispositivo típico tendrá al menos los dos siguientes VFDs¹⁵:

- **Gestión de red (Network Management):** Permite configurar la pila de comunicaciones del dispositivo. Da acceso a la base de información de gestión de red (NMIB, Network Management Information Base), y también a la base de información de gestión del sistema (SMIB, System Management Information Base). La NMIB incluye las VCR del dispositivo, variables dinámicas, estadísticas, y la programación del LAS si el dispositivo es un Link Master. Los datos de la SMIB incluyen la etiqueta y la dirección del dispositivo, y las programaciones horarias de ejecución de sus bloques funcionales.
- **Aplicación de usuario (User Application):** Da acceso a todas las funciones del dispositivo, como sus sensores, actuadores, etc. También permite configurar el funcionamiento del hardware, cargar información de calibración, etc.

¹⁴ Tomado de "Foundation Fieldbus Communication", Samson AG, 2000

¹⁵ Tomado de "Foundation Fieldbus Technical Overview", Fieldbus Foundation 1996.

La aplicación de usuario además especifica el modelo de aplicación de usuario, describiendo la estructura y funcionamiento de los bloques funcionales.

Como ya se ha mencionado anteriormente la estrategia de control de FF se define mediante bloques funcionales, de una forma similar a como se programa en LabView, con la diferencia que los bloques funcionales tienen una representación directa en el hardware del sistema.

Muchas de las funciones del sistema, como las entradas y salidas o bloques PID (Proporcional/Integrador/Derivador) pueden ser realizadas por el propio dispositivo de campo, distribuyendo el control a través de los dispositivos de campo.¹⁶

Se definen tres tipos de bloques funcionales:

- ❖ **Bloques de recursos:** Cada dispositivo contiene un bloque de recursos (*Resource Block*), el cual describe las características de ese dispositivo, tales como el nombre, fabricante o número de serie. De igual forma sirve para configurar parámetros que afectan al dispositivo en su conjunto.

- ❖ **Bloques de transductor:** Permite configurar los sistemas de entrada/salida de cada dispositivo. Contienen información como la calibración o el tipo de sensor.

- ❖ **Bloques funcionales¹⁷:** Los bloques funcionales (*Function Blocks*) son los que establecen la estrategia de control. Realizan todas las operaciones del sistema como cálculos numéricos, todo el procesamiento de control necesario para el sistema, e incluso la acción en sí de adquirir

¹⁶ Tomado de "Fieldbus Tutorial, A Foundation Fieldbus Technology Overview", Smar, 2001

¹⁷ No es raro que se hable de los bloques en general denominándolos bloques funcionales. Aquí se describen los bloques funcionales en el sentido estricto.

un valor o accionar un actuador. Foundation Fieldbus define un set de bloques funcionales básicos y avanzados, el fabricante decide cuantos incluir

Con los bloques configurados para realizar el proceso, es necesario configurar el bucle de control, creando enlaces entre los parámetros de entrada y salida de los bloques funcionales. Los enlaces pueden ser locales, si los bloques unidos están en el mismo dispositivo, o remotos, si cada bloque está en un dispositivo distinto. En caso de que el enlace sea remoto, toda la información comunicada a través de ese enlace viajará por el bus desde un dispositivo al otro.

En la tabla 4 se especifican algunos de los bloques funcionales básicos, mientras que en la tabla 5 se mencionan algunos bloques funcionales avanzados.

Tabla 4. Bloques funcionales básicos definidos por Fieldbus Foundation

Basic Specified Continuous Blocks		
Analog Input	AI	Reads analog input
Analog Output	AO	Sends analog output
Bias Gain	B	Scaling
Control Selector	CS	Override control
Manual Loader	ML	Manual Control
PID Control	PID	PID Control
PD Control	PD	PD only control
Ratio Control	RA	Ratio Control
Basic Specified Discrete Blocks		
Discrete Input	DI	Reads discrete input
Discrete Output	DO	Sends discrete output

Tomado de www.elo.utfsm.cl/~elo373/Sistema%20de%20Control%203.ppt

Tabla 5. Bloques funcionales avanzados definidos por Fieldbus Foundation

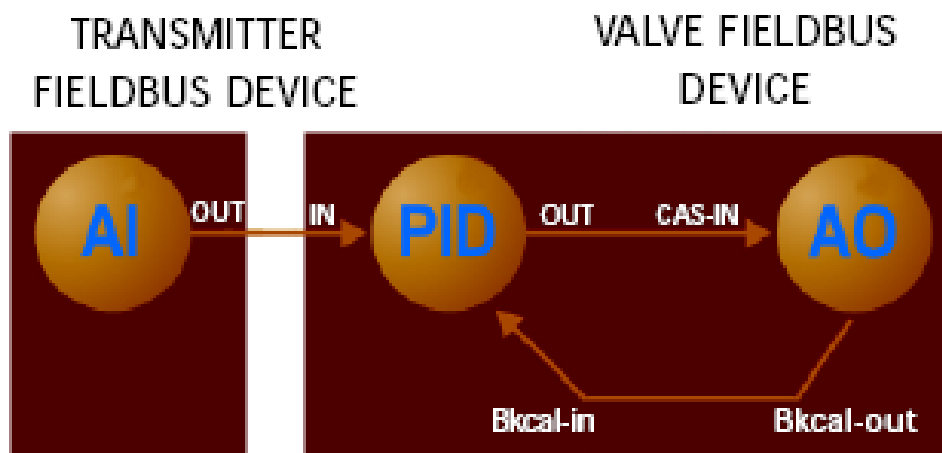
Advanced Specified Continuous Function Blocks	
Complex AO	Provides extensive interlocking
Splitter	1-in-3-out + logic -- for split ranging
Selector	4-in-1-out (min., max., mid., avg.)
Setpoint Generator	SP generator for Batch applications
Characterizer	Has interpolation and tracking
Integrator	Integrate flow or pulse + reset
Calc_A	1131-C inst. - 50 steps - analogs
Lead/Lag	Dynamic compensation
Dead Time	Delay for analog feedforward control
Analog Alarm	Provides alarm response
Advanced Specified Discrete Function Blocks	
Digital HMI	Operator input - reference by tag
Pulse Input	Pass pulses to integrator
Timer	Count up/down, debounce
Digital Alarm	Provides alarm response
Step Control	SP control using discrete actuators
Calc_D	1131-C inst. - 50 steps - discretos
Complex DO	Provides extensive interlocking
Device	Simple 2 or 3 state devices (pumps)
Dead Time	Delay for analog feedforward control
Analog Alarm	Provides alarm response

Tomado de www.elo.utfsm.cl/~elo373/Sistema%20de%20Control%203.ppt

También se definen otros bloques funcionales, de los cuales el más sobresaliente es quizá el **FFB** (Flexible Function Block), el cual se trata de un bloque definido por el usuario, con lo que permite a un fabricante o usuario implementar un algoritmo propio que interaccione con bloques funcionales estándar.

Por ejemplo, un sensor de temperatura simple podría contener solamente un *AI*, mientras que una electroválvula podría contener un *AO* acompañado de un bloque PID, ver figura 12.

Figura 12. Ejemplo de implementación de bloques funcionales



Tomado de "Fieldbus Tutorial, A Foundation Fieldbus Technology Overview", Smar, 2001

Debido a que Fieldbus Foundation es un protocolo abierto, cualquier fabricante puede ofrecer dispositivos compatibles que funcionaran perfectamente con los dispositivos de otros fabricantes. Sin embargo para que el cliente final pueda estar seguro de la interoperabilidad de un dispositivo, Fieldbus Foundation ofrece una serie de programas de certificación a los fabricantes para que éstos puedan comprobar sus productos y garantizar su calidad.

Todas las funciones realizables en un sistema FF son configuradas y programadas mediante los bloques funcionales, por lo que el diseño de todo el sistema es homogéneo¹⁸. Los bloques funcionales de FF tienen un diseño consistente, orientado a bloques, que permite la distribución de las funciones a través de dispositivos de múltiples fabricantes de una forma perfectamente integrada.

Todos los dispositivos Fieldbus Foundation comparten un “sentido del tiempo” común. Así, independientemente de los retardos por las interconexiones, la ejecución de cada bloque funcional se realiza de forma totalmente sincronizada a la de los demás. Para asegurarse de que las herramientas de diseño puedan ser genéricas y para permitir su adaptación a los nuevos dispositivos según vayan saliendo al mercado, cada dispositivo se suministra con su descripción completa en dos tipos de archivos¹⁹:

- ❖ **Capability File (CF):** Describe al sistema de control, con que recursos cuenta el dispositivo, el número de bloques funcionales y sus tipos.

- ❖ **Device Description File (DD):** describe las entradas, salidas y funciones de cada bloque funcional contenido en el dispositivo.

Con esta información, cualquier sistema de control o herramienta de diseño estándar puede configurar y comunicarse con un dispositivo.

¹⁸ Tomado de Mario Pinotti Jr., Dennis Brandao “Projecting and Integrating Fieldbus Foundation Function Blocks”, Departamento de Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia de Sao Carlos 2001.

¹⁹ Tomado de “Foundation Fieldbus Technical Overview”, Fieldbus Foundation 1996

3. ETHERNET

3.1. ¿Qué es Ethernet?

Ethernet es la tecnología de red LAN más usada, resultando idóneas para aquellos casos en los que se necesita una red local que deba transportar tráfico esporádico y ocasionalmente pesado a velocidades muy elevadas. Las redes Ethernet se implementan con una topología física de estrella y lógica de bus, y se caracterizan por su alto rendimiento a velocidades de 10-100 Mbps.

Otros tipos de LAN incluyen Token Ring 802.5, FDDI, ATM y LocalTalk, sin embargo Ethernet es popular porque permite un buen equilibrio entre velocidad, costo y facilidad de instalación. Estos puntos fuertes, combinados con la amplia aceptación en el mercado y la habilidad de soportar virtualmente todos los protocolos de red populares, hacen a Ethernet la tecnología ideal para la red de la mayoría de usuarios de la informática actual.

3.2. Historia de Ethernet

El origen de las redes Ethernet hay que buscarlo en la Universidad de Hawai, donde se desarrolló, en los años setenta, el Método de Acceso Múltiple con Detección de Portadora y Detección de Colisiones, CSMA/CD (Carrier Sense and Multiple Access with Collision Detection), utilizado actualmente por Ethernet. Este método surgió ante la necesidad de implementar en las islas Hawai un sistema de comunicaciones basado en la transmisión de datos por radio, que se llamó Aloha, y permite que todos los dispositivos puedan acceder al mismo medio, aunque sólo puede existir un único emisor en cada instante. Con ello todos los sistemas

pueden actuar como receptores de forma simultánea, pero la información debe ser transmitida por turnos.

El centro de investigaciones PARC (Palo Alto Research Center) de la Xerox Corporation desarrolló el primer sistema Ethernet experimental en los años 70, que originalmente se trató de un diseño propietario, ésta tecnología fue estandarizada por la especificación IEEE 802.3, publicada en 1980, la cual define la forma en que los puertos de la red envían y reciben datos sobre un medio físico compartido que se comporta como un bus lógico, independientemente de su configuración física.

3.3. Descripción de Ethernet

Las redes Ethernet son de carácter no determinista, en la que los hosts pueden transmitir datos en cualquier momento. Antes de enviarlos, escuchan el medio de transmisión para determinar si se encuentra en uso. Si lo está, entonces esperan. En caso contrario, los host comienzan a transmitir. En caso de que dos o más host empiecen a transmitir tramas a la vez se producirán encontronazos o choques entre tramas diferentes que quieren pasar por el mismo sitio a la vez. Este fenómeno se denomina colisión, y la porción de los medios de red donde se producen colisiones se denomina dominio de colisiones.

Una colisión se produce pues cuando dos máquinas escuchan para saber si hay tráfico de red, no lo detectan y, acto seguido transmiten de forma simultánea. En este caso, ambas transmisiones se dañan y las estaciones deben volver a transmitir más tarde. Para intentar solventar esta pérdida de paquetes, las máquinas poseen mecanismos de detección de las colisiones y algoritmos de

postergación que determinan el momento en que aquellas que han enviado tramas que han sido destruidas por colisiones pueden volver a transmitir las.

3.3.1. Estándares definidos para los tipos de Ethernet

Existen una gran variedad de implementaciones de IEEE 802.3. Para distinguir entre ellas, se ha desarrollado una notación. Esta notación especifica tres características de la implementación.

- ❖ La tasa de transferencia de datos en Mb/s
- ❖ El método de señalamiento utilizado
- ❖ La máxima longitud de segmento de cable en cientos de metros del tipo de medio.

3.3.1.1. Estándares para Ethernet

❖ 1BASE-5

El estándar IEEE para Ethernet en banda base a 1Mb/s sobre cable par trenzado a una distancia máxima de 250m.

❖ 10BASE-5

Es el estándar IEEE para Ethernet en banda base a 10Mb/s sobre cable coaxial de 50 Ω troncal y AUI (attachment unit interface) de cable par trenzado a una distancia máxima de 500m.

❖ **10BASE-2**

El estándar IEEE para Ethernet en banda base a 10MB/s sobre cable coaxial delgado de 50 Ω con una distancia máxima de 185m.

❖ **10BROAD-36**

El estándar IEEE para Ethernet en banda ancha a 10Mb/s sobre cable coaxial de banda ancha de 75 Ω con una distancia máxima de 3600m.

❖ **10BASE-T**

El estándar IEEE para Ethernet en banda base a 10 Mb/s sobre cable par trenzado sin blindaje (Unshielded Twisted Pair o UTP) siguiendo una topología de cableado horizontal en forma de estrella, con una distancia máxima de 100m desde una estación a un hub.

❖ **10BASE-F**

El estándar IEEE para Ethernet en banda base a 10Mb/s sobre fibra óptica con una distancia máxima de 2.000 metros (2Km).

3.3.1.2. Estándares para Fast Ethernet

❖ **100BASE-TX**

El estándar IEEE para Ethernet en banda base a 100Mb/s sobre dos pares (cada uno de los pares de categoría 5 o superior) de cable UTP o dos pares de cable STP.

❖ **100BASE-T4**

El estándar IEEE para Ethernet en banda base a 100Mb/s sobre 4 pares de cable UTP de categoría 3 (o superior).

❖ **100BASE-FX**

Es el estándar IEEE para Ethernet en banda base a 100Mb/s sobre un sistema de cableado de dos fibras ópticas de 62.5/125 μm .

❖ **100BASE-T2**

El estándar IEEE para Ethernet en banda base a 100Mb/s sobre 2 pares de categoría 3 (o superior) de cable UTP.

3.3.1.3. Estándares para Gigabit Ethernet

❖ **1000BASE-SX**

El estándar IEEE para Ethernet en banda base a 1000Mb/s (1Gb/s) sobre 2 fibras multimodo (50/125 μm o 62.5/125 μm) de cableado de fibra óptica.

❖ **1000BASE-LX**

El estándar IEEE para Ethernet en banda base a 1000Mb/s (1Gb/s) sobre 2 fibras monomodo o multimodo (50/125 μm o 62.5/125 μm) de cableado de fibra óptica.

❖ **1000BASE-CX**

El estándar IEEE para Ethernet en banda base a 1000Mb/s (1Gb/s) sobre cableado de cobre blindado balanceado de 150 Ω . Este es un cable especial con una longitud máxima de 25m.

❖ **1000BASE-T**

El estándar IEEE para Ethernet en banda base a 1000Mb/s (1Gb/s) sobre 4 pares de categoría 5 o superior de cable UTP, con una distancia máxima de cableado de 100m

3.4. Principios de Operación de Ethernet

Cada dispositivo equipado con Ethernet opera en forma independiente del resto de los dispositivos de la red, las redes Ethernet no hacen uso de un dispositivo central de control. Todos los dispositivos son conectados a un canal de comunicaciones de señales compartidas.

Las señales Ethernet son transmitidas en serie, se transmite un bit a la vez. Las transmisiones se realizan a través del canal de señales compartidas donde todos los dispositivos conectados pueden escuchar la transmisión.

Antes de comenzar una transmisión, un dispositivo escucha el canal de transmisión para ver si se encuentra libre de transmisiones. Si el canal se encuentra libre, el dispositivo puede transmitir sus datos en la forma de una trama Ethernet. Después de que es transmitida una trama, todos los dispositivos de la red compiten por la siguiente oportunidad de transmitir una trama. La disputa por la oportunidad de transmitir entre los dispositivos es pareja, para asegurar que el acceso al canal de comunicaciones sea justo, ningún dispositivo puede bloquear a otros dispositivos.

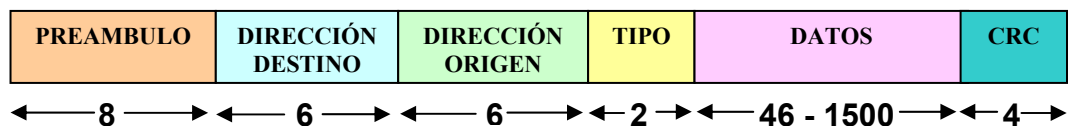
El acceso al canal de comunicaciones compartido es determinado por la subcapa MAC. Este control de acceso al medio es conocido como CSMA/CS.

3.4.1. Trama Ethernet

Por ser una red broadcast los mensajes enviados por una estación se difunden por todo el árbol de la red formado por los repetidores y segmentos (cuando no existen conmutadores), llegando a todas las estaciones de la red. Esto permite la emisión de mensajes destinados a todas las estaciones.

El paquete de un mensaje Ethernet consta de los siguientes campos como se muestra a continuación en la figura 13:

Figura 13. Trama Ethernet



Tomado de <http://isa.uniovi.es/docencia/iea/comunicacionesindustrialestransparencias.pdf>

- ❖ **Preámbulo** (8 bytes): Es una cadena de bits empleada para la sincronización de la codificación de fase y para determinar el comienzo de la trama. Consta de 7 bytes (10101010) de preámbulo y un delimitador de comienzo de la trama (10101011).
- ❖ **Dirección de Destino** (6 bytes): La dirección FF:FF:FF:FF:FF:FF (todos los bits a 1) es la dirección broadcast que significa que el mensaje se dirige a todas las estaciones.
- ❖ **Dirección de Origen** (6 bytes): La dirección Ethernet tiene 48 bits, de manera que cada estación tiene una dirección única grabada en el hardware con lo que no puede haber coincidencias de dirección entre 2 estaciones distintas. Los rangos de direcciones Ethernet son otorgados como parte de la licencia de Xerox a los fabricantes de tarjetas de interfaz Ethernet. Cada fabricante se puede identificar mediante los 3 primeros

octetos de la dirección Ethernet, y los otros 3 numeran de forma única cada interfaz, de tal manera que nunca puedan existir dos tarjetas de interfaz Ethernet con la misma dirección.

- ❖ **Tipo** (2 bytes): En este campo se indica cual es el protocolo del nivel inmediatamente superior (el de Red) encapsulado en el campo de datos. Este valor ha de ser superior al valor 05EE en hexadecimal, si es inferior, se trata de un campo de longitud utilizado en tramas de tipo IEEE 802.3.
- ❖ **Datos** (46 a 1500 bytes): Contiene los datos de nivel de enlace transmitidos por la trama.
- ❖ **CRC** (4 bytes): Código de redundancia cíclica para detección de errores en la trama.

3.4.2. Topologías de Ethernet

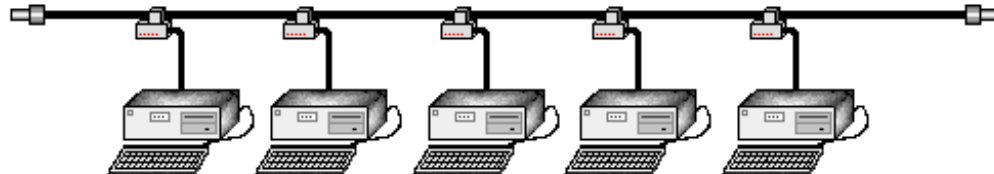
Las redes ethernet a menudo están formadas por múltiples segmentos individuales interconectados por repetidores. Los segmentos están interconectados entre si siguiendo lo que se denomina un patrón de árbol sin raíz. Cada segmento Ethernet es una rama individual de la red completa. Se considera sin raíz ya que los segmentos interconectados pueden crecer en cualquier dirección.

Los segmentos Ethernet individuales pueden utilizar diferentes medios. Históricamente cada tipo de medio requiere de una disposición de física de cable diferente. Actualmente la topología física recomendada para las instalaciones es la topología estrella como se especifica en ANSI/TIA/EIA-568-A. La utilización de una topología estrella ha hecho permitido limitar las interrupciones en la red causadas por problemas de cableado.

3.4.2.1. Topología Bus

Cuando se utiliza cable coaxial delgado, la topología física de la red puede ser únicamente una topología bus. En este diseño, todos los dispositivos son conectados a un único tramo de cable. Este cable provee un camino para las señales eléctricas que es común para todos los dispositivos conectados y transporta todas las transmisiones entre los dispositivos (ver figura 14).

Figura 14. Topología Bus



Tomado de <http://personales.ya.com/pagina/redes.htm>

Un problema asociado con el diseño bus de cableado es que una falla en cualquier parte del cable coaxial delgado va a interrumpir el camino eléctrico. Como resultado, la operación de todos los dispositivos conectados será interrumpida.

Los dispositivos conectados a un segmento de cable coaxial delgado siguen una topología conocida como cadena tipo margarita. En esta topología, un cable coaxial delgado conectado a un conector T BNC en un dispositivo es conectado a otro conector T en el siguiente dispositivo y así sucesivamente. Los conectores T que se encuentran en los extremos opuestos del segmento son terminales.

En una topología cadena tipo margarita, si cualquier cable coaxial delgado es removido incorrectamente del conector T, todo el segmento queda no funcional

para todos los dispositivos conectados. Si el conector T es removido de la interfaz de red Ethernet, el segmento continúa funcionando, ya que la continuidad del cable coaxial no ha sido interrumpida.

También es posible tener segmentos punto a punto en un ambiente de cable coaxial delgado. Utilizando un repetidor multipuerto se puede conectar un segmento en forma directa a un dispositivo. Esto limita el número de dispositivos que pueden ser afectados por el daño a un cable específico.

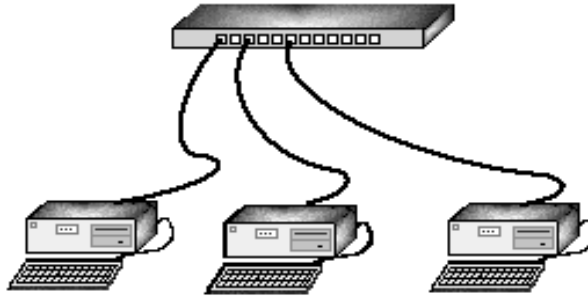
Como ejemplos de topología bus tenemos 10BASE-2 y 10BASE-5.

3.4.2.2. Topología Estrella

Los segmentos de par trenzado y de fibra óptica son dispuestos en una topología física estrella. En esta topología, los dispositivos individuales son conectados a un concentrador o hub central, formando un segmento. Las señales de cada dispositivo conectado son enviadas al hub y luego difundidas a todos los otros dispositivos conectados. Este diseño permite a Ethernet operar lógicamente como un bus, pero físicamente el bus solo existe en el hub. (Ver figura 15)

Una topología estrella simplifica la administración de la red y la resolución de problemas ya que cada tramo de cable conecta solo dos dispositivos, una a cada extremo del cable. Si un dispositivo no puede comunicarse exitosamente con en la red, puede ser movido físicamente a otra ubicación para establecer si la falla reside en el cableado o en el dispositivo. Este tipo de aislamiento es mucho más difícil en las topologías bus o cadena tipo margarita.

Figura 15. Topología Estrella



Tomado de <http://personales.ya.com/pagina/redes.htm>

La ventaja principal es que permite que todos los nodos se comuniquen entre sí de manera conveniente. La desventaja principal es que si el nodo central falla, toda la red se desconecta.

Como ejemplos de topología estrella tenemos 10BASE-T Ethernet y Fast Ethernet.

4. INTEROPERATIVIDAD ENTRE FIELDBUS Y ETHERNET

4.1. ¿Qué es interoperatividad?

El termino interoperatividad o interoperabilidad hace referencia a la posibilidad de que diferentes protocolos de automatización se integren entre sí.

Para este trabajo interoperatividad se refiere a la posibilidad de integrar protocolos de buses de campo con el protocolo Ethernet, más específicamente entre Fieldbus Foundation y Ethernet, con el fin de desarrollar tecnologías híbridas que permitan proveer conectividad abierta entre las aplicaciones de automatización de fábrica, control de proceso y sistemas de negocios.

4.2. Ethernet en la Industria del Control

Con el desarrollo de la industria de la medición y control a lo largo de los últimos veinte años, cada industria desarrolló su propia red de comunicación interna para conectar dispositivos de campo y control, dando como resultado una pobre interoperabilidad, necesidad de equipos costosos y donde las mejoras eran pocas.

Durante muchos años, Ethernet ha sido una tecnología adecuada para intercambiar información en ambientes de oficina. Sin embargo, se ha convertido en una norma de facto para proveer la interoperabilidad buscada por la industria.

4.2.1. Limitaciones

4.2.1.1. Limitaciones Generales

Ethernet es una tecnología pensada originalmente para el entorno de la oficina, y por tanto es necesario adaptarla al entorno industrial. Hay que proporcionarle robustez industrial.

La red de control es la que une todos los subsistemas, por lo que la visibilidad de cientos o quizá incluso miles de bucles dependerán de la integridad de la red de control. Un fallo completo puede representar pérdidas enormes²⁰.

Entre los problemas que se pueden encontrar al intentar emplear una Ethernet para tareas industriales están las siguientes²¹:

- ❖ Falta de determinismo.
- ❖ No se puede alimentar los dispositivos a través del bus (exige un cable adicional para el transporte de potencia)
- ❖ Las tarjetas de interfaz tienen consumos altos.
- ❖ No es intrínsecamente seguro.
- ❖ Los protocolos estándar no se adaptan a tareas de control (sobran muchos campos, y los overhead por paquete demasiado elevados)
- ❖ La longitud del cable está limitada a unos 100m.
- ❖ Necesita hubs y cable multi-núcleo.

²⁰ Tomado de "Foundation Fieldbus Technical Overview", Fieldbus Foundation 1996

²¹ Tomado de Steve Mackay, "Foundation Fieldbus High Speed Ethernet (HSE) and TCP/IP", IDC Technologies, 2002

Para empeorar las cosas, al contrario de lo que pudiera parecer, el empleo de Ethernet no garantiza la interoperabilidad de los sistemas, debido a que ni Ethernet ni TCP/IP especifican una pila de protocolos completa. De hecho, la mayor parte de las redes basadas en Ethernet son propietarias.

4.2.1.2. Robustez Física y Cableado

Las formas modernas de Ethernet utilizan cable UTP (Unshielded Twisted Pair) de pares trenzados usando una topología en estrella basada en hubs en la que hay un único dispositivo por segmento. Esta topología tiene la ventaja de que la conexión o desconexión de un dispositivo, o su mal funcionamiento, no afectará al funcionamiento de ningún otro segmento, pero es muy ineficiente en comparación con la topología lineal típica de un bus de campo porque exige una longitud total de cable desplegado mucho mayor, con el costo que ello implica²².

La propia robustez del sistema es mucho menor que la exigida en un ámbito industrial: es necesario modificarlo para adaptarlo a situaciones de humedad, polvo, vibración, golpes, calor o frío. Esto incluye no sólo los dispositivos de proceso, si no también el cable y los conectores.

4.2.1.3. Falta de Determinismo

En general, la información transmitida por una red industrial puede ser de tiempo real o puede no serlo. La información que no es de tiempo real no tiene límites temporales estrictos en los retardos sufridos durante el intercambio de datos. En

²² Tomado de "Foundation Fieldbus Technical Overview", Fieldbus Foundation 1996

contraste, la información de tiempo real tiene unos límites muy estrictos y el valor de cada dato disminuye conforme aumenta el retardo en la entrega. En ciertos casos, puede ser peor una entrega fuera de un lapso de tiempo aceptable que la pérdida de ese paquete. La información de tiempo real se puede dividir a su vez en periódica y asíncrona dependiendo de la naturaleza de la generación de los datos. En la mayoría de los casos, toda esta información se transmite por la misma red a pesar de que exigen características muy diferentes a la comunicación.

Ethernet utiliza un método de acceso al medio de tipo CSMA/CD, que permite trabajar con retardos pequeños si la carga es pequeña, pero el retardo aumenta de forma aleatoria según aumenta la carga, hasta el extremo en que el sistema puede fallar completamente si la carga es demasiado elevada. Éste fue uno de los motivos fundamentales que frenaron la entrada de Ethernet en la industria: la falta de determinismo (no se puede predecir cuánto tiempo tardará en enviarse un paquete concreto), y la falta de robustez (bajo condiciones de mucha carga, un paquete puede llegar a perderse por culpa del protocolo MAC, ya que tras 16 colisiones el paquete se descarta directamente)²³.

4.2.1.4. Seguridad Intrínseca

La técnica más popular para la protección de sistemas de instrumentación es la seguridad intrínseca (IS). En principio, los diseños IS aseguran la seguridad limitando la energía disponible en la zona peligrosa a niveles por debajo del punto en que se podría iniciar una explosión, por chispa o superficie caliente, durante condiciones normales o de fallo.

²³ Tomado de Steve Mackay, "Foundation Fieldbus High Speed Ethernet (HSE) and TCP/IP", IDC Technologies, 2002

Esta técnica se viene utilizando con éxito a lo largo del mundo desde hace décadas, y la mayoría de los estándares mundiales coinciden de forma muy aproximada en los límites seguros y en las curvas de ignición basadas en tensiones en circuito abierto y corrientes de cortocircuito. Estas limitaciones obligan a conectar un número muy reducido de dispositivos a cada segmento del bus (generalmente menos de cuatro).

La otra gran opción es FISCO (Fieldbus Intrinsically-Safe Concept), que intenta estirar la capacidad del diseño IS basándose en pruebas empíricas para admitir más corriente de la permitida por las curvas de ignición convencionales. FISCO ha demostrado ser realmente seguro, pero esa seguridad debe ser demostrada mediante pruebas de explosión prácticas, y no mediante diseño en papel²⁴. En ambos casos se limita también la capacidad e inductancia máximas del cable (y por tanto su longitud máxima).

Las redes Ethernet no fueron diseñadas pensando en ninguna de estas normas, y por tanto no pueden ser adaptadas sin emplear dispositivos que no cumplan los requisitos de IEEE 802.3u y por tanto que no sean estándar, perdiendo así las ventajas que ofrecía trabajar con Ethernet.

A pesar de lo anterior, la necesidad de aprovechar esta tecnología en los primeros niveles de control para reemplazar los buses de campo como Fieldbus y Profibus está en constante discusión, ya que la topología de Ethernet es mucho más sencilla, además, muchas plantas ya cuentan con el cableado que han estado utilizando para sus redes de negocios. Sin embargo a corto y mediano plazo esto

²⁴ Tomado de Mike O'Neill, "Practical Aspects of Fieldbus Installation", Hawke International Fieldbus Division, 2002

no será posible, ya que los buses de campo ofrecen prestaciones que están más allá de las que puede suministrar Ethernet, como energizar los instrumentos de campo mediante las líneas de señal y homologar la red para operación bajo las normas de seguridad intrínseca, entre otras. Adicionalmente, para que un sistema de control de procesos responda con rapidez a los cambios en las variables se necesita que éste sea determinístico y opere en tiempo real. Por lo tanto, en primera instancia, la opción de utilizar Ethernet en control de procesos parece absurda.

4.2.2. Beneficios de Ethernet para Sistemas de Medición y Control

No obstante, Ethernet se ha convertido en el estándar para sistemas altamente distribuidos debido a que existen beneficios básicos al emplearlo, que han permitido su adopción en automatización y medición distribuida.

4.2.2.1. Tecnología Omnipresente

Un beneficio primario de Ethernet en sistemas distribuidos de medición y control es la estandarización del equipo y las herramientas. Hoy en día, el costo del equipo de un sistema de comunicación Ethernet para control y adquisición de datos locales puede adquirirse a muy bajo costo y sus componentes son muy fáciles de conseguir en el mercado. Para sistemas donde la confiabilidad resulta la principal preocupación, la tecnología comercial diseñada para proporcionar altos niveles de actividad también está disponible.

4.2.2.2. Comunicación Simplificada entre Máquinas

En el pasado, los ingenieros construyendo sistemas distribuidos con frecuencia eran forzados a estandarizarse con un vendedor debido a las dificultades de implementación de comunicación máquina a máquina (M2M) usando hardware de múltiples vendedores. El problema radicaba en que cada vendedor ofrecía un bus de comunicación específico que a su vez no era soportado por los equipos de otros vendedores. Ahora que las compañías se están estandarizando con Ethernet, es posible conectar múltiples dispositivos en un bus físico. Las siete capas de la arquitectura OSI permiten a Ethernet soportar diferentes protocolos simultáneamente en una conexión física común.

4.2.2.3. Comunicaciones a la Empresa

Uno de los principales beneficios del Ethernet es la habilidad para comunicarse fácilmente entre máquinas y sistemas corporativos (M2E). La mayor parte de las empresas tienen una red Ethernet existente, típicamente en forma de red de área local. Usuarios comparten una variedad de datos a través de la red, desde reportes a nivel gerencial y datos de administración de la cadena de valor a bases de datos corporativas con acceso a estaciones de trabajo individuales. En aplicaciones donde se verifica la calidad del producto, es necesario almacenar los datos de las pruebas en una base de datos para su rastreo. Un sistema de adquisición de datos activado por Ethernet puede tener acceso a las bases de datos corporativas a través de interfaces estándar como ODBC, SQL, y ADO.

Con esta habilidad, el sistema de E/S Ethernet puede depositar datos adquiridos a bases de datos corporativas donde puede utilizarlas para crear reportes y analizar

el desempeño y condición de la planta. Lo mismo ocurre con la conectividad con los sistemas de planeación de recursos empresariales (ERP) como los disponibles por Oracle.

Estos sistemas pueden conectarse directamente con el sistema de adquisición de datos vía Ethernet y pueden usar los datos adquiridos para mejorar la comprensión y visibilidad del desempeño de manufactura y la condición de los recursos.

Los sistemas de medición y control Ethernet también pueden tener la habilidad de conectarse a la Web, enviar correos electrónicos, o pasar información usando protocolos de transferencia de archivos.

Usuarios en red pueden tener acceso directo al servidor Web incorporado a través del buscador Web y monitorear el estado del dispositivo y con los datos adquiridos pueden incluso modificar los parámetros de adquisición a través de la interfase.

4.2.2.4. Ancho de Banda

El ancho de banda de Ethernet lo hace adecuado para aplicaciones de medición y control. El estándar hoy día es Ethernet a 100 Mbit/s, y algunos sistemas de medición también están incorporando en Gigabit Ethernet. Sin embargo, la clave para la velocidad del Ethernet es el diseño de la red. Tradicionalmente, las redes Ethernet usaban concentradores para conectar nodos individuales. Un concentrador se conecta físicamente a todos los dispositivos y de manera transparente pasa el paquete Ethernet a todos los dispositivos conectados en el mismo.

Debido a que el concentrador transmite nuevamente a todos los nodos, el ancho de banda en red es compartido por todos los dispositivos conectados en él. Es por esto que la red se congestiona cuando otra persona que usa el concentrador descarga un archivo grande o grupo de archivos de otra computadora.

En una red con concentradores, dos dispositivos transmitiendo al mismo tiempo causan una colisión en ambos lados y deben esperar un tiempo indefinido para transmitir los datos nuevamente. Este proceso se conoce como Sensor de Carga de Acceso Múltiple con Colisión (CSMA/CD). Cuando un nodo está en red donde pueden ocurrir colisiones, el dispositivo debe transmitir y escuchar colisiones de manera recurrente. Debido a que el dispositivo siempre escucha una colisión en red con un concentrador, no puede recibir y enviar datos simultáneamente. Este tipo de red se conoce como red half-duplex.

Uno de los avances más importantes en redes Ethernet contemporáneas es el uso de Ethernet conmutado. Un conmutador (switch) Ethernet mantiene una tabla de acceso de las direcciones MAC de los dispositivos conectados a cada puerto. Cuando un conmutador recibe un paquete Ethernet, compara el destino en la dirección MAC con la dirección MAC almacenada en la tabla interna y después conecta a los dos puertos. En una red que consiste completamente en conmutadores, cada nodo tiene puertos de comunicación dedicados y el conmutador administra la conexión entre nodos. Si dos dispositivos intentan comunicarse al mismo nodo, uno de los conmutadores enviará una señal para evitar colisiones.

Una red con conmutadores elimina la posibilidad de colisiones y permite a los nodos individuales operar en un modo compartido donde ambos transmiten y reciben datos al mismo tiempo, doblando el ancho de banda total. Adicionalmente, debido a que el conmutador puede realizar conexiones múltiples, el ancho de

banda en red no es compartido por todos los dispositivos. Al compararse con redes en serie tradicionales, las mejoras a la velocidad del Ethernet resultan aparentes.

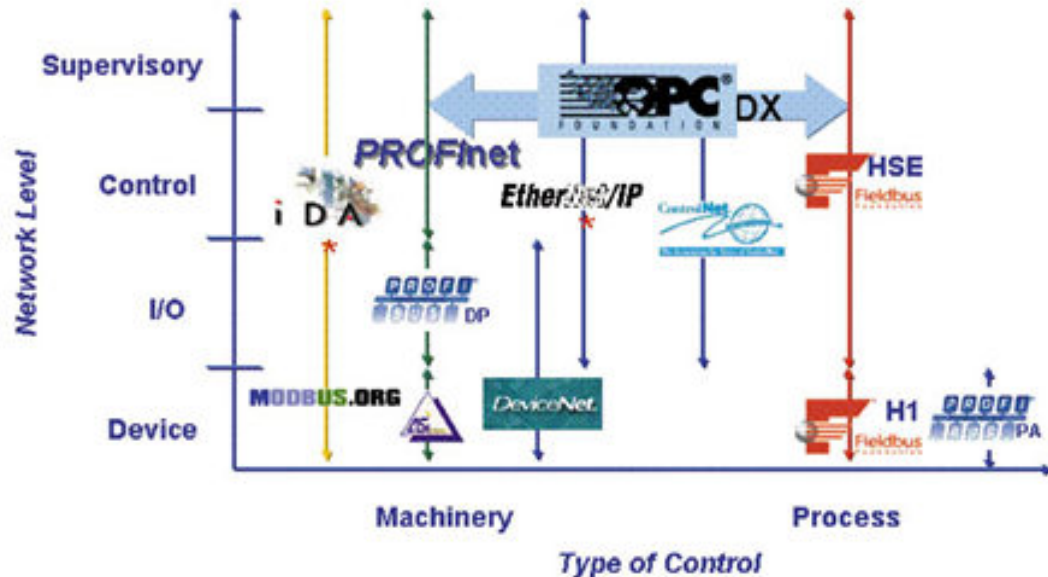
En una determinada aplicación de desechos de agua, una red en serie tradicional 485 fue considerada para un sistema de adquisición y control de datos. Debido a que los sistemas RS485 tienen una tasa de transferencia de datos lenta, el sistema es especificado para lograr una actualización de cada estación una vez cada 10 minutos. Cuando se examinó esta propuesta, se decidió instalar el sistema Ethernet en vez de un sistema basado en series. Esto no sólo brindó un mayor margen de ancho de banda al sistema, permitiendo la implementación de un protocolo de manejo de eventos donde cada estación actualizaba la estación principal de control cuando los datos cambiaran o se salieran de los límites. Este sistema resultante logra actualizaciones instantáneas de cada estación para que el operador sepa el estado en tiempo real de cada nodo en la red.²⁵

4.3. Protocolos Híbridos Basados en Ethernet

El protocolo Ethernet parece ser el futuro de las redes industriales, a tal grado que se han desarrollado varias iniciativas de fusión con los protocolos de buses de campo, con el fin de integrar las ventajas de ambas tecnologías en una nueva generación de arquitecturas de interconexión industrial. A partir de esto se pueden mencionar a Ethercat, Modbus TCP/IP, Ethernet/IP y Fieldbus Foundation HSE, entre otras menos utilizadas. La figura 16 muestra algunos de éstos protocolos híbridos y los bus de campo que les dieron origen.

²⁵ Tomado de National Instruments Corporation
<http://digital.ni.com/worldwide/latam.nsf/web/all/F98A8E9B0D9F41B18625710800624616>

Figura 16. Protocolos híbridos con respectivos buses de campo.



Tomado de <http://ethernet.industrial-networking.com/ieb/articledisplay.asp?id=26>

Con los buses de campo, los datos quedan almacenados y sólo se obtiene información al consultar directamente al equipo. En cambio, con el desarrollo estos nuevos protocolos híbridos, es posible incorporar respuestas en tiempo real y determinismo, características restringidas sobre la transmisión Ethernet Standard²⁶, siendo posible generar gráficos en línea sobre el estado de los equipos y los cambios que se han suscitado. Además, entrega la capacidad de que todos los sistemas se puedan comunicar entre sí, pudiendo ser administrados sobre un mismo protocolo de comunicación.

Las empresas que implementan estas nuevas tecnologías como algo totalmente nuevo deben preocuparse de conocer al fabricante que elijan y determinar hasta dónde abarca la tecnología que éste ofrece, para evitar que las propias

²⁶ Tomado de la Revista Electro Industria, Abril / 2005.
 Por Andrés Gorenberg, Gerente de Producto de Automatización A&D de Siemens Chile.
andres.gorenberg@siemens.com

limitaciones del proveedor restrinjan el nivel de conectividad que la compañía puede alcanzar. Para elegir una solución Ethernet se debe tener en cuenta:

- Capacidad en tiempo real.
- Migración (solución y marca).
- Topología y elasticidad de solución a nuevos productos.
- Administración
- Rendimiento.
- Costo.

4.4. Relación entre Fieldbus Foundation y Ethernet

La Fieldbus Foundation ha incursionado al mundo de la Ethernet Industrial mediante un estándar híbrido llamado *High Speed Ethernet (HSE)*, el cual se encuentra basado en Ethernet pero mantienen los beneficios del bus de campo Fieldbus Foundation H1, existen versiones de HSE (High Speed Ethernet) a 100Mbps y a 1Gbps, y tanto por par trenzado como por fibra óptica.. HSE es especialmente interesante para transmitir ficheros grandes y para transferencias de datos de alta velocidad como por ejemplo entre PLCs y RTUs.

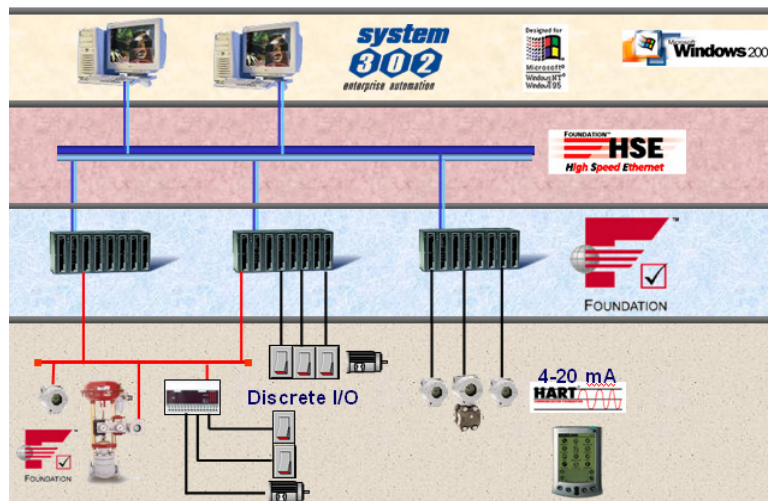
Cuando se diseñó el estándar HSE se enfatizó en el uso de componentes comerciales y en que se mantuviesen todas las funciones de H1. Concretamente, al igual que en H1, en HSE se siguen admitiendo transmisiones de dispositivo a dispositivo, incluso entre dispositivos H1 y HSE o entre dispositivos de segmentos H1 diferentes, por lo que sigue siendo posible realizar un sistema de control sin que un controlador principal forme parte del bucle de control²⁷.

²⁷ Tomado de Ian Verhappen, "High Speed Ethernet - The Enterprise Integration Enabler", 2002

La filosofía de la estructura lógica de una red HSE es tal que permite la combinación, sin necesidad de emplear soluciones de continuidad, con redes H1, y por tanto los protocolos involucrados y los métodos de funcionamiento son muy similares en ambas. De hecho, varias de las capas OSI son idénticas en ambos sistemas.

En una topología típica, la red HSE interconectará los diferentes segmentos H1 de una planta, posiblemente junto con uno o más dispositivos de alta velocidad, e incluso otras redes de campo de terceros. (Ver figura 17)

Figura 17. Topología Típica de una Red HSE



Tomado de www.smar.com/system302/Files/HSE.pps

HSE no ha sido diseñado para reemplazar a H1, sino por el contrario para ser utilizado en combinación con éste. Dado que las tecnologías a nivel de campo y a nivel de control forman parte de una misma familia de protocolos, se consigue una gran integración, y el sistema sigue siendo abierto e interoperable sin perder funcionalidad por culpa elementos propietarios. En la arquitectura del sistema de control propuesto por Fieldbus Foundation, H1 se utiliza a nivel de campo para

interconectar transmisores, posicionadores, y demás, mientras que HSE se emplea en un nivel superior, conectando los segmentos H1 y otros dispositivos de alta velocidad con las estaciones de trabajo. Cada uno tiene unas propiedades diferentes que lo hacen adecuado para su campo²⁸.

Al elegir componentes comerciales se aprovechan los beneficios de la economía de escala de este tipo de mercado ya que gracias a la masificación en la producción, los costos disminuyen espectacularmente, y hay mucha más variedad de fabricantes que utilizando dispositivos y componentes diseñados específicamente para un bus de campo; Además, gracias a que toda la parte física y las capas más inferiores de los protocolos ya están desarrolladas, probadas y establecidas, el esfuerzo de ingeniería se puede centrar en las capas más altas del modelo OSI.

Igual que H1, HSE es un estándar abierto, lo que implica que cualquier fabricante puede disponer de las especificaciones para fabricar dispositivos compatibles. Ninguna de las capas está ocupada por un protocolo propietario. Las capas inferiores de HSE se detallan en la norma IEEE 802.3u; utiliza Fast Ethernet para transmitir los servicios de H1, así como mensajes creados específicamente para HSE. La capa de aplicación de HSE contiene los protocolos DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol), SNTP (Simple Network Time Protocol) y SNMP (Simple Network Management Protocol). En la capa de usuario está el agente de gestión HSE y los bloques de función²⁹

Foundation Fieldbus es muy genérico, dado que fue desarrollado como un bus que integre las tecnologías anteriores más representativas, admitiendo múltiples

²⁸ Tomado de Jonas Berge, "Foundation HSE for high availability at host-level", Smar Singapore Pte Ltd., 2002

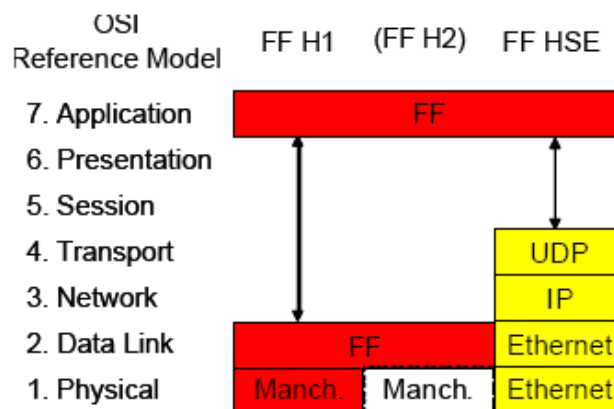
²⁹ Tomado de Steve Mackay, "Foundation Fieldbus High Speed Ethernet (HSE) and TCP/IP", IDC Technologies, 2002

métodos de comunicación y tipos de servicios. Esto permite a HSE interconectar no sólo dispositivos HSE y redes H1, si no también redes de otros sistemas sin perder nada (o casi nada) de funcionalidad. Sin embargo, el control ya no será nativo, siendo necesario recurrir a programas de terceros con los que habría que interactuar.

HSE emplea las capas física y de enlace correspondientes a Ethernet. Las capas de red y transporte, son manejadas por UDP, TCP e IP. Las capas de sesión y presentación no se utilizan, y en la capa de aplicación aparecen un gran número de protocolos: SNMP, DHCP, BOOTP, SNTP, así como ciertas especificaciones propias de HSE: FDA, FMS o SM³⁰.

Puede observarse que efectivamente basaron el trabajo en los estándares previos internacionales (tal como se declaró en los objetivos de la fundación), ya que la mayor parte del sistema está descrito por protocolos bien conocidos. La figura 18 muestra las capas constitutivas de HSE.

Figura 18. Capas OSI que forman a HSE



Tomado de "Foundation HSE control network overview", Fieldbus Foundation 10 Marzo 2006

³⁰ Tomado de "Foundation Fieldbus Technical Overview", Fieldbus Foundation 1996

HSE no sólo es un nuevo medio físico sobre el cual reenviar los paquetes de servicios H1, si no que tiene un funcionamiento ligeramente diferente en algunos aspectos, además de implementar ciertos servicios que H1 no brindaba. La tabla 6 muestra una comparación entre H1 y HSE.

Tabla 6. Comparación entre H1 y HSE

	H1	HSE
Speed	31.25 kbit/s	10 Mbit/s or 100 Mbit/s
Distance (per segment)	1,900 m (1.2 miles)	100 m (300 ft)
Two-wire	Yes	No
Multidrop	Yes	No (UTP)
Bus-power	Yes	No
Intrinsically safe	Yes	No
Redundancy	No	Yes
Deterministic	Yes	Yes (with switches)

Tomado de www.smar.com/system302/Files/HSE.pps

5. HSE: APLICACIÓN DE FIELDBUS FOUNDATION SOBRE ETHERNET

Este capítulo se encuentra destinado a la descripción de los aspectos específicos de la arquitectura High Speed Ethernet de Fieldbus Foundation.

5.1. Especificaciones de HSE

5.1.1. Presencia Ethernet

Se denomina Presencia Ethernet (Ethernet Presence) al módulo que ofrece los servicios de inicialización de las pilas Ethernet, comunicación de propósito general a través de los medios Ethernet, sincronización, y la gestión referente a Ethernet. Las especificaciones de HSE intentan abarcar todos los medios físicos y modos de señalización descritos en IEEE 802.3 y 802.3u. La gestión de la Presencia HSE utiliza una versión aumentada de SNMP para soportar los parámetros de la pila Ethernet únicos en Fieldbus Foundation³¹.

5.1.2. Agente FDA (FDA Agent)

Se define también el Agente FDA (Field Device Access, acceso al dispositivo de campo), con los siguientes objetivos³²:

³¹ Tomado de "Foundation Fieldbus Technical Overview", Fieldbus Foundation 1996

³² Tomado de "Foundation Fieldbus Technical Overview", Fieldbus Foundation 1996

- Transportar servicios de gestión (SM, System Management) a través de UDP, y servicios FMS (Fieldbus Message Specification) a través de TCP/UDP. Esto permite conectar dispositivos de campo HSE y H1, dispositivos convencionales de I/O, y dispositivos de entrada-salida “no-FF” a una red HSE a través de un Linking Device o un Gateway Device.
- Republicar datos H1 de Linking Devices que no permitan realizar puentes H1-HSE. Esto permite construir los dispositivos de enlace a partir de múltiples interfaces H1 en vez de usar un puente H1.
- Enviar y recibir mensajes de redundancia de red para soportar la redundancia de las interfaces de los dispositivos HSE.

El agente FDA permite que los sistemas de control operen sobre HSE y/o a través de Linking Devices, y permite que aplicaciones remotas accedan a los dispositivos de campo de cualquier tipo a través de TCP/UDP utilizando una única interfaz.

5.1.3. Gestión del Sistema HSE (HSE System Management o SM)

La gestión del sistema es la actividad que integra los dispositivos de una red HSE en un sistema de comunicaciones coherente. Se soportan las siguientes funciones³³:

- Cada dispositivo tiene una identidad única y permanente, así como un nombre configurado para un sistema concreto.
- Los dispositivos mantienen información de control de versiones.

³³ Tomado de “Foundation Fieldbus Technical Overview”, Fieldbus Foundation 1996

- Los dispositivos responden a peticiones para localizar objetos, incluyendo al dispositivo mismo.
- La hora se distribuye a todos los dispositivos de la red.
- Se utilizan las programaciones horarias de bloques funcionales para asegurar que cada bloque se inicia en su momento.
- Puede añadirse o retirarse un dispositivo a la red sin afectar a los demás

5.1.4. Gestión de la Red HSE (HSE Network Management o NM)

La gestión de red permite a los hosts HSE transmitir las operaciones de gestión a través de la red HSE. Se ofrecen las siguientes capacidades³⁴:

- Configurar el puente H1, que permite reenviar y republicar información entre interfaces H1.
- Cargar conexiones estáticas entre dos o más dispositivos HSE individualmente o desde una lista.
- Cargar VCRs individualmente o desde una lista. Las VCR en HSE son las relaciones de comunicaciones que permiten acceder a un dispositivo de campo a través de HSE, pasando si es necesario por una subred H1.
- Monitorizar el rendimiento a través de la recolección de estadísticas para las conexiones estáticas, VCRs, y puentes H1.
- Monitorizar la detección de fallos.

³⁴ Tomado de "Foundation Fieldbus Technical Overview", Fieldbus Foundation 1996

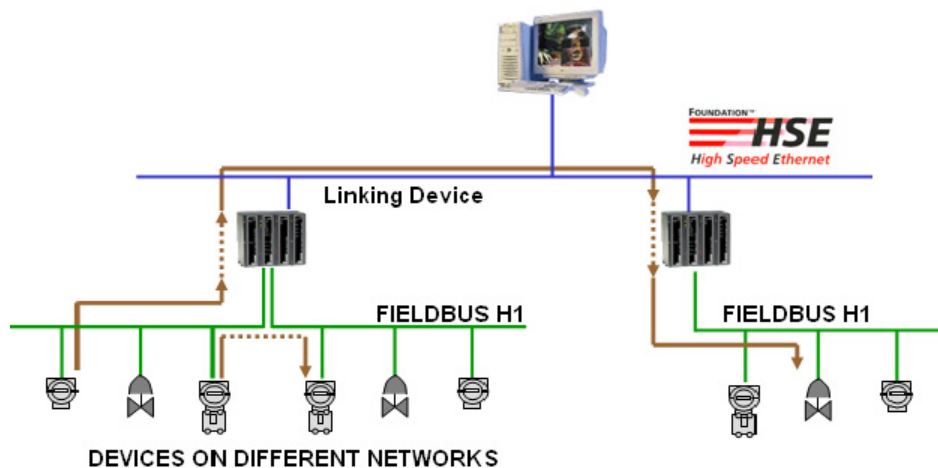
5.2. Dispositivos HSE

Según su finalidad, se definen cuatro tipos de dispositivos HSE:

5.2.1. Linking Device (LD)

Provee acceso a dispositivos H1. También realiza puentes a nivel H1 entre las redes H1 conectadas al mismo dispositivo, o incluso a través de la red HSE hasta otros LD, u otros dispositivos HSE. (Ver figura 19)

Figura 19. Linking Device



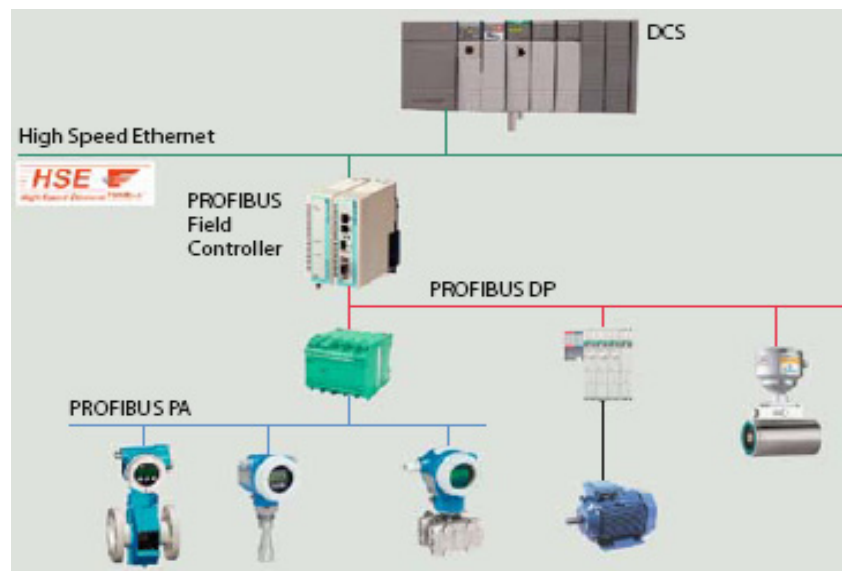
Tomado de www.smar.com/system302/Files/HSE.pps

5.2.2. Gateway Device (GD)

Da conectividad a otras redes “no-FF”. Los servicios ofrecidos dependen de las capacidades de la red en cuestión. En el momento se encuentran en el mercado gateway para HSE/Modbus y HSE/PROFIBUS DP, estos se encuentran

disponibles como gateway sencillos o equipados con un controlador local para la red conectada. I/O remotas para HSE/HART punto a punto o HSE/análogo y digital no se encuentran aun en el mercado pero lo estarán en un futuro cercano³⁵. La figura 20 muestra una conexión de una red PROFIBUS DP a una red HSE a través de un GD con controlador local.

Figura 20. Uso de un Gateway Device para integrar una red PROFIBUS DP a una red HSE



Tomado de "High Speed Ethernet. Promoting openness in hybrid control", Eugenio da Silva Neto y Peter Berrie

5.2.3. Ethernet Device (ED)

Es el equivalente a un dispositivo de campo H1, pero con una conexión directa a red HSE.

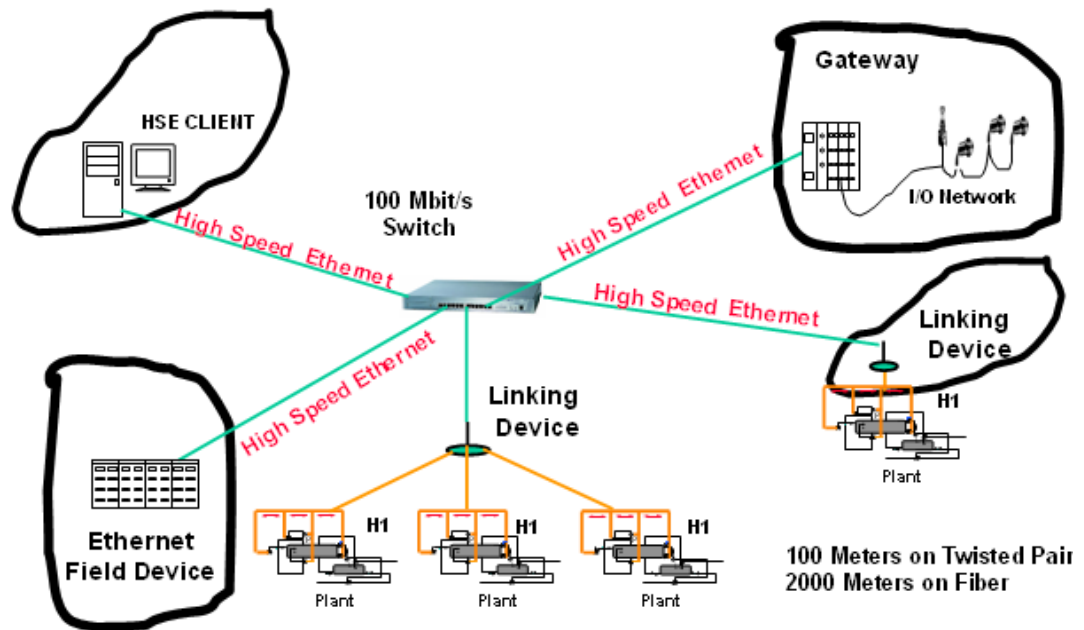
³⁵ Tomado de "High Speed Ethernet. Promoting openness in hybrid control". Febrero del 2006
Eugenio F da Silva Neto. Gerente de Control de Productos de Endress+Hauser Process Solutions AG.
eugenio.silva@solutions.endress.com
Peter G. Berrie. Gerente de Marketing Communication de Endress+Hauser Process Solutions AG.
berrie@solutions.endress.com

5.2.4. Host Device (HD)

Es un dispositivo no HSE que puede comunicarse con dispositivos HSE, como la estación de trabajo de un operador, o un servidor OPC.

La figura 21 muestra la conexión de los diferentes dispositivos en una red HSE.

Figura 21. Dispositivos HSE



Tomado de www.smar.com/system302/Files/HSE.pps

5.3. Beneficios de HSE

Además de los mismos beneficios del ciclo de vida de H1, HSE proporciona un backbone para integrar todos los sistemas de la planta:

5.3.1. Alto Rendimiento

Permite funciones de gestión activa como diagnósticos, calibración, identificación para analizar la información masiva -data mining- enviada por todos los dispositivos en tiempo real. La gestión activa permite a los usuarios realizar acciones de mantenimiento preventivo.

5.3.2. Interoperatividad de Subsistemas

Las plantas suelen estar compuestas por un cierto número de subsistemas independientes. Con HSE los subsistemas de cromatografía de gases, escáners de papel, sistemas de apagado de emergencia, etc. pueden ser integrados cómodamente gracias al protocolo abierto. Los usuarios pueden mezclar y combinar subsistemas para realizar tareas de control de todo tipo. Usando HSE puede accederse a la información sin necesidad de programación a medida. Además, numerosas características del sistema como la integridad de datos, diagnósticos, y redundancia son especificadas por HSE, por lo que funcionarían de forma perfectamente integrada entre dispositivos de diferentes fabricantes.

5.3.3. Bloques funcionales

Los mismos bloques funcionales que se empleaban en H1 pueden utilizarse en sistemas HSE, por lo que sigue sin ser necesario el uso de lenguajes propietarios. Puede utilizarse el mismo lenguaje de programación de estrategias de control a lo largo de todo el sistema.

5.3.4. Red troncal de control

HSE ofrece capacidades de comunicación de igual a igual (peer to peer). Los dispositivos pueden comunicarse unos con otros sin necesidad de pasar por un ordenador central. Esto hace posible realizar estrategias de control avanzadas empleando variables de toda la planta sin el riesgo de un fallo del ordenador central.

5.3.5. Ethernet estándar

La comunicación entre dispositivos HSE se realiza mediante cable Ethernet estándar; no hacen falta habilidades o herramientas especializadas para su instalación, por lo que ésta es rápida y sencilla. Los componentes estándar Ethernet (Commercial Off the Shelf) se fabrican de forma masiva, gracias a lo que el cable, las tarjetas de interfaz y el resto del hardware de red tiene un costo extremadamente bajo en comparación con las redes propietarias. Las opciones Ethernet para el medio físico incluyen par trenzado, fibra óptica e inalámbrica. Además, en caso de ser necesaria una fiabilidad mayor que la conseguida mediante componentes comerciales estándar (de oficina), todo el hardware de Ethernet puede conseguirse también en categoría industrial de numerosos fabricantes.

5.3.6. Interoperatividad

HSE está desarrollado a partir de Ethernet, sin embargo, como ya se ha mencionado Ethernet no garantiza la interoperabilidad de los sistemas debido a

que la mayor parte de las redes basadas en Ethernet son propietarias. Para asegurar la interoperabilidad, es imprescindible especificar todas las capas necesarias, sea empleando estándares ya existentes o proponiendo nuevos estándares. Concretamente, es necesario especificar una capa de aplicación y preferentemente también una capa de usuario que sean estándares abiertos. Por supuesto, HSE incluye estas capas en sus especificaciones³⁶.

5.3.7. Robustez Física y Cableado

Los conectores Ethernet de categoría industrial están sellados contra contaminantes del entorno, tienen una mayor protección frente a la vibración, son mucho más robustos, y se comportan muy bien en entornos eléctricamente ruidosos³⁷. También existen hubs de categoría industrial con fuentes de alimentación redundantes, rangos de temperatura muy amplios, carcasas más robustas, etc. Para aumentar la tolerancia al ruido eléctrico y a diferencias de potencial entre las tierras, puede utilizarse fibra óptica.

Además en todos estos casos, se sigue manteniendo una total compatibilidad con otros dispositivos Ethernet, por lo que una empresa puede decidir emplear hubs de categoría industrial en las zonas agresivas, pero manteniendo hubs normales en las zonas con ambientes más “tranquilos”.

³⁶ Tomado Foundation HSE for high availability at host-level”, Smar de Jonas Berge, “SingaporePte Ltd., 2002

³⁷ Tomado de Ian Verhappen, “High Speed Ethernet - The Enterprise Integration Enabler”, 2002

5.3.8. Determinismo

HSE emplea Ethernet conmutada. Un hub compartido es un repetidor multi-puerto que une varios segmentos en una única red. Un hub conmutado (habitualmente denominado switch) es un puente de varios puertos que une varias redes.

Los hubs conmutados (o switches) emplean técnicas de tipo almacenaje y retransmisión. Gracias a que en una topología en estrella cada segmento une sólo un dispositivo al switch, si dos dispositivos de la red deciden transmitir al mismo tiempo, será el switch quien almacene temporalmente uno de los paquetes para retransmitirlo después, evitando así la colisión³⁸. (Véase la figura 22)

En una red conectada enteramente mediante dispositivos de almacenamiento y retransmisión los retardos medios se minimizan, haciéndose casi independientes de la cantidad de tráfico ofrecido a la red, y reduciéndose drásticamente en caso de cargas elevadas. La red deja además de ser inestable, ya que no se va a descartar ningún paquete en el nivel de red.

Figura 22a. Redundancia de dispositivos

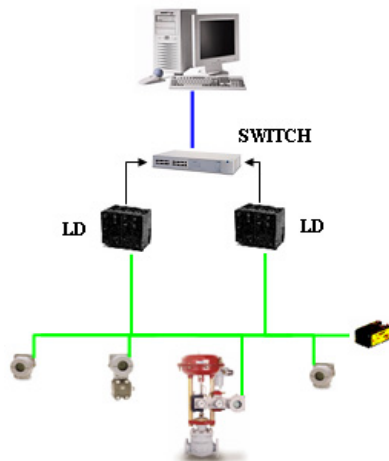
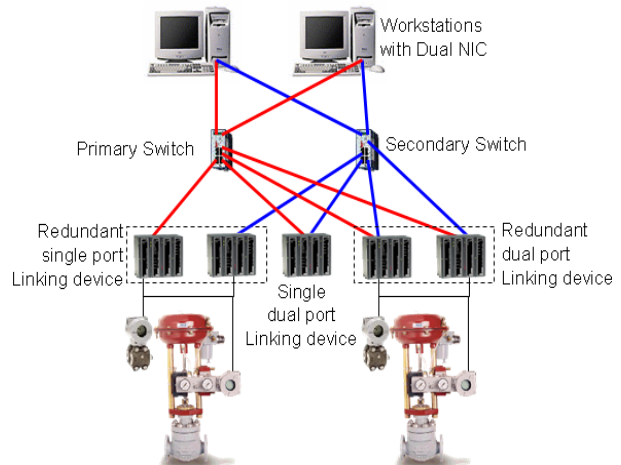


Figura 22b. Redundancia de Red y Dispositivos



Tomadas de www.smar.com/system302/Files/HSE.pps

³⁸ Tomado de Kyung Chang Lee, Suk Lee, "Performance evaluation of Switched Ethernet for Networked Control Systems", School of Mechanical Engineering, Pusan National University, 2002

5.3.9. Redundancia

En el nivel de campo, la redundancia se suele buscar distribuyendo tareas, de forma que un fallo afecte sólo a un pequeño sector. En el nivel de control, la red y los dispositivos se comparten entre muchos bucles de control, haciendo que estos componentes sean críticos para la operación de la planta. En este nivel el proceso está más centralizado, y por tanto la estrategia empleada generalmente es la redundancia.

HSE soporta una redundancia completa en dispositivos y medios de transmisión. (Ver figuras 22a y 22b). La parte del protocolo HSE que se encuentra en cada dispositivo relativa a diagnósticos de comprobación de integridad y gestión de redundancia, permite el uso de dos redes completamente independientes, puertos de comunicación redundantes, y también pares de dispositivos redundantes. El cambio de un dispositivo o medio dañado al de respaldo es inmediato y transparente.

Gracias a los mecanismos del protocolo, una aplicación de control ve únicamente un dispositivo Ethernet, el primario o el secundario. En caso de fallo, el propio protocolo HSE realiza la conmutación de forma completamente transparente. Todos los dispositivos mantienen de forma independiente información acerca del funcionamiento de la red, y dado que HSE especifica también la capa de aplicación, todos los dispositivos intercambian periódicamente esa información con lo cual se detecta inmediatamente cualquier fallo, no sólo los producidos en el dispositivo activo, si no también en el de respaldo, notificándolo al operador con un retardo mínimo. La redundancia de dispositivos se implementa usando dos dispositivos idénticos, uno primario y el otro secundario. El protocolo HSE especifica cómo se comunican estos dispositivos con el resto de la red, y cómo la

comunicación se conmuta de uno a otro en caso de fallos. Sin embargo no especifica cómo se conmuta la funcionalidad, o cómo se sincronizan los datos y la configuración, quedando a elección del fabricante decidir cómo llevarlo a cabo, lo cual obliga a que los dos dispositivos de cada par redundante sean del mismo fabricante.

HSE admite las siguientes combinaciones topológicas:

- ❖ Dispositivos de interfaz única en una única red.
- ❖ Dispositivos de dos interfaces en dos redes.
- ❖ Dispositivos de dos interfaces en una única red.

Por supuesto la mejor combinación es la segunda, pero también es la más cara, y por ello HSE admite cualquier combinación de ellas. Además, en caso de utilizar dos redes independientes, no es imprescindible que sus topologías sean idénticas.

5.3.10. Seguridad Intrínseca

En una red Fieldbus Foundation, la única alternativa para las comunicaciones en zonas peligrosas es la utilización de buses H1, obligando a colocar los Linking Devices, hubs, y demás elementos de las redes HSE en zonas seguras.

6. OTRAS TECNOLOGÍAS DE CAMPO BASADAS EN ETHERNET

6.1. PROFINET³⁹



Aunque intuitivamente nos podemos dar cuenta que Profinet es Profibus en Ethernet, es mucho más que la integración de un protocolo en otro. Este nuevo concepto (estandarizado según IEC 61158/61784-1 y 61158/61784-2) integra las reconocidas prestaciones de Profibus DP (determinismo, isocronismo, diagnóstico, acceso a I/Os remotas y a información de proceso) sobre protocolos TCP/IP en tecnología Ethernet (ver figura 23), permitiendo de este modo convivir las aplicaciones IT con la transmisión de información crítica. Para ello, la transmisión, basada en nuevos desarrollos de chips denominados ERTEC (Enhanced Real Time Ethernet Controller), reservan un rango de transmisión de la trama TCP/IP para la parte del telegrama crítico-determinístico, para, a continuación, seguir con la transmisión de otros protocolos.

Por otra parte, Profinet mantiene el mismo sistema simple de configuración, parametrización y diagnóstico que una red Profibus DP actual, de modo que las inversiones de capacitación y know-how invertido se garantizan en la nueva tecnología. Dos conceptos sostienen este estándar: Profinet I/O como solución para el acceso determinístico y en tiempo real de señales distribuidas (similar a Profibus DP); y establecer el medio de comunicación para las nuevas plataformas de desarrollos de plantas industriales (Component Based Automation).

³⁹ Revista Electro Industria, Enero / 2005.
Por Andrés Gorenberg, Gerente de Producto de Automatización A&D de Siemens Chile.
andres.gorenberg@siemens.com

Figura 23. Prestaciones de Profinet.



Tomado de Revista Electro Industria, Enero / 2005.

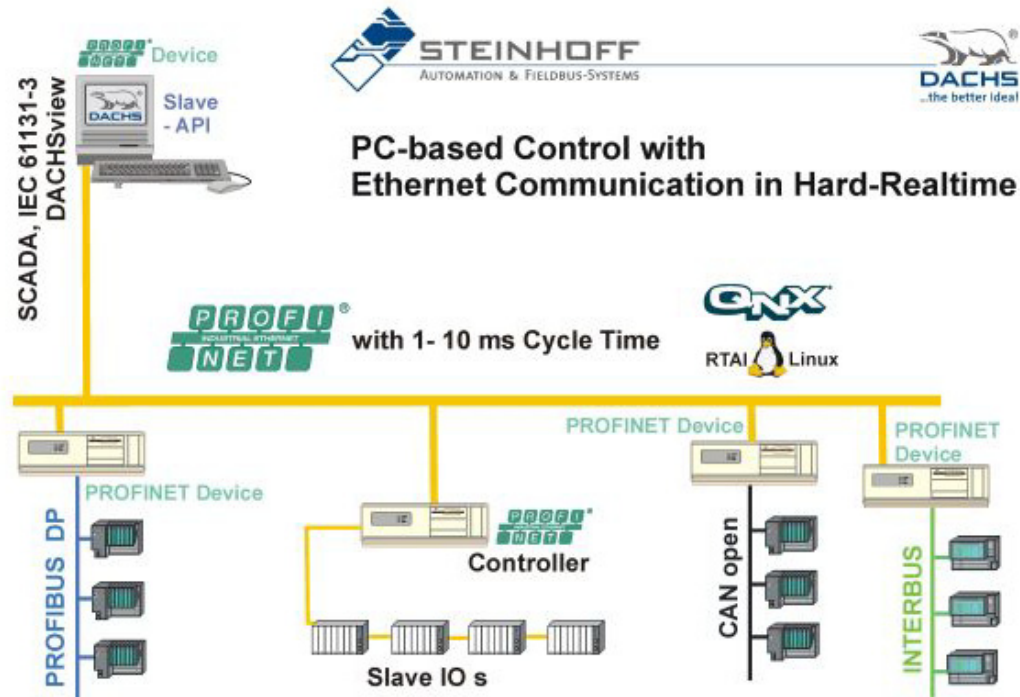
Por Andrés Gorenberg, Gerente de Producto de Automatización A&D de Siemens Chile.

Este nuevo concepto permite disponer de una tecnología común en la planta: Ethernet TCP/IP. Esto hace posible aplicar soluciones y desarrollos orientados hasta ahora sólo al mundo informático. A modo de ejemplo, tecnologías como el acceso inalámbrico y el diagnóstico web pueden implementarse como solución para la transmisión remota y segura de I/Os distribuidas. Asimismo, también se puede acceder a drivers o dispositivos inteligentes como HMIs u otros PLCs y realizar diagnóstico de estaciones en aplicaciones web u otras aplicaciones comunes; todo esto siempre garantizando la transmisión confiable y los estándares de seguridad originales de Profibus DP.

Gracias al diseño sobre estándares de 100MB/s y 1GB/s, la potencia de los nuevos chips de comunicación permite implementar soluciones de control en tiempo real verdadero (IRT), garantizando tiempos de respuesta menores a 1ms, necesarios para el sincronismo de ejes accionados por drivers comunicados por este bus común. Por otro lado, esta potencia de transmisión garantiza el determinismo y el acceso a gran cantidad de puntos de I/Os distribuidos.

Por su diseño sobre Ethernet Industrial, las topologías permitidas cubren todas las posibilidades válidas, lo que implica que las redes se pueden configurar en bus, anillo o estrella tanto en cobre como en fibra óptica, e incluso enlaces punto a punto, wireless. Por otra parte, la enorme cantidad de nodos conectables (hasta 2.048) extiende el espectro de solución a cantidades de señales no posibles hasta ahora. Los controladores de la red siguen el mismo esquema de Profibus (ver figura 24), es decir, un PLC maestro (o "controller") accede ya sea desde su puerto integrado o desde placas adicionales a las estaciones esclavas (o "dispositivos I/Os"). Por otra parte, las estaciones de ingeniería operan directamente conectadas al mismo bus. Lo mismo que estaciones de operación basadas en SCADA, las cuales ya se disponen con drivers directos o con servidores OPC Profinet I/O.

Figura 24. Comunicación Industrial utilizando Profinet.



Tomado de <http://www.steinhoff.de/PROFINET.htm>

Fundamental es la posibilidad de interacción de redes Profibus DP ya existentes con redes Ethernet/Profinet mediante el uso de interfaces ya disponibles como servidores pro-xys, de manera que un controlador en Ethernet accede directamente hasta el esclavo en DP sin conversiones ni redireccionamientos.

El actual estado de desarrollo de Profinet dispone ya de una gran variedad de PLCs maestros con interface Ethernet integrada, lo mismo que estaciones de entradas y salidas. De suma importancia son también los componentes de conexión (cables, conectores RJ45, switches, etc.) como también dispositivos con switch integrados (placas de comunicación, interfaces de dispositivos) lo que hace de Profinet una solución de vanguardia para proyectos de automatización industrial y procesos discretos (alimentos y bebidas, procesos mineros secos, etc.) La evolución de esta tecnología se extiende a accionamientos, paneles y la integración en procesos de redes Profibus PA, seguridad integrada (Profisafe) y tecnología RFID.

6.2. ETHERCAT



EtherCAT (Ethernet for Control Automation Technology) especifica la comunicación de Fast Ethernet full-duplex basado en el principio de maestro/esclavo dónde el maestro fomenta todas las transmisiones.

El maestro de EtherCAT encapsula varios comandos de Ethernet en un telegrama de Ethernet estándar. EtherCAT puede interoperar con redes basadas en TCP/IP normales a través de los switches. Cualquier otro protocolo basado en Ethernet puede coexistir siempre y cuando el segmento de EtherCAT se localice a un puerto del switch y cualquier otra comunicación basada en Ethernet, como el

tráfico normal de TCP/IP, se localice a un puerto diferente para no interferir con el funcionamiento de EtherCAT.

Este nuevo bus utiliza tarjetas de red estándar comerciales. La estructura de cableado es lineal, y está abierta a todos los protocolos Ethernet. Utiliza una simple estructura de línea como bus, aquella con la que originariamente se desarrolló Ethernet en los años 70. Ello evita las costosas topologías en forma de anillo y sus componentes, tales como switches. La tecnología Ethercat utiliza muchos componentes Ethernet que resultan familiares, pero su corazón operativo es muy diferente respecto al Ethernet TCP/IP que se conocen de entornos IT actuales. Ethernet TCP/IP envía paquetes que son recibidos, interpretados y luego copiados como datos de proceso.⁴⁰

Ethercat envía cantidades de cortos 'telegramas' que pasan por todo el sistema de I/O, se reflejan al final del bus y regresan al PC emisor, en modo full duplex (nada le pasa a la señal en su camino de retorno, todas las lecturas y escrituras se llevan a cabo durante el 'viaje' de ida) Dentro del telegrama también se incluyen pequeños paquetes llamados subtelegramas, que se direccionan únicamente a terminales de I/O específicos. Para hacer que todo esto trabaje simultáneamente, se desarrollaron unos pequeños chips ASIC FMMU (Fieldbus Memory Management Unit), que van embebidos en cada terminal. Los chips FMMU difieren en función del tipo de señal de I/O que tratan, hay FMMUs para señales digitales, analógicas, o incluso especiales para otros módulos, tales como CANbus o Profibus.

El chip FMMU es la principal conexión entre el sistema Ethernet y las I/O, dicho chip lee los datos 'al vuelo', mientras el telegrama sigue por el bus. De un modo

⁴⁰ Tomado de <http://www.logiteksa.com/beckhoff/Ethercat/>

similar, los datos de entrada son insertados en el telegrama mientras éste va 'viajando'. Dado que tanto la lectura como la escritura se hacen enteramente en el hardware, el retraso que se produce en el telegrama es de sólo unos pocos nanosegundos. Excepto en el caso de acopladores para otros buses de campo, no existen microprocesadores y consecuentemente no es necesario ejecutar software en ninguna parte del sistema. Todo es hardware.

El protocolo Ethernet permanece intacto desde el PC hasta el primer acoplador. Allí es convertido a un protocolo más robusto, LVDS (Low Voltage Differential Signal), para ser más inmune a ruidos. La señal pasa por los terminales a través del E-Bus. Puede salir de un bloque de terminales e ir a otro, ya que el E-Bus es expandible mediante par trenzado. Sin embargo, si los bloques están separados más de 10 metros, es aconsejable que la señal vuelva a convertirse a Ethernet (esta conversión es posible llevarla a cabo en cualquier momento). Si la inmunidad ante ruidos supone una necesidad en la instalación, siempre es posible utilizar fibra óptica. En el PC final del sistema, sólo se requiere una tarjeta Ethernet estándar y su driver como complemento a la tecnología FMMU. Esto permite integrarlo muy fácilmente en el software TwinCAT, ya que TwinCAT ve la tarjeta de red como compatible con el Sistema Operativo y a la vez como tarjeta de fieldbus. También se provee un sistema de priorización interno y un buffer que encuentra siempre el slot de tiempo adecuado para los telegramas Ethernet desde el sistema a tiempo real. TwinCAT controla el tiempo de transmisión de software hasta el microsegundo. Si hay que enviar telegramas, estos no tendrán que esperar más de 1 microsegundo en la cola.

Por otra parte, si Windows quiere transmitir paquetes Ethernet TCP/IP (o con cualquier otro protocolo Ethernet), estos sólo son transmitidos en los huecos entre los telegramas. Los telegramas de tiempo real siempre tienen la más alta prioridad; todo el resto de actividad Ethernet va a un buffer hasta que encuentra un

slot de tiempo disponible. En la práctica, estos mensajes sólo se demoran una porción de segundo. Se utilizan tarjetas de red estándar de hasta 100 Mbit. Beckhoff dispone de tarjetas de hasta 4 canales Ethernet en un slot PCI. Estas tarjetas proveen datos al PC vía DMA (direct memory access), de modo que no es necesario consumir recursos de la CPU para acceder a la red.

Dado que la funcionalidad Ethernet del sistema operativo se mantiene por completo, todos los protocolos compatibles pueden ser ejecutados en paralelo sobre la misma red física. Y ello no sólo incluye protocolos estándar IT, tales como TCP/IP, HTTP, FTP o SOAP, sino también prácticamente todos los protocolos Ethernet industriales, tales como Profinet, Modbus TCP o EtherNet/IP. El protocolo Ethercat es transportado directamente dentro de las tramas Ethernet. Puede estar compuesto por varios subtelegramas, cada uno destinado a un terminal de I/O. El subtelegrama conecta el terminal de I/O con el área de memoria de la imagen de proceso lógico, el área de memoria puede tener un tamaño de hasta 4 Gb, de modo que puede gobernar una enorme cantidad de I/O (hasta 64000 puntos, teóricamente), se podría decir que prácticamente las I/O actúan como si fueran una extensión de la memoria del PC. De hecho, esto es casi del todo cierto, porque lo único que separa la memoria del PC del chip FMMU es el acceso DMA y un trozo de cable.

La elegancia del diseño es que no importa cómo se coloquen los terminales, el telegrama encuentra su FMMU de destino e intercambia datos con él, la secuencia de datos es independiente del orden físico de los terminales Ethernet en la red. Es posible una comunicación Broadcast (a todos los terminales), Multicast (a algunos) o entre esclavos.

Las aplicaciones Ethercat no sólo pueden ser usadas con TwinCAT. Se ha dispuesto Ethercat UDP como alternativa. Ethercat UDP empaqueta el protocolo

en datagramas UDP/IP, lo que permite a cualquier controlador con un stack de protocolo direccionarse. Es incluso posible direccionarse a través de routers a otras subredes. En este caso, el sistema en tiempo real obviamente depende de las características del controlador y de la implementación del protocolo Ethernet. Los tiempos de respuesta de la red Ethercat en sí misma no se ven restringidos: el telegrama UDP sólo debe ser empaquetado en la primera estación.

El alto rendimiento de la tecnología Ethercat permite conceptos de control que no podían llevarse a cabo con los sistemas de buses de campo clásicos, por ejemplo, el sistema Ethernet puede ahora no solamente manejar la velocidad, sino también el control actual de los drivers distribuidos, el ancho de banda permite que la información acerca del estado pueda ser transferido entre cada elemento. Con Ethercat disponemos de una tecnología que se ajusta a las capacidades de los modernos PCs. El sistema de bus ya no supone un cuello de botella para el concepto de control. De hecho, las I/O distribuidas se pueden tratar con mayor rapidez que la mayoría de interfaces de I/O locales. Este es un punto importante, ya que con la cada vez mayor miniaturización de los componentes de los PCs, el tamaño físico de los mismos está cada vez más determinado por el número de slots. El ancho de banda de Fast Ethernet, junto al ancho de datos de la comunicación Ethercat, abre nuevas posibilidades en este sentido a que interfaces de I/O que típicamente se instalaban dentro del PC puedan transferirse a terminales interfase inteligentes conectadas mediante Ethercat.

El instalador puede elegir entre distintos tipos de cables. Los cables estándar Ethernet pueden transferir las señales tanto en modo Ethernet (100Base-TX) como en representación de señal E-bus. También es posible usar fibra óptica. Todos los aparatos de redes Ethernet pueden ser utilizados en combinación con switches o convertidores de medios. Trabajar a 100 Mbit permite distancias de

hasta 100m entre 2 unidades. La línea E-bus está pensada para distancias de hasta 10m.

La precisión en la sincronización es particularmente importante en casos donde procesos distribuidos requieren acciones simultáneas. Un ejemplo puede ser cuando varios servos deben coordinar movimientos simultáneamente, tales como en prensas de impresión. La más potente manera de lograr esa sincronización es usando relojes distribuidos tal como se describe en la norma IEEE 1588 (protocolo para la sincronización de relojes de precisión para sistemas de medida y control en red). Ethercat soporta este estándar. En contraste a una comunicación con sincronización total, donde la calidad de la sincronización sufre en caso de un fallo de comunicación, los relojes distribuidos tienen un alto grado de tolerancia respecto a retrasos producidos por fallos de comunicación.

Con Ethercat, el intercambio de datos se basa puramente en el hardware. El 'reloj madre' puede determinar el offset runtime de los 'relojes hijo' individuales de una manera simple y precisa, y viceversa. Los relojes distribuidos se ajustan de acuerdo a este valor, lo que significa que disponemos de una base de tiempos de red muy precisos. Estos relojes distribuidos de alta precisión también pueden proveer de información muy útil partiendo de la hora local. Por ejemplo, los sistemas de control de movimiento frecuentemente calculan velocidades de posiciones medidas secuencialmente. Con tiempos de muestreo muy bajos.

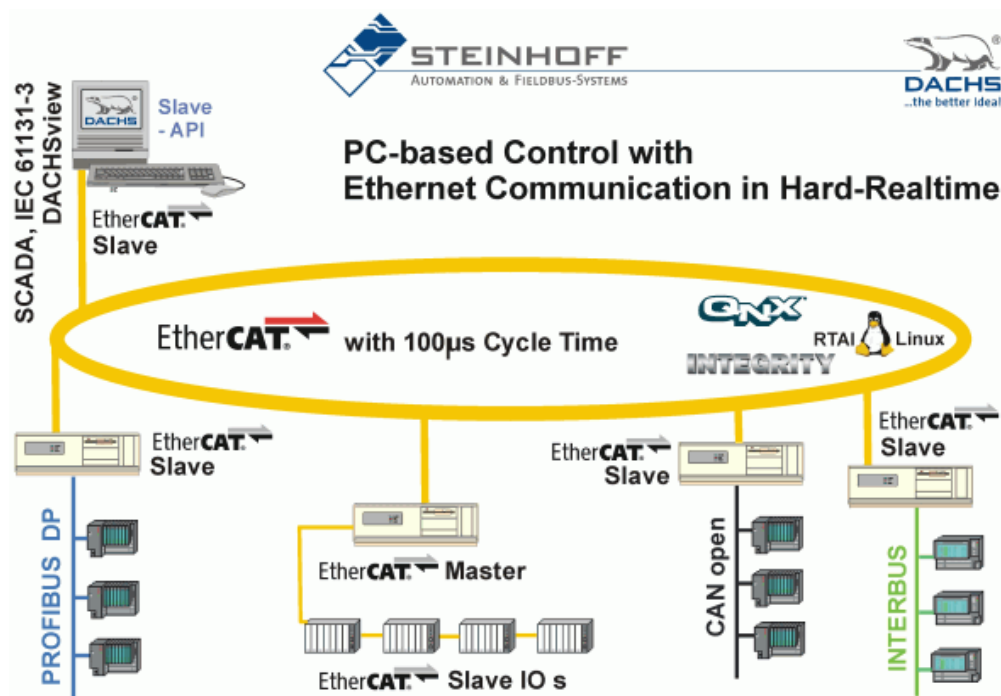
Con Ethercat, la costosa estructura necesaria para montar una topología en estrella ya no es necesaria. Ethercat también puede ser cableado de modo tradicional, usando switches para integrarlo con otros componentes Ethernet. Mientras que otros sistemas Ethernet a tiempo real requieren conexiones especiales en el controlador, Ethercat puede hacerlo con tarjetas Ethernet

estándar. No es necesario adquirir costosos bridges para integrar el sistema con redes de nivel superior: añadir un segundo canal Ethernet en el PC es suficiente.

La tecnología Ethercat es abierta por diseño. El protocolo tolera otros servicios y protocolos basados en Ethernet en la misma red física, normalmente con una pérdida de rendimiento mínima. No hay tampoco restricciones en lo que se refiere al tipo de elemento Ethernet que puede ser conectado a la red Ethercat mediante un hub. Equipos con una interface de bus de campo (la mayor parte de ellos serán soportados) se integrarán al bus Ethercat vía terminales master. Ethercat puede ser usado como maestro de distintos buses de campo (ver figura 25).

Finalmente, la intención es poner la tecnología del chip FMMU a disposición de otras compañías que quieran fabricar terminales compatibles con Ethercat.

Figura 25. Red Ethercat.



Tomado de <http://www.steinhoff.de/EtherCAT.htm>

6.3. ETHERNET / IP⁴¹



Ethernet/IP es un protocolo de red en niveles para aplicaciones de automatización industrial. Basado en los protocolos estándar TCP/IP, utiliza los ya bastante conocidos hardware y software Ethernet para establecer un nivel de protocolo para configurar, acceder y controlar dispositivos de automatización industrial.

Ethernet/IP clasifica los nodos de acuerdo a los tipos de dispositivos preestablecidos, con sus actuaciones específicas. El protocolo de red Ethernet/IP está basado en el Protocolo de Control e Información (Control and Information Protocol - CIP) utilizado en DeviceNet™ y ControlNet™. Basados en esos protocolos, Ethernet/IP ofrece un sistema integrado completo, enterizo, desde la planta industrial hasta la red central de la empresa (ver figura 26).

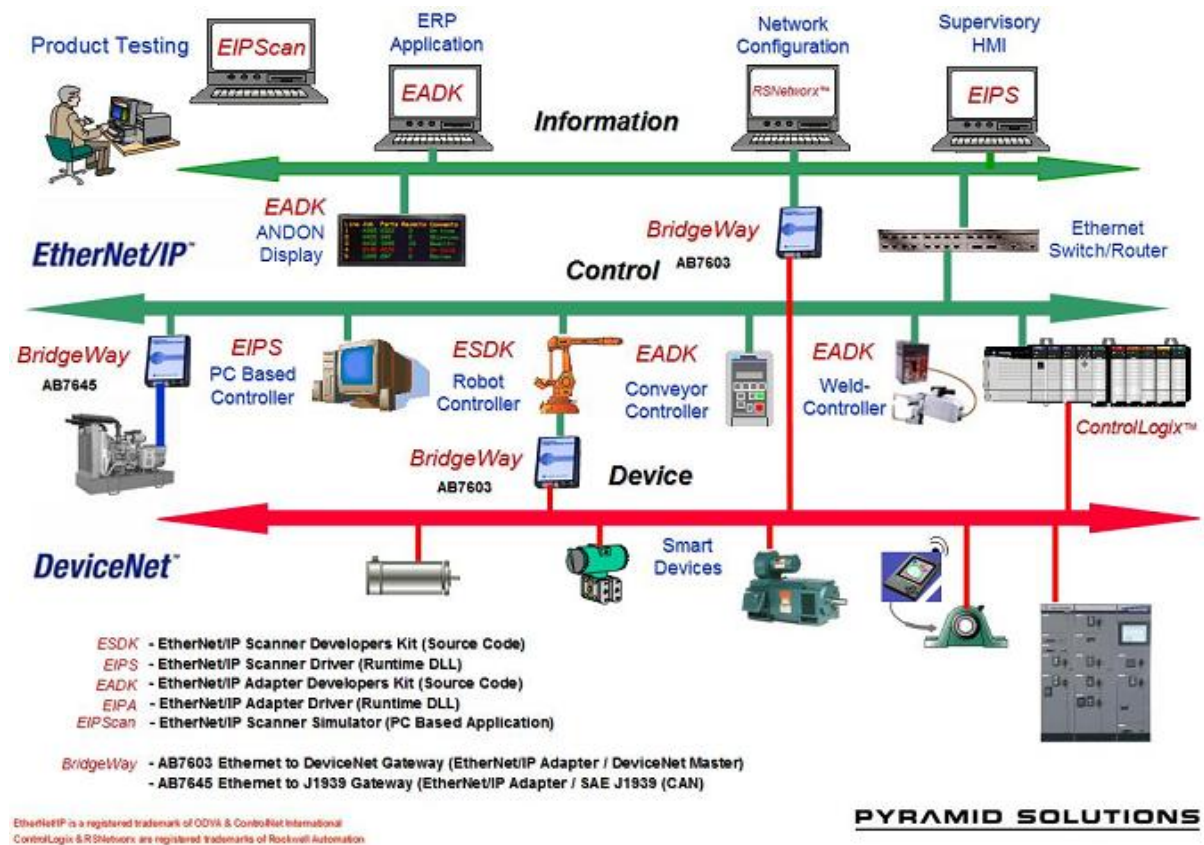
Ethernet/IP es un protocolo de red en niveles, apropiado al ambiente industrial. Es el producto acabado de cuatro organizaciones que aunaron esfuerzos en su desarrollo y divulgación para aplicaciones de automatización industrial: La Open DeviceNet Vendor Association (ODVA), la Industrial Open Ethernet Association (IOANA), la Control Net International (CI) y la Industrial Ethernet Association (IEA). Ese cometido común demuestra hasta qué punto Ethernet/IP puede significar todo un estándar tallado a la perfección para un vasto número de dispositivos de automatización. Estas mismas organizaciones se están esforzando para atender a las demandas de conectividad física que el ambiente severo de pie de fábrica exige.

Ethernet/IP utiliza todos los protocolos del Ethernet tradicional, incluso el Protocolo de Control de Transmisión (TCP), el Protocolo Internet (IP) y las tecnologías de

⁴¹ Tomado de http://www.siemon.com/la/white_papers/03-10-13-ethernet-ip.asp

acceso al medio y señalización disponibles en todas las tarjetas de interfaz de red (NICs) Ethernet. Al basarse en los estándares tecnológicos Ethernet, el Ethernet/IP da la garantía de un cabal funcionamiento con todos los dispositivos del estándar Ethernet/IP utilizados en la actualidad. Y lo mejor es que al apoyarse en los estándares de esa plataforma tecnológica, el Ethernet/IP, con toda la seguridad, evolucionará con la tecnología Ethernet.

Figura 26. Comunicación utilizando EtherNet/IP.



Tomado de http://www.pyrasol.com/Expertise_DataCom_EtherNet-IP_in_use.htm

Las entidades que desarrollan el Ethernet/IP están trabajando juntas en la producción de un estándar completo y consistente. Esos trabajos se están conformando con la participación de varios fabricantes, lo que abarca la definición

de especificaciones mediante la aplicación de pruebas exhaustivas en laboratorios certificados.

Ethernet/IP está diseñado a partir de un estándar ampliamente implementado y utilizado en DeviceNet y ControlNet, denominado Protocolo de Control e Información (CIP), este estándar organiza los mecanismos en red como una colección de objetos (o elementos) y define los accesos, atribuciones y extensiones con los cuales se puede acceder a una gama muy vasta de mecanismos mediante la utilización de un protocolo en común. Ethernet/IP está basado en un estándar ampliamente conocido y probado.

Son muchas las ventajas del nivel del Protocolo de Control e Información (CIP) sobre Ethernet/IP. La oferta de un acceso consistente a aplicaciones físicas significa que se puede utilizar una sola herramienta para configurar dispositivos CIP en distintas redes desde un único punto de acceso sin la necesidad de software propietario.

Al clasificar todos los mecanismos como objetos o elementos, se reduce la necesidad de adiestramiento y los costos de puesta en marcha requeridos cuando se incorporan nuevos mecanismos al perímetro de la red. Ethernet/IP disminuye el tiempo de respuesta e incrementa la capacidad de transferencia de datos respecto al DeviceNet o al ControlNet. A través de un mismo medio de interconexión, Ethernet/IP conecta distintos mecanismos industriales con el control de planta y con la gestión central, mediante una interfaz consistente con las aplicaciones.

La puesta en marcha de un sistema basado en Ethernet/IP no está exenta de inconvenientes. Un problema común es la falta de personal adiestrado que entienda acerca de los fundamentos de la TI (Tecnología de la Información) y de redes de automatización. Ambos equipos - el de automatización y el de TI – tienen

que trabajar en conjunto para instalar y poner en marcha cualquier sistema Ethernet/IP. El segundo reto lo constituye la configuración correcta de la red. El punto clave es la adecuada y precisa planificación de la infraestructura de automatización Ethernet en fábrica: unas cuidadosas descripciones de los caminos, espacios, cableados, los mecanismos y sus conexiones son esenciales para obtener las operaciones de red deseadas, sin olvidar la elección de enrutadores y conmutadores adecuados. Una vez instalado correctamente, Ethernet/IP requiere poco mantenimiento.

Existen varios competidores al Ethernet/IP, tales como Modbus/TCP, ProfiNet, HSE Fieldbus y muchos otros protocolos propietarios. Frecuentemente se dice que Ethernet perjudica el nivel de integridad requerido en aplicaciones de automatización industrial al pie de fábrica. Si bien ese argumento tuvo en su día algo de verdad, los actuales conmutadores inteligentes eliminan esa posibilidad. Esos conmutadores crean dominios de colisión separados que ofrecen la seguridad requerida para todas las aplicaciones de automatización.

CONCLUSIONES

La evolución en las Redes Industriales y en los Buses de Campo sumado a la creciente necesidad de establecer un sistema de comunicación que permita integrar de manera efectiva cada uno de los niveles de la planta, y a la falta de una normativa internacional, ha impulsado la creación de una gran cantidad de arquitecturas de carácter propietario, que si bien de una u otra manera dan solución a los problemas, por otro lado imposibilitan la interacción entre los diferentes fabricantes.

Ethernet es un estándar prominente en cuanto a redes LAN, pensado para ser implementado a nivel empresarial, sin embargo es esta misma filosofía lo que lo hace inapropiado para su implementación a nivel de campo ya que carece de la robustez necesaria para el correcto funcionamiento en el ambiente industrial, adicionalmente no satisface necesidades primarias en una red de campo como lo son el determinismo, la seguridad intrínseca y la transmisión de potencia y datos por el mismo canal. Además el hecho que una tecnología se encuentre basada en el protocolo Ethernet no garantiza interoperatividad con otras tecnologías similares ya que Ethernet solo establece las normativas para los niveles 1 y 2 de la capa OSI, por lo cual cada proveedor emplea capas de aplicación de carácter propietario (Nivel 7 del OSI) haciendo que no sea posible la comunicación directa entre las diferentes tecnologías.

No todo es malo a cerca de Ethernet de hecho por el contrario presenta grandes ventajas que han impulsado su uso a nivel industrial como lo son la alta velocidad

que permite la transmisión de grandes paquetes de información y la posibilidad de interoperar con las redes LAN empresariales ya establecidas. Con el fin de aprovechar estas ventajas y las de los buses de campo recientemente han surgido nuevas tecnologías de buses de campo que se encuentran basadas en Ethernet, dichas tecnologías reúnen las ventajas de ambos mundos, permitiendo la integración de todas las redes, de campo, de control y de gestión, en una sola e inclusive abre la posibilidad de realizar supervisión y control remoto a través de Internet.

Fieldbus Foundation HSE se constituye en una buena solución para la integración de los diferentes niveles industriales ya que HSE es una arquitectura abierta basada en el protocolo Fast Ethernet, observándose claramente la interoperatividad de los buses de campo, más específicamente Fieldbus Foundation, con Ethernet. Constituye un backbone para dispositivos y subsistemas, permite funciones de gestión activa como diagnósticos, calibración e identificación para analizar la información masiva enviada por todos los dispositivos en tiempo real, el acceso a la información es posible sin necesidad de programación a medida. Además, numerosas características del sistema como la integridad de datos, diagnósticos, y redundancia son especificadas por HSE, por lo que funcionarían de forma perfectamente integrada entre dispositivos de diferentes fabricantes.

BIBLIOGRAFÍA

BERGE, Jonas. Foundation HSE for high availability at host-level. Smar: SingaporePte Ltd., 2002.

DA SILVA NETO, Eugenio F y BERRIE, Peter G. High Speed Ethernet: Promoting openness in hybrid control, 2006.

FELSER, Max. The Fieldbus Standards: History and structures. University of Applied Science Berne, 2002.

FIELDBUS FOUNDATION. Foundation Fieldbus Technical Overview, 1996.

GORENBERG, Andrés. Revista Electro Industria, Abril / 2005.

LEE, Kyung Chang y LEE, Suk. Performance evaluation of Switched Ethernet for Networked Control Systems, School of Mechanical Engineering. Pusan National University, 2002.

MACKAY, Steve. Foundation Fieldbus High Speed Ethernet (HSE) and TCP/IP. IDC Technologies, 2002.

O'NEILL, Mike. Practical Aspects of Fieldbus Installation. Hawke International Fieldbus Division, 2002

PINOTTI, Mario y BRANDAO, Dennis. Projecting and Integrating - Fieldbus Foundation Function Blocks. Departamento de Ingeniería Mecánica, Escola de Engenharia de Sao Carlos, 2001.

SAMSON AG. Foundation Fieldbus Communication, 2000.

SMAR. Fieldbus Tutorial, A Foundation Fieldbus Technology Overview, 2001

VERHAPPEN, Ian. High Speed Ethernet - The Enterprise Integration Enabler, 2002.

ENCICLOPEDIA VIRTUAL WIKIPEDIA. Ethernet.

<http://es.wikipedia.org/wiki/Ethernet>

LANTRONIX. Guia didactica de Ethernet

http://www.consulintel.es/html/Tutoriales/Lantronix/guia_et_p1.html

NATIONAL INSTRUMENTS CORPORATION

<http://digital.ni.com/worldwide/latam.nsf/web/all/F98A8E9B0D9F41B18625710800624616>

TECHNICAL ARTICLE: A fast lane to industrial ethernet for fieldbuses

<http://ethernet.industrial-networking.com/ieb/articledisplay.asp?id=66>

----- . Ethernet in process control

<http://ethernet.industrial-networking.com/ieb/articledisplay.asp?id=74>

----- . Fieldbus, ethernet and the reality of convergence

<http://ethernet.industrial-networking.com/ieb/articledisplay.asp?id=37>

----- . Is ethernet the answer to the fieldbus dilemma?

<http://ethernet.industrial-networking.com/ieb/articledisplay.asp?id=48>

<http://www.ipcommtronix.com/SolAutProInd.htm>

www.elo.utfsm.cl/~elo373/Sistema%20de%20Control%203.ppt

www.it.uc3m.es/revirieg/TID_03.pdf

www.smar.com/PDFs/Catalogues/SYSTEM32CS.pdf

www.cujae.edu.cu/eventos/citel2004/memorias/2002/Trabajos/Trabajos/RET/Mexico/MX090RET.pdf