
CONTENIDO

Introducción. Comunicación en entornos industriales .Supervisión de procesos con sensores e instrumentos inteligentes.

Protocolo de comunicación. Funciones Básicas. El modelo de referencia OSI. Estructuras de mensaje. Tramas.

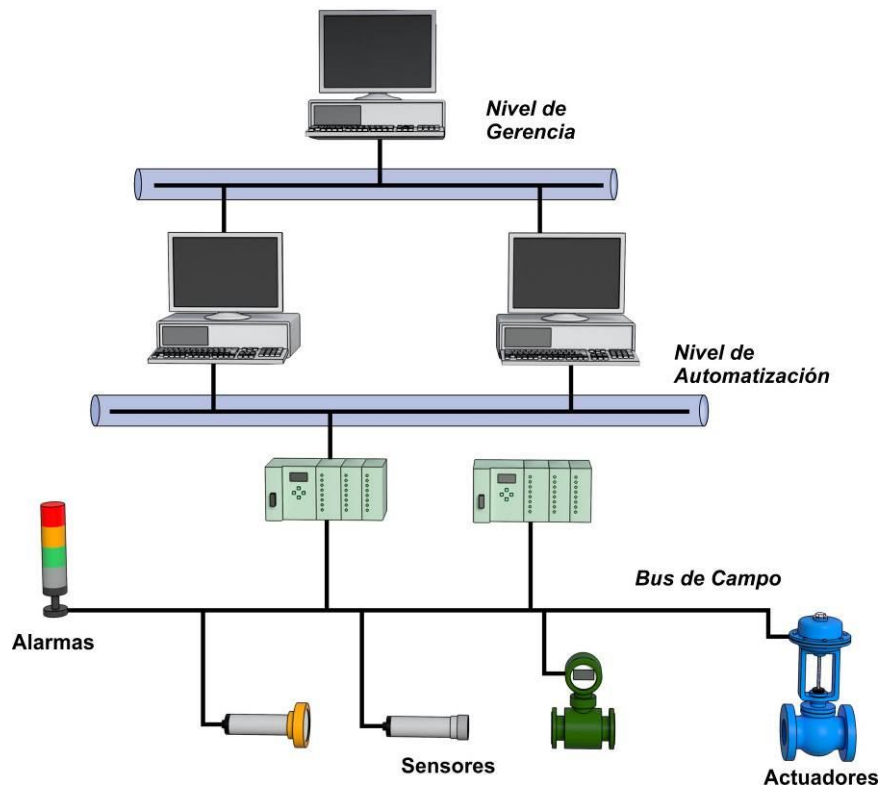
Códigos de error. Detección y corrección. Códigos de redundancia.

Protocolos Industriales. AS-i. Profibus.Fieldbus.DNP3. MODBUS

INTRODUCCIÓN. COMUNICACIONES EN ENTORNOS INDUSTRIALES

La estandarización de protocolos en la industria es un tema en permanente discusión, donde intervienen problemas técnicos y comerciales. Cada protocolo esta 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 AS-i están optimizados para los mercados de los dispositivos discretos y analógicos, 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. En muchos casos no se trata de protocolos que compitan entre sí, sino que se complementan, cuando se trata de una arquitectura de un sistema de comunicación de varios niveles.



HART (Highway Addressable Remote Transducer)

Es un protocolo de fines de 1980, que proporciona una señal digital que se superpone a la señal analógica de medición en 4-20 mA. Permite conectar varios dispositivos sobre un mismo cable o bus (Multidrop), que permite la alimentación de los dispositivos, el envío de mensajes de diagnósticos y acceso remoto a los datos del dispositivo, sin afectar la señal analógica de medición.

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

MODBUS

Es un protocolo que puede ser utilizado en comunicaciones que cubran grandes distancias entre los dispositivos de medición y control, como el caso de pozos de petróleo, gas y agua, en estos casos estos dispositivos se conectan a través de radio-módems con velocidades de 1200 baudios.

Puede alcanzar velocidades mayores cuando la transmisión se realiza mediante cables, utilizando el estándar RS-485.

Actualmente se ha adoptado también como medio de transmisión las redes de datos Ethernet, dando origen al Modbus/TCP. Es un estándar de facto.

DNP3 (Distributed Network Protocol v3)

Es un protocolo industrial que permite la comunicación entre equipos inteligentes y estaciones controladoras. Originalmente fue desarrollado como un protocolo abierto, orientado al sector eléctrico (Ampliamente utilizado en Argentina) sin embargo suele utilizarse también en otros servicios (agua, gas, etc).

Sigue una estructura Maestro/esclavo, donde un maestro controla varias estaciones esclavas. El maestro puede interrogar a las estaciones y estas responden con datos analógicos o digitales. El maestro también puede enviar señales de comando hacia las estaciones, indicándoles que acciones tomar, por ejemplo apagar/encender un actuador o ajustar el valor de Setpoint de un variable.

Posee funcionalidades que lo hacen más robusto, eficiente y compatible que otros protocolos como Modbus, la contrapartida es que lo hacen un protocolo más complejo.

DEVICENET

Resulta adecuado para conectar dispositivos simples como sensores fotoeléctricos, sensores magnéticos, pulsadores, etc. Provee información adicional sobre el estado de la red para las interfaces del usuario.

AS-i (Actuador Sensor-interface)

Es un bus de sensores y actuadores binario y puede conectarse a distintos tipos de controladores lógico Programable (PLC), controladores numéricos o computadores (PC).

El sistema de comunicación es bidireccional entre un maestro y nodos esclavos. Está limitado hasta 100 metros (300 metros con un repetidor) y pueden conectarse de 1 a 31 esclavos por segmentos.

El maestro AS-i interroga un esclavo por vez y para el máximo número tarda en total 5 ms.

Es un protocolo abierto y hay varios proveedores que suministran todos los elementos para la instalación.

Constituye un bus de muy bajo costo para reemplazar el tradicional árbol de cables en paralelo

PROFIBUS

Es un estándar originado en normas alemanas y europeas DIN 19245 / EN 50170. Utilizado en aplicaciones que requieren altas velocidades de transmisión de datos. Posee tres implementaciones, DP: orientada a la comunicación entre Controladores (por ejemplo PLC) y sensores de campo, PA pensada para la comunicación entre PLCs y Sistemas de Supervisión y FMS para comunicación de alto nivel entre controladores tales como PLCs y PCs.

FIELD BUS FOUNDATION (FF).

Está desarrollado a partir del modelo de comunicaciones de siete niveles IS/OSI (International Standards /Open System Interconnect)

Es un protocolo para redes industriales, específicamente para aplicaciones de control distribuido.

Puede comunicar grandes volúmenes de información, ideal para aplicaciones con varios lazos complejos de control de procesos y automatización de la fabricación,

Provee bloques de función que pueden intercambiarse entre la estación maestra (Host) y los dispositivos de campo. La longitud máxima por mensaje es de 256 bytes, lo que permite transferir funciones de control con el concepto de objetos

ETHERNET INDUSTRIAL

La amplia difusión de las redes Ethernet, como así también el avance tecnológico de las mismas, se ha impulsado la aplicación de este tipo de redes en entornos industriales orientado principalmente a intercambio de información entre controladores (PLCs) y entre controladores y Sistemas de supervisión (PCs).

La comunicación puede ser en forma directa, utilizando TCP/IP o como soporte sobre el cual se trasladan encapsulados otros protocolos como Modbus o DNP3.

NIVELES DE COMUNICACIÓN

Redes de comunicaciones

Las redes de comunicación pueden clasificarse en dos tipos generales:

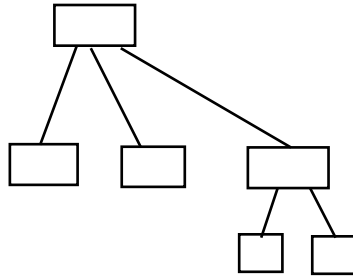
- Redes de Área Local (LAN - Local Area Network), reducida a un edificio, con alcance de hasta 5 km.
- Redes de Área Amplia (WAN - Wide Area Network), extendida a través de todo el planeta.

Los componentes básicos son:

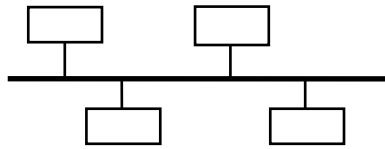
- Medio físico de comunicación (Cable de cobre, fibra óptica, aire, etc) y un equipo electrónico de transmisión/recepción.
- Programas o software de comunicaciones.

Estos componentes determinan la topología de la red.

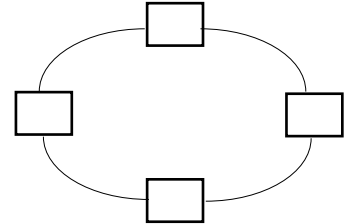
1. Red Jerárquica



2. Red en Bus



3. Red en Anillo



- Redes jerárquicas o en estrellas, donde uno de los equipos hace de host o nodo central y todos los demás son esclavos. Todas las comunicaciones pasan por dicho nodo central.
- Redes en bus, donde cada equipo transmite cuando no hay presencia de señal en la red, utilizando una técnica de acceso probabilístico denominada CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/ Collision Detection), de aplicación en la red Internet.
- Redes en anillo, donde un testigo (token passing) circula por la red. Cada equipo retiene el testigo mientras transmite, lo que le da características de acceso determinístico, garantizando un tiempo máximo de espera en el que una estación accede a la red, de aplicación en la industria.

COMUNICACIONES EN LA INDUSTRIA.

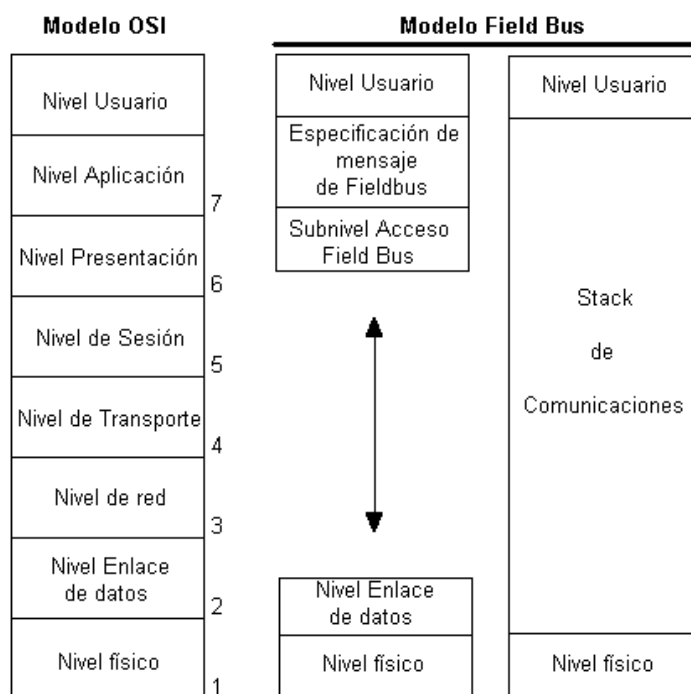
Los protocolos de comunicaciones digitales en la industria siguen, en general, el modelo estándar de interconexión de sistemas abiertos OSI (Open System Interconnect). Sobre esta base y las recomendaciones de ISA (International Society of Automation) y la IEC (International Electrotechnical Commission) se han establecido normas al respecto, en particular la IEC 1158, aun en desarrollo.

No obstante, como resultado de estas normalizaciones, se presenta la estructura principal de dos importantes buses de campo que compiten en el ámbito internacional: FF (Foundation Fieldbus) y PROFIBUS.

No se incluyen otros buses de campo por razones de tiempo y espacio, tan importantes como WorldFIP, DeviceNet, ControlNet, Interbus, LonWorks y en particular AS-i, SDS y Seriplex orientados al control discreto.

FF - Foundation Fieldbus

Fundamentalmente consta de: a) un nivel físico, b), una pila de comunicaciones (Stack) y c) nivel de usuario. No se implementan los niveles 3, 4, 5 y 6 del modelo OSI a causa que estos no se requieren en aplicaciones de control de proceso, pero si se tiene en cuenta un importante Nivel de Usuario.



Nivel físico:

Establece características mecánicas, eléctricas y funcionales para establecer y liberar conexiones físicas, responde a normas ISA/IEC (ISA 550.02-1992/IEC 1158.2).

Posee velocidades de 31,25 Kbs (baja), 1 Mbps (media) y 2,5 Mbps (alta).

En baja velocidad se puede alcanzar una distancia de 1900 m, la que disminuye con la cantidad de dispositivos conectados en el bus. Soporta especificaciones de seguridad intrínseca. La comunicación es compatible con dispositivos existente que operen con 4-20 mA.

Los dispositivos del bus toman energía del mismo par, evitando fuentes independientes

El stack de comunicaciones:

Provee los servicios de interfaces entre el nivel físico y el nivel de usuario y comprende fundamentalmente:

- **El Nivel Enlace de Datos** (Data Link) es del tipo token-ring y establece la vinculación con el Nivel Físico. Su función es la de controlar la transmisión de mensajes hacia y desde el Nivel Físico. El acceso al bus se realiza mediante un planificador, denominado LAS (Link Active Scheduler), que actúa como un centralizador y arbitrador de uso del bus, permitiendo una comunicación determinista, realizando una distribución del tiempo para que todo dispositivo conectado sea censado. Además permite que todos los datos publicados en el bus estén disponibles para todos los dispositivos conectados que los reciben simultáneamente.
- **El Nivel de Aplicación** comprende la transferencia de datos desde el Nivel 2 al Nivel 7 y el tratamiento de los comandos del Nivel de Usuario para direccionar y acceder por su nombre los dispositivos remotos.

Nivel Usuario:

Define una interface que permite que el usuario interactúe con los dispositivos de campo. Hay dos recursos importantes: los bloques y la descripción de dispositivos.

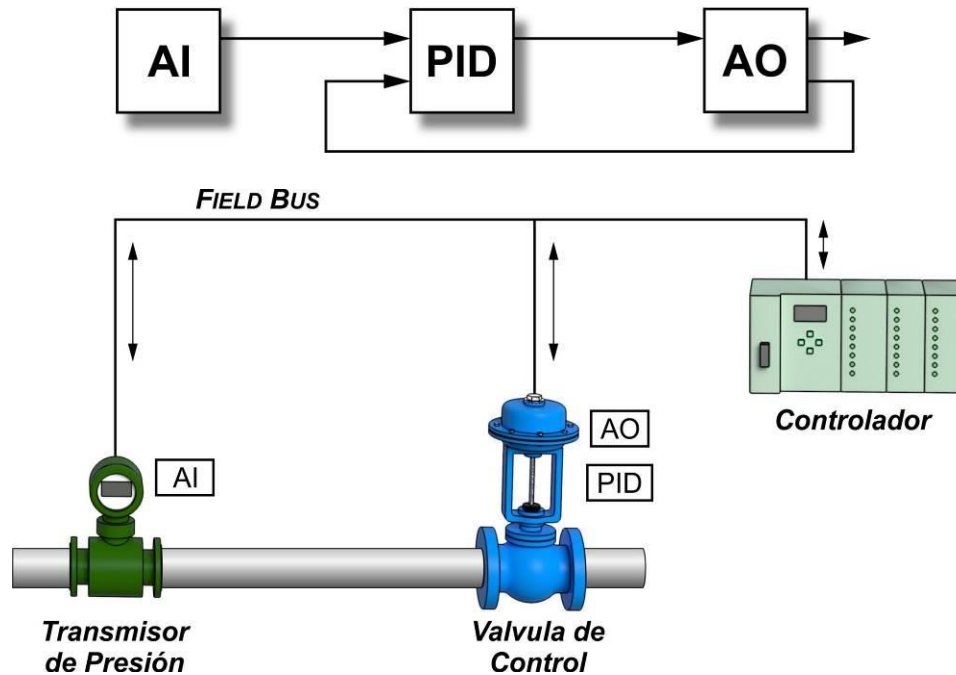
Existen 3 tipos de bloques:

- **Bloque de Recurso:** Describe características del dispositivo tales como: nombre, fabricante, modelo y número de serie.
- **Bloque de Función:** Son objetos que proveen acciones de control en base al comportamiento de las I/O del dispositivo. Los bloques pueden residir dentro de los dispositivos de campo y estar disponibles para otros, a través de la red. La tabla siguiente reúne algunas funciones usuales de control y de I/O.

Block de Función	Símbolo
Analog Input	AI
Analog Output	AO
Discrete Input	DI
Discrete Output	DO
Manual Loader	ML
Proportional/Derivative	PD
Proportional/Integral/Derivative	PID

- **Bloque de Transferencia:** Acopla o desacopla bloques de funciones de acuerdo al requerimiento local de las I/O del dispositivo. El usuario crea aplicaciones sobre el bus de campo, conectando los bloques de función formando una estrategia de control distribuido, pudiendo especificar en qué tiempo y en qué dispositivo se ejecutan. Por ejemplo las funciones AI, PID y AO pueden residir en forma individual en un transmisor, en un controlador de lazo abierto y en un actuador respectivamente.

El esquema siguiente muestra un control de lazo cerrado utilizando 3 Bloques de Función, donde la entrada analógica corresponde a un transmisor de presión, mientras que el algoritmo PID y la salida analógica corresponde a un posicionador de válvula de control.



Con esta posibilidad de interconectar diferentes funciones de control que residen en diferentes dispositivos del bus de campo, el FF permite una verdadera arquitectura de control distribuido.

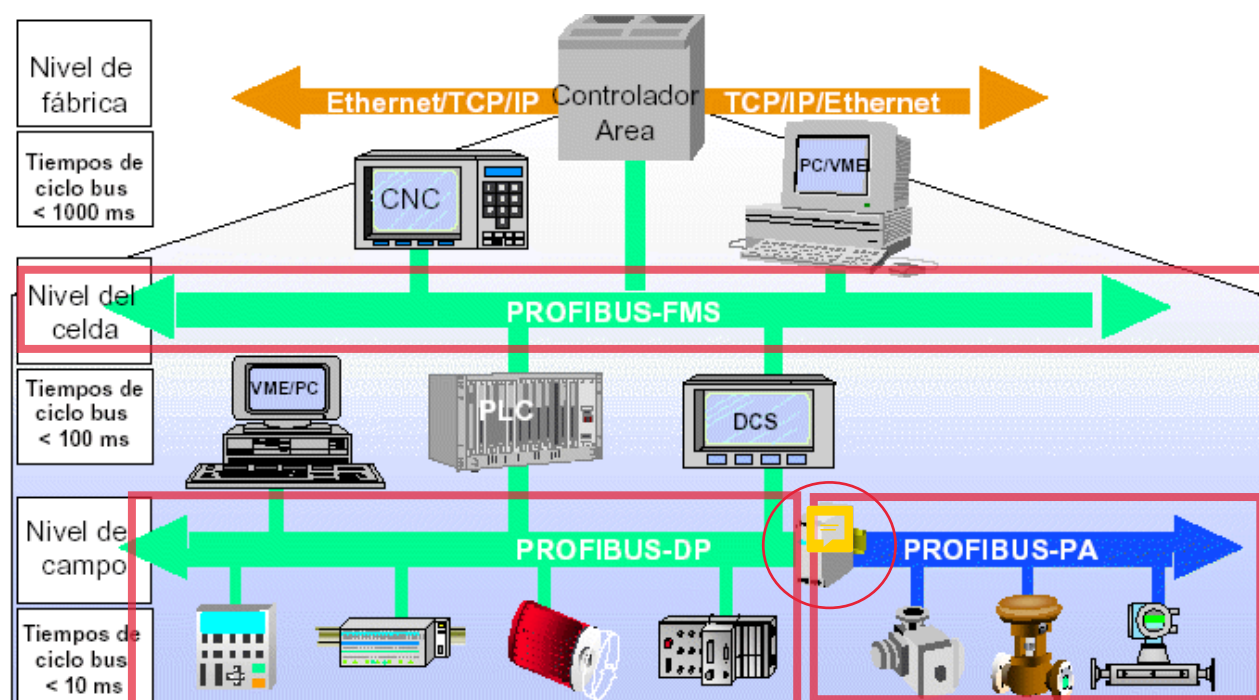
El segundo recurso importante es la descripción de las funciones disponibles en el dispositivo, partir de cuya información se puede crear la HMI (Human Machine Interface), que le permita al usuario configurar parámetros y realizar la calibración, diagnóstico y acceder a otras funciones de servicio que se encuentran en los dispositivos de campo.

Para mayor información sobre Fieldbus Foundation consultar a: www.fieldbus.org

PROFIBUS

Es un estándar originado en normas alemanas y europeas DIN 19245 / EN 50170. Cumple también con el modelo OSI de 7 niveles y las normas ISA/IEC. Utilizado en aplicaciones que requieren alta velocidad de transmisión de datos como la comunicación entre Controladores de I/O con el PLC y también en comunicaciones más complejas, como las que se dan entre PLCs.

Tal es así que para diferentes tipos de comunicación presenta distintos tipos de soluciones, las cuales satisfacen con 3 implementaciones separadas y compatibles entre ellas: DP, PA y FMS.



Profibus-DP (Decentralized Peripherals)

Esta diseñado para la comunicación con sensores y actuadores, donde importa la velocidad sobre la cantidad de datos (Tiempo de ciclo del bus < 10 ms.). En una red DP un controlador central como PLC o PC se comunica con los dispositivos de campo. Tiene definido los niveles 1 y 2 del modelo OSI, pero no los niveles 3 al 7. Tiene definido el Nivel de Usuario y dispone de un servicio de intercomunicación con el Nivel 2. Para el Nivel 1 opera en RS-485 pero soporta el transporte a través de Fibra Óptica mediante el uso de módulos denominados Fiber Optic Link (FOL o links de fibra óptica).

Prpfibus-PA (Process Automation)

Esta diseñado específicamente para procesos de automatización, utilizando la norma IEC 1158.2 para el Nivel Físico. El mismo bus de datos suministra energía a los dispositivos de campo. Utiliza el mismo protocolo de transmisión que el DP, ambos pueden ser integrados en la red con el uso de un segmento acoplador.

Profibus-FMS (Fieldbus Message Specification)

Es la mas completa y esta diseñada para proveer facilidades de comunicación entre varios controladores programables como PLCs y PCs (Red de Celdas) y acceder también a dispositivos de campo (Tiempo de ciclo del bus < 100 ms.) 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. Mediante el FDL (Fielbus Data Link) se realiza el control y acceso al bus correspondiente al Nivel 2. Con el FMS Fieldbus Message Specifications se implementa el Nivel 7 vinculando el Usuario con el Nivel 2. Al igual que

Profibus DP, para el Nivel 1 opera en RS-485 y soporta el transporte a través de Fibra Óptica mediante el uso de módulos FOL.

Nivel Físico para DP/FMS

El nivel físico más frecuente usado por Profibus-DP/FMS es RS-485. Las velocidades de transmisión pueden ser de 9.6 Kb/s a 12 Mb/s. En cada segmento del bus sin repetidor, pueden conectarse hasta 32 dispositivos y hasta 127 dispositivos pueden conectarse con repetidores.

La máxima longitud del cable (trenzado y apantallado) depende de la velocidad de transmisión.

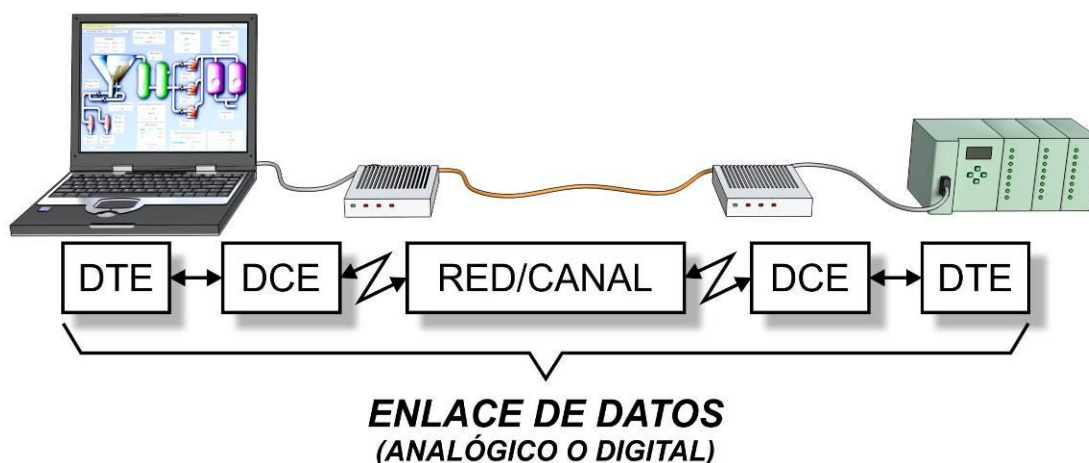
Velocidad (Kb/s)	9.6	19.2	93.75	187.5	500	1500	12000
Distancia/Segmento (m)	1200	1200	1200	100	400	200	100

Para mayor información sobre Profibus consultar a: www.profibus.com

PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN

Comunicación de datos

Hace referencia al manejo y transferencia de información entre dos o más elementos, responden en general al siguiente esquema:



Donde:

- **DTE (Data Terminal Equipment):** Es uno de los equipos extremos que necesita intercambiar información. Por ejemplo en nuestro caso un DTE puede ser una PC Supervisora y el otro DTE puede ser un PLC, una RTU, o algún otro elemento encargado de recibir datos desde un proceso a supervisar.
- **DCE (Data Communication Equipment):** Equipo de comunicación de datos.
- **RED/Canal:** es el medio a través del cual se vinculan los elementos de la red.

Para poder obtener una transferencia ordenada de información en el enlace de datos es necesario contar con:

- Un Protocolo de Comunicación
- Un Soporte o medio de Comunicación

Protocolo de Comunicación:

Es un conjunto de reglas y convenciones acordado entre los entes que se van a comunicar.

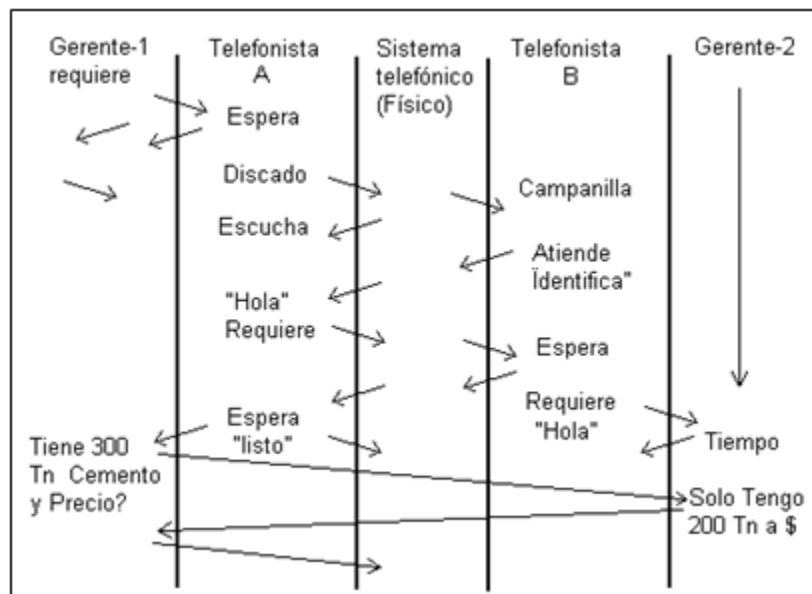
Para que una comunicación sea posible es necesario:

- Que los participantes se puedan identificar entre sí.
- Que los mensajes entre los participantes se transfieran correctamente.
- Que la comunicación sea ordenada, por ejemplo en el caso de una conversación telefónica, que los participantes hablan uno a la vez.

Es decir que el objetivo de un protocolo es establecer una conexión entre los DTE, identificando el emisor y el receptor, asegurando que todos los mensajes se transfieran correctamente, controlando a su vez la transferencia de información.

Los modos de operación, la estructura de los mensajes, los tipos de órdenes y respuestas, constituyen las diferentes piezas de un protocolo.

La problemática de protocolos se estudia como una cascada de enlaces, entre diferentes niveles, que intercambian unidades de información.



En la comunicación anterior, el teléfono, las conexiones, los cables, las centrales telefónicas, etc (Soporte físico) permiten el enlace de datos.

Cuando un mensaje es enviado el receptor puede o no enviar un mensaje de confirmación indicando que el mensaje ha sido bien recibido. En el caso de tener un servicio de comunicación con confirmación, la fase de comunicación puede resumirse.

Pueden definirse cuatro funciones básicas o primitivas en un servicio de comunicación:

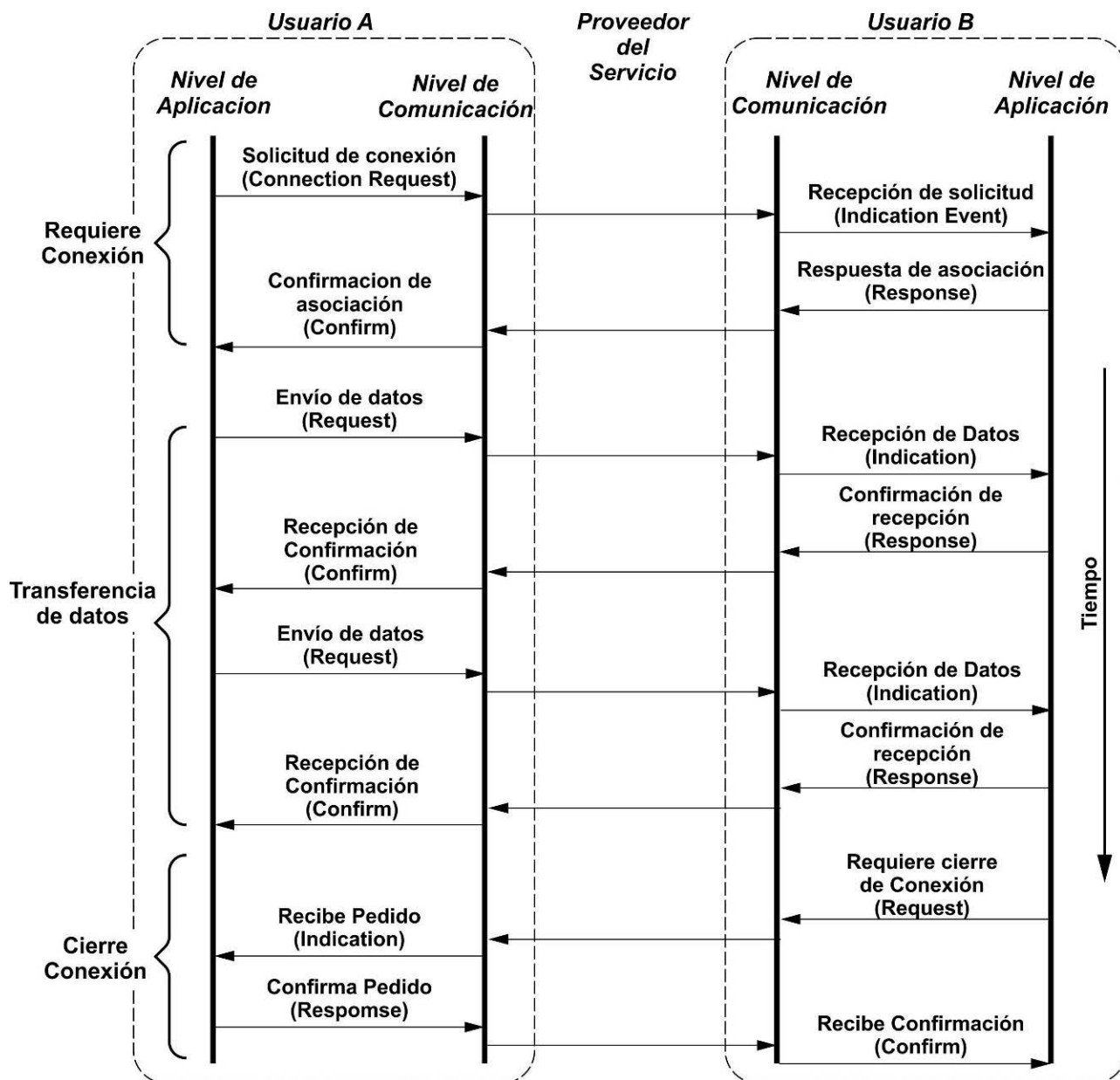
REQUEST: Un servicio es solicitado por un ente usuario

INDICATION: Un ente es notificado de la ocurrencia de un evento.

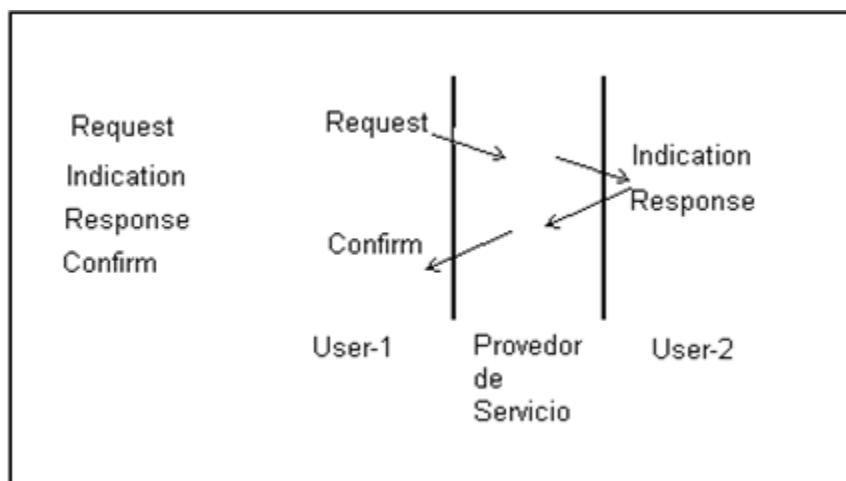
RESPONSE: Un ente responde a un evento.

CONFIRM: Un ente informa sobre un requerimiento anterior.

En el siguiente gráfico pueden observarse “Niveles” o “Capas” que reciben o solicitan servicios de niveles superiores o inferiores.

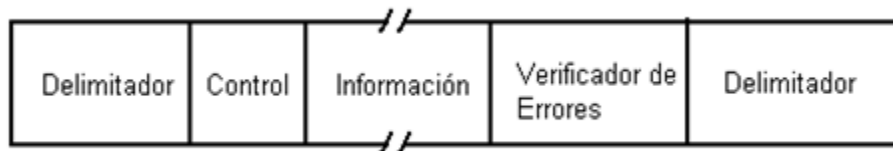


Las funciones básicas o primitivas de servicio de un nivel se indican en la siguiente figura:



Por ejemplo: Un servicio de correo con aviso de retorno, El mensaje es la carta, el aviso de retorno puede ser un mensaje corto.

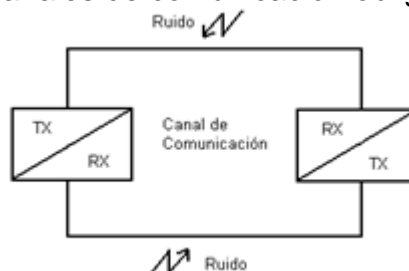
Los mensajes deben estructurarse dentro de una unidad de información que manipula cada nivel para el intercambio de mensajes: Cuadro, Bloque o Datagrama.



- Campo delimitador: Indica inicio y fin de un cuadro (sincronismo)
- Campo de control: Información del tipo de bloque, número de secuencia, destino/origen, código de Request/Confirm de otros bloques.
- Información: Contiene la información a ser transportada.
- Verificador de errores: permite la detección de errores que puedan haberse originado en la transmisión, según la complejidad del protocolo también puede implementarse la corrección de dichos errores.

Verificación de errores en la información

La presencia de ruido en los canales de comunicación obliga a detectar y corregir errores.



Las técnicas de detección de errores se basan en realizar operaciones con los bits que componen la información y obtener un valor de resultado. Este valor se transmite junto con el paquete de datos y sirve para que el receptor de la información verifique si se ha producido alguna alteración en el mensaje.

Si bien existen varias técnicas para detectar errores en los mensajes hay tres métodos muy utilizados:

1. **Control de redundancia vertical (VRC):** consiste en el cálculo de paridad (par/impar) para cada carácter o byte que se transmite. Por cada carácter se determina la cantidad de "1" que contiene. Si se trabaja con paridad Par y la cantidad de 1's del mensaje es impar se agrega un 1 con lo cual la suma de 1's da un valor Par, si es impar se agrega un 0 para mantener la paridad de conjunto.
2. **Control de redundancia horizontal (HRC):** consiste en el cálculo horizontal de todos los caracteres o bytes (Ej: realizar OR exclusivos sucesivos de la información, u otro tipo de cálculo lógico). Es similar al VRC pero se aplica al conjunto de caracteres.
3. **Control de redundancia cíclica (CRC - Cyclic Redundancy Check):** en transmisión sincrónica. En este tipo de control el mensaje es tratado como una función ponderada

$$a_n \cdot X^n + a_{n-1} \cdot X^{n-1} + \dots + a_2 \cdot X^2 + a_1 \cdot X + a_0$$

Los coeficientes a_0, a_1, \dots, a_n corresponde 0 o 1 según la estructura binaria del mensaje.
Si $m = 10101110$

Luego:

$$D(x) = X^7 + X^5 + X^3 + X^2 + X^1$$

Donde $D(x)$: polinomio de información

Este polinomio se divide por otro polinomio $G(x)$ (polinomio Generador), este se encuentra normalizado, según es estándar utilizado puede ser:

CRC-16 (ANSI)	: $X^{16} + X^{15} + X^5 + 1$
CRC(CCITT)	: $X^{16} + X^{12} + X^5 + 1$
CRC-12	: $X^{12} + X^{11} + X^3 + 1$

Se realiza la división de los dos polinomios:

$$D(x) / G(x) = Q(x) \times C(x) + R(x)$$

De la división se va a obtener:

$Q(x)$ = Polinomio Cociente

$R(x)$ = Polinomio remanente o resto.

El remanente ($R(x)$), normalmente es de 16 bit, y se denomina CRC, se agrega al bloque y es transmitido junto con el mensaje. El receptor realiza la misma operación y compara el CRC obtenido con el recibido, generando un código de error o no, que será enviado como acuse recibo al emisor.

ESTRUCTURA DE LOS MENSAJES

Según la estructura de la información que se va a transmitir, los protocolos utilizan dos estructuras diferentes: orientada a caracteres y orientada a bit.

PROTOCOLOS ORIENTADOS A CARACTERES

Está basado en el uso del CÓDIGO ASCII, es usado en transmisión asincrónica. La transmisión se controla por los códigos de control ASCII o EBDIC.

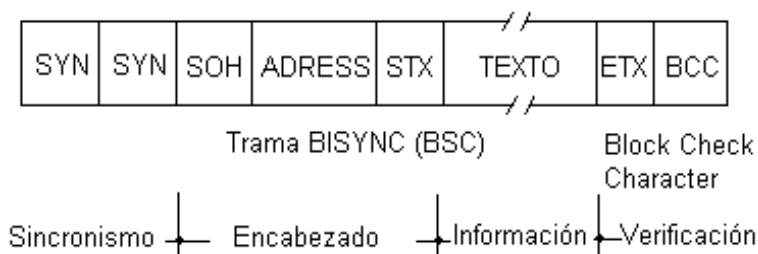
Código	Símbolo	Función
10010110	SYN	Desocupado, estable sincronismo
10000001	SOH	Inicio del mensaje o bloque
10000010	STX	Comienzo del texto
00000011	ETX	Terminación del mensaje
10000100	EOT	Terminación de la transmisión
00000110	ACK	Reconocimiento Afirmativo
10010101	NAK	Reconocimiento Negativo
00000101	ENQ	Indica si el terminal esta en ON
00010111	ETB	Fin de transmisión de bloques
10010000	DLE	Escape de enlace

El carácter SYN sirve como código de sincronización entre TX y RX, tiene la propiedad que en una rotación circular no se repite a si mismo, hasta después de un ciclo completo de 8 bit. El receptor verifica de a 8 bit para encontrar un SYN que coincida, recibe nuevo bit y descarga uno anterior, verificando nuevamente. Una vez que detecta 2 SYN consecutivos, empieza a reconocer caracteres del mensaje.

Ej. BYSINC (Binary SYNchronous Communication) (IBM 1968)

Normalizado por: Organización Internacional de Estandarización (ISO) en 1975, equivalente a ANSI3.28 (USA). Comprende 3 fases:

- Establecimiento del enlace.
- Transferencia de la información.
- Liberación del enlace.



Desventajas:

- Utiliza varios tipos de bloque que dificulta el soft/hard
- Códigos de control con solo control de paridad
- Depende del alfabeto (ASCII/EBDIC/ CCITT, etc)

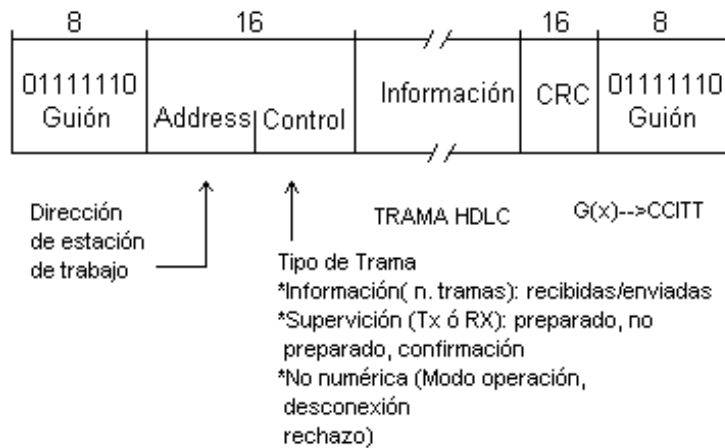
Es reemplazado por estructuras orientadas al bit.

PROTOCOLOS ORIENTADOS A BIT

Se caracterizan por:

- Independencia de códigos y/o alfabetos.
- Actividad bidireccional.
- Alta fiabilidad.
- Formato único.

La ISO normalizó el HDLC (HIGH LEVEL DATA LINK CONTROL) en 1976 (IBM lanzó en 1973 el SDLC, Synchronous Data Link control, también apareció BDLC de Burrough y VDLC de UNIVAC).



- Las tramas con error de CRC, son descartadas, como si no se transmitieron.
- Si el remitente quiere finalizar la transmisión, envía una trama con 7 unos consecutivos en el GUIÓN, si quiere pasar a reposo o ceder su derecho a seguir transmitiendo envía una trama con 15 unos consecutivos, la reaparición del guión, indica que el remitente abandona el estado de reposo.

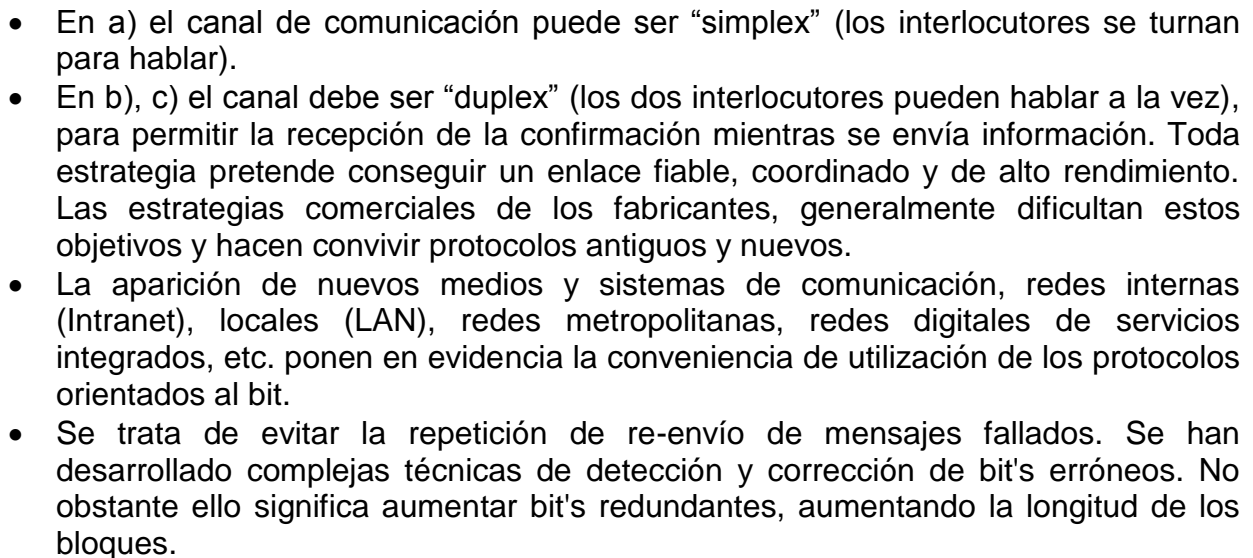
ESTRATEGIAS PARA CONTROL DE ERRORES

Parada y espera:

- a) El remitente guarda una copia, parando la transmisión hasta que llegue una confirmación o rechazo (ACK/NACK). Con NACK se repite la trama (3 veces). Usado en transmisión asincrónica (carácter).

Envío continuo: Existen dos técnicas:

- b) Se retransmite la trama rechazada y todas las siguientes desde la recepción de rechazo.
- c) Se retransmite exclusivamente la trama rechazada. Los controladores son más complejos, los bloques pueden desordenarse. Usado en transmisión sincrónica (bit).



Es necesario posibilitar la interconexión de diferentes dispositivos a través de diferentes redes de comunicaciones. Para ello se ha subdividido el problema de comunicación en diferentes "niveles" o "capas". El conjunto de niveles o capas, junto con sus protocolos de comunicación, se denomina arquitectura de red.

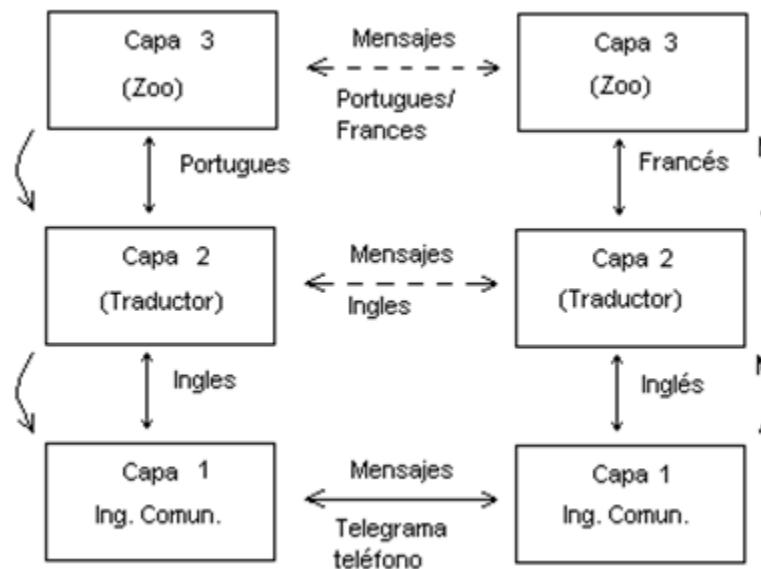
- Hay un estándar que ha definido la normalización de comunicaciones entre equipos informáticos, establecido por la organización ISO (International Standard Organization), que es el modelo OSI (Open Systems Interconnection). Se trata de una estructura en siete (7) capas o niveles.

- A una determinada capa no le interesa como implementan sus servicios las otras capas.
- Hay independencia entre capas. El nivel N solo se preocupa de utilizar los servicios de (N-1) y realizar los servicios para (N+1). Una capa o nivel puede cambiar su estructura interna, pero no los servicios que recibe y entrega.

Ejemplo: (Analogía tomada del libro de Tanenbaum "Computer Network")

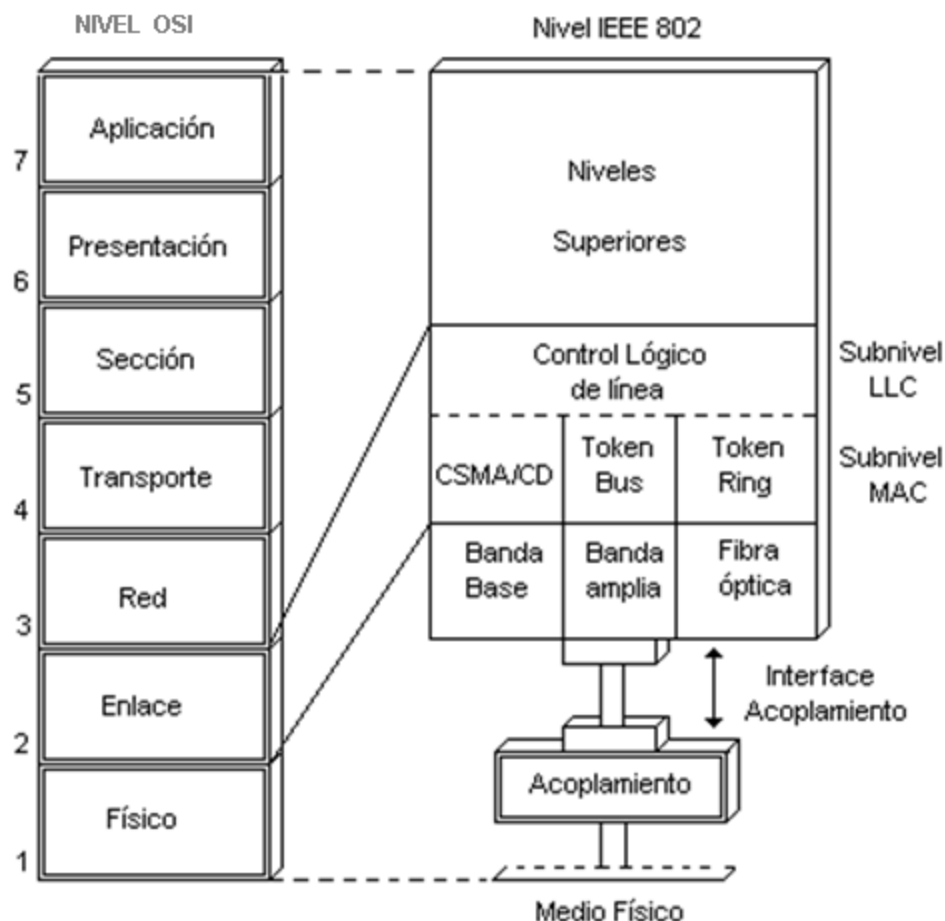
Se trata de dos zootécnicos, uno en Brasil y el otro en Quebec. Ambos contratan traductores, que a su vez dialogarán con ingenieros de comunicaciones ingleses.

- Cada capa tiene su propio protocolo de comunicaciones (su propio idioma) y es independiente de las otras.
- Los traductores pueden reemplazarse por otros (contenido de la capa).
- Los zootécnicos o los traductores creen que hablan entre sí, sin embargo el contacto físico directo se lleva a cabo en el nivel de la CAPA 1 (soporte físico)



MODELO OSI

El modelo OSI especifica un modelo de comunicaciones dividido en siete niveles o capas. Cada nivel define un conjunto de funciones que son necesarias para comunicarse con otros sistemas similares. Se comunican únicamente con los sistemas adyacentes. Cada uno añade valor a los niveles anteriores, hasta que, el nivel superior ofrece un abanico completo de servicios para las aplicaciones de comunicación.



Referencias:

LLC: Logical Link Control (control lógico de línea) Responde a norma IEEE 802.2

MAC: Media Access Control (control de acceso al medio)

CSMA/CD: Carrier Sense Multiple Access/Collision Detect (Mecanismo de acceso múltiple con sensado de portadora), responde a la Norma IEEE 802.3

Token Bus: Norma IEEE 802.4: Bus con transferencia de "ficha"

Token Ring: Norma IEEE 802.5: Anillo con transferencia de "ficha"

Nivel 1- Físico: Se refiere a requerimientos de los equipos periféricos o terminales de datos, los modem, conectores eléctricos y características de las señales que permiten interconectar los componentes diversos en una red. Por ejemplo par un enlace RS-232C, (norma de EIA-USA/Enlace V_24, norma CCITT- UE) define como serán las señales para la interconexión: +12V y -12V para 0 y 1 lógicos respectivamente. Un ejemplo son los conectores DB-25 y DB-9, según se trate de un terminal (DTE) o de un MODEM (DCE). También se especifican los tipos de cable: coaxial (fino/grueso), fibra óptica, par trenzado, etc.

Nivel 2 – Enlace: Se ocupa de las técnicas para "colocar" y "recoger" los datos en el medio de interconexión, controlando la transferencia con detección y corrección de

errores. En este nivel se pueden encontrar protocolos como HDLC, Ethernet, etc. Se subdivide en 2 subniveles:

Subnivel-LLC (Logical Link Control) se refiere al control lógico sobre la línea, controla "quien habla y con quien" y "cuando termina el dialogo".

Subnivel-MAC (Media Access Control) se refiere al modo de acceso a la línea y comprende tres subsistemas: CSMA/CD /TOKEN BUS /TOKEN RING

- CSMA/CD: Cada interfaz "escucha" al medio de transmisión y lo ocupan si esta libre. Si hay colisión esperan un cierto tiempo y que se duplica si se verifican colisiones con los paquete.
- TOKEN: se pasa una "fichas" entre estaciones siguiendo un orden. Cada interfaz solo transmite cuando tiene la "ficha", según la topología de red puede ser en anillo (Token Ring) o en bus (Token Bus).

Nivel 3- Red: Se ocupa de agrupar tramas en *paquetes*, direccionar y enviar los paquetes de información y redireccionarlos entre redes y/o hardwares similares, seleccionando el camino en base a prioridades y tipo de red.

Nivel 4 – Transporte: Se ocupa del agrupamiento de los paquetes de datos en *mensajes*, su descomposición y transferencia fiable de los datos, controlando el formato, orden de salida y llegada de los paquetes. Incluye procedimientos de detección y corrección de errores.

Nivel 5 – Sesión: Administra las comunicaciones entre dos entidades y comprende: establecimiento, mantenimiento y finalización de sesiones, manejando convenciones de nombres y direcciones de red.

Nivel 6 – Presentación: Reformatea los datos en su paso hacia y desde la red, compatibilizando con los formatos de las terminales, archivos, impresoras, plotters, etc. con el fin de ser utilizados por la sección de aplicación del usuario. Por ejemplo, interpretar los códigos de control, efectuar las conversaciones ASCII/ EBCDIC, si corresponde.

Nivel 7 – Aplicación: Presta servicios al usuario, comprende la interacción directa con los procesos de aplicación, manejando las transferencias de archivos, base de datos, correo electrónico, etc.

Recomendaciones para tener en cuenta:

Para el nivel 1:

- 1) La velocidad de transmisión entre estaciones debe ser elevada, por cuanto se transfieren programas, datos, y otros mensajes de longitud considerable, 1 Mbps sería la velocidad mínima.
- 2) El cableado entre estaciones debe tener cierta calidad.
- 3) La fiabilidad y distancia han de ser altas. A velocidades superiores a 1 Mbps, deben considerarse como medios aceptables el cable coaxil, la fibra óptica, el par

trenzado (puede ser apantallado y de calidad), transmisión por haces infrarrojos, las microondas e incluso la radio frecuencia.

- 4) El esquema de cableado (topología) ha de ofrecer versatilidad en caso de falla.

Para el nivel 2:

- 1) Los puntos vitales se centran en el protocolo de acceso al medio (cable, fibra óptica, etc.) y en el diseño de los paquetes de información.
- 2) El protocolo de acceso al medio debe ser efectivo, permitiendo el acceso al canal de todas las estaciones de la red, garantizando respuestas en tiempos razonables, más allá de comunicar dos elementos entre sí, con múltiples comunicaciones sobre un solo conductor.
- 3) Este mismo protocolo ha de ser efectivo en cuanto tasa de transferencia real, dado que si carga en exceso el canal de comunicación, aunque la tasa de transferencia "pura" sea alta, el resultado final en bits de datos efectivo por segundo, o rendimiento real, será bajo. Por ejemplo los encabezados de un paquete de datos contienen información útil para la transferencia (origen, destino, control de errores, etc), una vez entregado el paquete esta información es descartada. Si el encabezado corresponde a la mitad de paquete transmitido quiere decir que la información útil también será la mitad, con lo que la tasa de transferencia efectiva será la mitad.

Proyecto IEEE 802

El Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE) ha desarrollado estándares describiendo el cableado, topología física y esquemas de acceso a los que se ciñen la mayoría de los fabricantes y que son los siguientes: 802.3 (CSMA/CD) / 802.4 (Token Bus) / 802.5 (Token Ring)

802.3 (CSMA/CD)

El método de acceso CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection o Acceso múltiple por detección de línea con detección de colisiones). Su funcionamiento consiste en que cada estación que desea transmitir un paquete de información "escucha" primero el cable, para detectar si hay alguien utilizándolo y espera a que el cable esté libre para realizar el envío.

Si se produce una colisión, bien por sus propios medios o bien por no recibir respuesta al paquete, esperan un tiempo determinado, diferente para cada estación, y re-envían el paquete. De repetirse una segunda colisión, aumentaría el tiempo de espera y re-intenta. Este sistema es muy eficiente para redes muy pequeñas, o con una intensidad de tráfico; muy baja. Si el tráfico es intenso, la cantidad de colisiones se dispara, con lo que la respuesta efectiva de la red decrece con rapidez. En este sistema el acceso es probabilístico y no se garantiza un tiempo de respuesta, válido para entornos de gestión y ofimáticos, no siendo adecuado para automatización de procesos que requieran un acceso inmediato cuando se produce una alarma-.

802.4 (TOKEN BUS)

En esta conexión, las estaciones acceden al cable por turnos, se establece una secuencia entre las estaciones conectadas en la red representada por un TOKEN o "ficha" que es una secuencia de bits determinada. Cuando una estación debe enviar un paquete de información, espera recibir el token, transmite y pasa el token a la siguiente estación. Es determinístico, ya que todas las estaciones tienen garantizado el acceso a la red. Se supone una mayor burocracia con un número reducido de estaciones, pero a medida que aumenta el tráfico, la respuesta de la red no decae tan rápidamente. Este esquema de acceso al cable, facilita procesos de control y también ofimáticos.

802.5 (TOKEN RING)

Idéntico al anterior en cuanto a la lógica de acceso, pero la topología del cable es un anillo en el que cada estación recibe los cables de entrada y salida. Cada estación recibe los paquetes de datos y un TOKEN, y en el caso de no desear enviar información, retransmite lo recibido a la siguiente estación. En caso de querer enviar un paquete, se recibe la "ficha" correspondiente e intercala el mensaje, retrasmitiendo la "ficha" a la siguiente estación.

Cuando recibe un paquete dirigido a ella, lo sustituye por una ficha en "blanco" y la envía. La respuesta del sistema es muy alta (conviven varios mensajes a la vez en la red), pero podría ser el más crítico en cuanto a fiabilidad y cableado. Este sistema soluciona el caso de falla de cualquiera de las estaciones, cortocircuitándola, dejando el anillo siempre cerrado. Más aun, normalmente se cablea con doble anillo que garantiza un camino alternativo prácticamente en cualquier situación.

Aparte de ser la más indicada para procesos de automatización y de ser la de mejor respuesta global, se ha convertido en un estándar en la industria.

FORMATO DE TRAMA ETHERNET

El comité IEEE 802 ha normalizado una versión de Ethernet, conocida como norma IEEE 802.3 cuya trama es:

<i>Preámbulo</i>	<i>Delimitador de inicio de trama (Start of Frame delimiter)</i>	<i>Dirección de Destino</i>	<i>Dirección de Origen</i>	<i>Longitud</i>	<i>Datos</i>	<i>Verificación</i>
7 Bytes	1 Byte	6 Bytes	6 Bytes	2 Bytes	46 a 1500 Bytes	4 Bytes

"1" y "0"
alternados

Dos "1"

El Polinomio generador para el control de errores es:

$$G(x) = X^{32} + X^{26} + X^{23} + X^{22} + X^{16} + X^{12} + X^{11} + X^{10} + X^8 + X^7 + X^5 + X^4 + X^2 + X + 1$$

Existen cuatro variantes de la norma:

- 10 Base 5 (Vt (Velocidad de transferencia)= 10 Mbit/s, banda base, hasta 500 mts)
- 10 Base 2 (Vt= 10 Mbit/s, banda base, hasta 185 mts)
- 10/100/1000 Base T (Vt= 10/100/1000 Mbit/s, banda base, par trenzado, hasta 150 mts)
- 10 Base 36 (Vt= 10 Mbit/s, banda ancha, hasta 3600 mts)
- 1000 Base F, para fibra óptica (Vt= hasta 1 Gbps con distancias hasta 160km).

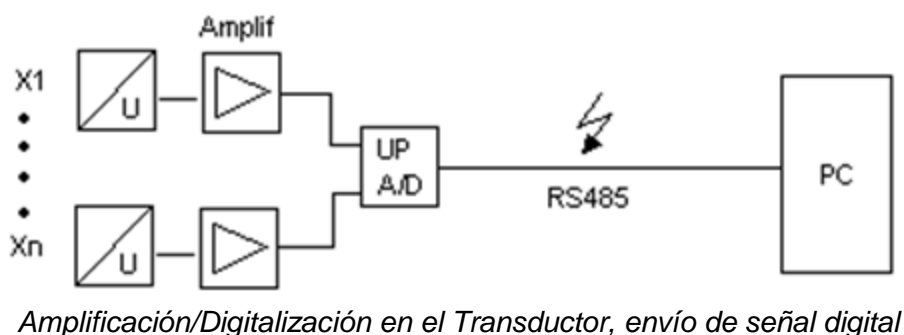
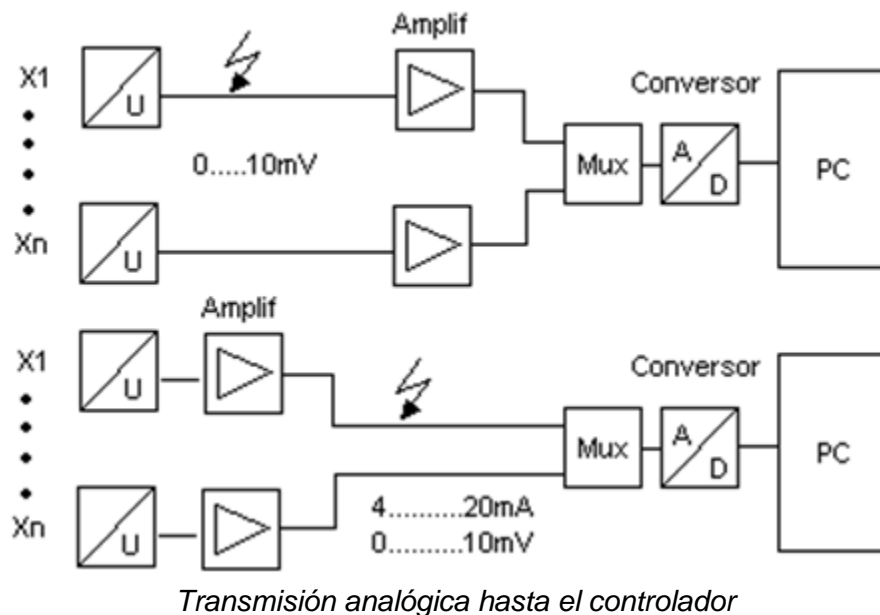
MODELO PARA AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

Bus de Campo (Field Bus)

La evolución tecnológica digital está impactando en los sistemas tradicionales de instrumentación y control en la industria de procesos, orientándose a la descentralización. En lugar de concentrar todas tareas en un único computador central, ahora se subdividen y se distribuyen en diferentes procesadores o instrumentos inteligentes en diferentes puntos del proceso. Esto requiere disponer de redes de comunicación seguras y eficaces entre los procesadores individuales. Esta estructura de comunicación en los niveles inferiores de los proceso, se denomina Bus de Campo (Field Bus).

El Bus de Campo sustituye los enlaces punto a punto, de tipo analógicos (donde el sensor analógico se conectaba directamente al controlador) por la digitalización en el mismo transductor (medición digital distribuida), estableciendo una conexión física común (RS 485 de 2 hilos).

La estandarización de un Bus de Campo está a cargo de la IEC (International Electrotechnical Commission) y la ISA (Instrumentation Society of America), correspondiente a Europa y USA.



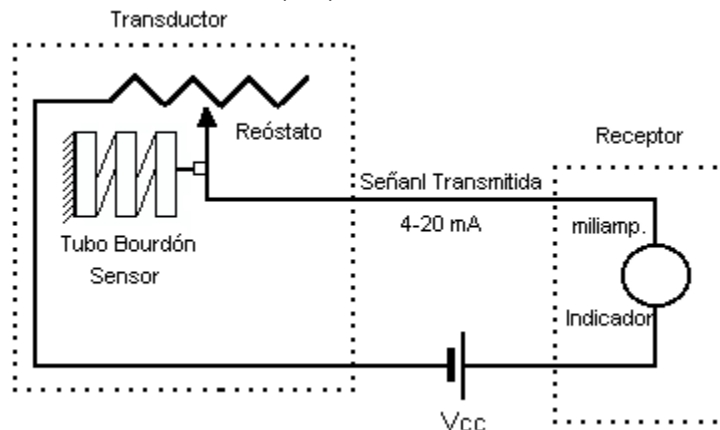
- FIELD BUS es una red local de medidores, adquiredores, controladores y PC.
- El acceso al medio de transmisión se realiza como una forma de interrogación distribuida, en las que todas las estaciones intervienen en la circulación de un paquete especial de información: Testigo (Token).
- Con la red con topología en bus (Token – Bus) las estaciones tienen asignada una posición lógica en una secuencia ordenada y circular. Cada estación conoce la identidad de su antecesora y de su sucesor dentro de un anillo lógico, la ordenación física es independiente de la ordenación lógica.
- Las estaciones que solo reciben pueden excluirse del anillo lógico.
- También puede incluirse un esquema simple de Maestro-esclavo, entre la estación maestra y una o varias estaciones Esclavas.
- En este esquema el maestro tiene el control del acceso al medio, existiendo dos posibilidades: o es el maestro el que ocupa el medio físico, o la esclava que fue consultada por la maestra y está respondiendo.
- Las esclavas solo envían mensajes cuando la maestra así se lo solicita. Hay dos tipos de transacciones:
 - Consulta –respuesta (Query-response): Cada esclava tiene una dirección (adress) única, a esa dirección dirige el maestro la consulta y es esa esclava la única que contesta.
 - Difusión sin respuesta (broadcast/no response) Todas las estaciones esclavas reciben información y ninguna contesta.

Evolución histórica

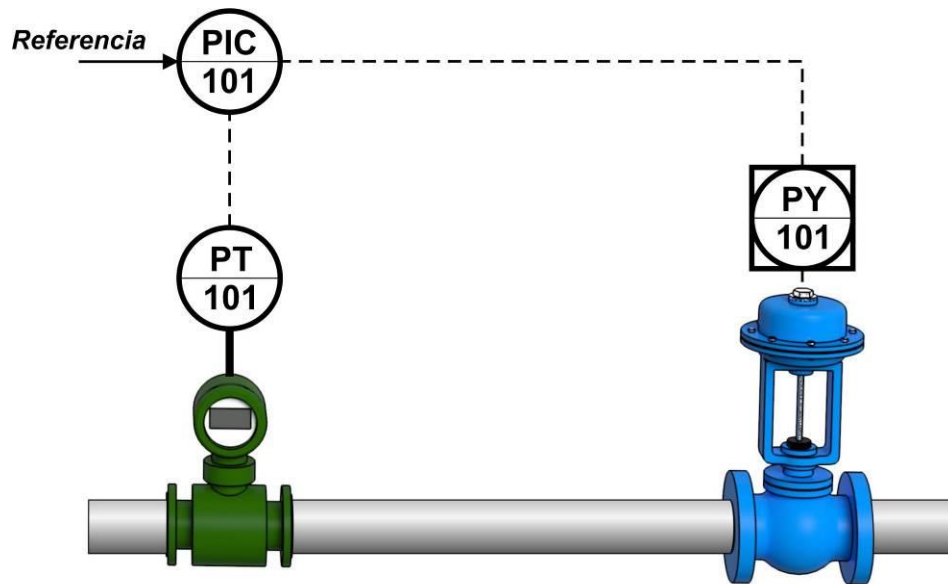
Con la evolución de las comunicaciones en la planta se ha producido también la evolución de los dispositivos de medición. Siguiendo la norma ISA se habla de Transmisores de Medición.

Transmisores de Medición

Se indica un Transmisión de Presión (PT) con señal de salida de 4 - 20 mA



Los transmisores, los controladores y los componentes se pueden relacionar en un lazo de control.



Dónde:

PT: Transmisor de Presión

PIC: Controlador PDI (Proporcional-Integral-Diferencial)

PY: Válvula Controladora de Presión

101: Numeración del lazo de control

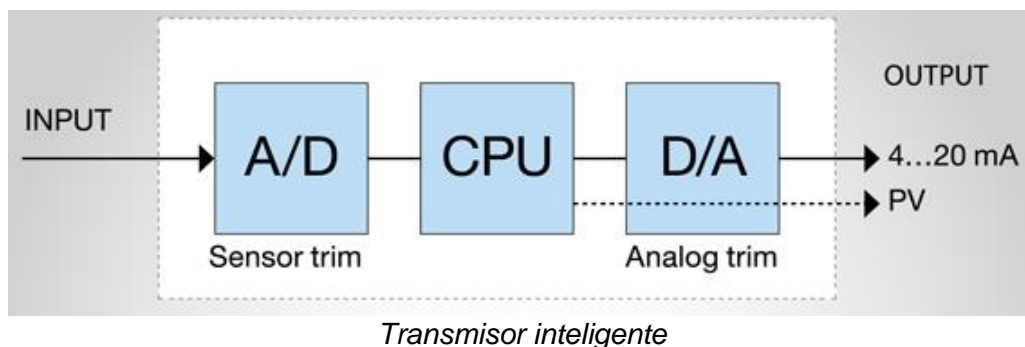
Transmisores de Medición Inteligentes

La incorporación del microprocesador o microcomputador (más Ram, Rom, Eprom, Port I/O DAC) y el software asociado, hacen posible un tratamiento de señal avanzado y específico en el origen de la medición. Ahora se trata de una combinación de:

Sensor + Transductor + Microprocesador = Transmisor Inteligente

Por ejemplo en un Transmisor Inteligente de presión diferencial, se filtra la señal, extrae raíz cuadrada, compensa por temperatura, compensa el error por variación del Nro. De Reynolds, totaliza el flujo y realiza un control con una función PID incorporada en la memoria Rom.

La señal digital se envía superpuesta con el lazo 4-20 mA.



Existen varios protocolos que son tipo bus de campo, algunos son “propietarios” y están en vía de normalizarse, según el ISP (Interoperable System Project) liderado por: FISCHER CONTROL INC, ROSEMOUNT INC, SIEMENS Y YOKOGAWA ELECTRIC CORP.

- HART (ROSEMOUNT)
- PROFIBUS (SIEMENS)
- FIP (FRANCIA)
- WORLD FIP (HONEYWELL)
- PHOEBUS (SUIZA)

PROTOCOLOS PROPIETARIOS

EDMOBUS	Gould Modicon Protocol Emulator Driver
FIPCX344	IPCx344 intelligent Bitbus Interface
FSILE	Graph Silec PLC Driver
HIMPSAT	IMPSAT Proprietary Satellital LAN Driver for Host
HMODBUSB	Modbus (RTU) Network Driver for Host Machines
NETBIOS	Network Driver Host Machines
HNETWORK	Proprietary Network Driver for Host Machines
SIMPSAT	IMPSAT Proprietary Satellital LAN Driver for Slave Machines
HMODBUSB	Modbus (RTU) Network Driver for Slave Machines
SNETBIOS	Network Driver for Slave Machines
SNETWORK	Proprietary Network Driver for Slave Machines
TUNITELW	Telemecanique UNI-TELWAY Network slave driver
UUTICOR	Uticor Display RS-422 Driver
WACTION	External Driver for ACTION Instruments boards
WADTECH	External Driver for ADVANTECH boards
WAXIAL	External Driver for AXIAL electronica boards
WDATATRL	External Driver for DATA TRANSLATION boards
WINTER	External Driver for INTERTEK modules
WITK	External Driver for Intelektron boards
WPEC	External Driver for PEC electrónica boards
WPMK	External Driver for PMK devices
WSINGFUL	External Driver for SINGULAR boards
WTECMO	External Driver for TECMOCONTROL boards
XABBT200	External Driver for procontic T200
XFOX761	External Driver for FOXBORO 761 cna/761 csa/760 series
XFPMOD	FISCHER & PORTER modular controller drives
XIEARING	External Driver for IEA Ring devices
XIMPACC	IMPACC System communications Driver
XIZUMIFA	IZUMI FA-1/1 j/2/2j peer to peer drive
XIZUMINT	IZUMI FA-1/1 j/2/2j Network communication driver
XMODBUSA	Gould Modicon Modbus ASCII Protocol Driver
XMODBUSB	Gould Modicon Modbus RTU Protocol Driver

XMP90	Master Piece 90 Device Driver
XOMROM	OMROM Sysmac C20H/C28H/C40H Protocol Driver
XOPTOMUX	External Driver for OPTOMUX DEVICES (opto 22)
XPEC	PEC Electrónica RTU communications Driver
XROC300	FISCHER ROC 300 Protocol communications Driver
XSCOOTER	Scooter Devices Interface Driver
XS5CP521	SIEMENS Simatic S5-90U/S5-100U Protocol Driver
XS5CP524	SIEMENS Simatic S5-11U/S5-155U Protocol Driver
XSAIAPCA	External Driver for SAIA PCA Series
XSAIAPCD	External Driver for SAIA PCD Series
XSAMI	ABB Drives SAMI point to point Protocol
XSCD80	CAIPE SCD 80 Programmable Controller Driver
XSCOOTER	Scooter Devices Interface Driver
XTIS305	External Driver for TI-305 PLC Series
XTIS405	External Driver for TI-405 PLC Series
XTIS505	External Driver for TI-505 PLC Series
XTXM	TECPET Automacao de Terminais S.A. TXM Driver
XUCTRL	Microcontrol PLC Series Communication Driver
XUDC3000	External Driver for HONEYWELL UDC3000 controllers
XYOKOUT	Yokowaga UT- Series Controller Interface Driver
XYOKS100	Yokowaga YS100- Series Controller Interface Driver
YMORETTI	Moretti weight measurement Driver
YINTCOD	SERVO-POWER INTERCOD model weight measurement driver
YSERAC	SERAC Intelligent measurement driver
YSPower	Servo-Power Weight measurement Driver
YTECMES	TECMES DIG-02 weather station Driver

PROTOCOLO MODBUS

INTRODUCCION

El protocolo MODBUS es un sistema de transmisión de datos que controla la estructura de las comunicaciones que tienen lugar entre la Estación Central o Maestra y las Estaciones Esclavas (Autómatas, RT, PLC). A cada equipo se le asigna un número de dispositivo (dirección unívoca) en el rango de 1 a 255. Una comunicación comprende una interrogación y una respuesta, lo que forma la ESTRUCTURA DE LAS TRAMAS del protocolo.

MODOS DE TRANSMISION:

Modo ASCII: Se caracteriza porque la trama comienza con el carácter 2 puntos (:). Cada carácter ocupa 1 BYTE, se divide en 2 partes de 4 bits (parte alta y baja del BYTE).

EL final de la trama se forma con los caracteres CR LF.

Modo RTU (Binario): Es más complejo, es una secuencia de unos y ceros en paquetes binarios de 8 bits. EL final de la trama se forma con los caracteres EOF.

Modo TCP: es una variante que permite la comunicación a través de una red TCP/IP.

DETECCION DE ERRORES

Modo ASCII: se emplea el chequeo de redundancia longitudinal (LRC).

Modo RTU (Binario): se emplea el chequeo de redundancia cíclica (CRC).

Modo TCP: no necesita detección de errores, esta función es provista por la capa Ethernet.

Chequeo de Redundancia Longitudinal (LRC)

En este caso el chequeo de error es un número binario de 8 bits, representado y transmitido como dos caracteres ASCII hexadecimales.

El byte de chequeo de error se obtiene convirtiendo a binario los pares de caracteres ASCII, sumándolos sin acarreo, y complementando a dos el resultado.

En la Práctica, se suman los caracteres ASCII, el resultado se resta respecto de FF. Finalmente se suma 1hexa. El valor final es un número hexadecimal de 1 byte.

Los caracteres de inicio del mensaje (:) y los de fin (CR) y (LF), deben ser ignorados en el cálculo del LRC.

Chequeo de Redundancia Cíclica (CRC)

El mensaje es considerado (descontando los bits de start/stop, y bits opcionales de paridad) como un número binario continuo, cuyo bit más significativo es transmitido primero. El mensaje es elevado a la 16 (desplazado a la izquierda 16 bits). Luego es dividido por $X^{16} + X^{15} + X^2 + 1$, expresado por el número (11000000000000101). La parte entera del cociente es ignorada. El Resto de la división, que es de 16 bits, es agregado al final del mensaje, como dos bytes de CRC.

FORMATO DE LOS MENSAJES

Formato ASCII

:	Nº de RTU	FUNCIÓN	DATOS	LRC	CR	LF
---	-----------	---------	-------	-----	----	----

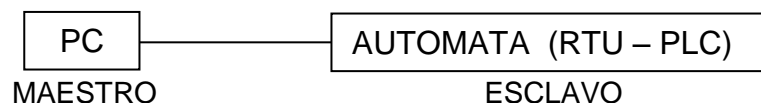
Formato RTU

Nº de RTU	FUNCIÓN	DATOS	CRC	EOF
-----------	---------	-------	-----	-----

FUNCIONES MODBUS

FUNCION	DIRECC. BASE	ESPACIO	DESCRIPCION	OBSERV.
01	1 a 256	1 byte	Lectura registro salidas digitales	
02	10001	1 byte	Lectura ENTRADAS DIGITALES	DI
03	40001....	2 byte	Lectura registro Mantenimiento	
04	30001....	2 byte	Lectura registro ANALOGICOS	AI
05	1 A 256	1 byte	Escritura SALIDAS DIGITALES	DO
06	40001...	2 byte	Escritura Registro ANALOGICO	AO

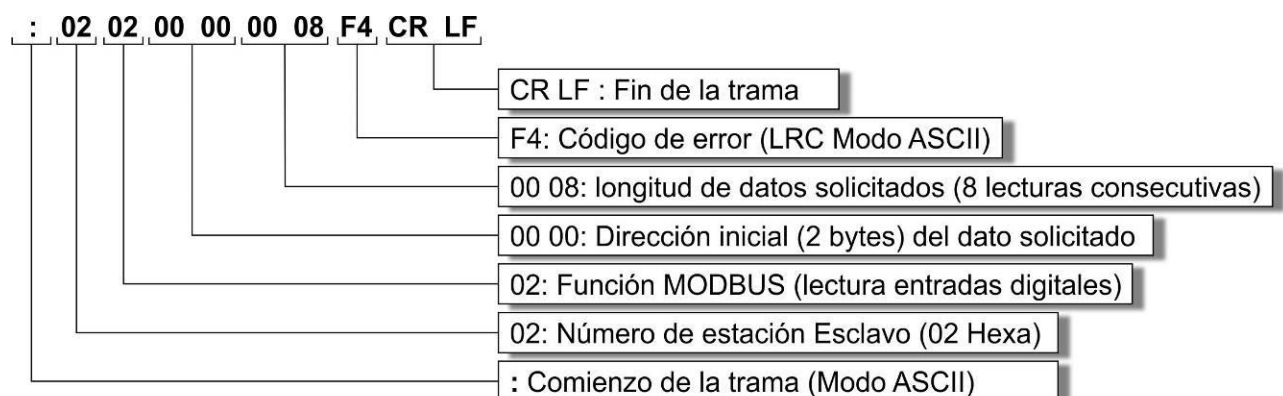
PROTOCOLO MOD BUS COMUNICACIÓN ENTRE 2 SISTEMAS (MAESTRO – ESCLAVO)



EJEMPLO: Comunicación Maestro PC – Esclavo

NUMERO DISPOSITIVO ESCLAVO: 02 hexa
 FUNCION MOD BUS : 02 hexa (corresponde a entradas digitales)
 DATO SOLICITADO: 8 primeras entradas digitales (10001.....a.....10008) donde 10001 se corresponde con 0000 en la trama de interrogación.

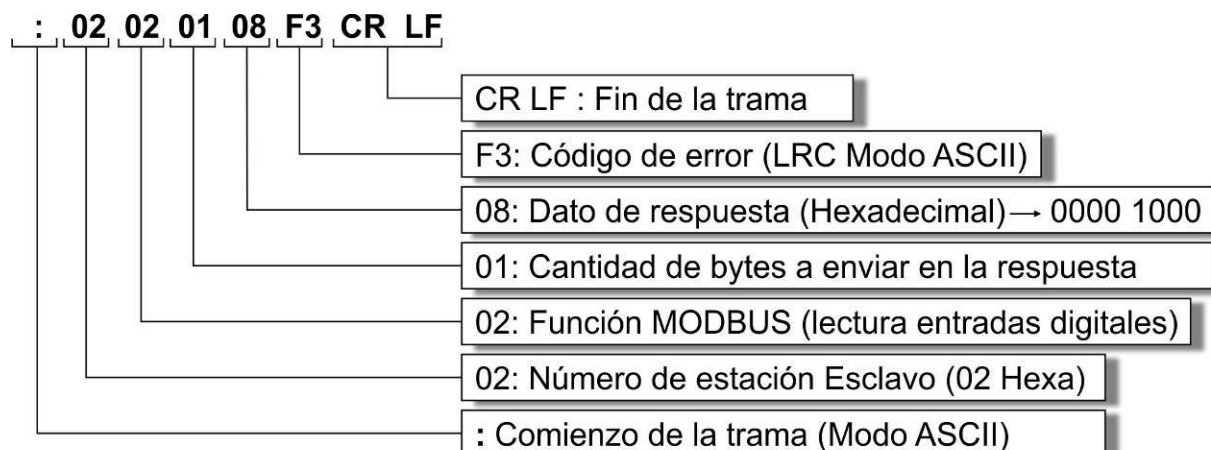
TRAMA DE INTERROGACIÓN (MASTER)



Cálculo LRC:

SUMA **02h+02h+00h+00h+08h= 0C h** FFh- 0Ch =F3h SUMA F3h+01h= **F4 h**

TRAMA DE RESPUESTA



Cálculo LRC:

SUMA **02h+02h+01h+08h= 0D h** FFh- 0Dh =F2h SUMA F2h+01h= **F3 h**

EJEMPLO DE LA TRAMA MOD BUS - EQUIPO INDUSTRIAL RTU TELESAFE VS3



PETICION DEL MAESTRO
(EJ) :02 02 01 08 F3 LR LF

RESPUESTA DEL ESCLAVO
(EJ) :02 02 00 00 00 08 F4 LR LF