

TUTORIAL DE COMUNICACIONES INDUSTRIALES

Martín Manuel Tomás Garfías
 tomasgarfias@yahoo.com

*Bach. en Ingeniería Electrónica de la Facultad de Ingeniería Electrónica
 Universidad Nacional Mayor de San Marcos
 Lima-Perú*

RESUMEN: El artículo presenta una revisión sucinta de los principales protocolos industriales, tales como: HART, AS-I, Fieldbus y Profibus.

ABSTRACT: This paper presents a summary of the main industrial protocols, such as: HART, AS-I, Fieldbus and Profibus.

Palabras claves: Protocolo, maestro, esclavo, comunicación, automatización, sensor, actuador.

I. INTRODUCCIÓN

El presente artículo es un resumen de detalles técnicos de los protocolos industriales de comunicación comúnmente usados. Un protocolo industrial es aquel que es insertado dentro de los dispositivos electrónicos, que participan en el control de procesos o de la manufactura para darles capacidad de comunicar datos del proceso u otros de manera óptima. Aunque muchos son propietarios, tienden con el tiempo a convertirse en protocolos de uso generalizado por su aceptación en el mercado.

Indudablemente en este artículo, no se pretende exponer la totalidad de protocolos existentes, se revisará lo fundamentos de los protocolos más importantes, tales como el HART (de naturaleza híbrida) y los puramente digitales como: AS-I, Fieldbus y PROFIBUS.

II. CONCEPTOS FUNDAMENTALES ACERCA DE BUSES DE CAMPO

Los buses de campo son tecnologías y protocolos de comunicación usados en automatización y control de

procesos en industrias, existen dos tipos: propietarios y abiertos. Los propietarios son propiedad intelectual de una compañía en particular y restringe su uso a una sola marca de equipos. En cambio los buses abiertos son aquellos son:

- Interconectables, porque dispositivos de diferentes fabricantes pueden ser conectados con seguridad al mismo bus.
- Interoperables, porque pueden comunicarse exitosamente entre dispositivos de diferentes proveedores
- Intercambiables, porque los dispositivos provenientes de una firma pueden ser reemplazados con dispositivos funcionalmente equivalentes de otras firmas. [Cátedra, 2001]

2.1 Protocolo de Comunicación Hart

El protocolo Hart combina la comunicación analógica con la digital entre sus dispositivo.

2.1.1 Comunicación Analógica

HART usa el estándar industrial 4-20mA, es decir, los dispositivos HART pueden realizar funciones básicas con cualquier sistema host que tiene la capacidad de entrada/salida de 4-20mA., la limitación es que un sólo parámetro puede ser comunicado sobre una entrada o salida de 4-20mA, típicamente esta es una variable del proceso de un transmisor, o una salida para un elemento final de control, en este modo la información viaja en un solo sentido, desde el dispositivo al host (entradas) o viceversa.

2.1.2 Comunicación Digital

Este tipo de comunicación transporta información adicional que no está comunicado por la señal analógica, la parte digital de HART es a veces usado para la configuración de dispositivos, mantenimiento y diagnóstico pero no en tiempo real.

El principal atributo de la comunicación digital HART es que la señal digital, el cual usa el estándar BELL 202 (modulación FSK), es superpuesta en la señal analógica. Esto permite a la señal ser usada por un host para el control de procesos, y la señal digital a ser usado por el mismo o un host diferente para comunicar la información relacionada a la configuración del dispositivo diagnóstico en tiempo no real y monitoreo de los estados, además, la información digital puede viajar en ambos sentidos, es decir, para un instrumento que tradicionalmente solo recibía información de señales de control de un host, por ejemplo una válvula de control, ahora esta válvula puede enviar información al host acerca de lo que esta sucediendo en la válvula, ver fig.1 y fig.2. [Smar, 2001]

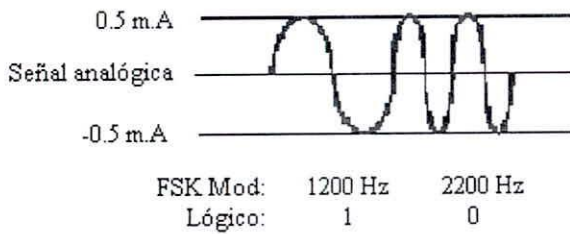


Figura 1 - HART usa FSK para codificar señal digitas en la parte superior de la señal analógica.

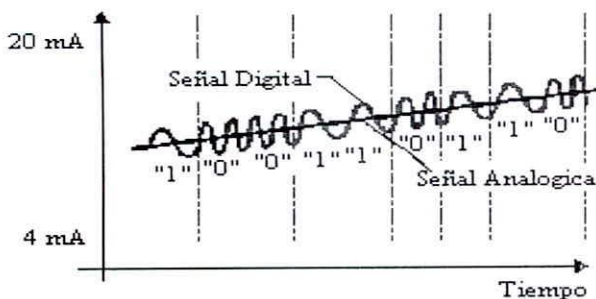


Figura 2 - La señal de comunicación digital HART superpuesta sobre la señal analógica 4-20mA.

2.1.3 Beneficios de Usar Tecnología Hart

Amplia variedad y número creciente de productos proporcionados por una lista creciente de proveedores de instrumentos de todo el mundo.

HART es el único protocolo de comunicaciones abierto de su tipo y un estándar en la industria, relativamente fácil de comprender y usar.

Los usuarios tienen la libertad de elegir el producto adecuado para su aplicación y la interoperatividad está asegurada por los comandos comunes y la estructura de datos.

El protocolo HART proporciona acceso a la gran variedad de información adicional (variables, diagnósticos, calibración, etc.) proporcionados por los dispositivos de campo inteligentes que emplean esta tecnología. HART permite a los fabricantes de instrumentos de campo incorporar potentes características en sus productos como algoritmos de control PID, de diagnóstico, y medidas adicionales del proceso.

HART es una solución sin riesgo para comunicaciones de campo de altas prestaciones. Es relativamente de fácil mantenimiento y operación especialmente en comunicaciones punto a punto. Permite reducir los costos de cableado mediante el sistema multidrop que conecta varios dispositivos mediante el mismo cable. [Emerson, 2002], [Bacallado, 2001]

2.1.4 Especificaciones Técnicas

Tabla 1. Especificaciones técnicas de HART

| | |
|-------------------------------|---|
| Señales de comunicación: | - Analógicas: continuas 4-20mA - Digital: FSK simultanea con la señal analógica. "0" lógico: 2200 Hz. "1" lógico 1200 Hz. |
| Tasa de comunicación digital: | - Modo pregunta / respuesta: 2-3 actualizaciones por segundo. - Modo burst: 3-4 act/seg. |
| Estructura del byte de datos: | 1bit de inicio, 8 bits de datos, 1 bit de paridad impar, 1 bit de parada. |
| Estructura de comandos | - Comandos universales: comunes a todos los dispositivos. - Comandos de práctica común: Opcionalmente usados por mucho dispositivos. - Comandos específicos de dispositivos: característicos de un producto específico. |
| Integridad de los datos: | - Chequeo de errores bidimensional. - Información de estatus en cada mensaje de respuesta. |
| Variables: | - Hasta 256 por dispositivos - Formato en coma flotante IEEE 754 (32 bits) con unidades de ingeniería. |
| Topologías de cableado: | - Punto a punto: Analógico y digital simultaneo. - Punto a punto: Sólo digital. - Red multidrop: Sólo digital, hasta 15 dispositivos. |

| | |
|--|---|
| Longitud máxima del par trenzado: | 3048m. |
| Longitud máxima con par trenzado múltiple: | 1024m Nota: Las longitudes de los cables dependen del producto. Ver especificaciones del fabricante para mas detalles. |
| Seguridad intrínseca: | - Con barreras / aisladores apropiadas. |

2.1.5 Modos de Comunicación

2.1.5.1 Modo Petición/Respuesta

HART usa el modelo de comunicación petición/respuesta, esto significa que, en general, los dispositivos HART no transmitirán a menos que una petición sea enviada desde el host al dispositivo, por ejemplo, si un dispositivo HART detectó una condición de falla en sí misma o en el proceso, el dispositivo HART no puede comunicar esta información hacia el host a menos que el host solicite específicamente esta información del dispositivo.

La excepción a este modelo es el modo de comunicación llamado BURST, mayores detalles ver fig. 3.

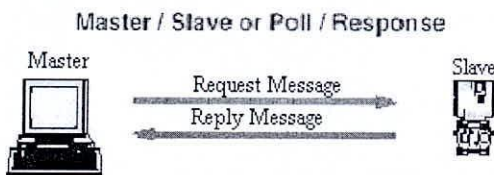


Figura 3 - Modo de comunicación petición /respuesta

2.1.5.2 Modo de Comunicación Burst

Los dispositivos HART pueden enviar una simple variable de información continua de un dispositivo, sin necesidad de peticiones y repartidas a los hosts. Este modo es usualmente empleado para enviar una simple variable tal como una variable de proceso.

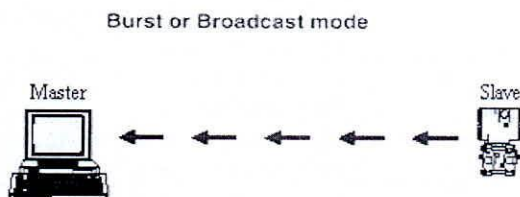


Figura 4 - Modo de comunicación Burst

2.1.5.3 Modo de Comunicación Multidrop

El protocolo HART soporta múltiples dispositivos en un simple par de cable, cuando este modo multidrop es usado, la comunicación análoga no está disponible.

La tasa típica usando la comunicación digital petición / respuesta es menos que dos mensajes en un segundo para todos los dispositivos sobre el cable.

La limitación principal del cableado multidrop, en las comunicaciones HART es la reducida velocidad de comunicación, estos límites prácticos son usados en comunicación digital multidrop para aplicaciones de adquisición lenta de datos.

2.1.5.4 Uso de Multiplexores

Muchos hosts instalados no están diseñados para aceptar la información digital de los dispositivos, una solución a este problema es emplear multiplexores externos para leer y extraer la información digital de los dispositivos.

En este caso, el dispositivo HART es adherido al host de control y el multiplexor puede ser conectado al cable a través del panel de terminales de los hosts. Aunque esta solución incrementa el costo de la instalación, la reducción en el costo de mantenimiento generalmente retorna la inversión en un tiempo muy corto.

2.1.5.5 Usando Pass Through

Algunos Hosts son capaces de capturar y pasar la información digital a otras aplicaciones, usando un mecanismo comúnmente llamado *pass through*; el *bitstream* digital HART es capturado por la entrada del host o tarjeta de salida y pasarlo sin leer a través de la arquitectura del host para la plataforma y aplicaciones que usan la información digital. Los hosts que soportan *pass through* funcionalmente reducen el costo de adquirir multiplexores. [Smar, 2001]

2.2 AS-Interfase (Interfase Sensor-Actuador)

2.2.1 Concepto del Bus As-Interface

El Bus AS-Interface es un sistema de interconexión electromecánico de bajo costo que simplifica la conexión entre sensores, actuadores y sistemas integrados, conectados a un cable bifilar común. [Cátedra, 2001]

El objetivo de su creación no es el de ser un bus de campo universal para todas las áreas de la automatización, si no un sistema económicamente razonable en el nivel más bajo de la pirámide de automatización. [López, 2001]

2.2.2 Beneficios que Brindan el As-Interface

2.2.2.1 Beneficios para el Empresario Usuario

- Diversidad de fabricantes y productos.
- Productos fabricados en serie.
- Existen para aplicaciones especiales.

- El Principal, puede emplearse dentro de una red (debido a su carácter abierto gracias a la existencia de interfaces definidas).

2.2.2.2 Beneficios para el Usuario Final

- Es un estándar disponible en el ámbito mundial.
- Moderna tecnología de interconexión.
- Elevada utilidad de los productos.

2.2.2.3 Beneficios para el Empresario y el Usuario Final

- Diagnostico de fallas completas y precisas.
- Reacción flexible y rápida a todos los estados de funcionamiento.
- Puede cambiarse de producto tan solo cambiando el software.
- Total descentralización.
- Se maniobra IN SITU, y no en el armario.

2.2.3 Especificaciones Técnicas del Sistema As-Interface

En la tabla 2 se muestra las especificaciones.

Tabla 2. Especificaciones técnicas de AS-I

| | |
|---------------------------------|--|
| Topologías | Bus, Estrella, Anillo o Árbol |
| Estructura de la Red | Tipo Árbol. |
| Procedimiento de Acceso | Maestro / Esclavo. |
| Número de Elementos | Máximo 31 Esclavos por Maestro acoplados a un mismo cable. |
| Direccionamiento | Realizado por el Maestro AS-I de manera electrónica a través del acoplamiento del Bus o por unidad de direccionamiento manual. |
| Cables | Dos Cables desprotegidos, Bifilar sin apantallar, para datos y energía (30 VDC/8 A máx.) alrededor del cable plano AS-I. |
| Longitud del Cable | Como máximo 100 m. Por maestro o 300 metros con 2 repetidores en ramales paralelos (la medición se hace sumando todas las partes). |
| Tasa de Transmisión | 167Kbits/seg. |
| Codificación de la Señal | Codificación Manchester con Modulación de Pulso alternativo |
| Tiempo de Ciclo | Máximo 5mseg. con 31 dispositivos. |
| Tiempo de Repetición de Mensaje | Requiere de 150µseg., se incluye en el tiempo de ciclo |
| Datos por Mensaje | Es de 4 Bits Direccionales por parámetro. |

| | | |
|----------------------|----|---|
| Detección de Errores | de | 1 bit de paridad + 1 de Monitoreo de la calidad de la señal. |
| Grado de protección | de | Hasta IP67 |
| Tipo de E/S | | Digitales y Analógicos. |
| Numero máximo de E/S | | Hasta 4E/4S por esclavo, es decir hasta 248 E/S binarias para cada red. |
| Comunicación | | Muy fácil, no requiere programación, ni configuración, tan solo la dirección de los esclavos. |

2.2.4 Características Físicas del Cable As-Interface

Los investigadores de AS-I quienes concibieron la idea de que por el mismo cable circule la energía y datos que proporcionen una fácil conexión, es un cable de color amarillo que tiene las siguientes características fundamentales:

- Presenta un perfil mecánico especial, que permite una conexión correcta en cada instante.
- Tecnología de conexión de desplazamiento, que proporciona aislamiento y asegura una rápida conexión y desconexión.
- Cable plano codificado, protegido contra la polaridad incorrecta, y puede alimentarse auxiliariamente de una fuente que suministra la tensión flotante de 24 VDC/ 8A máx. , ver figura 5.

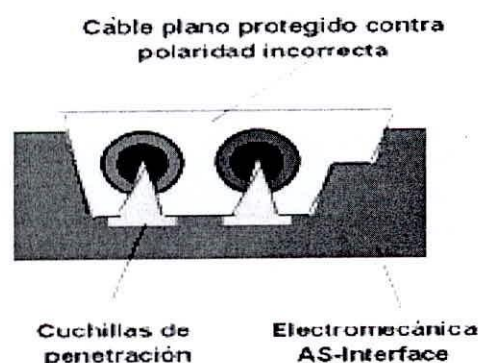


Figura 5 - Característica física del cable AS-interface.

- AS-I presenta una técnica de penetración, no requiere preparar, ni pelar cables, haciendo contacto seguro y sencillo con cuchillas de penetración.
- No es necesario la numeración de los hilos conductores, ni bornes; no se requiere esquemas de conexión de cables o de bornes, ni las borneras de derivación, debido a que las bifurcaciones, es decir, los módulos de esclavos presentan un grado de protección IP67, simplificándose así la documentación del diseño del proyecto.
- AS-I brinda una variación en la instalación, ya que evita el uso de tarjetas E/S, ausencia de armarios eléctricos y de distribución, utiliza menos espacio y empleo de cable bifilar en lugar de un mazo de

cables, como se puede observar en la figura 6. [López, 2001]

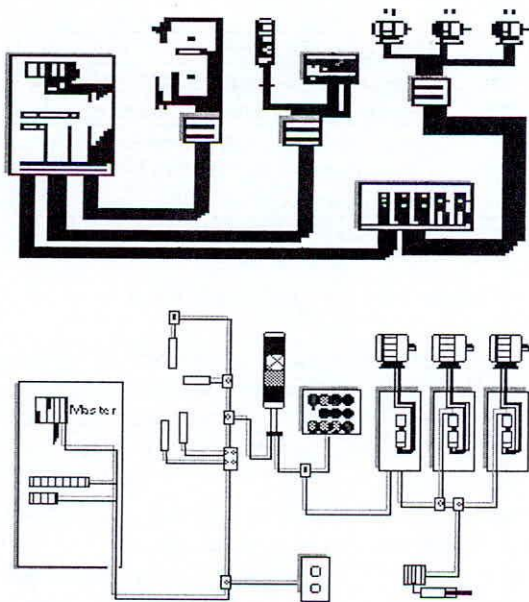


Figura 6 - Conexión con mazo de cables (superior), con AS Interface (inferior)

2.2.5 Conexión de Sensores y Actuadores Convencionales Mediante As-Interface.

Los módulos AS-I (esclavos) sirven para conectar a la red sensores y actuadores convencionales, 2Entradas/2Salidas, como se puede ver en la figura 7. Estos módulos contienen un IC esclavo y sirven de terminales E/S remotos de la red, están disponibles en diversos módulos y fabricantes.

Los módulos bidireccionales pueden procesar hasta 4 señales de entrada (sensores) y otras 4 de salida (actuadores), entonces en la red puede haber hasta 248 señales binarias, utilizaremos los módulos que se aprecian en la figura 7. [López, 2001]

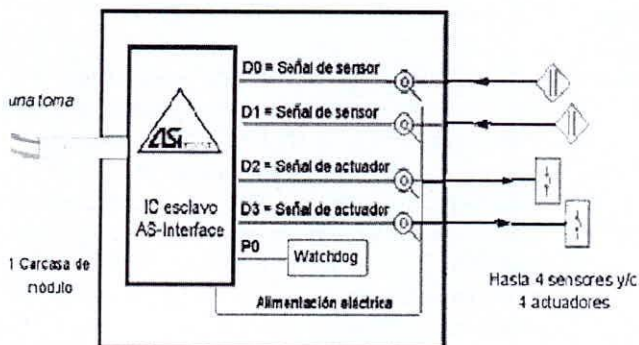


Figura 7- Módulos Bidireccionales

2.2.6 Estructura de la Red As-Interface

La estructura de red a elegir por AS-INTERFACE es la de Árbol, como vemos en la figura 12, es la suma de las estructuras Estrella, Línea y Bus, la estructura Árbol permite adoptar el cableado de manera óptima los equipos y maquinarias, además la red AS-I no necesita una resistencia terminal en los cables. Ver Figura 8. [Cátedra, 2001]

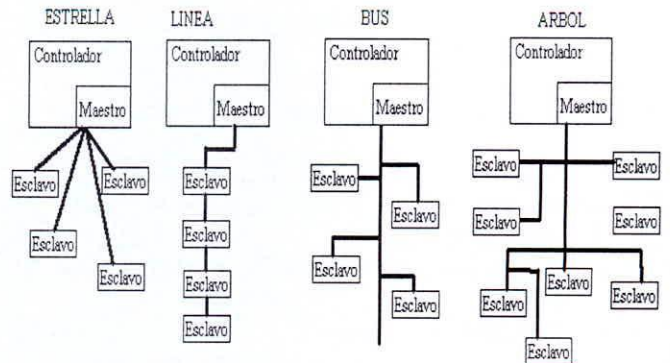


Figura 8 - Estructura de la Red

2.2.7 Ampliación de la Red As-Interface

Debido a su estructura árbol y al direccionamiento de los esclavos; La red puede ampliarse sin problemas, en cualquier punto de la red puede insertarse esclavos que están sueltos, inclusive todo un ramal, la configuración la realiza el maestro de manera automática, ver fig. 9. [Cátedra, 2001]

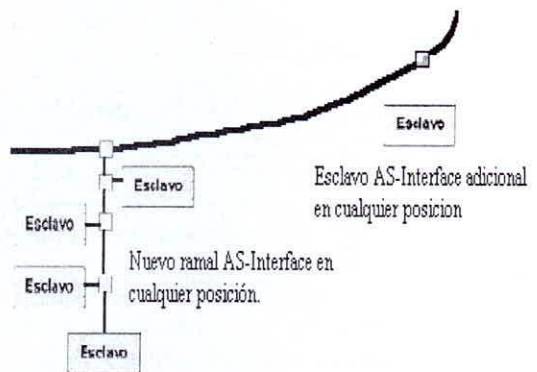


Figura 9 - Ampliación de la Red

2.2.8 Funcionamiento de la Red AS-Interface

- La red AS-I está formada por un maestro y un máximo de 31 esclavos, la comunicación entre el maestro y el esclavo es de manera Cíclica.
- Los esclavos son direccionados de manera ascendente según sus direcciones, las direcciones inexistentes se omiten;
- Luego de interrogar la dirección máxima existente se llama a la supervisión de la red o la transferencia de un valor de parámetro, después, nuevamente se inicia el ciclo con la dirección más baja de todas.

- La llamada al maestro en cuestión consta de una dirección del esclavo y un comando para el esclavo, dicho esclavo responde indicando sus datos.
- Los mensajes que son enviados de manera incorrecta son detectados de manera segura y son repetidos de manera automática.
- El maestro realiza el intercambio de datos por sí mismo, debido a que dicho maestro posee un "Firmware" y se auto configura, si cabe la analogía el maestro se comporta como una tarjeta de E/S tradicional.
- AS-I permite la transmisión de 4 bits de parámetros para cada esclavo, dichos parámetros pueden emplearse para configuración o modificación de funciones de esclavos inteligentes, y por cada ciclo puede enviarse los parámetros para un esclavo.
- En la Red AS-I se puede también integrar esclavos con entradas y salidas analógicas salvo que estos necesitan varios ciclos para el intercambio de datos y un módulo de función en el host (esclavo).
- Cuando se desee realizar una parada de emergencia o en el caso que se absorba una elevada intensidad, puede instalarse una fuente de alimentación auxiliar con una conexión idéntica con el cable negro de AS-I, luego pueden detenerse los actuadores sin que se pierda la información sobre el estado de las máquinas. [López, 2001],[Cátedra, 2001]

2.2.9 Inmunidad a la Interferencia

Cada mensaje se supervisa en el receptor con respecto al bit de paridad, una repetición del mensaje requiere de 150 μ s, y este es incluido en el tiempo de ciclo de 5 ms., entonces, AS-I puede usarse en entornos con fuerte interferencia, por ejemplo, en lugares donde haya sistemas de soldadura de alto voltaje, convertidores de frecuencia, etc. sin ningún problema en la transmisión y recepción de datos. Para asegurarse la inmunidad a las interferencias mediante supervisión de los telegramas y de la calidad de la señal, la red AS-I toma en cuenta lo siguiente: [Cátedra, 2001]

- Impulso negativo con el bit de inicio o arranque.
- Secuencia de impulsos alternativa.
- Vigilancia de pausas entre dos impulsos consecutivos.
- Vigilancia cronológica de las secuencias de impulsos;
- Protección del mensaje mediante verificación del bit de paridad.
- Impulso positivo como bit de fin.
- Vigilancia cronológica de la longitud de telegrama.

2.3 Foundation Fieldbus

2.3.1 Concepto de Fieldbus

Foundation Fieldbus es un sistema de comunicación de dos maneras, digital y serial, el cual interconecta los equipos de campo tales como sensores, actuadores y controladores.

Fieldbus es una red de área local para instrumentos usado en automatización de procesos de fabricación con capacidad para distribuir a la aplicación de control a través de la red, ver fig. 10. [Tejada, 1999], [Smar, 2001]

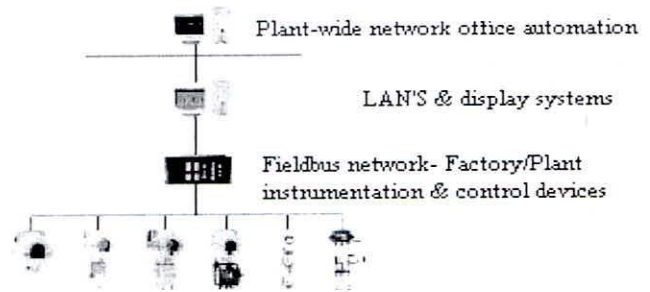


Figura 10 - Jerarquía de la red de planta

La estrategia de control está distribuida a lo largo de los dispositivos de campo, esto es posible porque teniendo las funciones de los bloques en los microprocesadores, ellos también tienen la capacidad para comunicarse rápida y confiablemente con los otros a través del bus, de aquí viene la fantástica flexibilidad de su tecnología. Los dispositivos pueden ser agrupados en redes y configurados de acuerdo a la necesidad del usuario, siendo propio de pequeños sistemas para todas las plantas.

2.3.2 Beneficios de Fieldbus

2.3.2.1 Instalación

Fieldbus permite a muchos dispositivos ser conectados a un simple par alámbrico, esto resulta en menos cableado, barreras de seguridad menos intrínsecas y menos hosts, ver Fig.11.

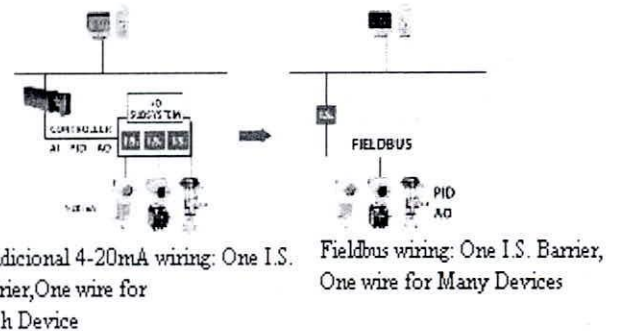


Figura 11 - Economía en la instalación

2.3.2.2 Reducción del Hardware

Fieldbus usa los bloques de funciones (funciones de automatización estandarizados) para implementar una estrategia de control. Muchas funciones de sistemas de control tales como PID (con entradas análogas AI y salidas análogas AO) pueden ser desempeñados por el dispositivo de campo a través del uso de los bloques de funciones, es decir, los bloques de funciones permiten la distribución de funciones en los dispositivos de campo de diferentes manufacturas en una manera integrada y sin juntura.

La distribución de control en los dispositivos de campo puede reducir la cantidad de I/O y equipos de control necesario incluyendo tarjetas, cabinas y fuentes de poder. Ver Fig.12.

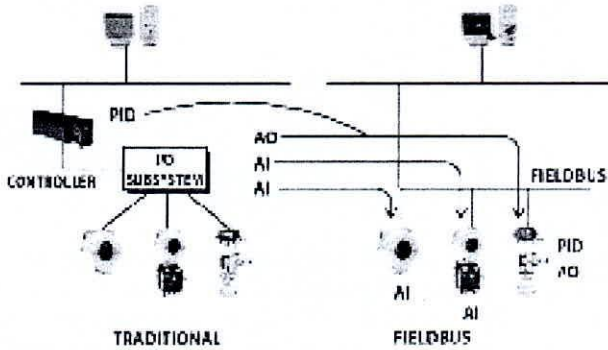
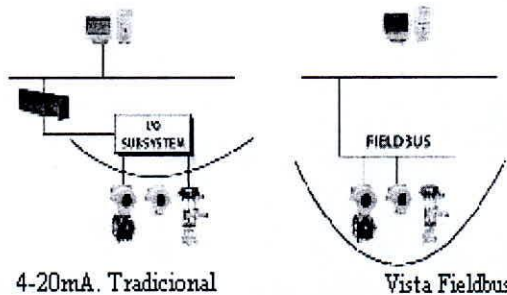


Figura 12 - Reducción del hardware

2.3.3 Mantenimiento

La capacidad de comunicación basada en microprocesadores ayuda a reducir el tiempo muerto y mejorar la seguridad de la planta.

En la detección de condiciones anormales o la necesidad de mantenimiento, las operaciones de planta y personal de mantenimiento pueden ser notificados, esto permite una acción correctiva rápida y segura, ver figura13.



Vista de paradas AT subsistemas I/O Extenderse en instrumentos
Figura 13 - Vista expandida de los procesos

2.3.4 Interoperabilidad

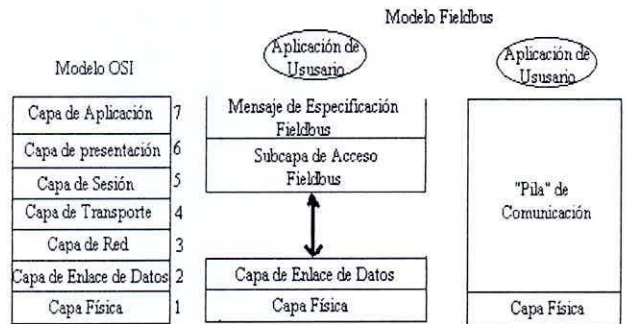
Interoperabilidad quiere decir capacidad para operar múltiples dispositivos, independientes del fabricante, en el mismo sistema sin perdida de la mínima funcionalidad. Fieldbus es un protocolo abierto, es decir The Foundation Fieldbus certifica a los fabricantes que son capaces de proporcionar dispositivos que trabajan juntos con otros fabricantes. [Smar, 2001]

2.3.5 Tecnología Foundation Fieldbus

Consiste de 3 componentes:

- Capa Física.
- Pila de Comunicación.
- Usuario de Aplicación.

El modelo estratificado de la OSI es usado para modelar estos componentes. Ver fig. 14.



* La aplicación de usuario no esta definida por el modelo OSI

Figura 14 - Modelo estratificado de comunicación OSI

La pila de comunicación está comprendida por el conjunto de las capas comprendidas desde 2 hasta la 7 en el modelo OSI. Fieldbus no usa las capas 3, 4, 5 y 6. La Subcapa de Acceso de Fieldbus (FAS) accesa el FMS hacia la Capa de Enlace de Datos (DLL). El Usuario de Aplicación no es definido por el modelo OSI, Fieldbus ha especificado un modelo de usuario de aplicación. Cada capa en el sistema de comunicación es responsable de una porción del mensaje que es transmitido en Fieldbus. En cada capa se usan 8 bits, estos son usados en cada capa para transferir la data del usuario, ver la figura 15. [Smar, 2001], [Cátedra, 2001].

2.3.5.1 La Capa Física

Definida por el IEC y la ISA, esta capa recibe mensajes de la pila de comunicaciones y convierte los mensajes en señales físicas en los medios de transmisión de Fieldbus y viceversa. Las señales de Fieldbus son codificadas usando las técnicas de Manchester Bifase-L. Ver fig. 16

La señal es llamada "señal síncrona" por que el reloj de información esta limitada en la tasa serial de datos. Los datos son combinados con la señal de reloj para crear la señal de

Fieldbus como se muestra en la figura 17. El reporte de la señal de Fieldbus interpreta una transición positiva en el medio de un tiempo de bit como un valor lógico "0" y una transición negativa como un valor lógico "1".

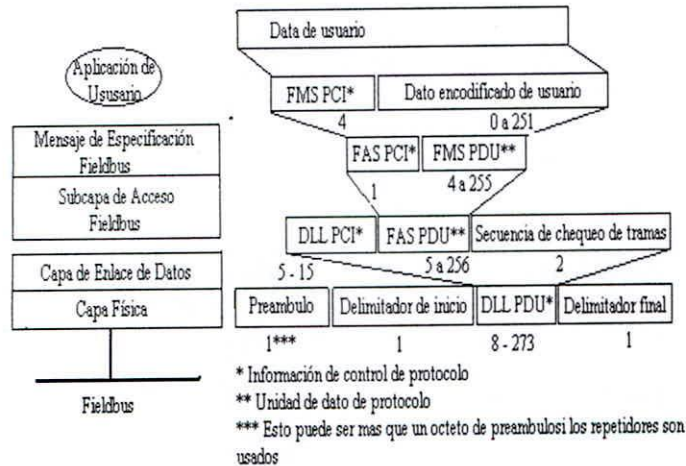


Figura 15 - El número aproximado de 8 bits usado por cada capa para transferir la data de usuario

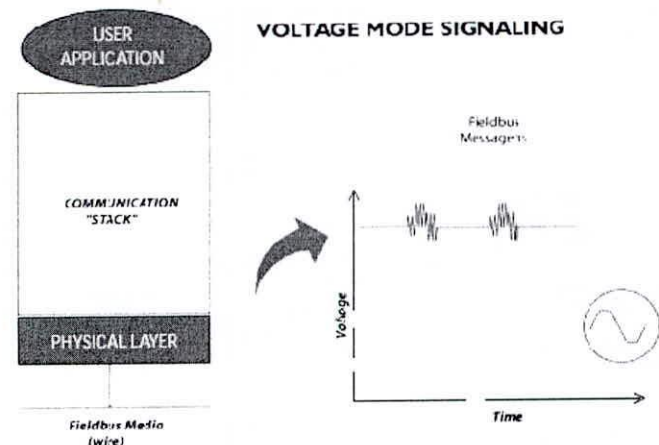


Figura 16 - Ejemplo de la señal en modo voltaje

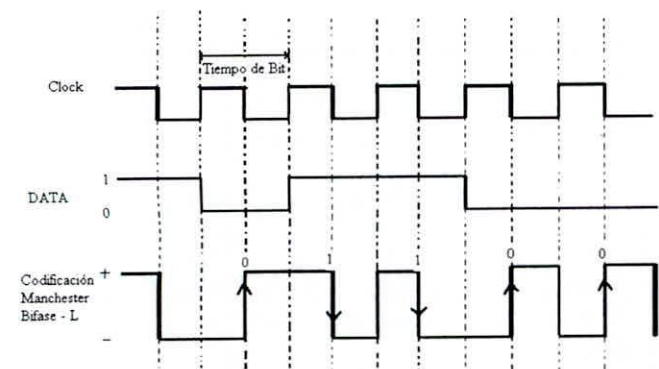


Figura 17 - Codificación Manchester Bifase-L

Las características especiales son definidas por el preámbulo, delimitador de inicio y de final, donde el preámbulo es usado

por el receptor para sincronizar su reloj interno con la señal de Fieldbus.

Los códigos N+ y N- son el inicio y el final del delimitador, se observa que las señales N+ y N- no cambian en el medio de un tiempo de bit.

El receptor usa el delimitador de inicio para encontrar el inicio de un mensaje de Fieldbus, después que lo encuentran acepta la data hasta que es recibido el delimitador de final.

2.3.5.2 Pila de Comunicación

La capa 2 (enlace de datos, DLL) controla la transmisión de mensajes dentro de Fieldbus. DLL administra el acceso al bus de campo a través de un bus centralizado determinístico llamado Listado Activo de Enlace (LAS). La cual es un subconjunto del estándar DLL IEC/ISA. Dos tipos de dispositivos son definidos en la composición de la DLL que son:

- Dispositivo básico (no es capaz de iniciar el LAS).
- Enlace maestro (capaz de iniciar el LAS).

2.3.5.2.1 Comunicación Fijada o Establecida

El LAS tiene una lista de tiempo de transición para todos los dispositivos que transmiten sus datos cíclicamente, cuando esto debe ocurrir, el LAS exige que el dispositivo cumpla con su tarea enviándole un mensaje de Dato Exigido (CD). Es entonces, que el dispositivo hace un *broadcast*, es decir, publica el dato sobre el bus de campo. Cualquier dispositivo que es configurado para recibir la data es llamado suscriptor, ver figura 18, [Smar, 2001]

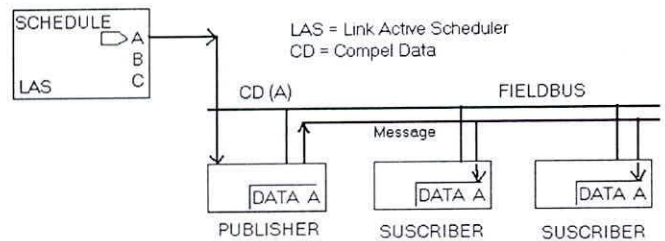


Figura 18 - Transferencia de dato requerido

2.3.5.2.2 Comunicación No Fijada o No Establecida

El LAS otorga permiso a un dispositivo para usar el bus de campo enviándole un mensaje de Ficha de Paso (PT), cuando el dispositivo lo recibe inicia el envío de su mensaje hasta finalizar o hasta que el "máximo tiempo de retención de ficha" lo permita, ver la figura 19.

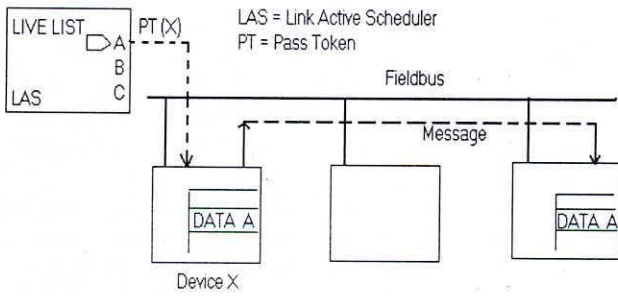


Figura 19 - Transferencia de dato no requerido

2.3.6 Configuración del Sistema

La configuración del sistema Fieldbus consta de dos fases:

- *Diseño del Sistema* - El diseño del sistema basado en Fieldbus es muy similar al diseño de los sistemas de control distribuido, con las siguientes diferencias:
 - Muchos dispositivos pueden ser conectados a un solo cable;
 - Cada dispositivo sobre el bus de campo puede tener un único tag de dispositivo físico y una dirección de red correspondiente;
 - Facilidad para distribuir algunos de los controles y funciones del subsistema entrada / salida (I/O) del sistema de control hacia los dispositivos Fieldbus, así se puede reducir el número de racks montados en los controladores y el equipo remoto I/O montado necesitado para el diseño del sistema. Ver fig. 20 [Smar, 2001]

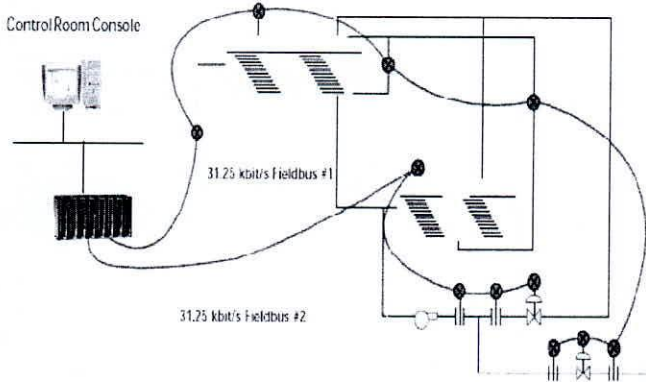


Figura 20 - Diseño del sistema

- *Configuración de los dispositivos* - Después de que el diseño del sistema es completado y los instrumentos han sido seleccionados, la configuración del dispositivo es desempeñado pero conectado los bloques de función de entrada y salida juntos en cada dispositivo como es requerido por la

estrategia de control. Luego de que todas las conexiones de los bloques de funciones y otras configuraciones (nombre de los dispositivos, "tags" (números, direcciones) de los lazos, proporción de la ejecución de los lazos) han sido ingresadas, ver las figuras 21 y 22. La configuración de los dispositivos genera la información para cada dispositivo Fieldbus un lazo de único usuario puede estar configurado si hay un dispositivo de campo que es único, esto permite contener la operación del lazo sin la configuración del dispositivo o consola central. [Smar, 2001]

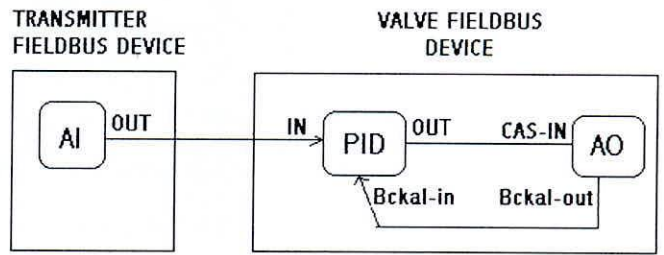


Figura 21 - Dispositivo de configuración

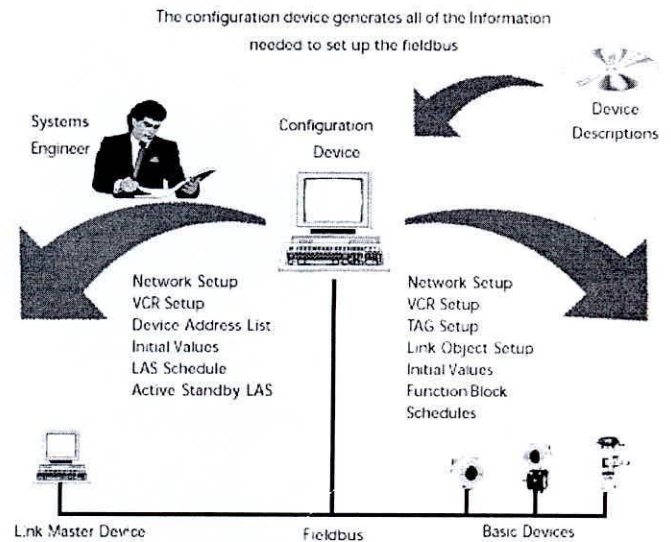


Figura 22 - Configuración del dispositivo

2.4 Profibus (Process Field Bus)

PROFIBUS es un estándar abierto de buses de campo internacional, líder en Europa y tiene buena aceptación entre los usuarios, fue estandarizado en el European Fieldbus Standard EN 50 170.

PROFIBUS ofrece interoperabilidad y puede emplearse tanto en transmisión de datos de alta velocidad con especificaciones de tiempo crítico, así como también, tareas de comunicación extensa y compleja. [Bacallado, 2001]

2.4.1 Características Básicas de Profibus

PROFIBUS funciona bajo el modo maestro/esclavo donde los dispositivos maestros (estaciones activas) determinan las comunicaciones de datos del bus. Además, los dispositivos esclavos (estaciones pasivas) son los dispositivos de entrada/salida, tales como, válvulas, drivers y transmisores de medida, estos no tienen derecho para acceder al bus, sólo pueden reconocer mensajes recibidos o enviar mensajes cuando el maestro se lo indica. PROFIBUS consta de 3 versiones compatibles:

2.4.2 Profibus DP

Esta versión establece comunicación entre sistemas de control de automatismos y entrada/salida en el ámbito de dispositivos, óptimo para alta velocidad y conexión económica. Además puede ser usado para reemplazar comunicaciones paralelas con 24V ó 0-20 mA.

Usa las capas 1 y 2 del modelo ISO de la OSI, y la interfase con el usuario, las capas de la 3 a la 7 no están definidas, esta arquitectura asegura una transmisión de datos rápida y eficiente.

El Direct Data Link Mapper (DDLMM) proporciona al usuario una interfaz para acceder fácilmente a la capa 2, esta interfaz especifica las funciones de aplicación del usuario, además del comportamiento del sistema y del dispositivo. La transmisión se realiza utilizando tecnología RS-485 o fibra óptica.

2.4.3 Profibus-FMS

Es la solución de propósito general para tareas de comunicación en el ámbito de célula, también puede ser usado para tareas de comunicación extensivas y complejas, a continuación la figura 27 muestra un resumen de las aplicaciones de cada versión de la familia. [Barragán, 2001],[Bacallado, 2001].

Tiene definidas las capas 1,2 y 7, donde la capa de aplicación consiste en FMS (FieldBus Message Specification) y LLI (Lower Layer Interface). FMS contiene el protocolo de aplicación y proporciona al usuario un conjunto de potentes servicios de comunicación. Mientras que LLI implementa las diferentes relaciones de comunicación y proporciona a FMS un acceso a la capa 2 independiente del dispositivo.

La capa 2 (FLD, Fieldbus Data Link) implementa los controles de acceso al bus y seguridad de los datos.

La transmisión es posible con tecnología RS-485 y con fibra óptica. PROFIBUS-DP y PROFIBUS-FMS usan la misma tecnología de fabricación y protocolo de acceso al bus uniforme. De esta forma ambas versiones pueden trabajar simultáneamente en el mismo cable.

2.4.4 Profibus-PA

Diseñado especialmente para automatización de procesos, puesto que permite conectar a sensores y actuadores en áreas intrínsecamente seguras. Permite comunicación de datos y alimentación sobre el mismo bus usando tecnología de dos cables, pero en este caso con el estándar internacional IEC 1158-2.

Es un protocolo PROFIBUS-DP extendido. De acuerdo con el IEC 1158-2, permite seguridad intrínseca y también permite que los dispositivos de campos puedan ser alimentados por el cable; Los dispositivos PROFIBUS-PA pueden ser fácilmente integrables en las redes PROFIBUS-DP usando un acoplador de segmento. [Barragán, 2001][Profibus, 2002]

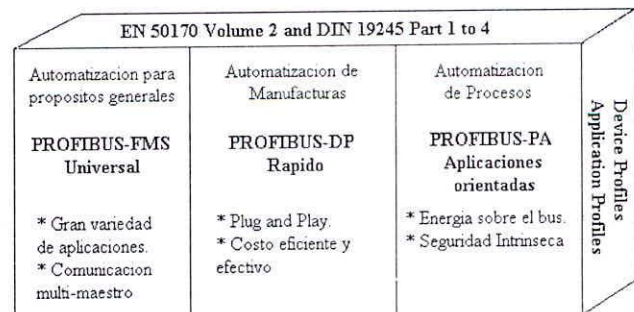


Figura 27 - Versiones de PROFIBUS

2.4.5 Transmisión RS-485 Para DP/FMS

RS-485 es la tecnología de transmisión que se usa con mayor frecuencia por PROFIBUS, esta tecnología es conocida como H2. Sus áreas de aplicación incluyen todas aquellas en las cuales se requiere alta velocidad de transmisión y una instalación simple y económica, se usa un par de conductores de cobre apantallado y trenzado.

La estructura del bus permite añadir y quitar estaciones una a una sin interferir en el funcionamiento de las demás. Pueden escogerse velocidades de transmisión entre 9.6 Kbits/seg y 12 Mbits/seg., teniendo en cuenta que todos los dispositivos tienen que trabajar a una misma velocidad fija. La topología de la red es un bus lineal, con terminaciones activas en ambos extremos. Sólo se permiten líneas *stub* para frecuencias inferiores a 1,5 Mbis/seg., el medio es un par trenzado apantallado, pero este apantallado puede ser omitido dependiendo del entorno de trabajo. [Bacallado, 2001]

2.4.5.1 Instalación Para RS-485

Todos los dispositivos están conectados en una estructura de bus, pueden conectarse hasta 32 estaciones (maestro o esclavo) en cada segmento sin repetidores, y hasta 127 estaciones con repetidores, los conectores son de preferencia D-sub de 9 pines.

Para asegurar una transmisión libre de errores, ambas terminaciones deben estar continuamente conectadas. Cuando se conectan más de 32 estaciones son necesarios repetidores para conectar los segmentos de bus individuales. La longitud máxima del cable depende de la velocidad de transmisión, ver tabla 3, las longitudes de cable especificadas en esta tabla están basadas en un cable tipo A con los siguientes parámetros:

- Impedancia: 135-165 Ohm
- Capacidad: <30 pF/m
- Resistencia del lazo: 110 Ohms/km
- Calibre del cable: 0.64 mm
- Área del conductor: 0.34 mm².

Tabla 3. Distancia Vs. velocidad (Cable Tipo A)

| Distancia/segmento | Baud rate (kbits/sec) |
|--------------------|-----------------------|
| 1200 | 9.6 |
| 1200 | 19.2 |
| 1200 | 93.75 |
| 1000 | 187.5 |
| 400 | 500 |
| 200 | 1500 |
| 100 | 12000 |

La longitud de cable especificada puede ser aumentada usando repetidores, no es recomendable usar más de 3 repetidores en serie.

Para redes PROFIBUS que usen tecnología de transmisión RS-485 se prefiere un conector de 9 pines D sub plug, ver tabla 3. [Bacallado, 2001], [Profibus, 2002]

2.4.6 Transmisión IEC 1158-2 Para Profibus-PA

La tecnología de transmisión que sigue el protocolo IEC 1158-2 cumple los requerimientos de las industrias químicas y petroquímicas, permite seguridad intrínseca y la alimentación de los dispositivos de campo a través del bus.

Esta tecnología es un protocolo de bit síncrono con transmisión continua libre de corriente, se la denomina H1, sus características fundamentales son:

- Cada segmento tiene una sola fuente de alimentación.
- El bus no es alimentado cuando una estación está enviando datos.
- Cada dispositivo de campo consume una corriente constante en estado estacionario;
- Cada dispositivo de campo actúa como un sumidero de corriente.
- La línea de bus principal posee terminaciones pasivas en ambos extremos.
- Son posibles topologías lineales, en árbol y en estrella.

- Pueden diseñarse segmentos de bus redundantes para aumentar la fiabilidad.
- Para la modulación se asume que cada estación de bus consume al menos 10mA para su alimentación, ver tabla 4. [Bacallado, 2001]

Tabla 4. Características de la tecnología IEC 1158-2

| | |
|-----------------------------|---|
| Transmisión de datos | Digital, bit-synchronous, codificación Manchester |
| Velocidad de transmisión | 31,25 kbits/seg., Modo voltaje |
| Seguridad de datos | Preámbulo, delimitadores de comienzo y final a prueba de error. |
| Cable | Par trenzado de dos hilos, con o sin apantallar |
| Alimentación remota | Opcional, por la línea de datos |
| Protección contra explosión | Opcional seguridad intrínseca |
| Topología | Línea, árbol, combinación de ambos |
| Numero de estaciones | Hasta 32 por segmento, Máximo 126 |
| Repetidores | Hasta 4 |

2.4.7 Transmisión Mediante Fibra Óptica

Cuando se trabaja en ambientes con campos electromagnéticos muy altos o para aumentar la distancia con alta velocidad de transmisión se usa fibra óptica en PROFIBUS. Son posibles dos tipos de conductores:

- De fibra plástica, para distancias $\leq 50m$.
- De fibra de vidrio, para distancias $\leq 1Km$.

[Bacallado, 2001], [Barragán, 2001]

2.4.8 Protocolo de Acceso al Bus Profibus

Las tres versiones de PROFIBUS utilizan el mismo protocolo de acceso, implementado en la capa 2 del modelo de referencia ISO, en PROFIBUS la capa 2 es llamada también Fieldbus Data Link (FDL). El control de acceso al medio (MAC) especifica el procedimiento con el cual una estación sea habilitada para acceder al bus, MAC asegura que sólo una estación a la vez acceda al bus y tenga derecho para transmitir.

PROFIBUS ha sido diseñado para cumplir dos controles de acceso al medio, los cuales son principalmente:

- Asegurar la comunicación entre sistemas automáticos complejos, es decir, cada estación debe tener el tiempo suficiente para ejecutar sus tareas en un periodo de tiempo máximo definido.
- Una transmisión de datos tiempo-real, cíclica es implementada lo más sencilla y rápida posible, para las comunicaciones entre un controlador

programable y los dispositivos esclavos que tiene asignados.

Por lo tanto, el protocolo de acceso al bus PROFIBUS, incluye el procedimiento de paso de testigo que es usado solo por las estaciones maestras para comunicarse entre ellas, y el procedimiento maestro-esclavo que es usado en la comunicación entre maestros y esclavos, ver figura 28.

El procedimiento de paso de testigo asegura que los derechos de acceso al bus son asignados a cada maestro con un tiempo definido con precisión. El tiempo de rotación de la ficha o "token" por el anillo también tiene un máximo definido.

El procedimiento maestro-esclavo permite al maestro que tiene el testigo en ese momento acceder a los esclavos asignados. El maestro puede recibir como transmitir mensajes a los esclavos. Otra importante misión de la capa 2 es la seguridad de los datos, la capa 2 de PROFIBUS asegura la integridad de los datos.

Todos los mensajes tienen distancia de Hamming $HD=4$, esto se consigue usando delimitadores espaciales para el principio y final del mensaje, sincronización slip-free, y bit de paridad para cada mensaje (octeto) tal como se define en el estándar internacional IEC 870-5-1. Además, la capa 2 de PROFIBUS funciona en un modo no orientado a la conexión (Broadcast o multicast).

[Bacallado, 2001], [Barragán, 2001], [Profibus, 2002]

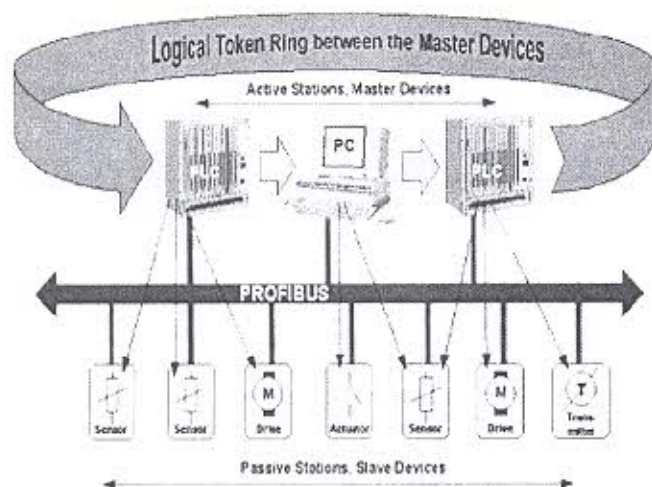


Figura 28: Las tres versiones de PROFIBUS usan el mismo protocolo de acceso al bus.

III. CONCLUSIONES

El protocolo HART es un protocolo abierto, basado en el estándar 4-20mA, que tiene una cierta cantidad de años en el mercado.

Actualmente hay industrias cuyos dispositivos no están comunicados ni conectados en red. Este problema se soluciona poniendo en red a todos los dispositivos y configurándolos mediante un protocolo sea Fieldbus o

Profibus, ya que estos tienen mayor cobertura en cuanto a un proceso propiamente dicho.

En el nivel de campo el protocolo AS-I es el complemento para las redes de mayor jerarquía, especialmente con PROFIBUS-FMS y PROFIBUS-DP.

La versión V1.0 de AS-I presentada en este artículo se diferencia de sus nuevas versiones V2.XX en que este tiene un mejor desempeño con las variables analógicas.

IV. REFERENCIAS

Tejada, M.G.; Tutorial de Fieldbus, Revista Electrónica UNMSM., Lima-Perú, Nro. 01, p. 28-36, Septiembre 1998.

Tejada, M. & MARTUCCI, J.; Comparación de una red industrial centralizada con una red industrial distribuida Fieldbus, Revista Electrónica UNMSM., Lima-Perú, Nro. 02, p. 3-22, Febrero 1999.

Tejada, M.G.: Las funciones y redes en una manufactura integrada por computadora (CIM), Revista Electrónica UNMSM., Lima-Perú, Nro. 07, p. 15-25, Agosto 2001.

Bacallado, M.M.; Comunicaciones en Entornos Industriales, http://www.dica.ulpgc.es/users/aurelio/int_equipos/trab9899/comuindus, Agosto 2001

Emerson; Process Management-PlantWeb University, <http://www.emersonprocess.com>, Noviembre 2002.

Smar Brazil, <http://www.smar.com.br>, Noviembre 2001.

Barragán, A.; Tutorial de PROFIBUS <http://www.uhu.es/antonio.barragan>,

Profibus ORGANIZATION, <http://www.profibus.com>, Junio 2002.

Fieldbus Foundation; <http://www.fieldbus.org>; Junio 2002.

Cátedra de Sistemas Inteligentes, Unidad temática 5, <http://www.frc.utn.edu>, Agosto 2001.

López, C.M.; Tutorial de BUS AS-I, <http://www.uhu.es/antonio.barragan>, Septiembre 2001