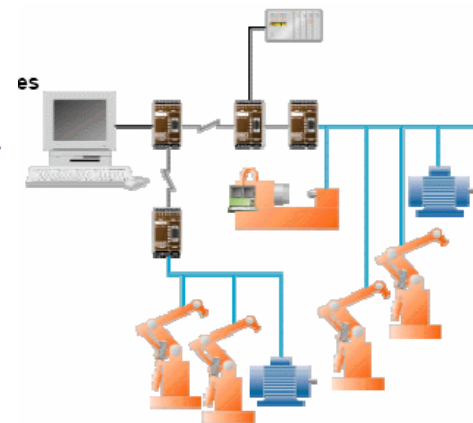
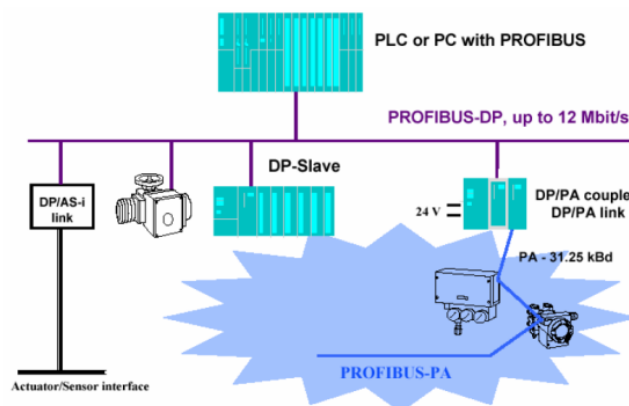


## Unidad 4:

# Arquitecturas Distribuidas y Comunicaciones Industriales



# Arquitecturas Distribuidas y Comunicaciones Industriales

## *Plan General:*

### 1. Introducción: Autómatas y Control Discreto

- Aplicaciones y Fundamentos. Autómatas / FSM. STATEFLOW. GRAFCET.

### 2. Autómatas Programables – IEC61131: Arq. y Lenguajes

- PLCs, arquitecturas. Entorno de desarrollo. Configuración. Lenguajes ST / SFC.

### 3. Diseño de Sists. Control Secuencial

- Métodos clásicos. Métodos sistemáticos. Aplicación.

### 4. Arquitecturas Distribuidas y Comunicaciones Industriales

- Arquitecturas distribuidas. Buses de Campo y Protocolos industriales.

### 5. Control Discreto de Sistemas Continuos e Híbridos

- Sistemas muestreados. Simulación y Control. Sistemas Híbridos. Aplicación.

# Arquitecturas Distribuidas y Comunicaciones Industriales

## *Plan de la Unidad 4:*

### **A. Arquitecturas Distribuidas**

- Control centralizado con estaciones remotas de I/O (periferia distribuida).
- Control descentralizado o distribuido (procesamiento distribuido).
- Redes de Control Industrial. Necesidades de comunicación: conceptos y definiciones básicas.

### **B. Buses de Campo y Protocolos Industriales**

- Modelo de capas OSI. Medio físico y topologías de red.
- Protocolos industriales: tipos, ventajas, selección. Perfiles de comunicación.

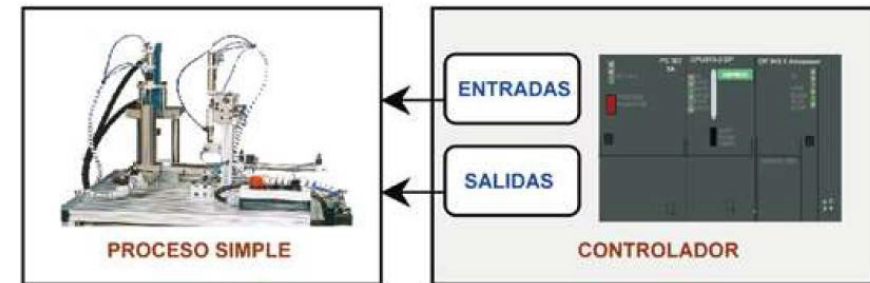
### **C. Protocolos más usuales. Aplicaciones**

- Modbus. CAN.
- Profibus, Profinet. OPC UA.
- Características y aplicaciones.

# Automatización Industrial:

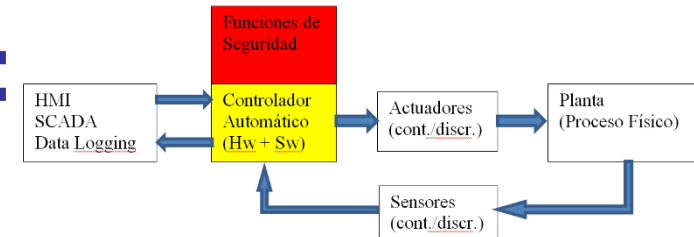
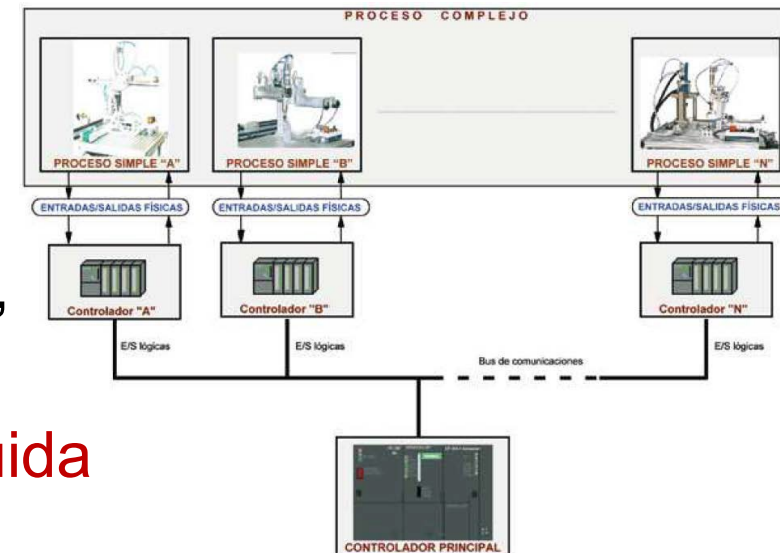
## Sistemas de Control: Arquitecturas

- **Centralizada** (1 solo controlador) → sistemas simples o fijos
  - localizados (E/S locales),
  - cableado eléctrico intensivo.



- **Distribuida** (1 ó varios controladores en red) → sistemas complejos

- extendidos (E/S distribuidas),
  - conectados en **red de comunic.**
- (más flexible, modular/expandible, simplifica cableado complejo)



- Procesador Central y **I/O distribuida**
- Procesamiento Distribuido**

# Automatización Industrial:

Sistemas de Control ***Distribuidos*** →

- Tecnologías de **Equipos de Control**:

- Autómatas Programables (PLCs)
- **Sensores** (dependen de Aplicación)
- **Actuadores**

+

- Tecnologías de **Comunicación Industrial**:

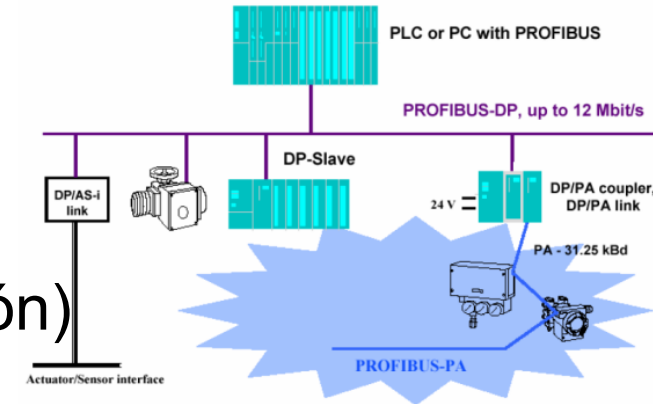
- Redes propietarias

(Modbus, DeviceNet, ControlNet, GENius, FIPIO, etc.)

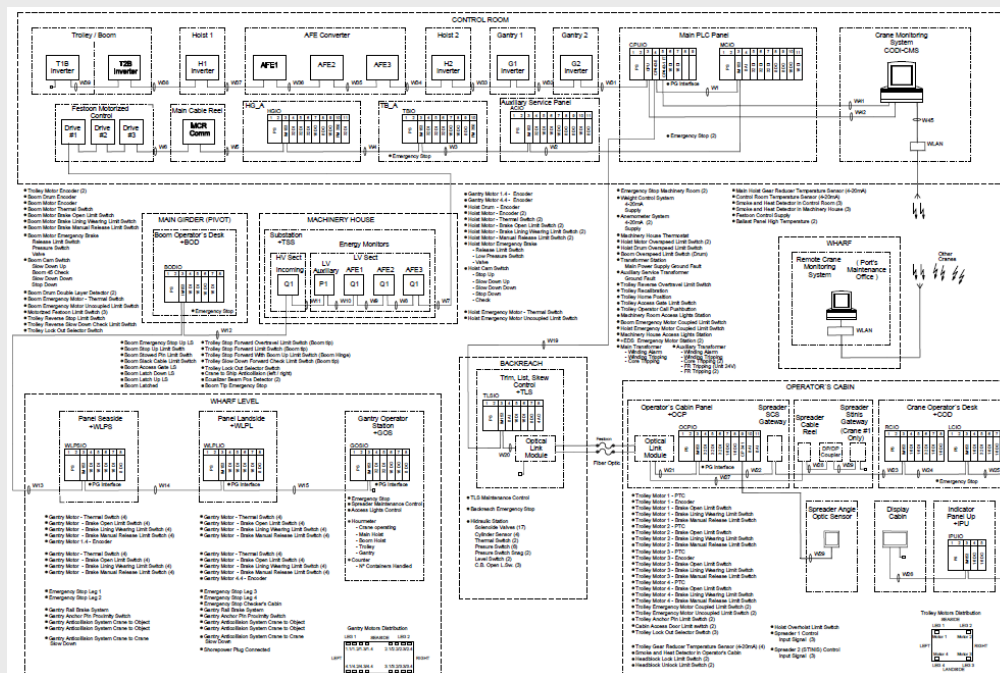
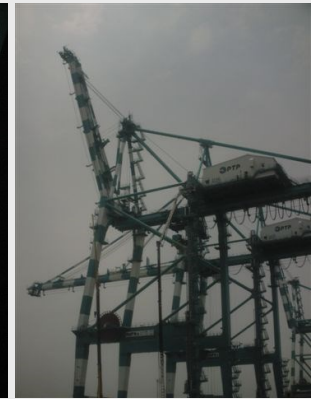
- **Buses industriales estándar abiertos** (*tendencia actual*)

(Foundation Fieldbus, **PROFIBUS**, Modbus TCP

**ETHERNET Industrial**: PROFINET, EtherNet/IP, Ether-CAT, Sercos III, etc.)

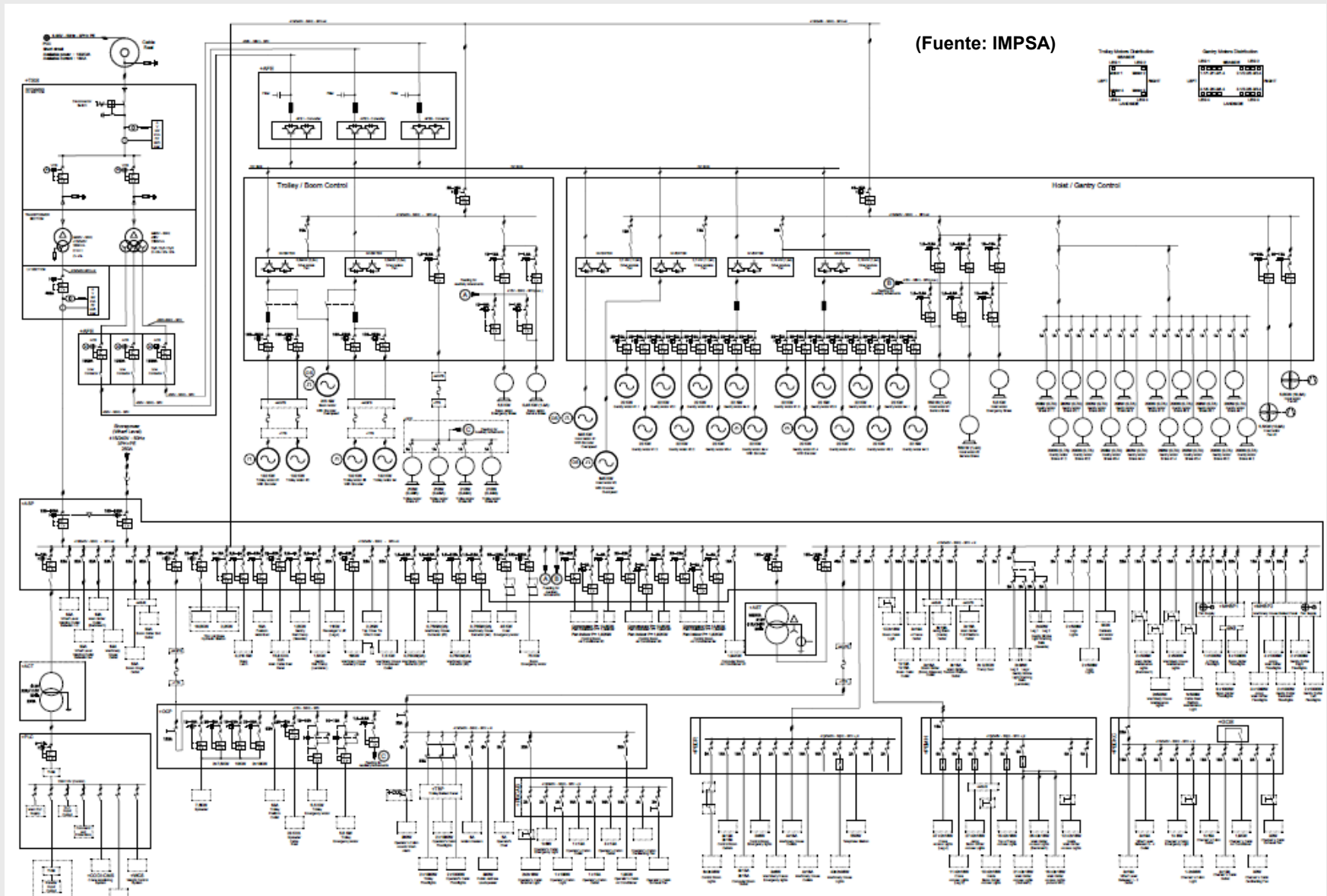






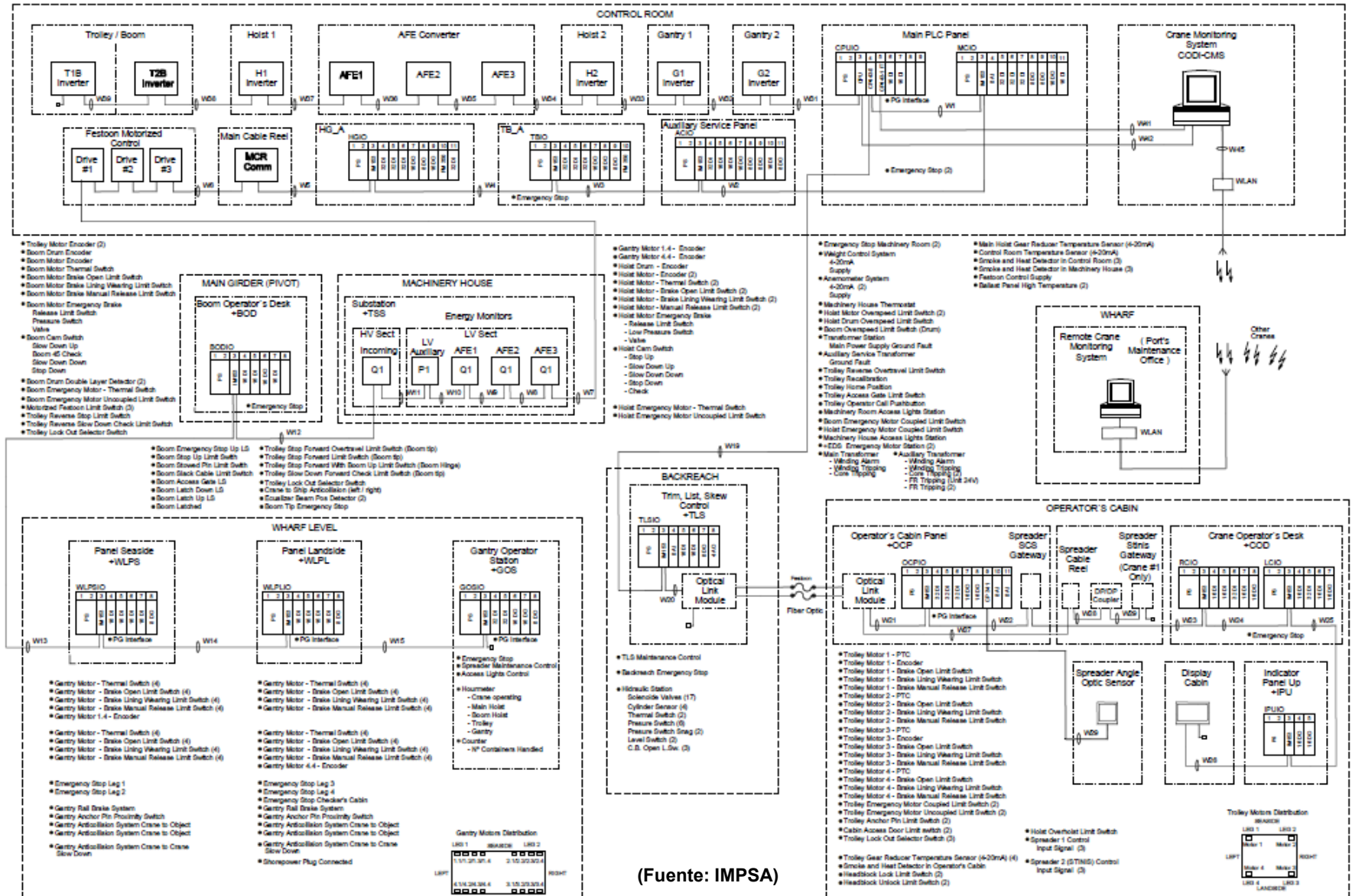
6

# Ej.: Control de Grúas (Diagrama Unifilar de POTENCIA)





# Ej.: Control de Grúas (Arq. de AUTOMATIZACIÓN)





# Red de Control / Automatizac. Industrial:

- **Red** de Control Industrial:

Sistema **interconectado** → monitoreo y control en «**Tiempo Real (RT)**» de equipos y procesos físicos «distantes o no» en ambiente industrial.

- **Videos:**

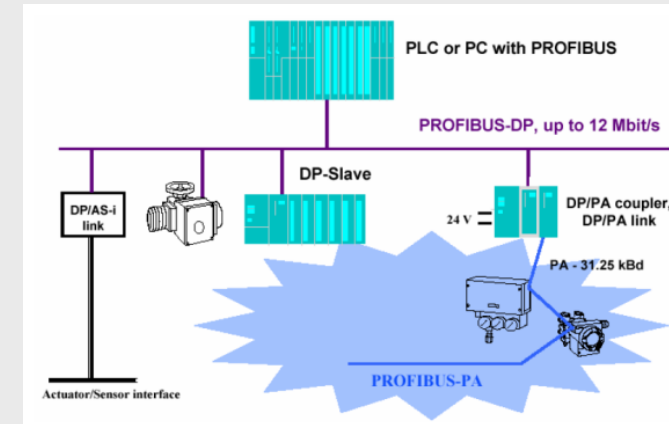
Automation Basics: **Industrial Networking**

(Control Design - Educational Video Series, 2021 Oct.4, 10 min.)

[https://www.youtube.com/watch?v=r6873V8r5Cs&ab\\_channel=ControlControlDesign](https://www.youtube.com/watch?v=r6873V8r5Cs&ab_channel=ControlControlDesign)

**Industrial Networks Fundamentals** (EATON, 2014)

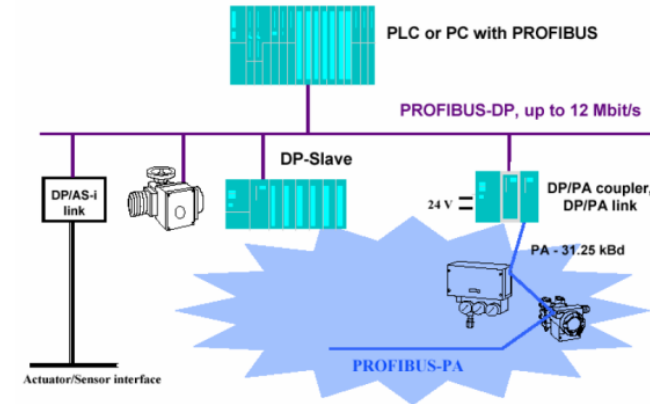
[https://www.youtube.com/watch?v=6K2Y\\_sp5f4o](https://www.youtube.com/watch?v=6K2Y_sp5f4o) (40 min.)



# Red de Control / Automatizac. Industrial:

- **Red** de Control Industrial:

Sistema **interconectado** → monitoreo y control en «**Tiempo Real (RT)**» de equipos y procesos físicos «distantes o no» en ambiente industrial.



- **Comunicaciones** industriales:

- Hacia/desde **dispositivos de campo**: analógica → **digital**
- Entre **controladores** digitales
- Implementación de **protocolos** de comunicación (**fieldbus protocols**).

- Requerimientos específicos: **determinismo**, tiempo de rta.

- Métodos de operación específicos.

- Integración progresiva con redes ofimáticas o comerciales (Ethernet, Internet).

# Redes Industriales vs. Comerciales:

TYPICAL DIFFERENCES BETWEEN INDUSTRIAL AND CONVENTIONAL NETWORKS

|                       | Industrial                                                                          | Conventional                                                                            |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Primary Function      | Control of physical equipment                                                       | Data processing and transfer                                                            |
| Applicable Domain     | Manufacturing, processing and utility distribution                                  | Corporate and home environments                                                         |
| Hierarchy             | Deep, functionally separated hierarchies with many protocols and physical standards | Shallow, integrated hierarchies with uniform protocol and physical standard utilisation |
| Failure Severity      | High                                                                                | Low                                                                                     |
| Reliability Required  | High                                                                                | Moderate                                                                                |
| Round Trip Times      | 250 $\mu$ s - 10 ms                                                                 | 50+ ms                                                                                  |
| Determinism           | High                                                                                | Low                                                                                     |
| Data Composition      | Small packets of periodic and aperiodic traffic                                     | Large, aperiodic packets                                                                |
| Temporal Consistency  | Required                                                                            | Not required                                                                            |
| Operating Environment | Hostile conditions, often featuring high levels of dust, heat and vibration         | Clean environments, often specifically intended for sensitive equipment                 |

## 1. Implementación o dominios de aplicación industrial:

- Fabricación discreta o en celdas autónomas (ej. automotriz);
- Control de procesos continuos (ej. petroquímica, siderurgia);
- Domótica (automatización de edificios): supervisión, control accesos;
- Generación y distribución eléctrica: grandes distancias;
- Sistemas de Transporte (ej. trenes, autopistas, control de tráfico);
- Sistemas embebidos: localizado (ej. máquina, automóvil).

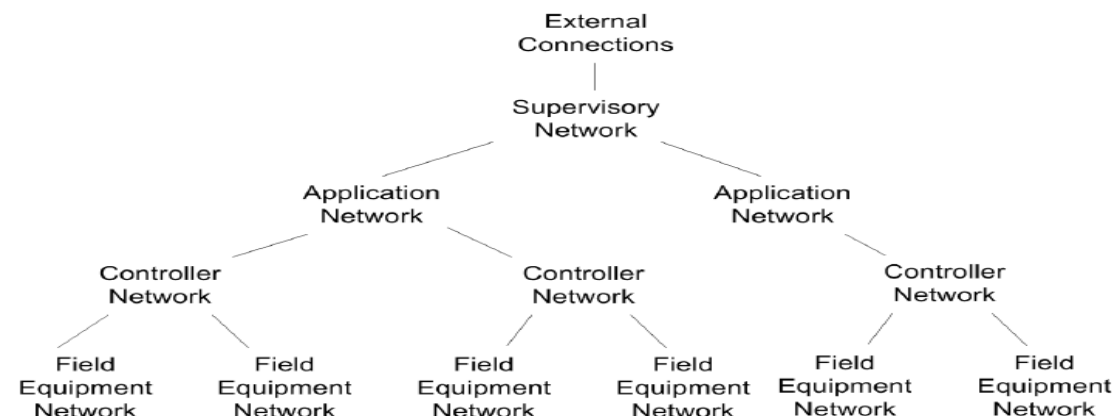
# Redes Industriales vs. Comerciales:

TYPICAL DIFFERENCES BETWEEN INDUSTRIAL AND CONVENTIONAL NETWORKS

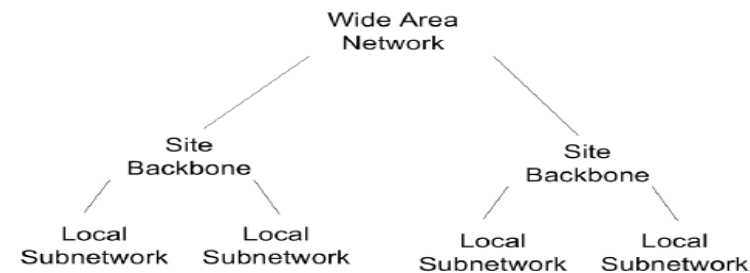
|                       | Industrial                                                                          | Conventional                                                                            |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Primary Function      | Control of physical equipment                                                       | Data processing and transfer                                                            |
| Applicable Domain     | Manufacturing, processing and utility distribution                                  | Corporate and home environments                                                         |
| Hierarchy             | Deep, functionally separated hierarchies with many protocols and physical standards | Shallow, integrated hierarchies with uniform protocol and physical standard utilisation |
| Failure Severity      | High                                                                                | Low                                                                                     |
| Reliability Required  | High                                                                                | Moderate                                                                                |
| Round Trip Times      | 250 $\mu$ s - 10 ms                                                                 | 50+ ms                                                                                  |
| Determinism           | High                                                                                | Low                                                                                     |
| Data Composition      | Small packets of periodic and aperiodic traffic                                     | Large, aperiodic packets                                                                |
| Temporal Consistency  | Required                                                                            | Not required                                                                            |
| Operating Environment | Hostile conditions, often featuring high levels of dust, heat and vibration         | Clean environments, often specifically intended for sensitive equipment                 |

## 2. Arquitectura y Jerarquía más profunda:

Example Industrial Network



Example Commercial Network





# Redes Industriales vs. Comerciales:

TYPICAL DIFFERENCES BETWEEN INDUSTRIAL AND CONVENTIONAL NETWORKS

|                       | Industrial                                                                          | Conventional                                                                            |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Primary Function      | Control of physical equipment                                                       | Data processing and transfer                                                            |
| Applicable Domain     | Manufacturing, processing and utility distribution                                  | Corporate and home environments                                                         |
| Hierarchy             | Deep, functionally separated hierarchies with many protocols and physical standards | Shallow, integrated hierarchies with uniform protocol and physical standard utilisation |
| Failure Severity      | High                                                                                | Low                                                                                     |
| Reliability Required  | High                                                                                | Moderate                                                                                |
| Round Trip Times      | 250 $\mu$ s - 10 ms                                                                 | 50+ ms                                                                                  |
| Determinism           | High                                                                                | Low                                                                                     |
| Data Composition      | Small packets of periodic and aperiodic traffic                                     | Large, aperiodic packets                                                                |
| Temporal Consistency  | Required                                                                            | Not required                                                                            |
| Operating Environment | Hostile conditions, often featuring high levels of dust, heat and vibration         | Clean environments, often specifically intended for sensitive equipment                 |

## 3. Severidad de fallas mayor:

- Conectado a equipamiento físico → efectos de falla posibles:  
daño a equipos, pérdida de producción, daño ambiental, accidentes.

## 4. Requerimientos de Tiempo Real (en particular a bajo nivel):

- Tiempo de respuesta < tiempo de muestreo de datos;
- Retardos afectan negativamente el desempeño de lazos de control.

# Redes Industriales vs. Comerciales:

TYPICAL DIFFERENCES BETWEEN INDUSTRIAL AND CONVENTIONAL NETWORKS

|                       | Industrial                                                                          | Conventional                                                                            |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Primary Function      | Control of physical equipment                                                       | Data processing and transfer                                                            |
| Applicable Domain     | Manufacturing, processing and utility distribution                                  | Corporate and home environments                                                         |
| Hierarchy             | Deep, functionally separated hierarchies with many protocols and physical standards | Shallow, integrated hierarchies with uniform protocol and physical standard utilisation |
| Failure Severity      | High                                                                                | Low                                                                                     |
| Reliability Required  | High                                                                                | Moderate                                                                                |
| Round Trip Times      | 250 $\mu$ s - 10 ms                                                                 | 50+ ms                                                                                  |
| Determinism           | High                                                                                | Low                                                                                     |
| Data Composition      | Small packets of periodic and aperiodic traffic                                     | Large, aperiodic packets                                                                |
| Temporal Consistency  | Required                                                                            | Not required                                                                            |
| Operating Environment | Hostile conditions, often featuring high levels of dust, heat and vibration         | Clean environments, often specifically intended for sensitive equipment                 |

## 5. Determinismo:

- Transmisión de datos en forma predecible o determinista (poder predecir cuándo será recibida la respuesta a una demanda) → **latencia** o tiempo de rta. debe estar limitada y con baja variancia (**jitter**), para no afectar a lazos de control.

## 6. Tamaño de Datos:

- Paquetes de datos pequeños (ej. única medición c/cabecera y cola).

# Redes Industriales vs. Comerciales:

TYPICAL DIFFERENCES BETWEEN INDUSTRIAL AND CONVENTIONAL NETWORKS

|                       | Industrial                                                                          | Conventional                                                                            |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Primary Function      | Control of physical equipment                                                       | Data processing and transfer                                                            |
| Applicable Domain     | Manufacturing, processing and utility distribution                                  | Corporate and home environments                                                         |
| Hierarchy             | Deep, functionally separated hierarchies with many protocols and physical standards | Shallow, integrated hierarchies with uniform protocol and physical standard utilisation |
| Failure Severity      | High                                                                                | Low                                                                                     |
| Reliability Required  | High                                                                                | Moderate                                                                                |
| Round Trip Times      | 250 $\mu$ s - 10 ms                                                                 | 50+ ms                                                                                  |
| Determinism           | High                                                                                | Low                                                                                     |
| Data Composition      | Small packets of periodic and aperiodic traffic                                     | Large, aperiodic packets                                                                |
| Temporal Consistency  | Required                                                                            | Not required                                                                            |
| Operating Environment | Hostile conditions, often featuring high levels of dust, heat and vibration         | Clean environments, often specifically intended for sensitive equipment                 |

## 7. Tráfico Periódico / Aperiódico:

- Datos continuos muestreados: transmisión periódica (constante);
  - Eventos asincrónicos: transmisión aperiódica (variable);
- Relojes y protocolos de contención de bus p/asegurar temporización adecuada.

## 8. Consistencia temporal y Orden de Eventos:

- «Estampa de Tiempo» en origen, especialm. p/transm. aperiódica.

# Redes Industriales vs. Comerciales:

TYPICAL DIFFERENCES BETWEEN INDUSTRIAL AND CONVENTIONAL NETWORKS

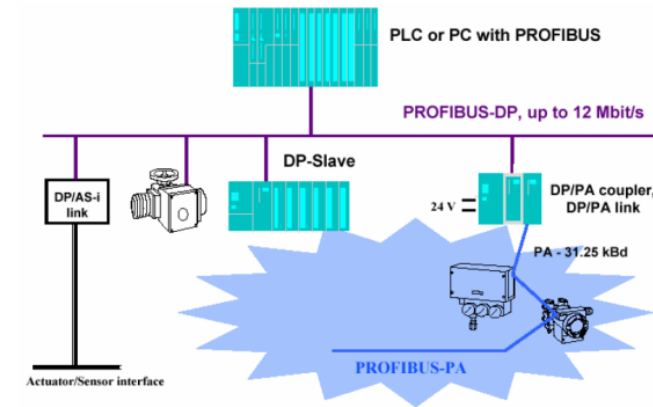
|                       | Industrial                                                                          | Conventional                                                                            |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Primary Function      | Control of physical equipment                                                       | Data processing and transfer                                                            |
| Applicable Domain     | Manufacturing, processing and utility distribution                                  | Corporate and home environments                                                         |
| Hierarchy             | Deep, functionally separated hierarchies with many protocols and physical standards | Shallow, integrated hierarchies with uniform protocol and physical standard utilisation |
| Failure Severity      | High                                                                                | Low                                                                                     |
| Reliability Required  | High                                                                                | Moderate                                                                                |
| Round Trip Times      | 250 $\mu$ s - 10 ms                                                                 | 50+ ms                                                                                  |
| Determinism           | High                                                                                | Low                                                                                     |
| Data Composition      | Small packets of periodic and aperiodic traffic                                     | Large, aperiodic packets                                                                |
| Temporal Consistency  | Required                                                                            | Not required                                                                            |
| Operating Environment | Hostile conditions, often featuring high levels of dust, heat and vibration         | Clean environments, often specifically intended for sensitive equipment                 |

## 9. Resistencia o robustez ante ambiente adverso:

- Condiciones adversas: humedad, polvo, calor, vibración →
- Equipamiento robustecido con altos grados de protección ambiental.

# Componentes de red industrial:

- **Instrumentos de Campo:**
  - Sensores.
  - Actuadores.
- **PLCs (Autómatas Programables de Control):**
  - CPU
  - Estaciones Remotas de I/O.
- **DCS vs. SCADA :**



| DCS                                                                                        | SCADA                                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Process driven                                                                             | Event driven                                                                                   |
| Small geographic areas                                                                     | Large geographic areas                                                                         |
| Suited to large, integrated systems such as chemical processing and electricity generation | Suited to multiple independent systems such as discrete manufacturing and utility distribution |
| Good data quality and media reliability                                                    | Poor data quality and media reliability                                                        |
| Powerful, closed-loop control hardware                                                     | Power efficient hardware, often focussed on binary signal detection                            |



# Tipos de Información en red industrial:

- Información de **CONTROL**:
  - Sensores → Controladores → Actuadores (entradas FBK/salidas Acciones de Ctol. **Lazos de Control** implementados en controlador).
  - Requerimientos fuertes de **tiempo real** y **determinismo**.
- Información de **DIAGNÓSTICO o MONITOREO**:
  - Sensores → Sist. **Supervisor** (monitoreo de status/integridad de equipamiento, esfuerzo de control, etc., sin actuación directa → registros históricos / **data logging** y presentación **HMI**, etc.).
  - Requerimientos bajos de tiempo real; sí **consistencia temporal** y **mínima pérdida de datos**.
- Información de **SEGURIDAD**:
  - Funciones **críticas** (parada segura y protección ante fallas).
  - Requerimientos fuertes de **tiempo real** + **alta confiabilidad**.

Redes **separadas** vs. **integradas** (Control + Seguridad).

# Arquitecturas Distribuidas y Comunicaciones Industriales

## *Plan de la Unidad 4:*

### **A. Arquitecturas Distribuidas**

- Control centralizado con estaciones remotas de I/O (periferia distribuida).
- Control descentralizado o distribuido (procesamiento distribuido).
- Redes de Control Industrial. Necesidades de comunicación: conceptos y definiciones básicas.

### **B. Buses de Campo y Protocolos Industriales**

- Modelo de capas OSI. Medio físico y topologías de red.
- Protocolos industriales: tipos, ventajas, selección. Perfiles de comunicación.

### **C. Protocolos más usuales. Aplicaciones**

- Modbus. CAN.
- Profibus, Profinet. OPC UA.
- Características y aplicaciones.

# Comunicación:

Transferencia de información entre ETDs  
(Estaciones Transmisoras de Datos)

## Formas

- **Punto a Punto:**
  - Módulos I/O cruzados (Analóg./Dig. paralelo)
  - Digital Serie: Punto a Punto  
(ej. RS-232/RS-422) → **USB**
- **Red de Comunicación (multipunto)**
  - Red de datos (ej. Ethernet)
  - Bus de Campo Digital (ej. RS-485)
  - Topologías: bus, estrella, arbol, etc.

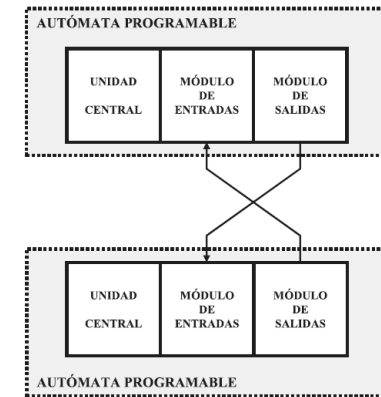


Figura 9.45. Comunicación entre dos autómatas programables a través de sus módulos de entrada/salida.

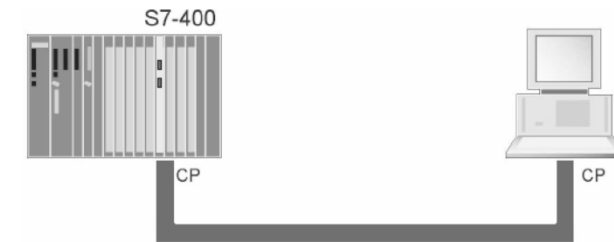


Figura 9.46. Comunicación entre un ordenador personal, un autómata programable y un procesador de comunicaciones (CP) que constituye un módulo del autómata programable.

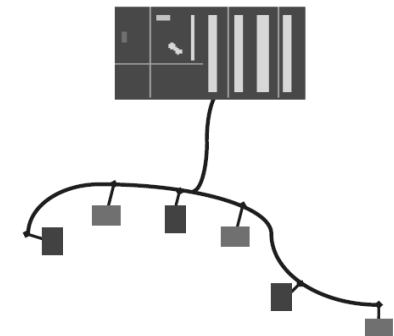
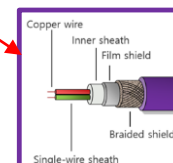
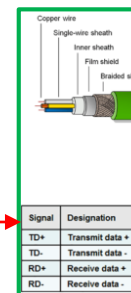


Figura 9.38. Conexión de los dispositivos de campo con un autómata programable a través de una red o bus de campo (Cortesía de Siemens).

# CIM: Fabricación Integrada por Comput.

- **Integración** de procesos de **producción** (diseño, ingeniería, fabricación) con los procesos de **gestión** de la empresa.
- Pirámide CIM: estructura jerárquica  $\leftrightarrow$  **Comunicaciones**

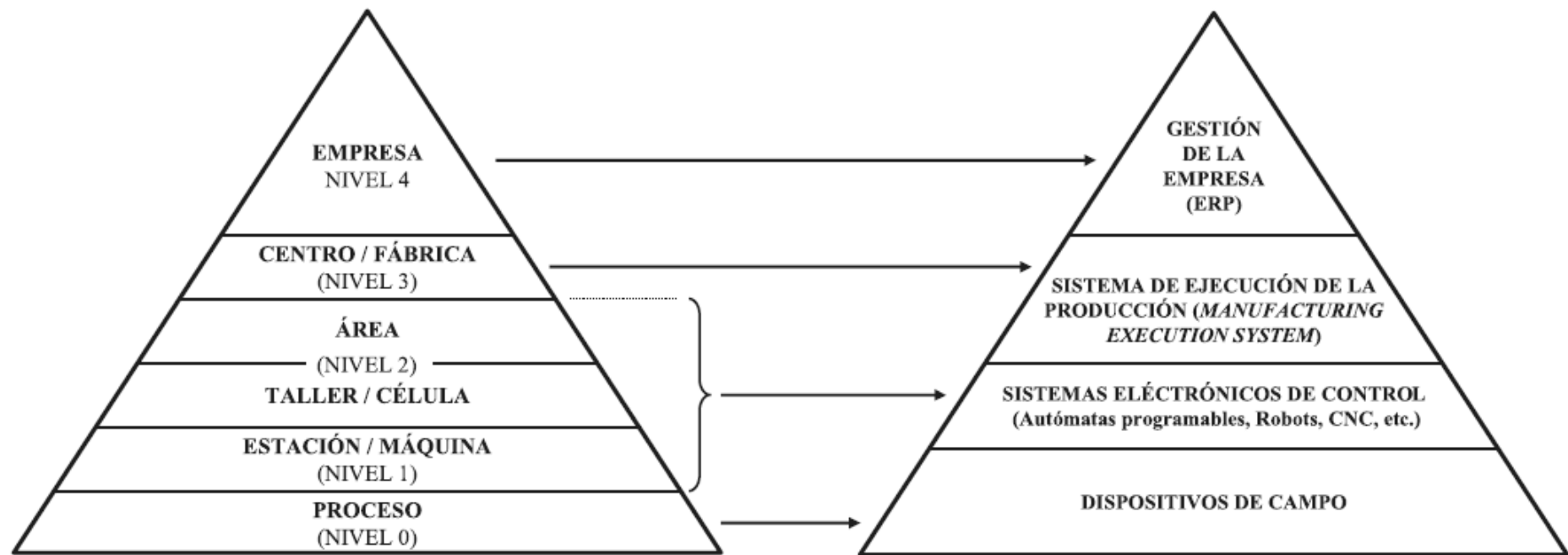
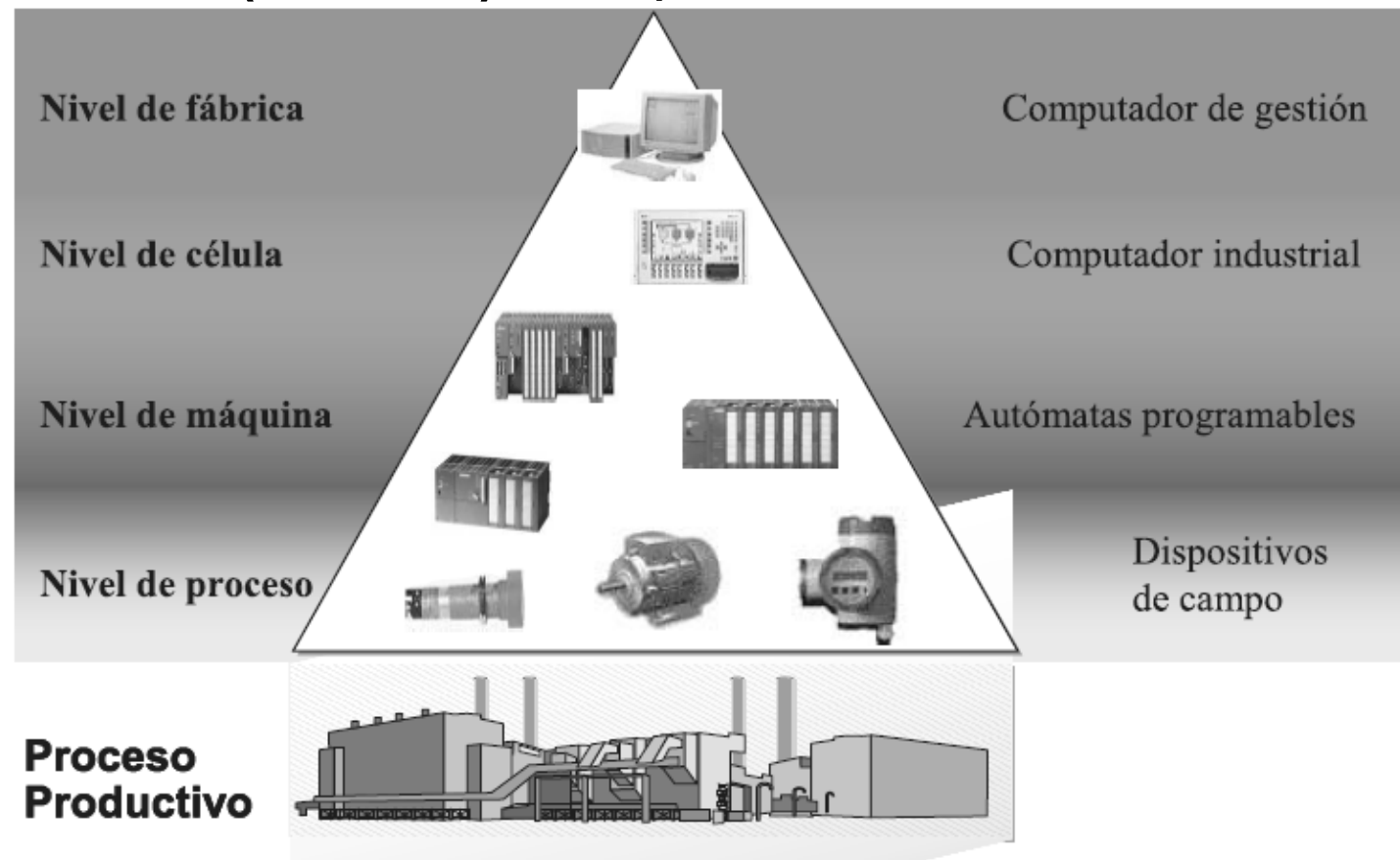


Figura 9.34. Relación entre el modelo teórico de la pirámide CIM y su implantación real en la empresa.

# CIM: Fabricación Integrada por Comput.

Implementación y Comunicaciones: distintas necesidades

- Niveles superiores (Gestión): grandes cant. de datos → IT
- **Niveles inferiores (Control):** tiempo de rta.crítico → Fieldbus





# Redes de Comunicaciones: Modelo OSI

(OSI = Interconexión de Sistemas Informáticos Abiertos)

- Red: **nodos** (ETDs) **interconectados**
- 7 capas o niveles de diálogo
- Cada nivel: **protocolo** asociado (reglas que gobiernan transm. datos)

## CAPAS o NIVELES

1. **FÍSICA**: especifica medio físico de transporte (señales eléctricas).
2. **ENLACE**: estructuración de datos en trama y control de errores.
3. **RED**: cuando interviene más de una red.
4. **TRANSPORTE**: división de datos en paquetes de envío.
5. **SESIÓN**: control de inicio y finalización de conexiones.
6. **PRESENTACIÓN**: representación y encriptación de datos.
7. **APLICACIÓN**: utilización de los datos.

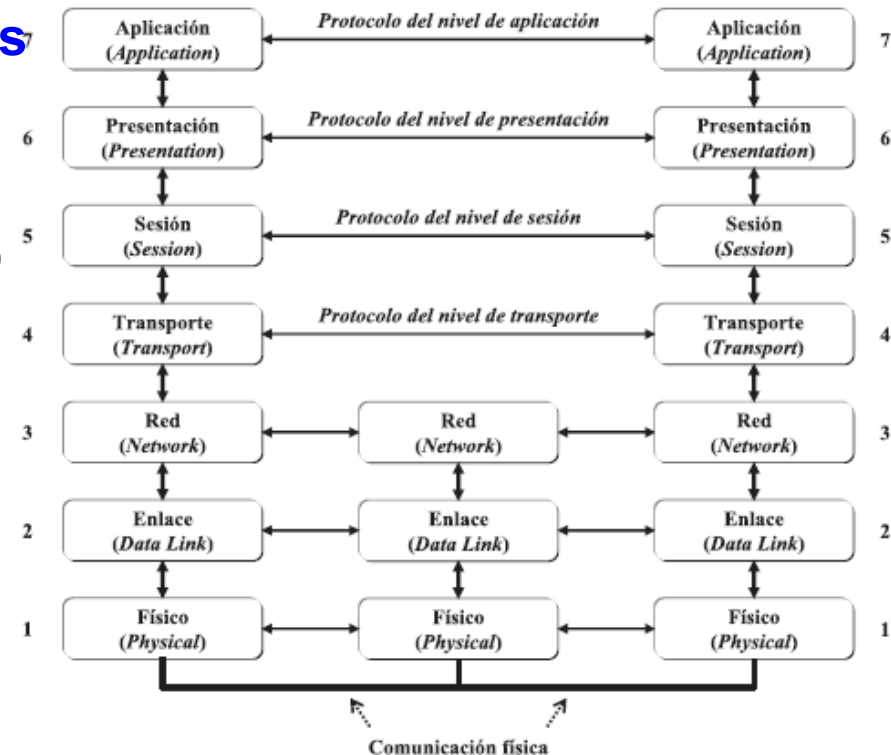


Figura 9.37. Modelo OSI desarrollado por ISO para la conexión de sistemas informáticos abiertos.

# Redes de Comunicaciones Industriales:

2 estrategias diferentes:

- a) Redes de Aplicación Específica: cada nivel CIM
- Redes de **Datos**: ofimática, grandes paquetes de datos, esporádicos
    - Redes de empresa y fábrica: (ej. LAN Ethernet TCP/IP) → CAD/CAM, etc.
    - Redes de célula: (ej. Ethernet Industrial, Profibus FMS)
  - Redes de **Control (Field bus)**: RT, pequeños paquetes de datos
    - Redes de Controladores (ej. Profibus FMS, ControlNet, etc.)
    - Redes de Sensores-Actuadores
      - de Funcionalidad Limitada (ej. AS-i)
      - de Alta Funcionalidad (ej. Profibus DP, InterBus-S, DeviceNet, CANopen, etc.)
- b) Red Universal o Red Integrada: todos los niveles CIM  
(ej. Ethernet Industrial, Profinet)

# Buses de Campo. Modelo OSI Simplif.

- 1: Capa física (ej. RS-485)
- 2: Enlace o acceso al medio
  - Master-slave (polling)
  - Peer-to-peer (token bus)

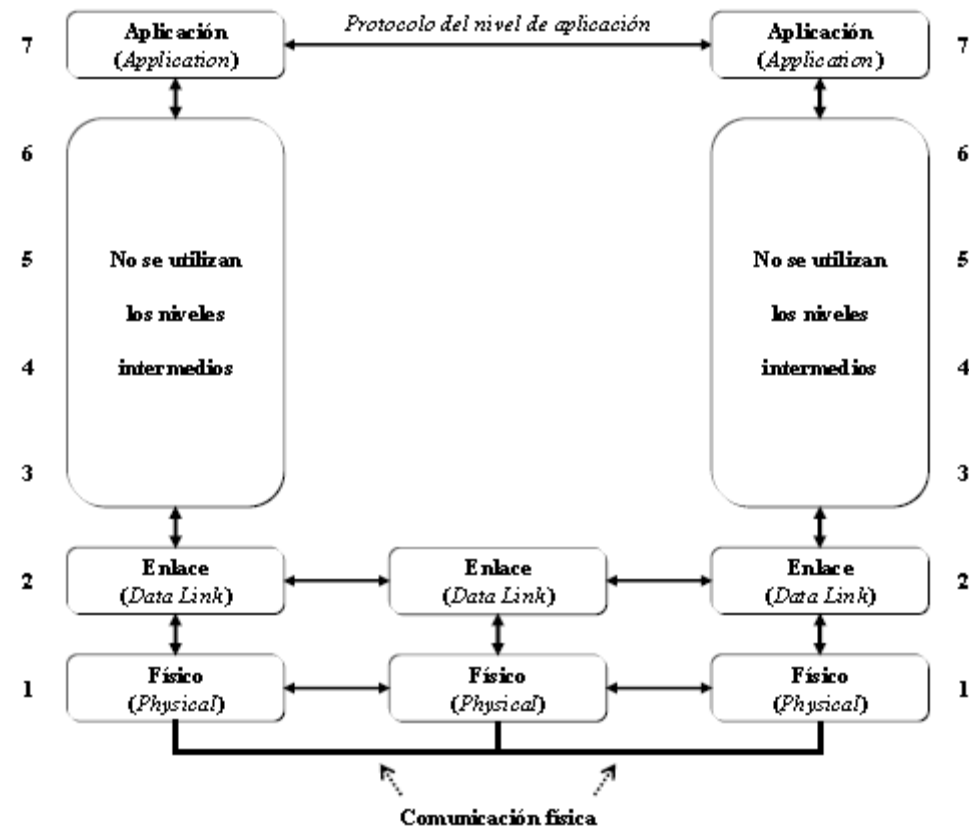
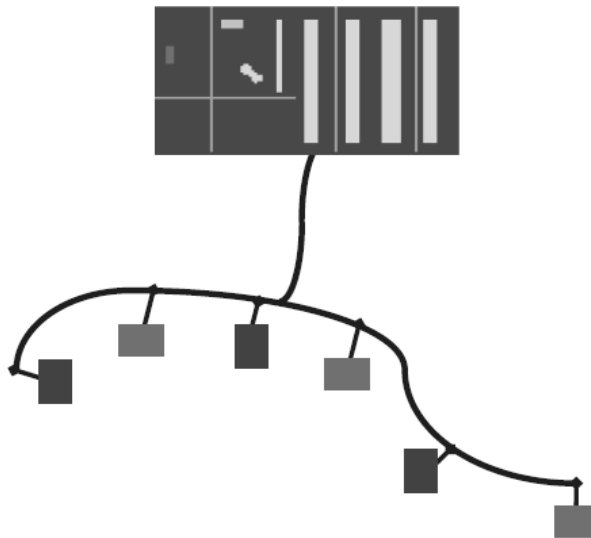


Figura 9.39. Modelo OSI simplificado utilizado en las redes de control.

Figura 9.38. Conexión de los dispositivos de campo con un autómata programable a través de una red o bus de campo (Cortesía de Siemens).

# Red Universal vs. Red Integrada

## Ethernet Industrial (Ethernet robustecida y tiempo rta. corto)

- 2: Enlace o acceso al medio: Ethernet (CSMA/CD)
- 3 y 4: Red y Transporte: TCP/IP
- 7: Aplicación: Modbus/TCP, EtherNet, IP, PROFINet

## TIPOS: Universal vs. Integrada

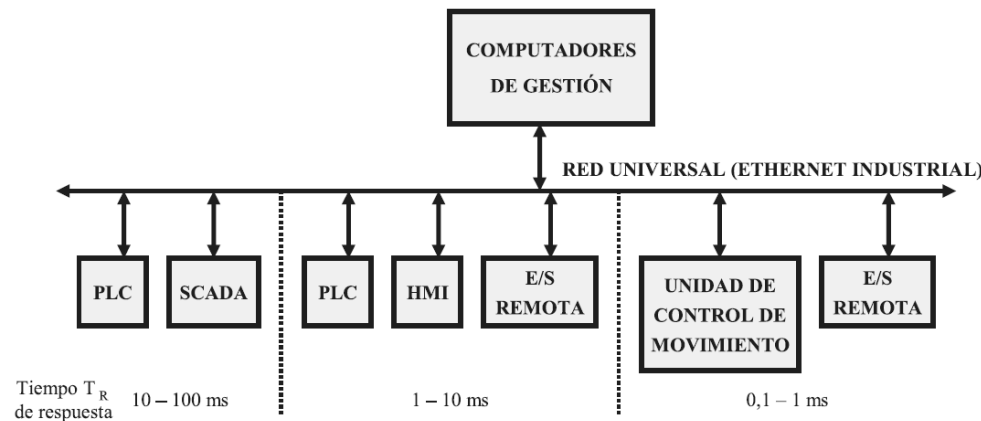


Figura 9.40. Diagrama de bloques del principio de funcionamiento de una red universal Ethernet Industrial.

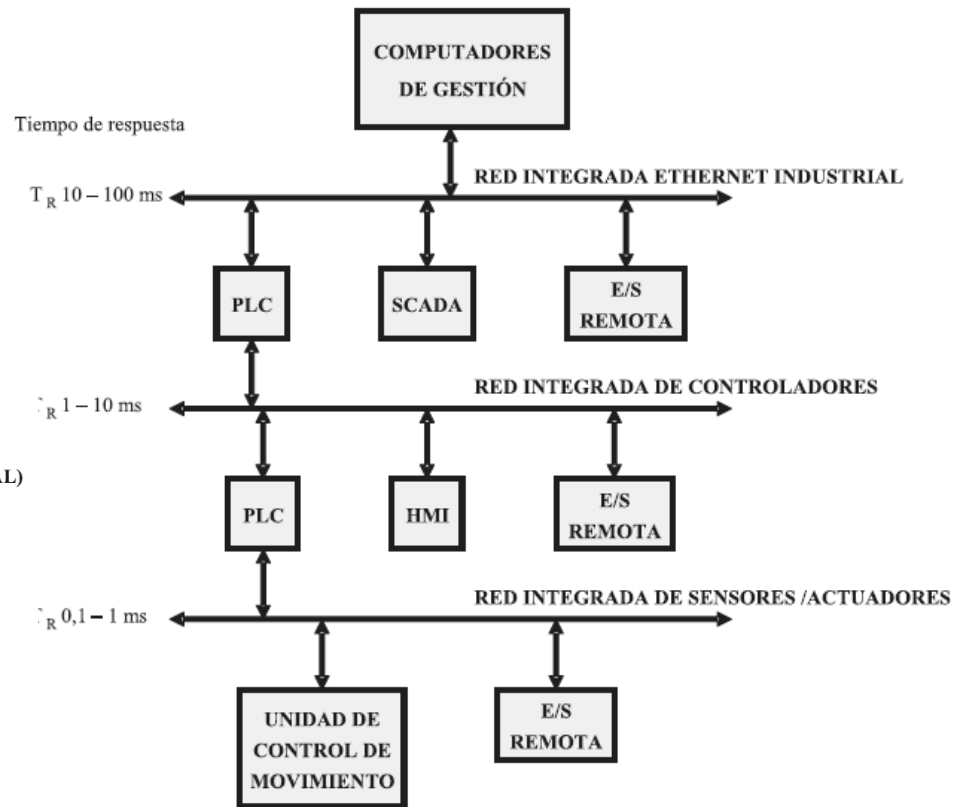
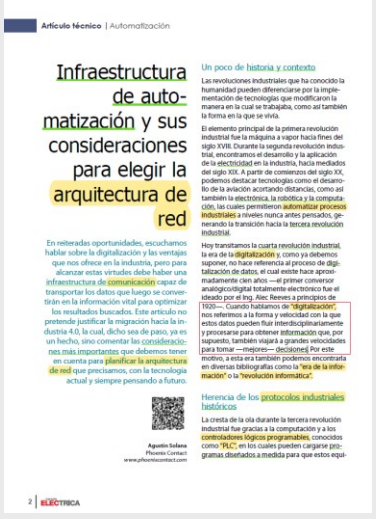


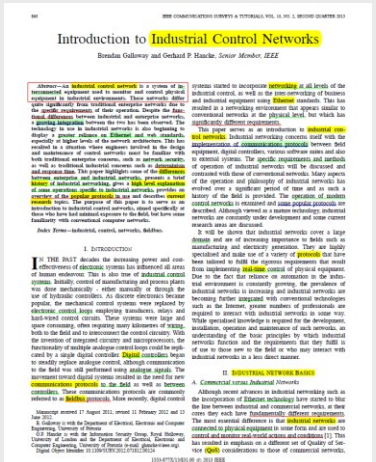
Figura 9.41. Diagrama de bloques del principio de funcionamiento de una red integrada Ethernet Industrial.

# Protocolos Industriales

- Leer (Material de Estudio):
  - [1] Solana, A., Infraestructura de Automatización y sus consideraciones para elegir la **Arquitectura de Red**. Revista Ingeniería Eléctrica, 2022 (Artículo Técnico). (leer Artículo Técnico Tutorial Aula Virtual)

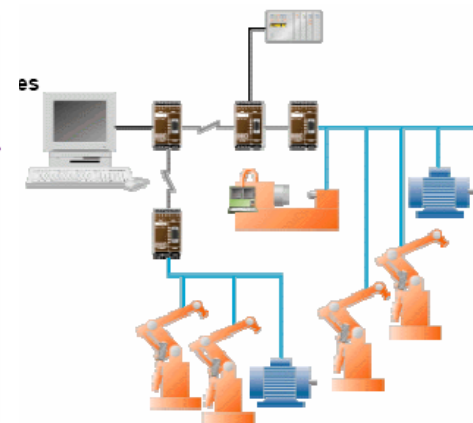
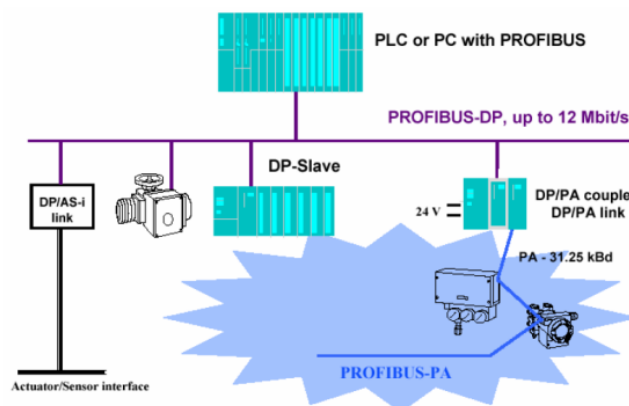


- [2] Galloway, B. et al, Introduction to **Industrial Control Networks**. IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 15 N°2, 2013. (leer Artículo Técnico Tutorial Aula Virtual)



## Unidad 4:

# Arquitecturas Distribuidas y Comunicaciones Industriales





# Arquitecturas Distribuidas y Comunicaciones Industriales

## *Plan de la Unidad 4:*

### **A. Arquitecturas Distribuidas**

- Control centralizado con estaciones remotas de I/O (periferia distribuida).
- Control descentralizado o distribuido (procesamiento distribuido).
- Redes de Control Industrial. Necesidades de comunicación: conceptos y definiciones básicas.

### **B. Buses de Campo y Protocolos Industriales**

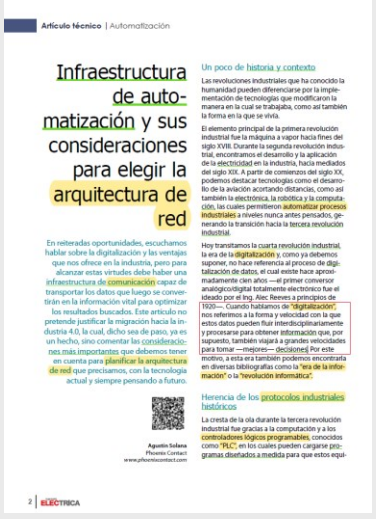
- Modelo de capas OSI. Medio físico y topologías de red.
- Protocolos industriales: tipos, ventajas, selección. Perfiles de comunicación.

### **C. Protocolos más usuales. Aplicaciones**

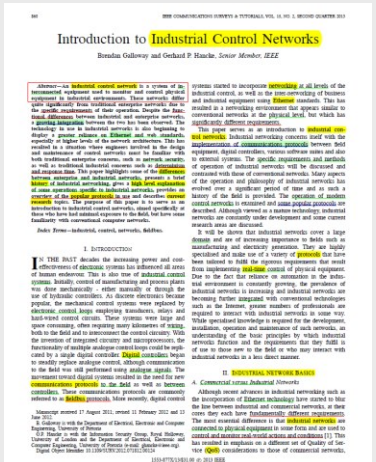
- Modbus. CAN.
- **Profibus, Profinet. OPC UA**
- Características y aplicaciones.

# Protocolos Industriales

- Leer (Material de Estudio):
  - [1] Solana, A., Infraestructura de Automatización y sus consideraciones para elegir la **Arquitectura de Red**. Revista Ingeniería Eléctrica, 2022 (Artículo Técnico). (leer Artículo Técnico Tutorial Aula Virtual)



- [2] Galloway, B. et al, Introduction to **Industrial Control Networks**. IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 15 N°2, 2013. (leer Artículo Técnico Tutorial Aula Virtual)



# PROFIBUS & PROFINET (PI)



## PROFIBUS & PROFINET International (PI) <https://www.profibus.com/>

- the most influential interest group in the field of **industrial communication** and responsible for **PROFIBUS** and **PROFINET**, two of the most important enabling technologies in automation today.
- PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. (PNO), based Karlsruhe GERMANY, since 1989.

### Web-based Training (short courses):

#### PROFIBUS Planning:

[https://www.profibus.com/WBT/PROFIBUS\\_HTML5/index/index.html](https://www.profibus.com/WBT/PROFIBUS_HTML5/index/index.html)

##### Overview

Chapter 1: Design

Chapter 2: Planning the PROFIBUS DP cabling

Chapter 3: Planning the PROFIBUS PA cabling

Chapter 4: Special requirements

Chapter 5: Bus cycle time



#### PROFINET Planning:

<https://www.profibus.com/WBT/HTML5WBTPROFINET/index/index.html>

##### Introduction to this Web-Based-Training

Chapter 1: Analysis and Preliminary Considerations

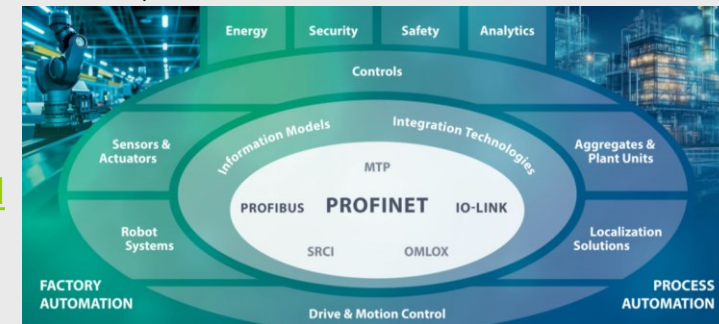
Chapter 2: Network Topology

Chapter 3: Special Design Aspects

Chapter 4: Performance Considerations

Chapter 5: Planning of Additional Functions

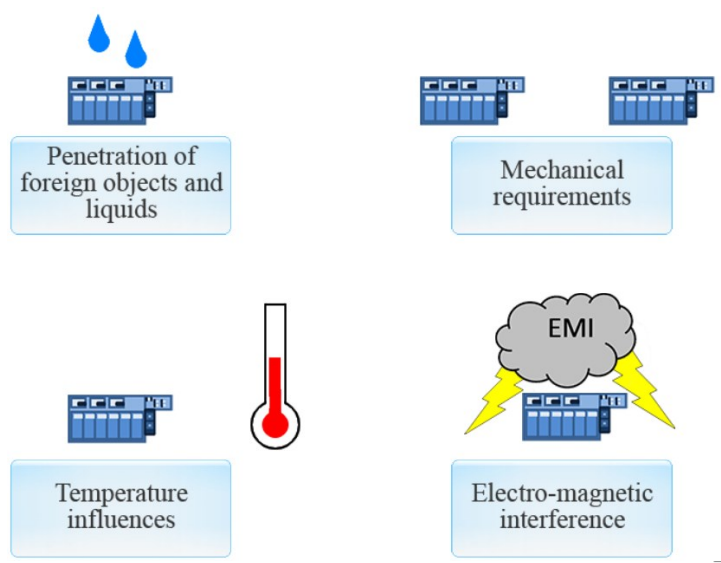
Chapter 6: Definition of Device Parameters



PROFIBUS & PROFINET (PI)

  
PROFIBUS • PROFINET

Selección de dispositivos: Requerimientos **Ambiente Industrial**



**Grado de protección IP (Ingress Protection Class):**  
[International Protection Marking] protección frente a **ingreso de objetos sólidos/polvo** e **ingreso de líquidos**  
(depende de ambiente, en gabinete ej. IP20 o ext IP65)

IP 65

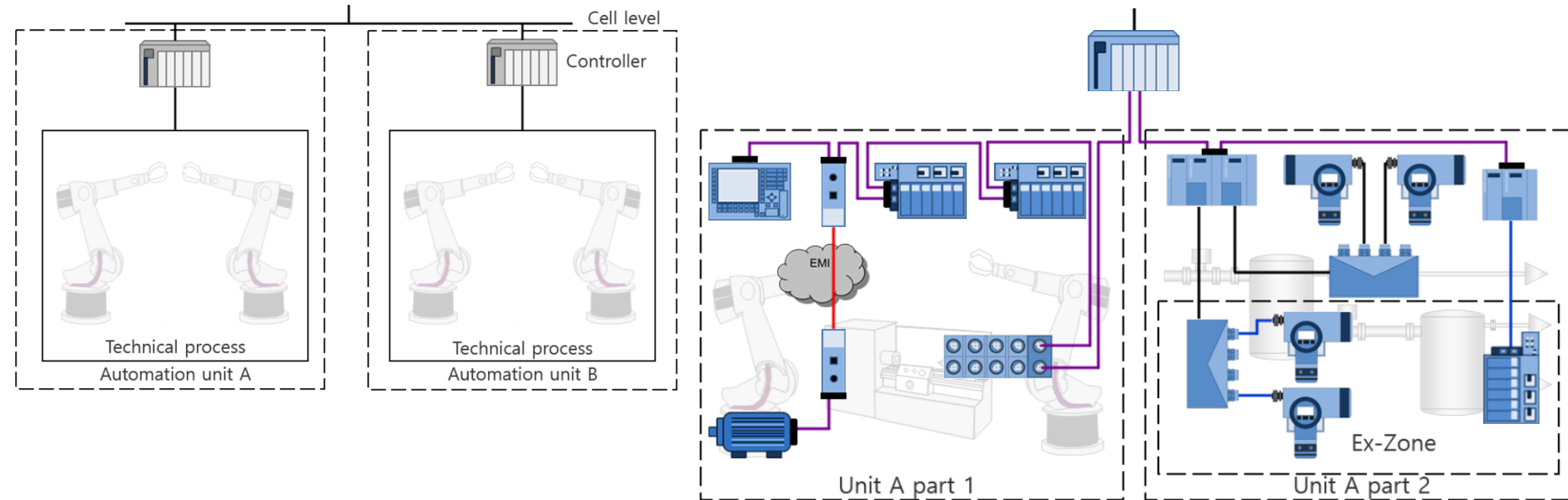
| κ / γ | Ingress of solid objects and dust | Ingress of liquids                       |
|-------|-----------------------------------|------------------------------------------|
| 0     | no protection                     | no protection                            |
| 1     | solid objects over 50 mm          | vertically drops of water / condensation |
| 2     | solid objects over 12.5 mm        | drops of water 15° from vertical         |
| 3     | solid objects over 2.5 mm         | drops of water 60° from vertical         |
| 4     | solid objects over 1 mm           | water from any direction                 |
| 5     | limited protection against dust   | low pressure water jets                  |
| 6     | total protection against dust     | high pressure water jets                 |
| 7     | N/A                               | short immersion in water                 |
| 8     | N/A                               | long immersion in water                  |

Requerimientos mecánicos:  
Shock (golpes) y Vibración

# PROFIBUS & PROFINET (PI)



Planta a automatizar: ejemplos de Unidades de Automatización

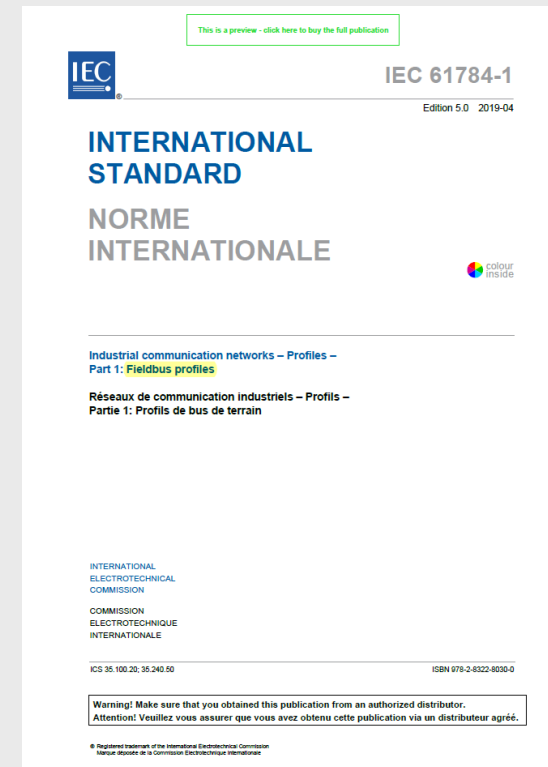
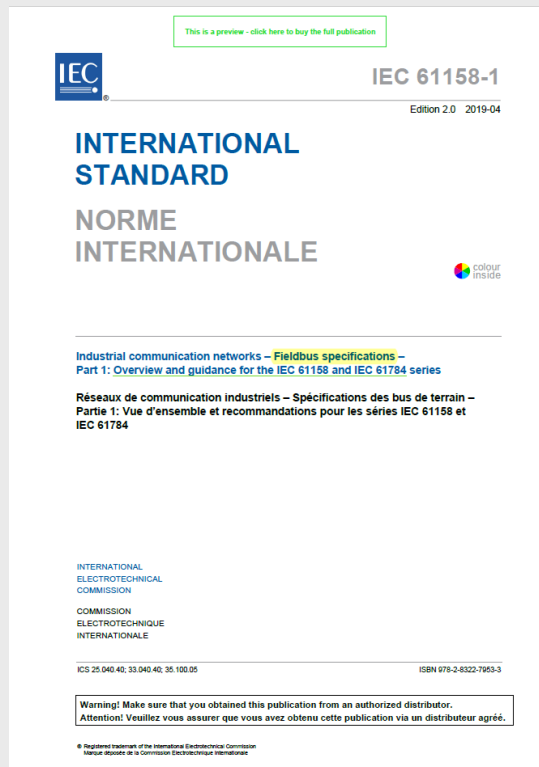


# PROFIBUS



## PROFIBUS: Standard PROcess Field BUS

- Uno de los más exitosos **buses de campo** para **comunicación industrial**.
- Protocolo de comunicación único, estandarizado, **independiente de la aplicación y del proveedor de equipamiento**; soporta soluciones de bus de campo tanto en automatización de fábricas y procesos, así como control de movimientos y tareas relacionadas a seguridad.
- Estandarizado en **IEC 61158 e IEC 61784**: Communication Profile Family 3 (PROFIBUS & PROFINET)





# PROFIBUS DP

## Profibus Communication Protocol:

**DP:** Distributed Periphery (Master - Slaves)

**PA:** Process Automation

(diferentes tecnologías →

**DP/PA coupler:** otro

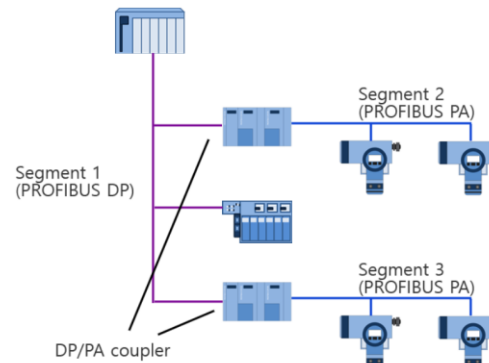
Nodo de la red)

**DP-V0/V1/V2:**

- Slave to slave communication
- Isochronous mode
- Other functions like clock

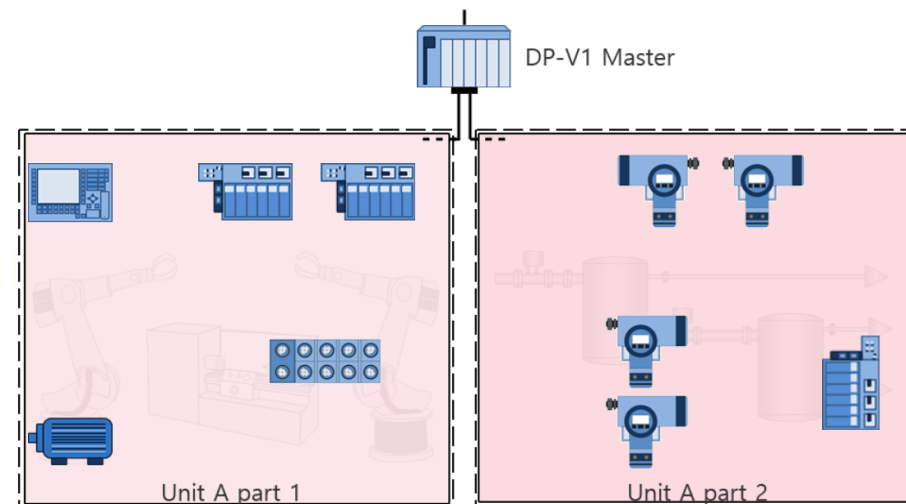
- Acyclic data exchange

- Cyclic data exchange
- Diagnostic functions



|                             | PROFIBUS DP                                                    | PROFIBUS PA                                                                            |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Automation branch           | Factory automation and process automation                      | Process automation                                                                     |
| Typical devices connected   | Remote I/Os, actuators, balances, dosing units, display panels | Analog sensors (e.g. for pressure or temperature), analog actuators (e.g. positioners) |
| No. of busnodes per segment | Up to 32                                                       | Non-hazardous areas: Up to 32<br>Hazardous areas: 16 or <10                            |

- you can couple segments by using repeaters
- Hazardous areas: See printed documentation

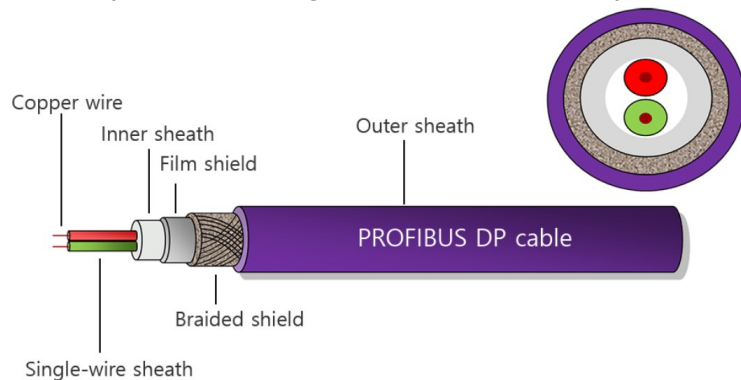


# PROFIBUS DP



## Data Transmission Rate vs Distance:

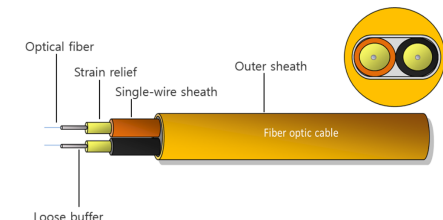
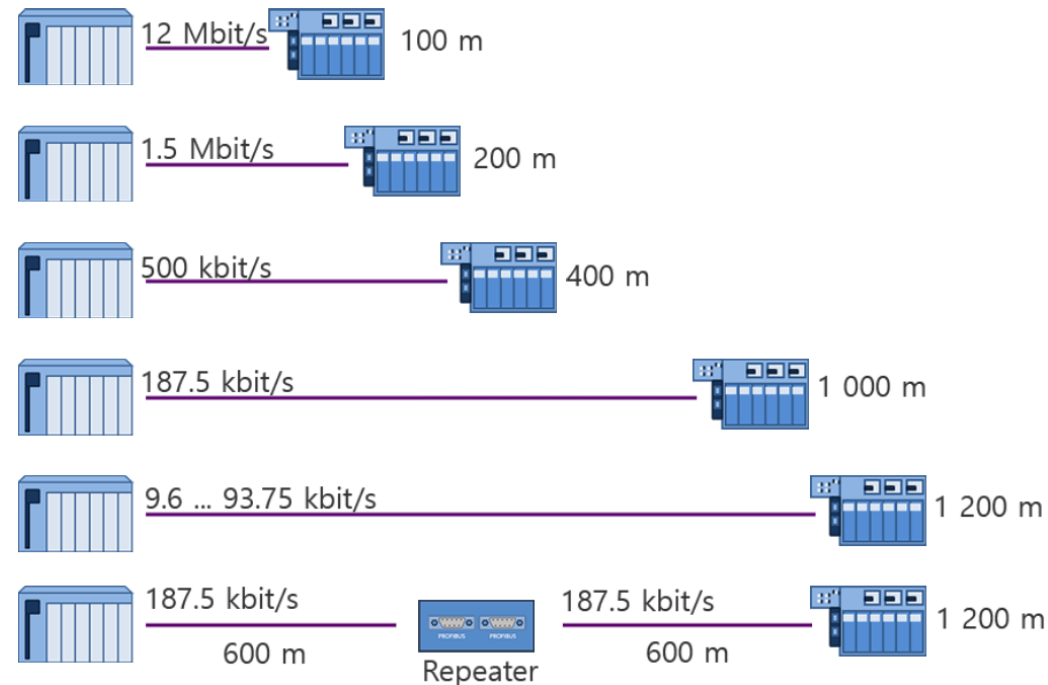
**Profibus DP Cable de Cobre** (RS-485): **velocidad de comunicación configurable** (pasos definidos) dependiendo de **distancia máx.**; debe ser idéntica para todos los segmentos de la red (máx. 9 segmentos por red).



Max. Distancia por segmento: 1200m  
(a baja velocidad 9.6 ... 93.75 kb/s)

**Repetidores** → múltiples segmentos  
p/ mayores distancias (o mayor velocidad)

**Profibus DP Cable de F.O.:** mayores distancias, EMI/EMC,  
distancia máx. independiente de velocidad de comunicación.



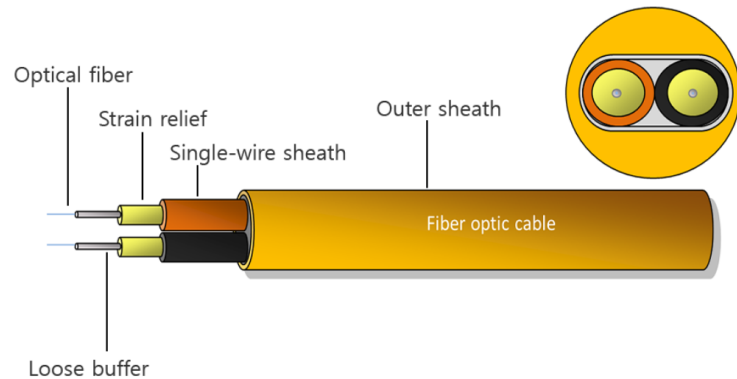
# PROFIBUS DP



## Data Transmission Rate vs Distance:

**Profibus DP Cable de F.O.:** distancia máx. independiente de velocidad de comunicación;

**12 Mb/s** comparación cobre vs. F.O.



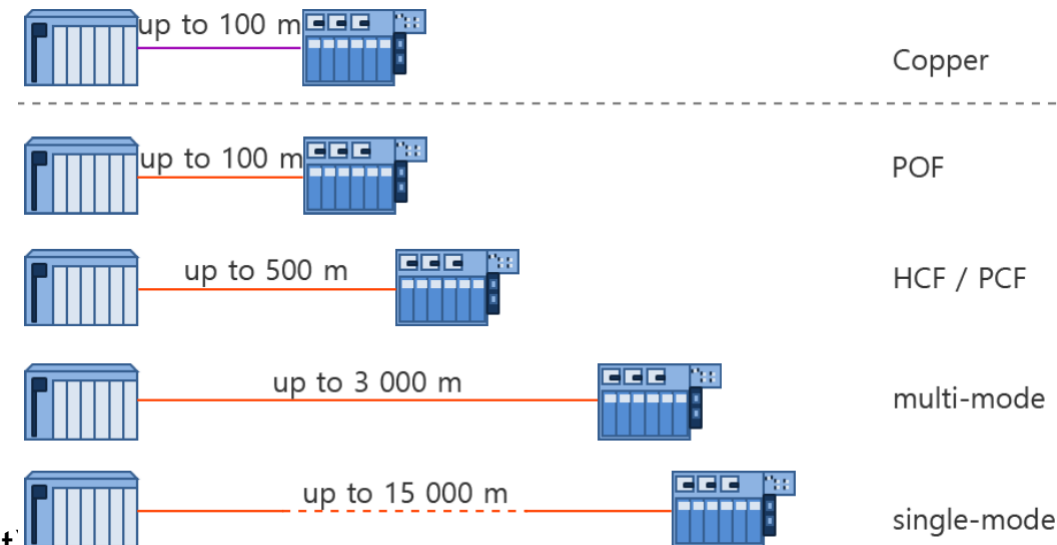
depende de tecnología de F.O.:

- POF (plastic fiber)
- HCF / PCF (glass fiber w/plastic jacket,
- Glass fiber (multi-/single-mode)

(fibra de vidrio: más caras y complicadas de conectar y manipular que fibra de plástico)

**Ventajas de F.O.:** mayores distancias, EMI/**EMC**, permite conectar áreas con diferentes potenciales de tierra sin problemas (no hay interferencias de modo común por malla).

**Desventajas de F.O.:** más costoso y frágil, más difícil manipulación y conectorización.

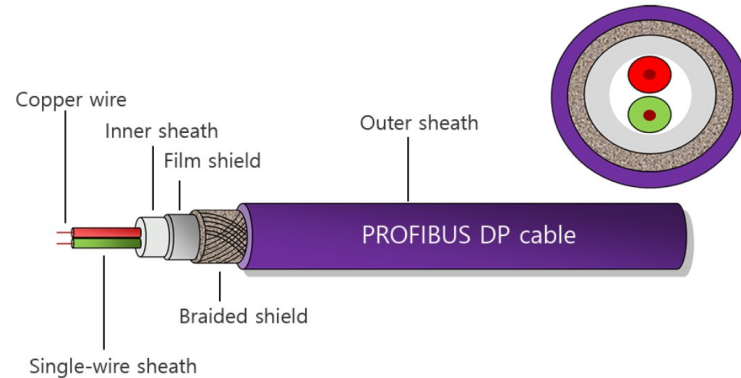


# PROFIBUS DP

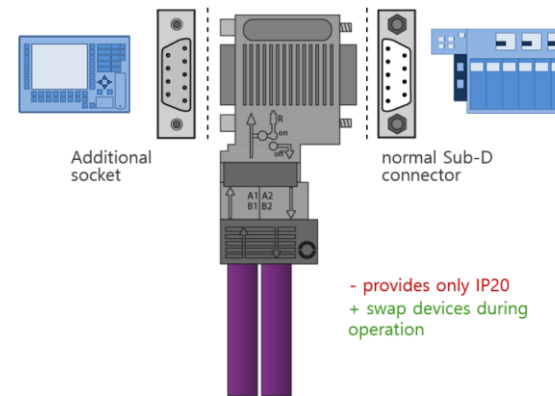


## Cableado de Conexión entre nodos:

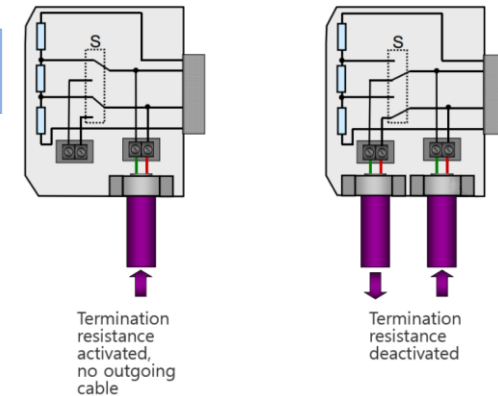
**Profibus DP Cable de Cobre (RS-485):** **Conectores Sub-D (DB-9) standard (IP20)**



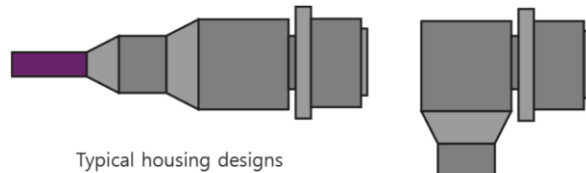
conector doble (opcional)



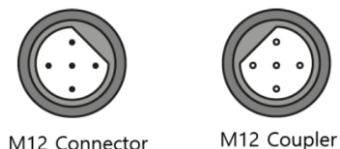
**Resistor fin de línea**



**Conectores M12 (IP65)**

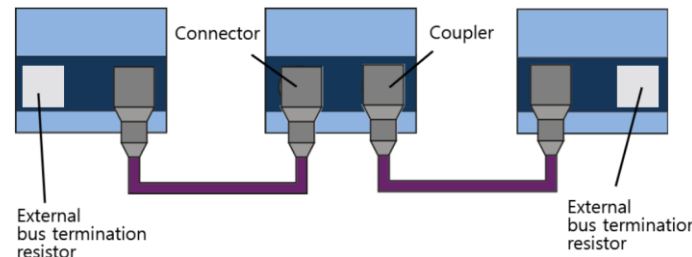


- no integrated switchable terminating resistors
- different housing design
- different connection method

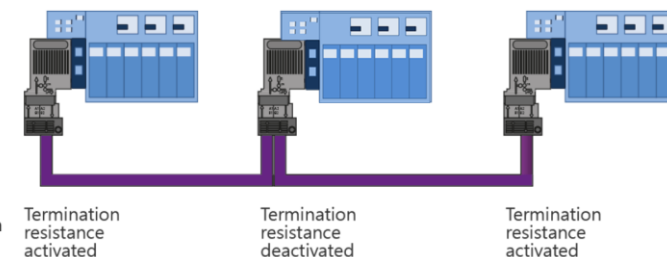


## Ejemplos de Conexión entre nodos:

**M12 (IP65)**



**Sub-D (standard)**

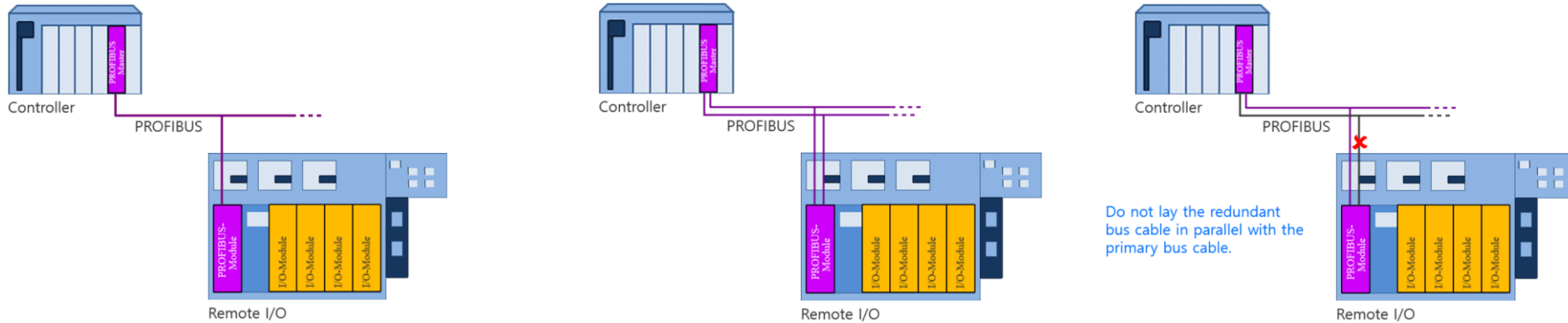


# PROFIBUS DP



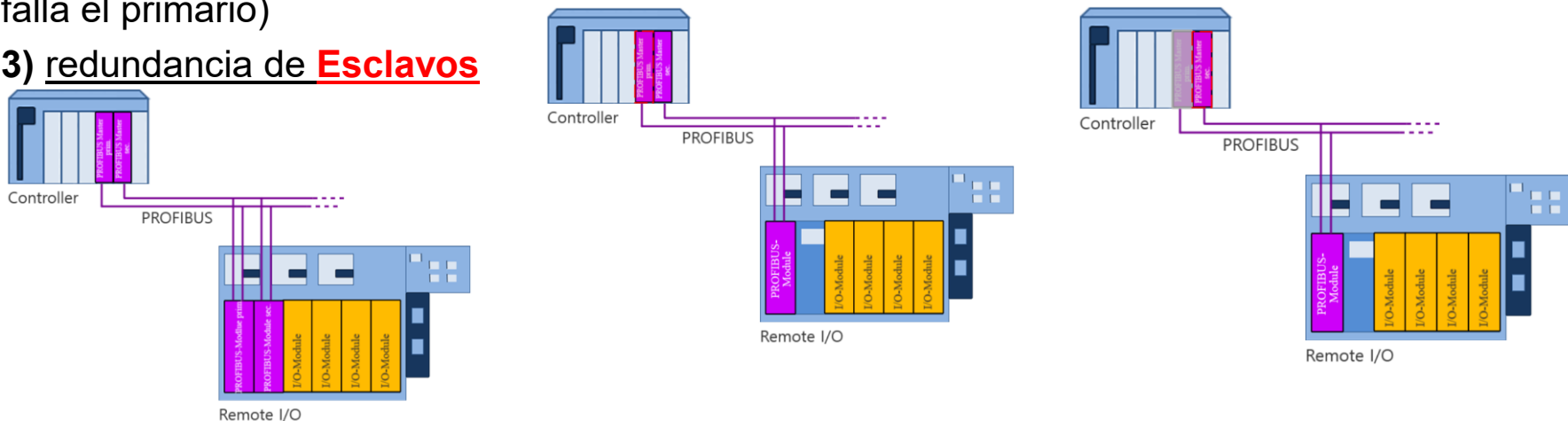
**Redundancia:** (aumenta Disponibilidad)

Conexión estándar → 1) redundancia de Cableado o Línea (separar recorrido de cables!)



→ 2) redundancia de Maestros (2 maestros: primario + redundante, que sólo se comunica si falla el primario)

→ 3) redundancia de Esclavos

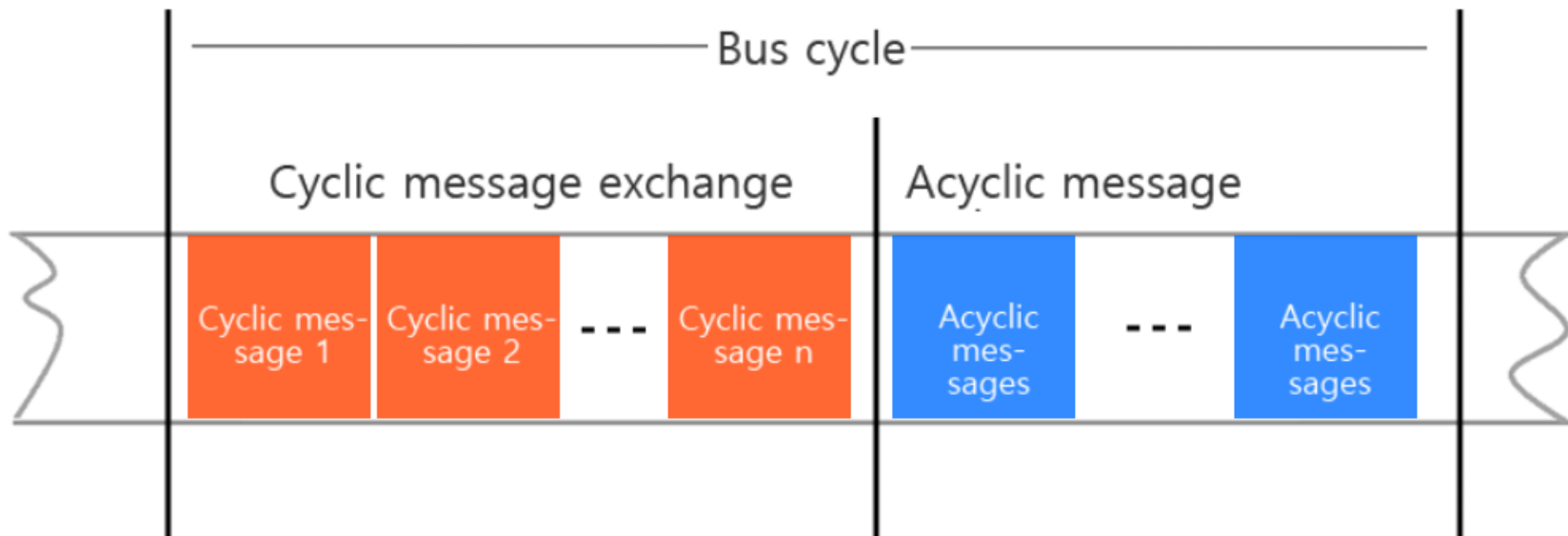


# PROFIBUS DP



## Bus Cycle Time: (Tiempo de ciclo)

Ciclo de comunicación del Bus: Intercambio de todos los datos (mensajes) entre Maestro y Esclavos, o entre Esclavos entre sí: mensajes cíclicos (periódicos) / acíclicos (eventos)

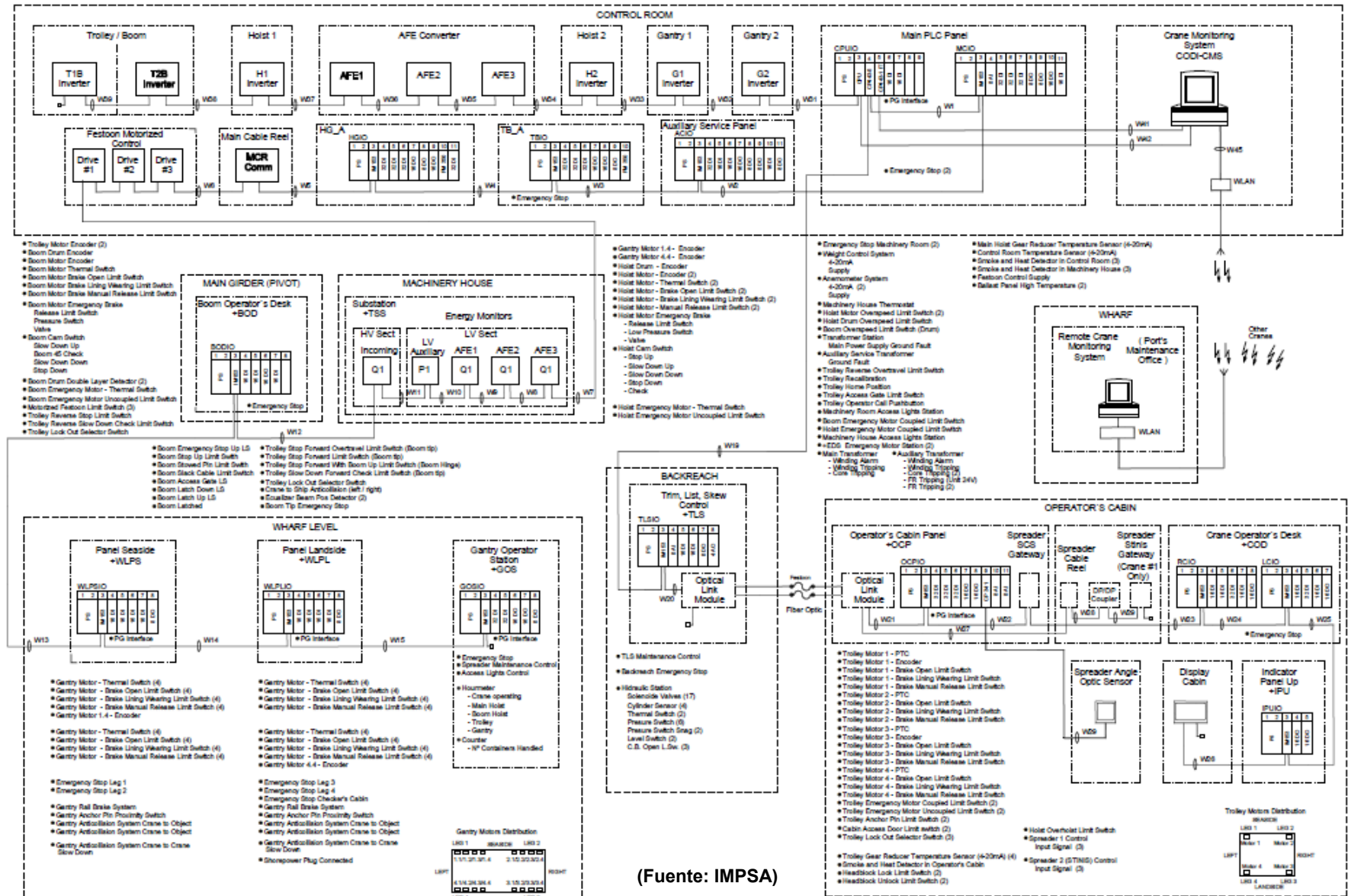


- to reduce the cycle time, you have to:
  - reduce the amount of slaves
  - reduce the data volume
  - raise the transmission rate



# 4. Comunicaciones Industriales C. PROTOCOLOS INDUSTRIALES

## PROFIBUS DP Ej.: Control de Grúa Portuaria



(Fuente: IMPSA)

# PROFINET



**Profibus** Comm. Protocol **over Ethernet**:

**the leading Industrial Ethernet Standard**

## PROFINET Introduction

<https://www.youtube.com/watch?v=htoCzxLyJtU&t=1s> (Video 3:59 min., 19-2-2018)

A **PROFIBUS** vs **PROFINET** Comparison - Key Differences and Similarities

<https://www.youtube.com/watch?v=JeEug0IL17s> (Video 8:25 min., 30-6-2020)

**PROFINET** vs. **Ethernet**: Complementing or Competing Technologies? Complete -Comparison

<https://www.youtube.com/watch?v=haDKT2kZnLA> (Video 6:43 min., 27-7-2020)

# PROFINET



**Profibus** Comm. Protocol **over Ethernet**:

**the leading Industrial Ethernet Standard**

**PROFINET** vs. **Ethernet**:

Complementing Technologies

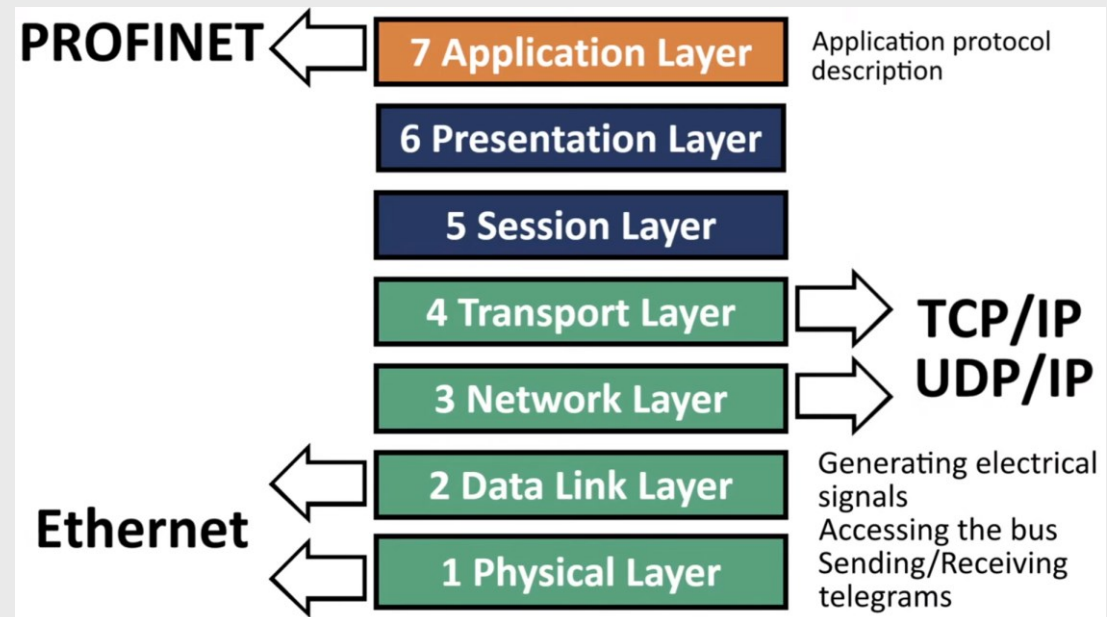
**PROFINET** vs. **Ethernet**:

Complementing or Competing Technologies?

Complete -Comparison

<https://www.youtube.com/watch?v=haDKT2kZnLA>

(Video 6:43 min., 27-7-2020)



A Complete Comparison: **PROFINET** Real Time vs. **PROFINET Isochronous** Real Time

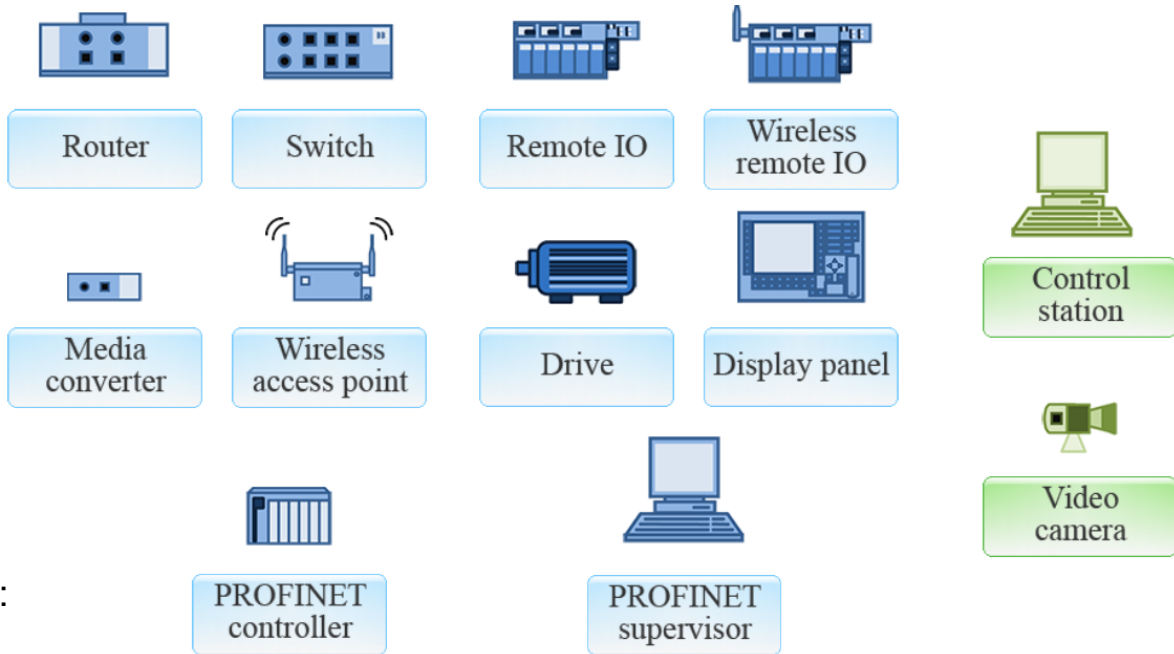
<https://www.youtube.com/watch?v=zB8POdjBsLA> (Video 5:51 min., 7-8-2021)

# PROFINET



## Dispositivos usuales en red PROFINET:

- **Router:** componente de red para interconectar tráfico de datos entre diferentes sub-redes.
- **Switch:** componente de red para interconexión de varios dispositivos PROFINET.
- **Media Converter:** componente de red para convertir de un medio físico a otro (ej. cobre a F.O.)
- **Remote IO / Drive / Display panel:** dispositivos de campo asignados remotamente a un IO controller
- **Wireless remote IO / access point:** conectividad inalámbrica.
- **PROFINET Controller:** dispositivo (típicamente una Unidad de Control o CPU) que inicia tráfico de datos.
- **Control Station:** PC standard con funciones de control
- **PROFINET Supervisor:** PC o estación de ingeniería con funciones de comisionamiento y diagnóstico para PROFINET IO.



# PROFINET

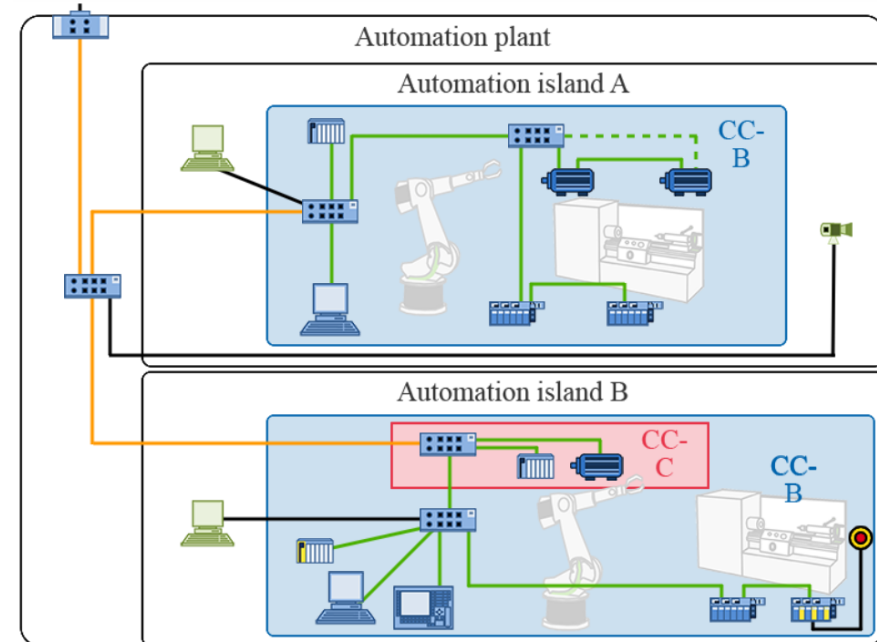
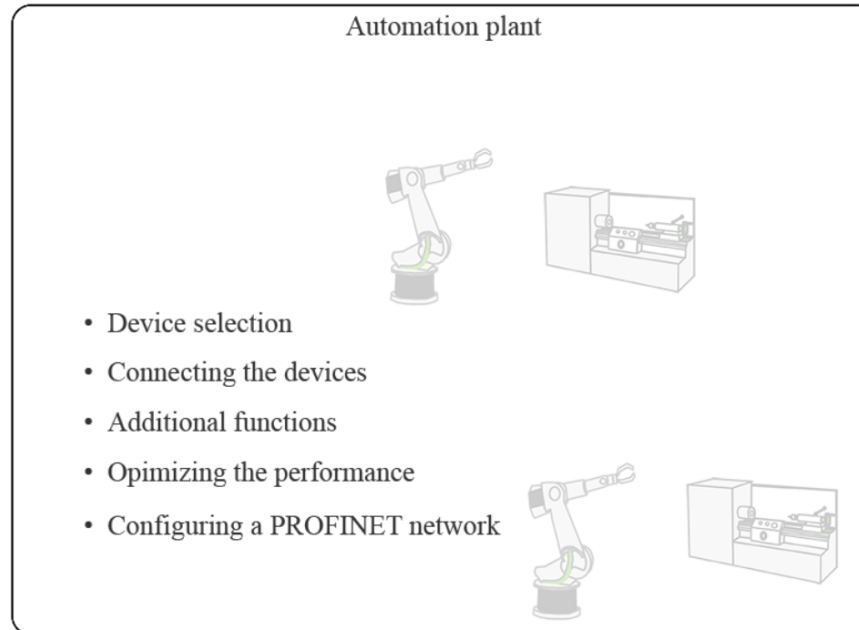


## Ejemplo: Automatización con PROFINET

- Planta a automatizar



- Planta Automatizada c/ red PROFINET



## PROFINET Design and Installation Guidelines

- PROFINET Design Guideline
- PROFINET Guideline for Cabling and Assembly
- PROFINET Guideline for Commissioning

[https://www.profibus.com/download/profinet-installation-guidelines/?return\\_url=download%252Finstallation-guide%252F](https://www.profibus.com/download/profinet-installation-guidelines/?return_url=download%252Finstallation-guide%252F)



# PROFINET

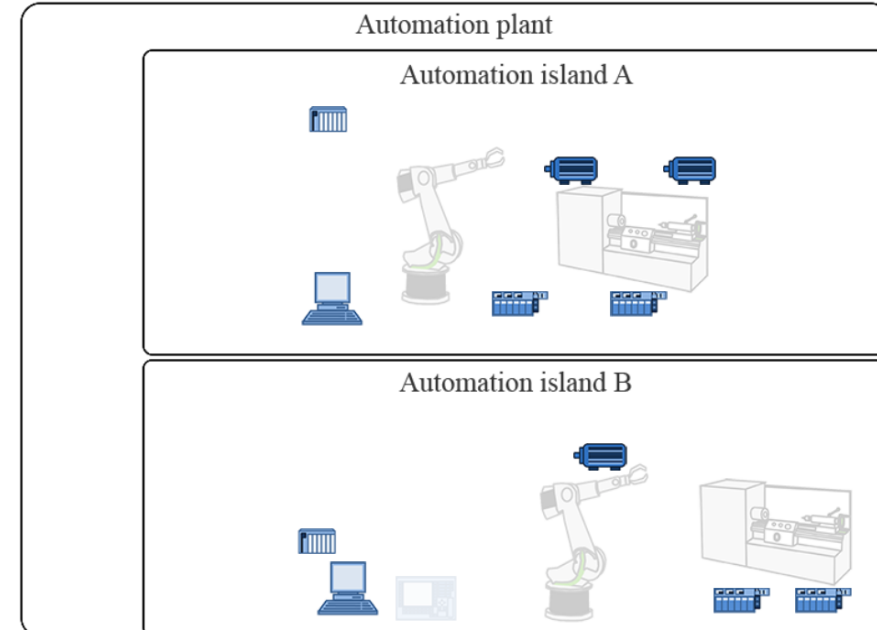
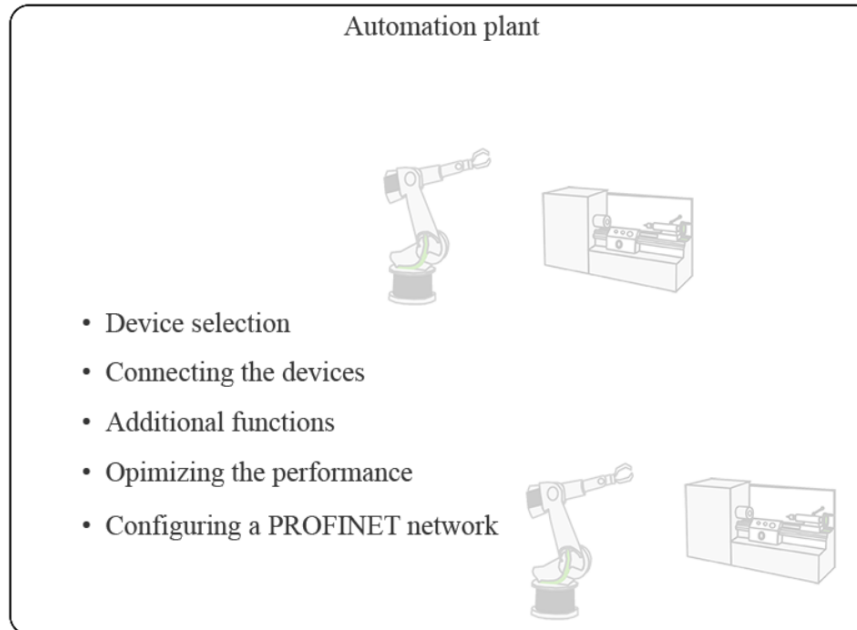


## Ejemplo: Automatización con PROFINET

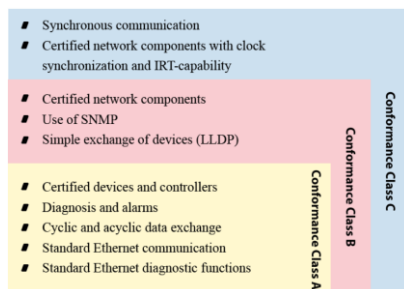
- Planta a automatizar



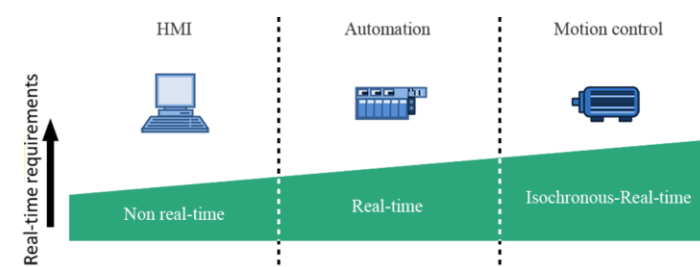
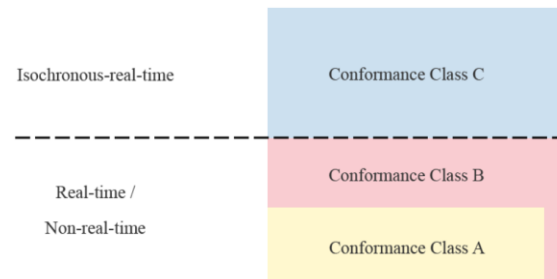
Selección de dispositivos:



### Conformance Classes A/B/C



### Real-Time requirements



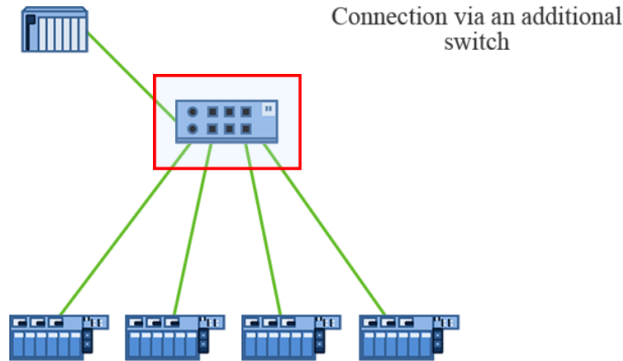


# PROFINET

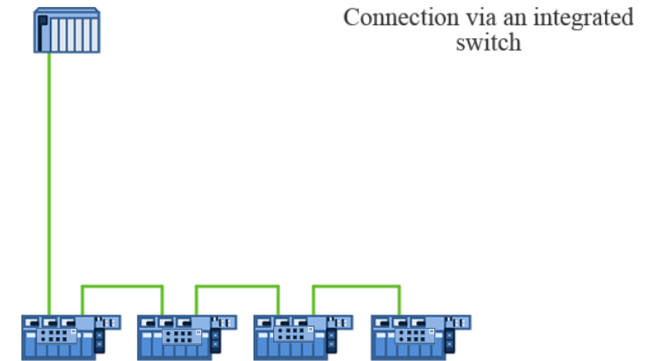


## Conexión: Switches

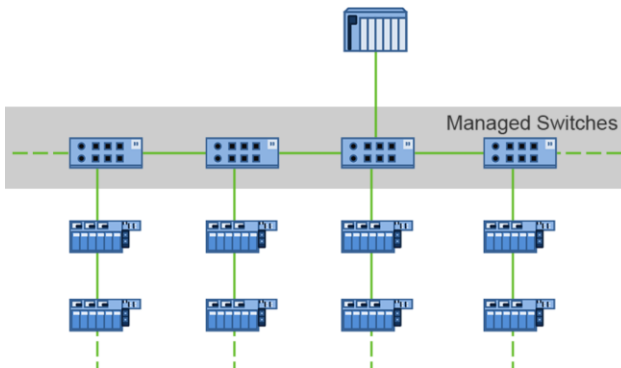
### Switch separado adicional



### Switches integrados a dispositivos remotos



**Switches** no gestionados vs **Gestionados**: acceso de usuario via web interface p/configuración, SNMP (Simple Network Management Protocol), redundancia, diagnóstico.



# PROFINET

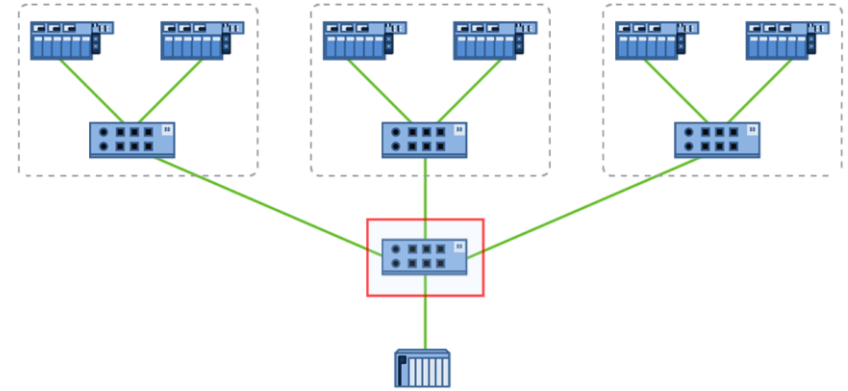
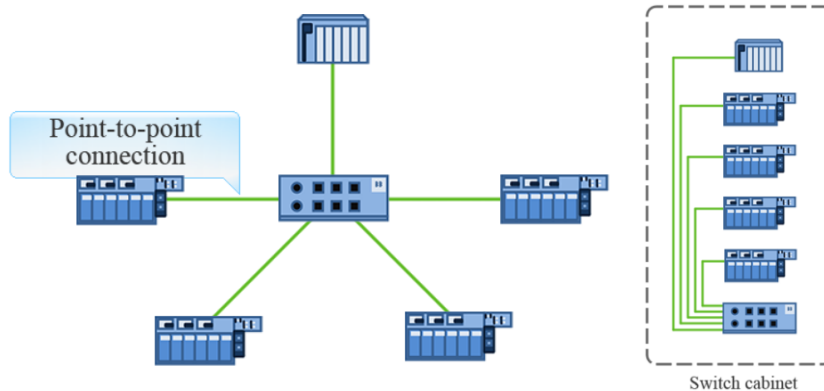


## Conexión c/Switches: Estructuras de red

Topología **Estrella (Star)**: Switch es crítico



Topología **Árbol (Tree)**: varias topologías estrella

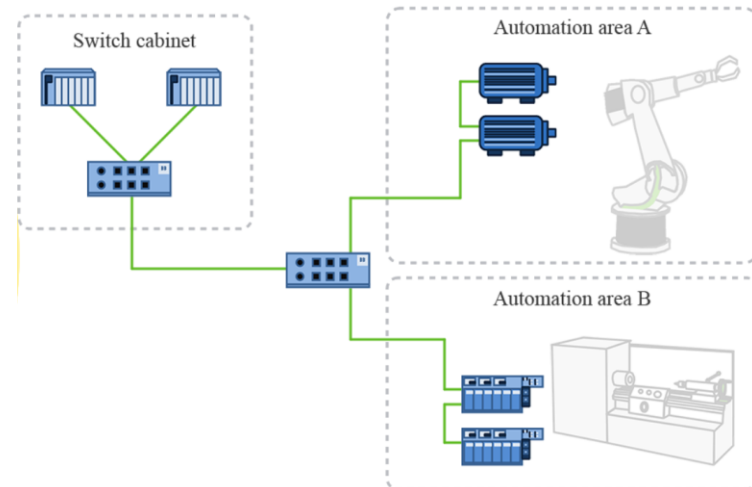


Topología **Línea o Guirnalda** (switches integrados)

→ muy usado, emula red Profibus



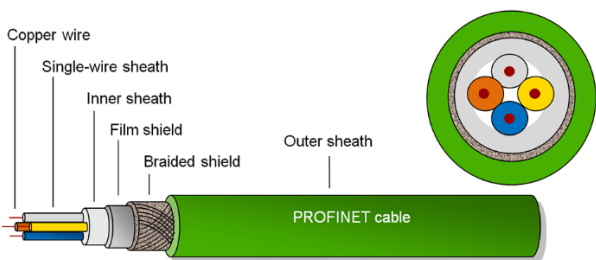
Ejemplo de **Topología combinada**



# PROFINET

## Medios de Transmisión:

### PROFINET Cable de Cobre (Ethernet Industrial)



- Type A: Fixed installations  
Not subject to any motion after being installed.
- Type B: Flexible installations  
Allows for occasional motion or vibrations.
- Type C: Special installations  
Designed for continuous movement of the cable after being installed

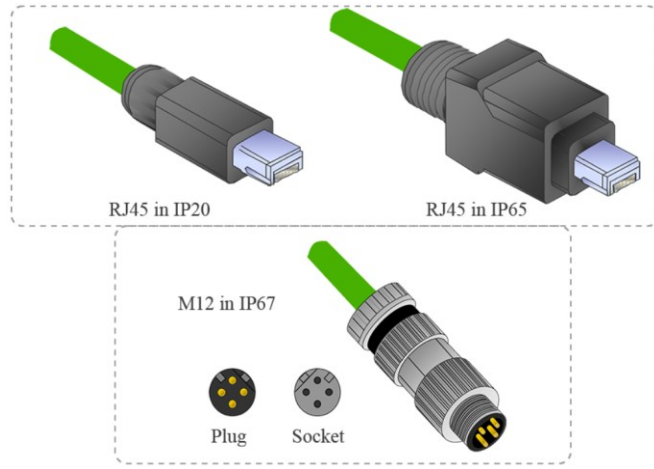
The typical permissible length of Type B and C cables is 100 meters.

| Signal | Designation     | PROFINET cable wire color | Ethernet cable wire color <b>TIA 568 B</b> | RJ45 assignment |
|--------|-----------------|---------------------------|--------------------------------------------|-----------------|
| TD+    | Transmit data + | Yellow                    | Orange/white                               | 1               |
| TD-    | Transmit data - | Orange                    | Orange                                     | 2               |
| RD+    | Receive data +  | White                     | Green/white                                | 3               |
| RD-    | Receive data -  | Blue                      | Green                                      | 6               |

| Signal | Designation     | PROFINET cable wire color | Ethernet cable wire color <b>TIA 568 A</b> | RJ45 assignment |
|--------|-----------------|---------------------------|--------------------------------------------|-----------------|
| TD+    | Transmit data + | Yellow                    | Green/white                                | 1               |
| TD-    | Transmit data - | Orange                    | Green                                      | 2               |
| RD+    | Receive data +  | White                     | Orange/white                               | 3               |
| RD-    | Receive data -  | Blue                      | Orange                                     | 6               |



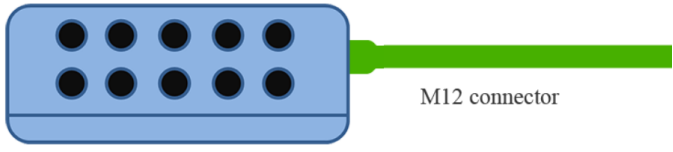
### Conectores Ethernet (RJ45 vs M12)



### Remote I/O with RJ45 push-pull socket



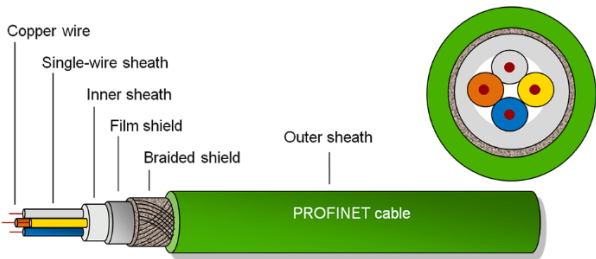
### IP67 Switch with M12 sockets



# PROFINET

## Medios de Transmisión:

### PROFINET Cable de Cobre (Ethernet Industrial)



Type A: Fixed installations  
Not subject to any motion after being installed.

Type B: Flexible installations  
Allows for occasional motion or vibrations.

Type C: Special installations  
Designed for continuous movement of the cable after being installed

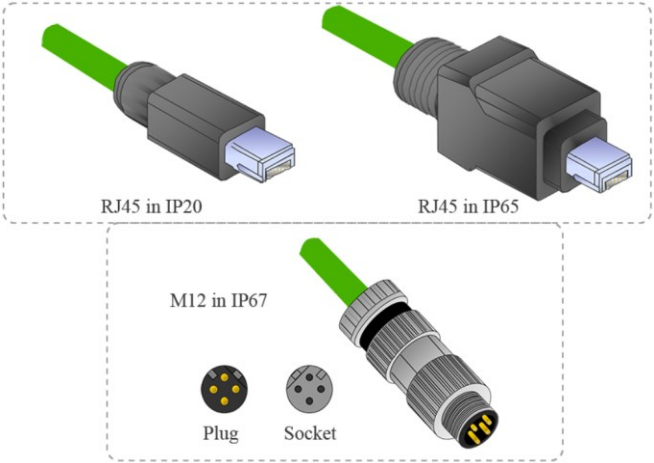
The typical permissible length of Type B and C cables is 100 meters.

| Signal | Designation     | PROFINET cable wire color | Ethernet cable wire color <b>TIA 568 B</b> | RJ45 assignment |
|--------|-----------------|---------------------------|--------------------------------------------|-----------------|
| TD+    | Transmit data + | Yellow                    | Orange/white                               | 1               |
| TD-    | Transmit data - | Orange                    | Orange                                     | 2               |
| RD+    | Receive data +  | White                     | Green/white                                | 3               |
| RD-    | Receive data -  | Blue                      | Green                                      | 6               |

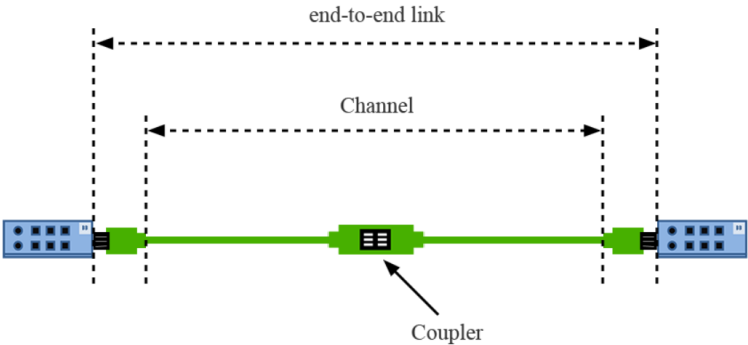
| Signal | Designation     | PROFINET cable wire color | Ethernet cable wire color <b>TIA 568 A</b> | RJ45 assignment |
|--------|-----------------|---------------------------|--------------------------------------------|-----------------|
| TD+    | Transmit data + | Yellow                    | Green/white                                | 1               |
| TD-    | Transmit data - | Orange                    | Green                                      | 2               |
| RD+    | Receive data +  | White                     | Orange/white                               | 3               |
| RD-    | Receive data -  | Blue                      | Orange                                     | 6               |



### Conectores Ethernet (RJ45 vs M12)



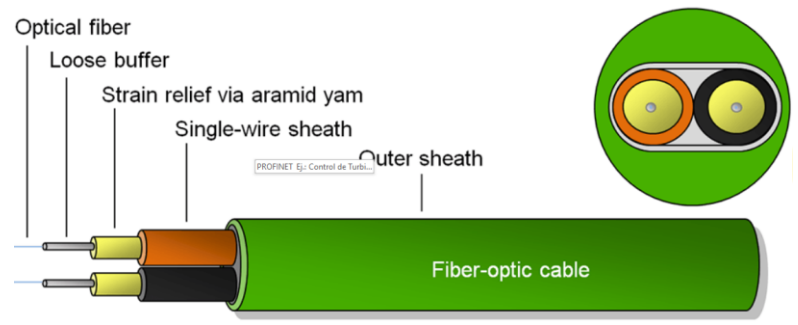
### Enlace punta a punta (End-to-End Link) entre 2 Dispositivos activos



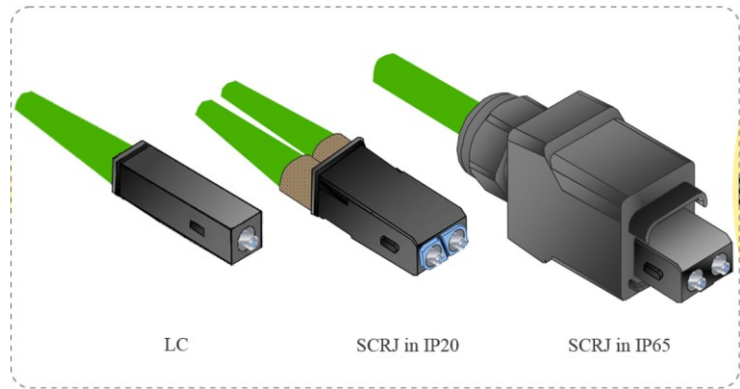
# PROFINET

## Medios de Transmisión:

PROFINET Cable de F.O. (Ethernet Industrial)



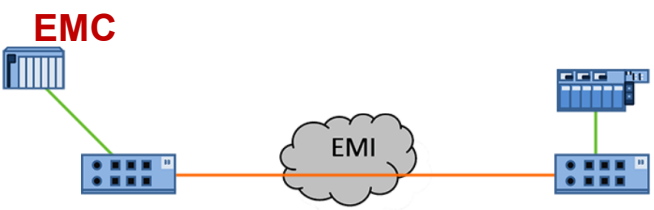
Conectores F.O. Ethernet (SCRJ vs LC)



### Máxima Longitud de Cableado:

depende de tecnología de F.O.:

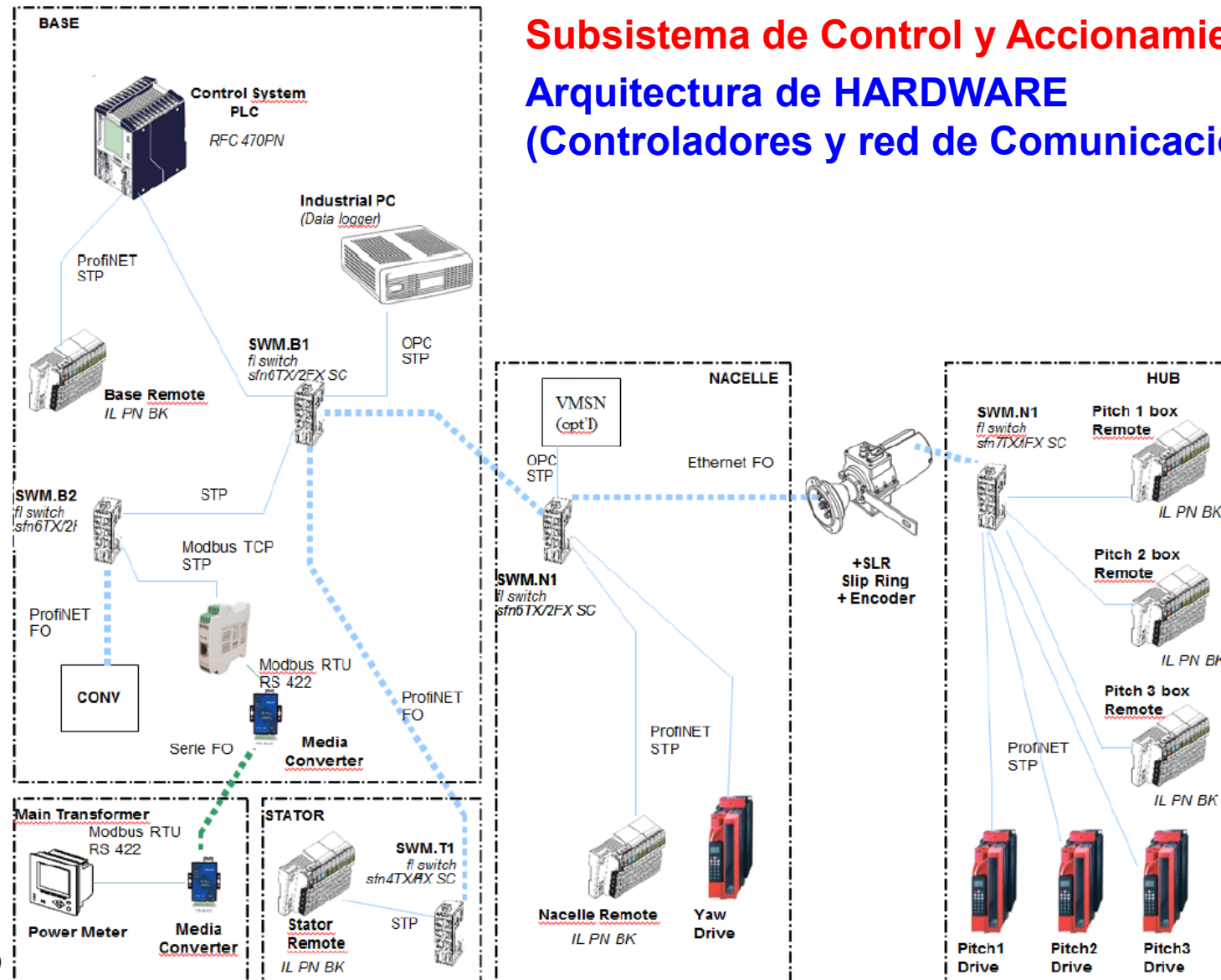
- POF (plastic fiber)
  - HCF / PCF (glass fiber w/plastic jacket)
  - Glass fiber (multi-/single-mode)
- (fibra de vidrio: más caras y complicadas de conectar y manipular que fibra de plástico)



|  |             |                |
|--|-------------|----------------|
|  | Copper      | up to 100 m    |
|  | POF         | up to 50 m     |
|  | HCF / PCF   | up to 100 m    |
|  | multi-mode  | up to 2 000 m  |
|  | single-mode | up to 14 000 m |

# PROFINET Ej.: Control de Turbina Eólica

## Subsistema de Control y Accionamiento Arquitectura de HARDWARE (Controladores y red de Comunicaciones)



(Fuente: IMPSA)



# OPC UA (Unified Architecture)



**OPC:** [ OPC Foundation <https://opcfoundation.org/> ]

Norma independiente o abierta p/ intercambio de datos confiable y seguro entre dispositivos de automatización industrial de múltiples proveedores.

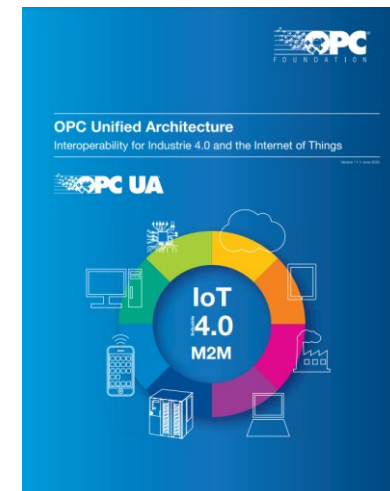
Especificaciones que definen **interface entre Clientes y Servidores**, etc.: acceso a datos en Tiempo Real, monitoreo de Eventos y Alarmas, datos Históricos, etc.

**1996 – OPC Classic:** interfaz estándar para **Windows** (**OLE for Process Control**), indep. de protocolos específicos de PLC (Modbus, Profibus, etc.)→**HMI, SCADA**, etc.

**Actual – OPC UA (Unified Architecture):** (**IEC 62541**)

“the Industrial Interoperability Standard”

**OPC = Open Platform Communications**



# OPC UA (Unified Architecture)



**OPC UA (Unified Architecture): (IEC 62541)**

**“the Industrial Interoperability Standard”**

**OPC = Open Platform Communications**

**OPC Foundation:** <https://opcfoundation.org/>

## Introduction:

**What is OPC?** <https://opcfoundation.org/about/what-is-opc/>

**What is OPC? UA in a Minute**

<https://www.youtube.com/watch?v=-tDGzwsBokY> (Video 1:36 min., 15-6-2015)

**OPC UA: Interoperability for Industrie 4.0 and the IoT**

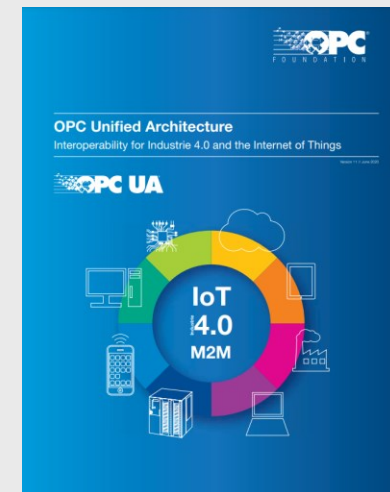
(pdf 56 pages, June 2020)

<https://opcfoundation.org/wp-content/uploads/2017/11/OPC-UA-Interoperability-For-Industrie4-and-IoT-EN.pdf>

**OPC UA & CODESYS | Webinar | English vs Deutsch**

<https://www.youtube.com/watch?v=RBMff-IIPA4> (Video 47:49 min., 6-8-2021)

<https://www.youtube.com/watch?v=aJhzN3Uk-Do> (Video 52:29 min., 6-8-2021)



# OPC UA (Unified Architecture)



## CO-Simulation: CODESYS & Matlab/Simulink

OPC Foundation: [https://en.wikipedia.org/wiki/OPC\\_Foundation](https://en.wikipedia.org/wiki/OPC_Foundation)

OPC Unified Architecture: [https://en.wikipedia.org/wiki/OPC\\_Unified\\_Architecture](https://en.wikipedia.org/wiki/OPC_Unified_Architecture)

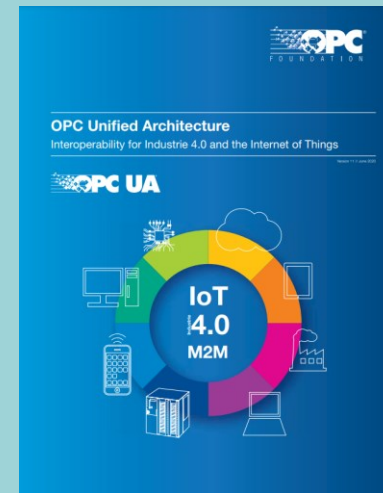
## Matlab Simulink OPC communication with CODESYS

<https://www.youtube.com/watch?v=RvR5HD-CO7o>

(Video 10:17 min., 4-7-2017)

## MathWorks: Verify Generated Code by Using Cosimulation

<https://www.mathworks.com/help/plccoder/ug/verify-generated-code-by-using-cosimulation.html>



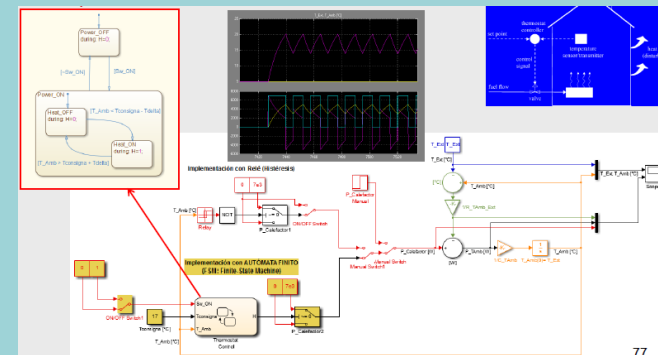
## Ejercicio Simple: Co-Simulación

Control On-Off (termostato) de Sistema Térmico

**Controlador** [CODESYS] ← **OPC UA** → [Simulink] **Planta**

OPC UA Server

OPC UA Client





OPC<sup>®</sup>  
FOUNDATION  
The Industrial Interoperability Standard<sup>™</sup>

The OPC UA logo is shown in the top right corner. Below it, the text "OPC Unified Architecture" is displayed, followed by "Interoperability for Industrie 4.0 and the Internet of Things". A diagram in the center features a circular rainbow-colored ring with "IoT 4.0 M2M" in the center. Surrounding the ring are icons for a desktop computer, a smartphone, a server rack, a laptop, a cloud, and a factory building.

**OPC Unified Architecture:** [https://en.wikipedia.org/wiki/OPC\\_Unified\\_Architecture](https://en.wikipedia.org/wiki/OPC_Unified_Architecture)

<https://www.youtube.com/watch?v=RvR5HD-CO7o>

## MathWorks: Verify Generated Code by Using Cosimulation

## Ejercicio Simple: Co-Simulación

## Control On-Off (termostato) de Sistema Térmico

**Controlador** [CODESYS]  $\leftarrow$  OPC UA  $\rightarrow$  [Simulink] **Planta**

## OPC UA Server

## OPC UA Client

## + realista: 2 computadoras DIST. con Cable ETHERNET?

