

---

# GUÍA ESTUDIO TEMA 10. INTRODUCCIÓN A LOS BUSES DE CAMPO

---

---

# OBJETIVOS

- Conocer los buses de campo y su aplicación en el control distribuido de sistemas industriales.

---

# BUSES DE CAMPO. DEFINICIÓN

- Sistema de comunicación, que engloba a un conjunto de redes de comunicación especialmente adaptado a la interconexión de sistemas y equipos industriales.
- Han permitido sustituir las conexiones punto a punto analógicas tradicionales por redes de transmisión digital bidireccionales, multipunto, sobre estructura de red serializada y formada por un número escaso de conductores (2 o 3 hilos).
- Incorporan inteligencia en los nodos de la red

---

# SISTEMAS DISTRIBUIDOS

- Los **sistemas distribuidos** (SD) están formados por dispositivos autónomos inteligentes que cooperan con objetivos concretos. Estos dispositivos ejecutan tareas que se coordinan entre sí intercambiando información por medio de una red de comunicación.
- Cuando en el sistema distribuido existen nodos que ejecutan tareas de control entonces se tiene un **sistema distribuido de control**. En este caso, la red de comunicación se denomina **bus de campo**.
- A los sistemas distribuidos industriales se les suele asociar el modelo de referencia de automatización de la fabricación (ISO-RM-FA, *International Standards Organization Reference Model for Factory Automation*) que se corresponde con el modelo de referencia CIM visto en la guía anterior.

---

# CARACTERÍSTICAS de DISTRIBUCIÓN

- Un Sistema Distribuido de Control es la distribución de los elementos y funciones del sistema de control por toda la planta, con tres aspectos de valoración:
  - **La distribución física** indica la localización de los elementos y funciones de control en la planta. El objetivo es de situarlos cerca de los elementos bajo control, formando parte del control integral de planta por medio de una infraestructura de intercomunicación.
  - **La distribución funcional** se refiere a como se sitúan las funciones de control, de supervisión, interfaces, etc. en el entorno físicamente distribuido.
  - **La distribución de riesgo** muestra como se delimitan los riesgos al poder aislar estos tanto en la distribución física como en la distribución funcional.
- Una organización industrial busca PRODUCTIVIDAD, que dependerá del grado de AUTOMATIZACIÓN. Ésta, a su vez, del uso y manipulación de la información generada para controlar el proceso productivo.
  - La eficacia y eficiencia dependerá de la capacidad de las redes para proporcionar los servicios requeridos.

## CARACTERÍSTICAS de la MENSAJERÍA de los BUSES de CAMPO

Los buses de campo deben cumplir diversos requerimientos temporales, de periodicidad de transmisión y de volumen de datos:

- Intercambio de información fuera de línea (*off-line*): SIN límite temporal en las transacciones, puesto que no afectan al funcionamiento del sistema.
- Intercambio de información en línea (*on-line*): operaciones con interactividad, con posibles retardos en la respuesta, normalmente pequeños
- Intercambio de información con requisitos de tiempo real: en estas operaciones se pide que haya límite estricto en las transacciones.
- Intercambio esporádico de información: las transacciones que se hacen no siguen ningún patrón de comportamiento, sino que se realizan esporádicamente, de forma automática.
- Intercambio periódico de información: equipos que comunican siguiendo un cierto patrón de comportamiento de tipo periódico, por medio de tablas simples o múltiples .
- Intercambio de información de grandes dimensiones: a menudo se producen transacciones de grandes paquetes entre nodos de una misma capa, normalmente en las capas altas (por ejemplo, transferencia de un diseño CAD en capa de planta) o transacciones entre capas (por ejemplo, carga de programas entre un diseño CAM y una máquina, etc.).
- Intercambio de información de pequeñas dimensiones: estos intercambios acostumbran a producirse en las capas inferiores de la pirámide de la productividad (por ejemplo, órdenes a actuadores, lectura de sensores y dispositivos).

# MODELO PARA BUSES DE CAMPO

- El modelo de operación de los buses de campo se basa en la especificación de tres de las capas definidas en el modelo ISO/OSI-RM, las correspondientes a la capa 1 (física), capa 2 (enlace) y capa 7 (aplicación)
- Pero además los buses de campo suelen añadir una capa superior (capa de usuario) que incorpora funcionalidades de interface con las aplicaciones distribuidas.

USR	Capa de Usuario
7	Capa de Aplicación
X	Sin capas
2	Capa de Enlace
1	Capa Física

## Bus

- La reducción de las capas ⇒
  1. Reducción del coste computacional del nodo.
  2. Simplicidad del hw de los nodos = menor coste.
- Las capas superiores pueden incorporar funciones de las capas eliminadas.

---

# MODELO PARA BUSES DE CAMPO

- Capa física:
  - Robusta frente a radiaciones electromagnéticas.
  - Par trenzado como medio físico.
- Capa de enlace:
  - Asignación de direcciones, enlace entre nodos, detección de errores, confirmación.
  - Variaciones de la subcapa MAC:
    - CAN: acceso aleatorio al medio pero sincronizado a nivel de bit. Un mensaje consigue el derecho al medio, el resto se retira hasta la siguiente sincronización.
    - Profibus: paso de testigo entre nodos maestros. El maestro que consigue el testigo se comunica con los esclavos mediante consulta directa maestro-esclavo.
    - P-net: paso de testigo cíclico.
    - Interbus: paso de testigo sobre anillo lógico, aunque la capa física es un bus (cada nodo tiene el circuito de ida y vuelta y el último cierra el anillo sobre sí mismo).

# MODELO PARA BUSES DE CAMPO

- Capa de aplicación:
  - Funcionalidades de Send y Receive de la capa de enlace para proveer servicios de mensajería compleja a los usuarios de la capa externa.
- Capa de usuario:
  - Facilitar que dispositivos y nodos de distintos fabricantes se puedan conectar. Incluye:
    - Los *perfiles de dispositivos (profiles)* definición precisa abstracta de normalizaciones de dispositivos para aplicaciones específicas, con indicación de los objetos de comunicación en ellos definidos, de las operaciones que se pueden realizar sobre ellos y de su comportamiento estático y dinámico. La definición de objetos lleva implícita tanto su codificación como sus formatos y los tipos asociados. Los perfiles se refieren a dispositivos como válvulas, codificadores, sensores, motores, etc.
    - La *descripción de dispositivos*: como cada dispositivo presenta sus datos. Incluye el nombre, el fabricante, el software interno, las revisiones, los datos y objetos de comunicación, la estructura operativa, los procedimientos, los formatos, los tipos, y otros. Esta descripción se deja accesible a todos los otros dispositivos de la red
    - El *lenguaje de descripción de dispositivos* proporciona la semántica de definición y exportación de las descripciones de dispositivos, por medio de una gramática formal
    - Los *bloques funcionales* son funciones de automatización compactas que realizan funciones determinadas generalmente asociadas a la automatización. Este bloque funcional se configura en las variables de operación para cada aplicación concreta. El resultado es que esta función no hace falta programarla (externamente) sino solamente configurarla (en la capa de usuario).
  - También realiza funciones de gestión, configuración, supervisión e identificación.

# CARACTERÍSTICAS de los BUSES de CAMPO

- Satisfacen la necesidad de simplificar el cableado para reducir costes.
- Aumentan la flexibilidad y la capacidad de añadir nuevos dispositivos a la red.
- Permiten la monitorización de todos los elementos conectados, la actualización de software, y el diagnóstico, facilitando así tanto la puesta en marcha como el mantenimiento de los sistemas.
- Permiten disponer de un canal bidireccional de comunicación con los dispositivos de campo.
- Ofrecen un acceso remoto a la información de la red.
- Presentan gran fiabilidad, incrementando en varios ordenes de magnitud el tiempo transcurrido entre errores de comunicación no detectados respecto a las redes de comunicación de datos.
- Permiten implementar estrategias de control más avanzadas.
- Han de poder operar en entornos hostiles.
- A nivel de enlace, el subnivel MAC ha de proporcionar el cumplimiento de los requisitos temporales de las aplicaciones, donde el tiempo de entrega o latencia en la entrega de los paquetes ha de estar acotada (*deadline*), o la varianza entre los tiempos de entrega (*jitter*) ha de estar limitada.

## FUNCIONALIDADES COMUNES. PARADIGMAS DE COMUNICACIÓN

- Las propiedades de comunicación de los distintos buses de campo varían entre ellos al estar fundamentadas en distintos principios de comunicación.
- Las partes comunes se refieren principalmente a las características de predictibilidad.
- Se suelen considerar tres modelos de transacción principales o **Paradigmas de comunicación**: definen como los diferentes procesos de una aplicación distribuida pueden cooperar entre sí.
- **Cliente-servidor**: el más utilizado. Se usa para transacciones entre iguales basadas en modelo petición-respuesta:
  - Los clientes piden servicios que los servidores, cuando tienen oportunidad los sirven. Comunicación unipunto.
  - La mensajería se organiza a partir de cuatro primitivas: Request, Indication, Response y Confirm.
  - Existen nodos clientes, servidores y mixtos.
  - Útil para transmisión de estado, no de eventos.
  - Sirve para transacciones con y sin confirmación
  - Problemas de consistencia porque atiende secuencialmente las peticiones de los clientes.

---

## FUNCIONALIDADES COMUNES. PARADIGMAS DE COMUNICACIÓN

### ■ **Productor-consumidor:**

- ❑ Multipunto.
- ❑ Los nodos productores tienen asociado un procedimiento de producción de mensajes que puede ser disparado por tiempo o por evento.
- ❑ Los consumidores se subscriben al productor para recibir la información que necesitan. El productor del dato o variable producirá o publicará el valor en la red cada cierto tiempo según tenga programado, siendo accesible a todos los consumidores el mismo valor correspondiente al mismo instante de tiempo en el mismo mensaje de red .
- ❑ Modalidad pull-model: con un nodo gestor de tráfico que hace la petición al productor. Éste sólo tiene que poner la información a disposición de los consumidores.
- ❑ Modalidad push-model: sin gestor de tráfico. Primero aplica el paradigma cliente-servidor y, después el de productor-consumidores.
- ❑ **Maestro-esclavo:** uno de los nodos actúa como Maestro y es el que dirige todas las transacciones, mientras que los nodos Esclavos no tienen iniciativas de comunicación sino que sólo responden a los comandos del nodo Maestro. Este modelo es adecuado para mensajería cíclica y de carácter centralizado.

# PARADIGMAS de PLANIFICACIÓN

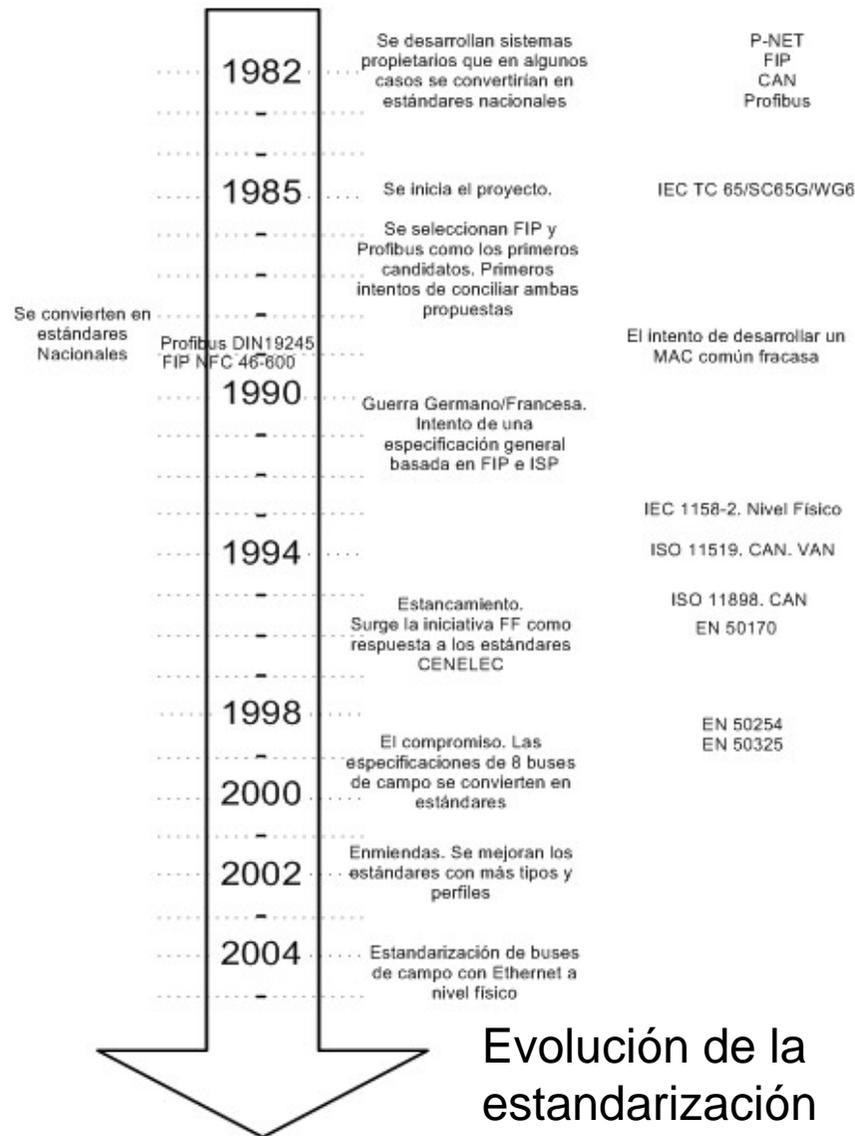
- Estática vs. dinámica:
  - Pl.estática:
    - Realizada de forma previa a la puesta en marcha del sistema.
    - Es necesario conocer a priori todos los requerimientos temporales del tráfico que el bus de campo ha de soportar.
    - Permite emplear complejos algoritmos.
    - Permite garantizar el comportamiento temporal del tráfico, aunque limita la flexibilidad y adaptabilidad.
    - Planificación por tablas estáticas en el gestor o árbitro del bus.
    - Planificación por tablas dinámicas: se permite la petición de cambios en las propiedades temporales del tráfico, siempre que estos cambios no impliquen el incumplimiento de los requerimientos temporales del conjunto de tráfico en ejecución.
  - Pl.dinámica:
    - Los requerimientos de comunicación pueden cambiar en tiempo de ejecución ⇒ deberá de proporcionar mecanismos para hacer esto posible satisfaciendo los requerimientos temporales del tráfico.
    - No permite algoritmos complejos.
    - Flexible.
- Centralizada vs. distribuida:
  - Centralizada: un nodo de la red ha de realizar la tabla y organizar el tráfico en la red.
  - Distribuida: el más representativo es "*dynamic best-effort scheduling*": el sistema trata de hacer lo mejor posible el envío del tráfico asignado, según el método de acceso al medio que utilice.

---

# PARADIGMAS de PLANIFICACIÓN

- Las tendencias actuales exigen nuevos métodos que satisfagan:
  - La planificación flexible y adaptativa.
  - Composición de planificadores para poder planificar sistemas que combinen varios tipos de tareas y requerimientos temporales y de flexibilidad.
  - La planificación de contenido multimedia.
  - La planificación teniendo en cuentas las consideraciones energéticas: La penetración de las redes inalámbricas hace que sea necesario considerar el consumo de energía de la CPU y de la transmisión de tramas.

# ESTANDARIZACIÓN



## Buses de campo estandarizados

CENELEC	IEC	Nombre Comercial
EN 50170-1(07/1996)	IS 61158 type 3	P-NET
EN 50170-2(07-1996)	IS 61158 type 1/3/10	Profibus
EN 50170-3(07-1996)	IS 61158 type 1/7	WorldFIP
EN 50170-A1 (04-2000)	IS 61158 type 1/9	Foundation Fieldbus
EN 50170-A2 (04-2000)	IS 61158 type 1/3	Profibus-PA
EN 50170-A3(08-2000)	IS 61158 type 2	ControlNet
EN 50254-2 (10-1998)	IS 61158 type 8	Interbus
EN 50254-3 (10-1998)	IS 61158 type 3	Profibus-DP
EN 50254-4(10-1998)	IS 61158 type 7	WorldFIP (FIPIO)
EN 50325-2 (01-2000)	IS 62026-3 (2000)	DeviceNet
EN 50325-3 (04-2000)	IS 62026-5 (2000)	SDS
EN 50325-4 (07-2002)		CANOpen
EN 50295-2	IS 6226-2 (2000)	AS-Interface

**Evolución de la estandarización**

# COMPARATIVA ESTÁNDARES

Tabla 10.1 del capítulo 10 del tomo 2

Bus de campo	Topología	Medio físico	Veloc.	Distancia segmento	Nodos segmento	Acceso al bus – Estándar
ARCNET	Bus Estrella	Par trenzado Fibra óptica Coaxial	2,5 Mbps	122 m	255	Paso testigo – ANSI 878
AS-I	Bus Árbol Estrella	Cable de 2 hilos	167 kbps	100 m	32	Sondeo principal-subordinadas
Bitbus	Bus	Par trenzado Fibra óptica	62,5 / 375 kbps 1,5 Mbps	1200 m 300 m	29	Sondeo principal-subordinadas – IEEE 1118
CAN	Bus	Par trenzado	50 kbps a 1 Mbps	1000 m a 40 m	127 hasta 64	CSMA/CD con arbitraje de bit – ISO 11898 / 11519
CC-Link	Bus	Par trenzado	156 bps a 10 Mbps	1200 m a 100 m	64	Sondeo principal-subordinadas
ControlNet	Bus Árbol Estrella	Coaxial Fibra óptica	5 Mbps 5 Mbps	1000 m 3000 m	48	CTDMA – Basado en CAN
DeviceNet	Bus	Par trenzado	125 - 250 - 500 kbps	500 - 250 - 100 m	64	CSMA/CD – ISO 11898 y 11519 (basado en CAN)
EIB	Libre	Par trenzado Infrarrojos Red eléctrica Radio				CSMA/CA – CENELEC TC105
Filbus		Par trenzado	375 kbps	1200 m	32	Sondeo principal-subordinadas
Firewire	Bus Árbol	Cable de 6 hilos Fibra óptica	100 Mbps 200 - 400 Mbps	700 m	63	Ranuras de tiempos – IEEE 1394

Bus de campo	Topología	Medio físico	Veloc.	Distancia segmento	Nodos segmento	Acceso al bus – Estándar
Foundation Fieldbus		Par trenzado		1900 m	32	Paso testigo – ISA SP50/ IEC TC65
HART	Bus	Par trenzado apantallado	1200 bps	3000 m	30	Sondeo principal-subordinadas – IEC TC65
Interbus-S	Anillo	Par trenzado	500 kbps	400 m	256	Paso testigo – DIN E19258
J1939	Bus	Par trenzado apantallado	250 kbps			CSMA/CD con arbitraje de bit – SAE J1939 (Basado en CAN)
LonWorks	Bus Anillo Libre	Par trenzado Fibra óptica Red eléctrica Coaxial Radio Infrarrojos	78 kbps a 1,25 Mbps	2700 a 130 m	64	CSMA/CA – EIA-709
M3S	Bus	Cable de 6 hilos				CSMA/CD con arbitraje de bit – Basado en CAN
M-Bus	Bus	Cable de 2 hilos	300 a 9600 bps	1000 m	250	Centralizado – IEC 870; EN 1434-3
Measurement Bus	Bus	Cable de 4 hilos	110 bps a 1 Mbps	500 m	31	Sondeo principal-subordinadas – DIN 66348
Modbus	Bus	Par trenzado	300 bps a 19,2 kbps	1000 m	248	Sondeo principal-subordinadas
NBIP	Bus	Cable de 2 hilos				Sondeo principal-subordinadas

# COMPARATIVA ESTÁNDARES

Bus de campo	Topología	Medio físico	Veloc.	Distancia segmento	Nodos segmento	Acceso al bus – Estándar
P-NET	Anillo	Par trenzado apantallado	76,8 kbps	1200 m	125	Paso testigo Sondeo principal-subordinadas – CENELEC EN 50170 Vol. 1; DSF 21906; DK 502058; DK 502066
PROFIBUS	Bus	Par trenzado apantallado	9,6 kbps	1200 m	32	Paso testigo Sondeo principal-subordinadas – CENELEC EN 50170 Vol. 2; DIN STD 19245
			19,2 kbps	1200 m		
			93,75 kbps	1200 m		
			187,5 kbps	600 m		
			500 kbps	200 m		
SDS	Bus	Cable de 4 hilos	125 kbps	500 m	64	CSMA – ISO 11989 (basado en CAN)
			250 kbps			
			500 kbps			
			1 Mbps			
SENSOPLEX	Bus	Coaxial			120	Sondeo principal-subordinadas
SERCOS	Anillo	Fibra óptica	2 Mbps		255	Anillo ranurado – IEC 61491
SERIPLEX	Bus	Cable de 4 hilos apantallado	98 kbps	1500 m	300	Sondeo principal-subordinadas
WorldFIP	Bus	Par trenzado apantallado	31,25 kbps	1900 m	32	Centralizado (árbitro de bus) – CENELEC EN 50170 Vol. 3; NFC 46 601 a 607
			1 Mbps	750 m		
			2,5 Mbps	500 m		
			5 Mbps			

# APLICACIONES de los BUSES de CAMPO

- Automatización industrial (procesos discretos):
  - Comunicación en una máquina concreta: tráfico es típicamente periódico, siendo necesario la sincronización de procesos
  - Comunicación entre máquinas. tráfico aperiódico, y la sincronización se puede considerar más relajadamente

Los criterios de disponibilidad y fiabilidad son en este tipo de aplicaciones menos estrictos que en otros casos, como se verá a continuación.

- Control de procesos (procesos continuos), tráfico similar al caso anterior, pero con unos requerimientos temporales más estrictos de sincronización. En algunas de este tipo de industrias, se requiere seguridad intrínseca con la alimentación de dispositivos a través de la propia red.

En algunas aplicaciones los elevados requerimientos de fiabilidad y seguridad requieren redundancia .

- Domótica, aplicaciones adquisición de datos o funciones de control muy simples ⇒ requerimientos temporales son menos estrictos.

Gran variedad de sensores y dispositivos, así como el elevado número de éstos, lo que los convierte en un sistema complejo. Proliferan soluciones inalámbricas o de Power Line.

La fiabilidad, aún siendo importante, es menos estricta que en los casos anteriores.

- Redes de control de servicios públicos: monitorización y control de grandes redes de distribución (gas, agua, electricidad).

La particularidad aquí es la distancia, a lo que se debe adaptar el medio físico y el MAC.

- Sistemas de transporte (control de tráfico o la monitorización de autopistas). La seguridad y fiabilidad son aquí aspectos cruciales, puesto que vidas humanas pueden depender de ello.

- En sistemas embebidos, pero especialmente en los usados en vehículos como coches, trenes, etc. las distancias son pequeñas o muy pequeñas. Las funciones son muy variadas pero seguridad y fiabilidad son aquí otra vez aspectos cruciales.

---

# CONCLUSIONES

- En la actualidad el uso de los buses de campo se ha consolidado de manera que las nuevas implantaciones de automatización incluyen capacidad de comunicación tanto en el ámbito de automatización (señales y mando) como en el de coordinación y gestión.
- Los buses de campo deben cumplir diversos requerimientos temporales, de periodicidad de transmisión y de volumen de datos.
- Los buses de campo siguen un modelo en tres capas, más la capa de usuario.
- Las propiedades de comunicación de los distintos buses de campo varían entre ellos.
- Las partes comunes se refieren principalmente a las características de predictibilidad.
- Tres paradigmas fundamentales de comunicación: cliente-servidor, productor-consumidor y maestro-esclavo.
- Importante conocer los paradigmas de planificación para garantizar los requerimientos temporales. En la actualidad se plantean nuevos retos a cubrir: flexibilidad, composición, transmisión multimedia y consideraciones energéticas.
- Los buses de campo han tenido un complejo proceso de estandarización que no se desarrolla en esta guía, si no en el texto base.