

# TECNOLOGÍAS ACTUALES DE COMUNICACIÓN DE LAS VARIABLES DE CAMPO EN LA INDUSTRIA DE PROCESO

Piñón Pazos, Andrés J.

Departamento de Ingeniería Industrial. Universidad de A Coruña. E.U.P. Ferrol  
Avda. 19 de Febrero s/n.15405 Ferrol-Coruña, [andrespp@cdf.udc.es](mailto:andrespp@cdf.udc.es)

Ferreiro García, Ramón - Pérez Castelo, Francisco J.

Departamento de Ingeniería Industrial. Universidad de A Coruña. [ramonfer@udc.es](mailto:ramonfer@udc.es), [javierpc@cdf.udc.es](mailto:javierpc@cdf.udc.es)

## Resumen

*En la actualidad conviven en la industria tres tecnologías de transmisión de señales procedentes de la instrumentación de proceso. Se revisarán dichas tecnologías, la tecnología de transmisión analógica de señales, la transmisión simultánea analógica y digital, y por último la implantación de los buses de campo en la industria de proceso y cual será su posible evolución a corto-medio plazo.*

**Palabras Clave:** Buses de Campo, Control Distribuido, Instrumentación Inteligente.

## 1 INTRODUCCIÓN

Durante muchos años, el estándar de comunicación de señales de campo utilizada por los equipos de automatización de proceso ha sido la transmisión analógica en corriente 4-20mA. Conviviendo con este sistema de transmisión nos podemos encontrar aún en la actualidad otros sistemas de transmisión analógicos como transmisión en tensión de 0-10V o 0-5V y transmisión en corriente 0-20mA, dentro de sistemas de adquisición de datos de variables físicas típicas como: presión, nivel, caudal, temperatura, etc.

En 1986 fue introducido por primera vez por la compañía Rosemount Inc. el protocolo de comunicación HART® (Highway Adressable Remote Transducer). Este protocolo proporciona una solución para la comunicación de instrumentos inteligentes, compatible con la transmisión analógica en corriente 4-20mA, que permite que la señal analógica y las señales de comunicación digital sean transmitidas simultáneamente sobre el mismo cableado. Mediante este sistema la información de la variable primaria y señal de mando es transmitida mediante la señal analógica de 4-20mA, mientras que la señal digital es utilizada para transmitir otro tipo de información diferente como parámetros del

proceso, configuración, calibración e información de diagnóstico del instrumento.

Con la implantación de los buses de campo como sistemas de comunicación para intercambio de información entre los sistemas de automatización y los elementos de campo distribuidos, comienzan a aparecer en la década de los noventa buses diseñados específicamente para su aplicación en la automatización de procesos.

Un sistema de bus de campo reemplaza la transmisión de señales analógicas (4-20mA) con una línea de 2 hilos que va desde la estación de control a los dispositivos de campo (ver Figura 1). El bus de campo conecta a todos los dispositivos en paralelo, y la información transmitida es totalmente digital. Esto incluye los datos necesarios para control y monitorización del proceso, así como los comandos y parámetros requeridos para puesta en marcha, calibración de dispositivos y diagnosis.

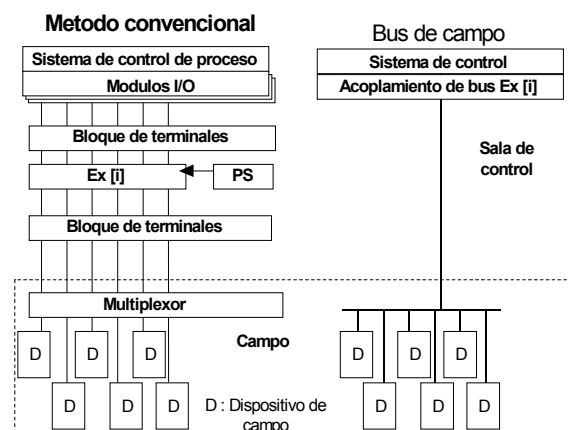


Figura 1. Comparación del método convencional de transmisión con un bus de campo.

Los requisitos más importantes que deben reunir los buses de campo para su utilización en la industria de proceso son: la demanda de alta seguridad, la necesidad o posibilidad de funcionar en áreas peligrosas, así como que sean sistemas abiertos y extensibles.

Hoy en día, hay dos sistemas de bus de campo estandarizados y ampliamente aceptados en la industria de proceso que cumplen los requerimientos mencionados anteriormente. Estos son PROFIBUS-PA y FOUNDATION FIELDBUS. Ambos sistemas operan sobre la misma estructura de bus física intrínsecamente segura (IEC 61158-2), pero sin embargo, las grandes diferencias entre ellos vienen dadas por el protocolo de comunicación que cada uno de ellos implementa.

PROFIBUS-PA es la solución de PROFIBUS para la automatización de procesos. PA conecta los sistemas de automatización y control de procesos con los dispositivos de campo tales como transmisores y actuadores. PA permite la comunicación de datos y alimentación a dispositivos sobre el bus de dos hilos incluso en áreas peligrosas.

La comunicación en PA es implementada como un sistema parcial incluido en el sistema de comunicación DP de mayor nivel.

La tecnología FF se usa en aplicaciones de automatización de procesos, donde reemplaza al cableado tradicional de transmisión analógica 4-20mA y permite la transmisión de datos bidireccional. Toda la comunicación entre los dispositivos de campo y los sistemas de automatización así como con las estaciones de control del proceso se realiza sobre el bus.

FF toma algunos elementos del estándar FIP para la especificación del bus de campo, así como (al igual que PROFIBUS-PA) detalles de la especificación ISP. Por este motivo, el diseño físico del bus es el mismo en los dos sistemas de bus de campo.

La particularidad fundamental de este sistema de bus de campo es que la instrumentación basada en FF, tienen capacidad para realizar tareas de automatización por lo que no solo son sensores y actuadores, sino que contienen funciones adicionales. El desplazamiento de la tarea de automatización desde el nivel de automatización al nivel de campo, da lugar a un procesado distribuido y flexible de las tareas de control. Esta capacidad de toma de decisiones en los propios instrumentos, satisface las exigencias requeridas a los sistemas multiagente distribuidos, que hasta hace pocos solo podían resolverse mediante computador operando en tiempo real sobre las tareas de control de procesos.

## 2 COMUNICACIÓN ANALÓGICA.

El avance de las tecnologías basadas en la transmisión digital de la información procedente de

la instrumentación de medida y control, no va a desplazar totalmente a la instrumentación convencional de transmisión analógica [1]. La transmisión analógica seguirá presente en el mundo industrial ya que quedan muchas aplicaciones donde la instrumentación convencional resulta útil y una buena opción.

## 3 COMUNICACIÓN ANALÓGICA Y DIGITAL. PROTOCOLO HART.

El Protocolo HART® permite la comunicación digital bi-direccional con instrumentos inteligentes sin perturbar la señal analógica de 4-20mA. Ambas señales, la analógica 4-20mA y las señales de comunicación digital HART pueden ser transmitidas simultáneamente sobre el mismo cable. El éxito de este protocolo y la aceptación obtenida en el entorno industrial se debe a las ventajas que ofrece al usuario, y a su fácil implementación sobre los sistemas de control existentes basados en 4-20mA.

### 3.1 FUNDAMENTO TECNOLÓGICO DE HART

El protocolo HART® utiliza el estándar Bell 202 FSK (Codificación por Cambio de Frecuencia) para superponer las señales de comunicación digital al bucle de corriente 4-20mA, como se muestra en la Figura 2.

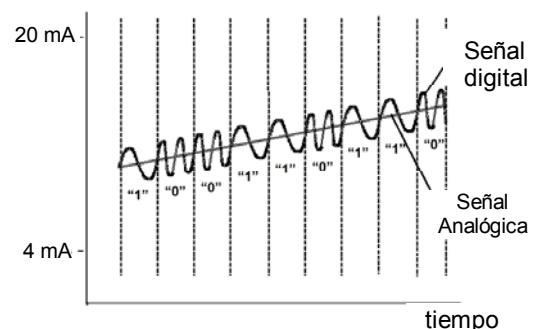


Figura 2. Comunicación digital HART superpuesta a la señal analógica de 4-20mA

La información binaria es representada mediante una señal de dos frecuencias distintas. Un cero lógico es representado por una frecuencia de 2200Hz, mientras un uno lógico es representado por una frecuencia de 1200Hz. Estos tonos se superponen a la señal de continua, y como la señal de AC tiene un valor promedio cero, la señal de continua no es afectada como se muestra en la Figura 3.

El protocolo HART permite la comunicación digital en los dos sentidos de forma que es posible enviar

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

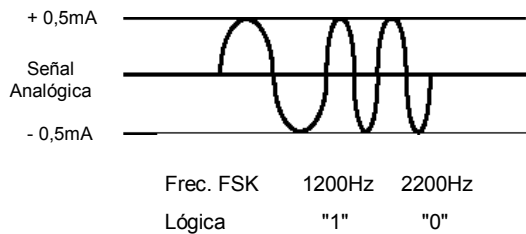


Figura 3. Codificación FSK del protocolo HART sobre la señal analógica 4-20mA.

HART es principalmente un protocolo maestro/esclavo lo que significa que el dispositivo de campo (esclavo) habla solo cuando es preguntado por un maestro. En una red HART dos maestros (primario y secundario) pueden comunicarse con un dispositivo esclavo. Los maestros secundarios pueden comunicarse con los dispositivos de campo sin distorsionar la comunicación con el maestro primario. Un maestro primario puede ser típicamente un DCS (Sistema Distribuido de Control), un PLC, o un sistema central de monitorización o control basado en PC, mientras un maestro secundario puede ser un comunicador portátil. Una configuración típica con dos maestros se muestra en la Figura 4.

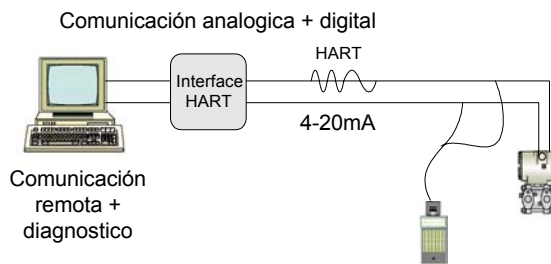


Figura 4. Configuración con dos maestros para acceder a la información de campo.

Dentro del protocolo HART existen varios modos para la comunicación de información desde/hacia instrumentos de campo inteligentes y el controlador central o equipos de monitorización. La comunicación digital maestro/esclavo simultánea con la señal analógica 4-20mA mostrada en la Figura 5 es la más común. Este modo, permite que el esclavo

responda a los comandos-peticiones del maestro 2 veces por segundo, mientras que la señal analógica, que es continua, puede seguir portando la variable de control.

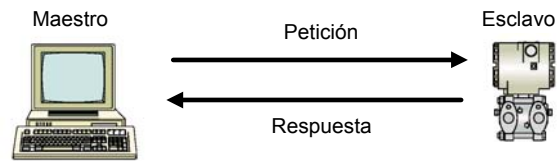


Figura 5. Comunicación HART maestro-esclavo.

Otro modo de comunicación opcional es el modo "Burst" mostrado en la Figura 6, que permite que un único dispositivo esclavo emita continuamente un mensaje HART de respuesta estándar.

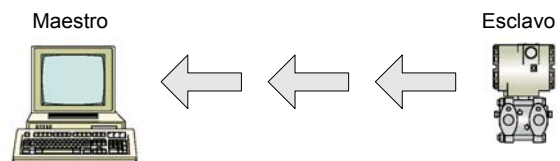


Figura 6. Comunicación HART modo "Burst". (Opcional).

El protocolo HART también tiene la capacidad de conectar múltiples dispositivos de campo sobre el mismo par de hilos en una configuración de red multipunto como la que se muestra en la Figura 7. En la configuración multipunto, la comunicación está limitada a la comunicación digital maestro/esclavo. La corriente a través de cada dispositivo esclavo se fija al mínimo valor para alimentar el dispositivo y no tiene ningún significado relativo al proceso.

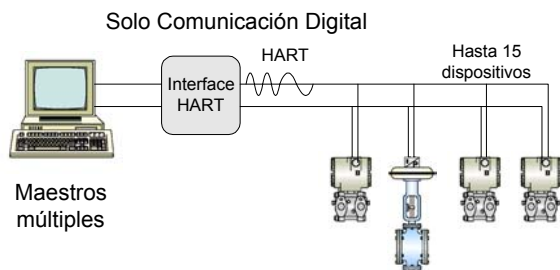


Figura 7. Conexión de dispositivos HART en red multipunto.

Desde la perspectiva de la instalación, para las señales de comunicación HART se utiliza el mismo cable usado para transmitir la señal analógica 4-20mA. Las longitudes de cable permitidas van a depender del tipo de cable utilizado y del número de dispositivos conectados.

### 3.2 COMANDOS EN HART

La comunicación HART está basada en comandos. Hay tres tipos de comandos que van a proporcionar

acceso de lectura-escritura a la información disponible en los instrumentos de campo compatibles con HART. Los comandos pueden ser Comandos Universales (Universal Commands), Comandos de Práctica Común (Common Practice Commands) y Comandos Específicos del Dispositivo (Device Specific Commands).

Los Comandos Universales aseguran la interoperabilidad entre los productos de distintos fabricantes, y proporcionan el acceso a la información útil en la operación habitual en planta. Todos los esclavos compatibles HART deben responder a todos los Comandos Universales.

Los Comandos de Práctica Común proporcionan acceso a funciones que son implementadas en muchos dispositivos, pero no en todos. Son opcionales, pero si se implementan, debe ser como se especifica.

Los Comandos Específicos del Dispositivo ofrecen la libertad para que cada aparato particular tenga parámetros o funciones exclusivos.

#### 4 BUS DE CAMPO PROFIBUS-PA

PROFIBUS PA es una de las tres variantes (ver Figura 8) de PROFIBUS orientada a la automatización de procesos. Es compatible con las otras dos variantes. PROFIBUS FMS esta orientada a solventar extensas y complicadas tareas de comunicación. PROFIBUS DP es la solución de alta velocidad diseñada y optimizada para la comunicación entre los sistemas de automatización y la periferia descentralizada.

EN 50170 Volume 2 and DIN 19245 Part 1 to 4		
<b>Automatización de Propósito General</b>	<b>Automatización de fabrica</b>	<b>Automatización de Procesos</b>
<b>PROFIBUS - FMS</b>	<b>PROFIBUS - DP</b>	<b>PROFIBUS - PA</b>
<b>Universal</b>	<b>Rapidez</b>	<b>Orientado a la aplicación</b>
- Cantidad de aplicaciones - Comunicación multi-maestro	-Plug and play -Eficiente y rentable	-Alimentación a traves del bus -Seguridad Intrínseca

Figura 8. Variantes de PROFIBUS

PA puede ser usada como sustituto de la tecnología analógica 4-20mA, aportando las ventajas inherentes a la utilización de sistemas de bus de campo. PA permite la medida, control y regulación mediante dos líneas simplemente, que sirven además para suministrar alimentación a los dispositivos conectados en el bus. Permite además el mantenimiento, conexión/desconexión de

dispositivos en operación sin causar perturbaciones a los demás elementos del bus.

PA ha sido desarrollado para la industria de proceso, por lo que cumple los requisitos especiales de este área de aplicación.

#### 4.1 TECNOLOGIA EN PROFIBUS PA

Todas las variantes de PROFIBUS están basadas en el modelo de referencia OSI para redes de comunicación. Según se muestra en la Figura 9, PA implementa únicamente las capas 1 y 2 y en la capa de usuario usa el protocolo PROFIBUS DP extendido para transmisión de datos, y el perfil PA.

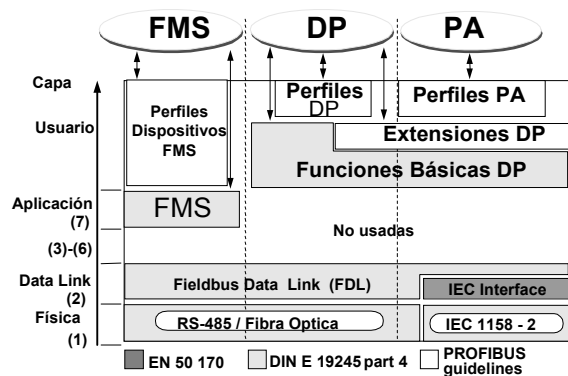


Figura 9. Arquitectura de capas de PROFIBUS.

##### 4.1.1 Tecnología de transmisión y Protocolo de acceso al bus

Se corresponden con las Capas 1 y 2 del modelo OSI. En cuanto a la Tecnología de transmisión actualmente hay dos versiones de PA, una cumple con la IEC 1158-2 usando una capa física a baja velocidad compatible IS (Intrinsic Safety) otra para utilización de líneas RS-485 o fibra óptica en la capa física. En la versión compatible IEC 1158-2 un cable de par trenzado de dos hilos con apantallamiento transporta datos a 31.25 Kbit/s y alimentación.

Cuando se usa la interfase RS 485, PROFIBUS – FMS, DP y PA pueden ser integradas en una misma línea de bus. Sin embargo, en la transmisión intrínsecamente segura para áreas con riesgo de explosión, la instalación se debe realizar de acuerdo con IEC 1158-2

Los maestros de un sistema PA operan siempre en una línea de bus DP en área segura y se interconectan mediante acopladores de segmento.

En cuanto al protocolo de acceso al bus, las tres versiones de PROFIBUS utilizan el mismo. Este protocolo es implementado en la capa 2 del modelo OSI e incluye la seguridad de datos, el manejo de los protocolos de transmisión y telegramas, control de acceso al medio (MAC), disponibilidad de los

servicios de transmisión de datos y funciones de administración.

#### 4.1.2 Interfase de usuario

Además de definiciones relevantes para la comunicación, el perfil PA contiene definiciones relevantes para la aplicación, tales como tipo de datos y unidades de la medida transmitida.

El comportamiento de los dispositivos es descrito mediante la especificación de variables estandarizadas con las cuales las propiedades de los transductores son descritas en detalle.

El perfil PA consta de unas hojas de datos generales que contiene las definiciones aplicables para todos los tipos de dispositivos, y unas hojas de datos conteniendo información específica para los respectivos tipos de dispositivos. El perfil es apropiado para dispositivos con una única variable de medida así como para dispositivos multivariados.

El perfil PA soporta inter-cambiabilidad e interoperabilidad para dispositivos PA de distintos vendedores. El perfil utiliza el modelo de bloques de función, compatible con el estándar internacional de buses de campo, para describir los parámetros y funciones de los dispositivos. Los bloques de función representan diferentes funciones de usuario, tales como entradas o salidas analógicas. Junto con los bloques de función específicos de aplicación, hay dos bloques de función que están disponibles para características específicas de los dispositivos (Bloque Físico y Bloque Transductor). El Bloque Físico contiene información general del dispositivo tal como nombre del dispositivo, fabricante, versión, número de serie. El Bloque Transductor contiene datos específicos de la aplicación tales como parámetros de corrección.

## 5 BUS DE CAMPO FOUNDATION

FOUNDATION FIELDBUS (FF) un sistema de comunicación serie, plenamente digital y de dos direcciones funcionando a 31.25 Kbits/s que interconecta el equipamiento de campo tal como sensores, actuadores y controladores. FF es una red de área local (LAN) para instrumentos usada en automatización de procesos y fabricación, con capacidades para distribuir aplicaciones de control a lo largo de la red.

FF sustituye al sistema de transmisión analógico tradicional de 4-20mA, y es implementado usualmente en nuevas plantas o en plantas existentes que deben de ser ampliadas.

## 5.1 TECNOLOGIA EN FF

FF tiene dos protocolos de comunicación. H1 que transmite datos a baja velocidad y es usado para unir elementos de campo. Un segundo protocolo es HSE (High Speed Ethernet), que utiliza Ethernet de alta velocidad y será la columna vertebral de una red FF. De aquí en adelante analizaremos el protocolo H1 que es el que interconecta los dispositivos de campo.

La especificación del bus H1 de FF se basa en tres elementos funcionales principales: 1) Capa Física, 2) Pila de Comunicaciones (Communication Stack) y 3) Aplicación de Usuario.

Esta especificación esta basado en el modelo de capas OSI para redes de comunicación, según se muestra en la Figura 10. La Capa Física es la capa 1 de OSI. La DLL es la capa 2 OSI. La FMS es la capa 7 OSI. La pila de comunicación (Communication Stack) comprende de la capa 2 a la 7 de OSI. El modelo OSI no tiene definida la Aplicación de Usuario.

MODELO FOUNDATION			
MODELO OSI	APLICACIÓN USUARIO	ESPECIFICACIÓN DE MENSAJES EN EL BUS (FMS)	APLICACIÓN USUARIO
7	Aplicación	ESPECIFICACIÓN DE MENSAJES EN EL BUS (FMS)	PILA DE COMUNICACIÓN
		SUBCAPA DE ACCESO AL BUS (FAS)	
6	Presentación		
5	Sesión		
4	Transferencia		
3	Red		
2	Enlace	CAPA DE ENLACE DE DATOS (DLL)	
1	Física	CAPA FÍSICA	CAPA FÍSICA

Figura 10. FF según modelo OSI

### 5.1.1 Capa Física

La capa física está definida según la IEC 1158-2. La velocidad de transmisión de 31.25Kbits/s y los dispositivos pueden ser alimentados directamente desde el bus. El bus también soporta el modo IS (seguridad intrínseca) para zonas peligrosas. El bus permite ramificaciones.

### 5.1.2 Pila de comunicaciones

La pila de comunicaciones realiza los servicios necesarios para unir la capa de usuario con la capa física. Está formada por tres capas: La capa de enlace de datos (Data Link Layer, DLL), la capa de especificación de mensajes en el bus (Fieldbus Message Specification, FMS) y la subcapa de acceso al bus (Fieldbus Access Sublayer, FAS).

La capa de enlace de datos (DLL) gestiona el acceso al bus a través de un programador de bus centralizado

y determinístico llamado Link Active Scheduler (LAS).

### 5.1.3 Aplicación de usuario

FF ha definido la capa de aplicación de usuario basada en “Bloques”. Los Bloques son la representación de distintos tipos de funciones de aplicación. Los Bloques pueden ser: Bloques Recurso (Resource Block), Bloques Función (Function Block) y Bloques Transductor (Transducer Block).

Los Bloques Recurso describen las características del dispositivo como nombre, número de serie,... y solo hay un único Bloque Recurso por cada dispositivo.

Los Bloques Función definen el comportamiento del sistema de control. Los parámetros de entradas y salidas de los bloques de función pueden ser enlazados a través del bus. La ejecución de cada Bloque de Función es programado de forma precisa. FF ha definido conjuntos de Bloques de Función estándar. Se definen diez Bloques de Función estándar para control básico y diecinueve para control avanzado. Los Bloques de Función pueden construirse en los dispositivos de campo según se necesiten para alcanzar la funcionalidad deseada del dispositivo. Por ejemplo, un sencillo transmisor de temperatura puede contener un bloque de función AI (Analog Input), y una válvula podría contener un Bloque de Función PID así como un Bloque AO (Analog Output). De esta forma se podría construir un lazo de control completo entre los dispositivos, usando solamente un transmisor y una válvula de control según se muestra en la Figura 11.

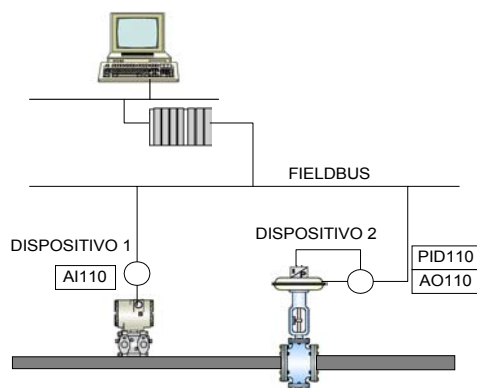


Figura 11. Lazo de control utilizando Bloques de Función localizados en los dispositivos de campo.

Los Bloques Transductores desacoplan a los Bloques de Función de los detalles hardware de un determinado dispositivo y realiza todas las operaciones necesarias para dar el valor del sensor al Bloque de Función y/o hacer los cambios en las salidas que indique el Bloque de Función.

FF define objetos adicionales como Link Objects, Trend Objects, Alert Objects o View Objects.

## 6 CONCLUSIONES

Se han revisado las tres tecnologías de instrumentos de campo propuestas. La continuidad a corto plazo en la aplicación industrial de las mismas no depende de la introducción de la tecnología digital. El uso de buses de campo en la industria de proceso es un hecho hoy en día, aunque no por ello van a desaparecer de inmediato las otras tecnologías utilizadas hasta el momento, sino que será un proceso paulatino, hasta la implantación mayoritaria de esta tecnología.

Por otra parte, la posibilidad de incorporación de las tareas de control a los instrumentos de campo unidos mediante un bus marca una nueva era, la era de la instrumentación dotada de inteligencia distribuida. Esto satisface las exigencias requeridas por los sistemas multiagente distribuidos.

Por lo tanto, se puede deducir que para aplicaciones de control de procesos en los que el acceso a las variables de proceso requiere baja velocidad, tienen ganada la batalla los instrumentos de campo basados en Fieldbus.

### Referencias

- [1] Bela G Liptak. (1972) Instrument Engineers' Handbook. De Cihilton Book Co. USA
- [2] Foundation Fieldbus.(1998) Technical Overview Foundation Fieldbus. FF. Austin. Texas. USA
- [3] Hart Communication Foundation.(1999) Hart Application Guide.HCF. Austin.Texas.USA
- [4] ISA.(1997)The ISA Fieldbus Guide, ed Research Triangle Park Instrument Society of America
- [5] National Instruments.(2000) 322857A-01. Foundation Fieldbus Overview. National Instruments Corporation, Austin. Texas. USA
- [6] Profibus NPO.(1999) Profibus Technical Description.Profibus NPO. Karlsruhe
- [7] Samson AG.(1999). L450EN. Communication in the Field. Samson AG. Frankfur
- [8] Samson AG. (2000).L453EN Profibus PA. Samson AG. Frankfur.