



REDES DE COMUNICACIÓN INDUSTRIALES

IM504

2do Cuatrimestre - 5to Año
Ingeniería Mecatrónica
2026

Esp. Ing. Sabrina D. Pryszczuk (Responsable de Cátedra)
Ing. Marcelo J. Kelm (Responsable de Práctica)
Ing. Atilio Boher (Integrante)

Ethernet y Determinismo en Planta

08/09/2026

¿Qué es Ethernet?

Ethernet no es el cable

Es un estándar (IEEE 802.3) que define dos cosas:

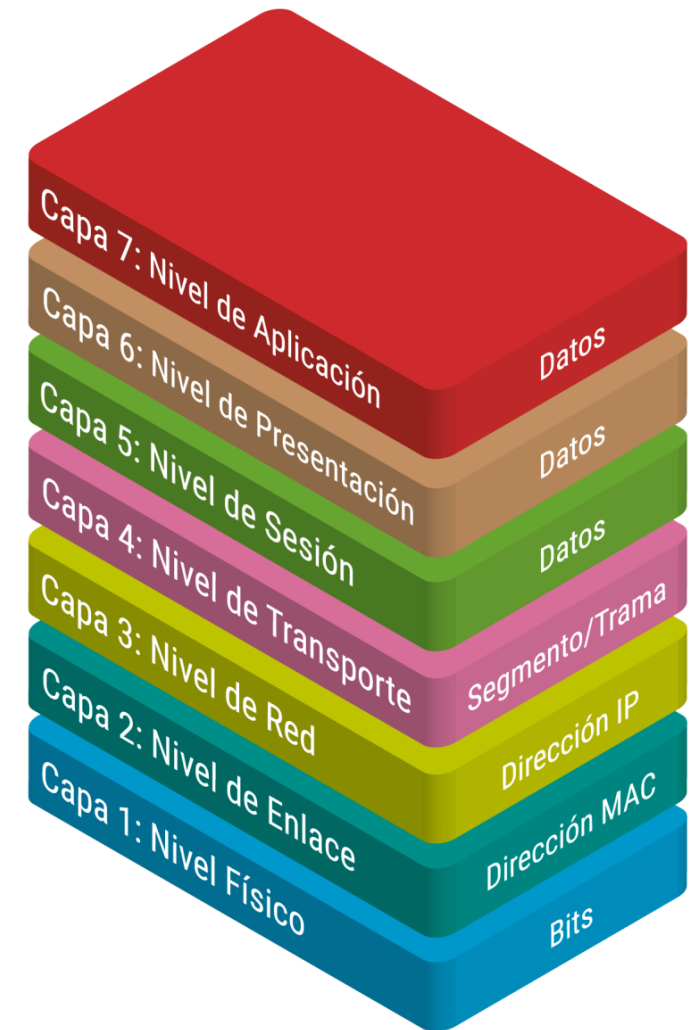
Capa	Qué define Ethernet
Cómo se organiza lo que viaja	El formato de la trama : dónde va cada dato, cómo se detectan errores, quién puede transmitir
Por dónde viajan los bits	Qué señal eléctrica u óptica representa un 1 y un 0, velocidades, distancias máximas.

Lo que NO define:

qué significan los datos · cómo llegar a otra red ·
qué aplicación los usa

Por eso hay Ethernet sobre **par trenzado, fibra óptica y coaxial**.

El conector es un detalle de implementación.



La trama: qué hay adentro

Todo lo que viaja por una red Ethernet va empaquetado así:

Campo	Bytes	Para qué
Preámbulo	8	Avisa que empieza algo y sincroniza al receptor
MAC destino	6	Para quién es
MAC origen	6	De quién viene
Tipo	2	Qué hay adentro (IP, PROFINET, etc.)
Datos	46-1500	La carga
FCS	4	Verificación de errores

El **switch** solo mira los campos de MAC. Ni abre los datos ni sabe qué hay adentro.

El **FCS** no corrige: **detecta**. Si la trama viene dañada, **se descarta**.

Dos detalles que van a importar

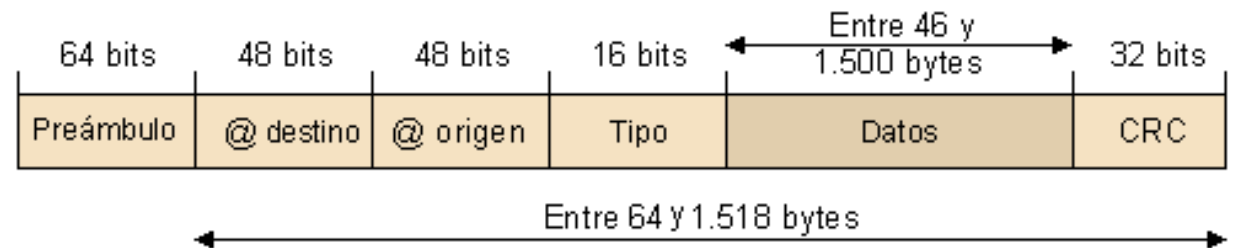
Tamaño de trama

Mínima: 64 bytes. Si los datos no llegan, se rellena con ceros.

Máxima: 1518 bytes.

→ Mandar **1 byte** de dato cuesta lo mismo que mandar **46**.

→ Un dato grande se parte en **varias tramas**.

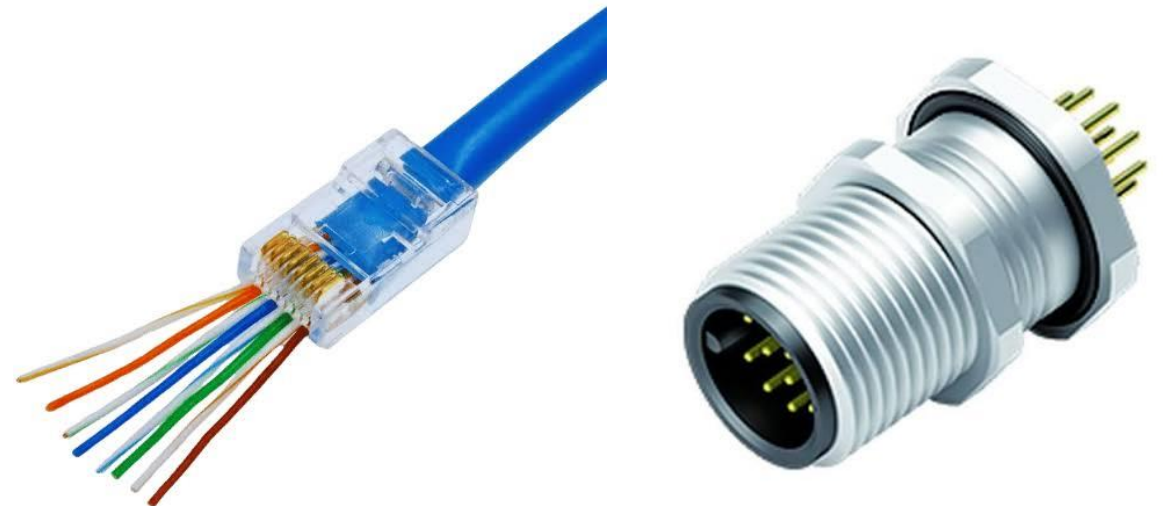


Conectores

RJ45 (el de oficina): Se traba con un clip de plástico.

M12 (el industrial): Roscado, sellado, resiste vibración, agua y polvo.

Mismo Ethernet. Distinto conector.



¿A quién va dirigida una trama?

Depende de qué diga el campo **MAC destino**:

	A quién llega	Ejemplo
Unicast	A un equipo	Le pido un dato a un variador
Broadcast	A todos los del barrio	“¿Quién tiene la IP 195.168.1.1?”
Multicast	A los que se suscribieron	Un sensor publica su valor; lo escuchan los 3 que lo necesitan

- El **broadcast** define el barrio: llega hasta donde llega la red, y **el router lo frena**
 - Es el "griterío" del que hablamos: crece con la cantidad de equipos
 - El **multicast** es la clave del control industrial: **un dato, muchos receptores, un solo envío**
- PROFINET y EtherNet/IP usan multicast intensivamente.

Ethernet nació como medio compartido

1973, Xerox PARC. Un solo cable coaxial grueso, todos los equipos colgados de él.

- Cada uno transmitía **cuando quería**
- Si dos hablaban a la vez, **se pisaban** → los dos callaban y reintentaban tras un tiempo **al azar**
- Cuantos más equipos, más choques, más lento

Ese es el hub de la clase pasada. Y es el secadero de la primera clase.

El **switch** eliminó los choques: cada equipo tiene su propio cable hasta él.



Entonces, si ya no hay choques...

¿está resuelto el problema del tiempo?

Por qué no alcanza

¿Cuánto tarda una trama?

Una red Ethernet a **100 Mbit/s**, la de cualquier planta.
Un variador manda su estado: **una trama de 64 bytes**.

¿Cuánto tarda en salir al cable?

Pista: ¿cuántos bits son 64 bytes? ¿Y cuánto tarda un bit?

Entonces... ¿problema resuelto?

	Tiempo
Una trama Ethernet (64 bytes, 100 Mbit/s)	5 μ s
El servo del primer día necesitaba	1 ms = 1000 μ s

Sobra 200 veces.

Y encima: el switch eliminó los choques, cada equipo tiene su propio cable.

Con esto podríamos controlar cualquier cosa.

¿Por qué entonces existen PROFINET, EtherCAT, EtherNet/IP y una docena más?

Si Ethernet alcanzara, nadie habría inventado nada.

Lo que la cuenta no mide

La cuenta dice cuánto tarda una trama **en salir al cable**.
No dice cuánto tarda en **llegar**.

Adentro del switch

Al switch le llegan tramas por **varios puertos a la vez**, todas para el mismo destino.

Pero por el cable de salida **solo puede ir una por vez**.

→ Las demás **esperan en una cola**.

Si la cola está vacía	La trama pasa en ~5 μs
Si hay 3 tramas adelante	Espera ~20 μ s
Si hay 100 tramas adelante	Espera ~600 μ s
Si la cola se llena	La trama se descarta

¿De qué depende cuánto espera mi trama?

De lo que estén haciendo los demás. Y eso yo no lo controlo.

Ejemplo: Tres ejes que tienen que moverse juntos

Un pórtico con tres servos. El controlador les manda la posición a los tres, **al mismo tiempo**.

Las tres tramas salen del controlador con microsegundos de diferencia.

Pero pasan por el switch

- La del servo 1 encuentra la cola vacía → llega en **5 μ s**
- La del servo 2 queda detrás de una ráfaga → llega en **300 μ s**
- La del servo 3 llega en **80 μ s**

Los tres ejes arrancan en momentos distintos. **La pieza sale mal.**

Y la próxima vez el desfase es **otro**, porque el tráfico es otro.

No es que Ethernet sea lento. Es que no puede garantizar *cuándo*.

Rápido no es lo mismo que determinístico

	Ethernet estándar
Caso promedio	Excelente - μ s
Peor caso	No se puede acotar

Ethernet fue diseñado para **oficinas**, donde lo que importa es el promedio: que el mail llegue, que el archivo baje rápido.

En una planta el criterio es **el peor caso**:
¿cuál es el máximo que puede tardar, siempre, sin excepción?

Ethernet, tal como viene, no puede responder esa pregunta.

Y sin embargo es barato, universal y todos lo saben usar.

→ Nadie quiso tirarlo. Quisieron **arreglarlo**.

Las tres estrategias

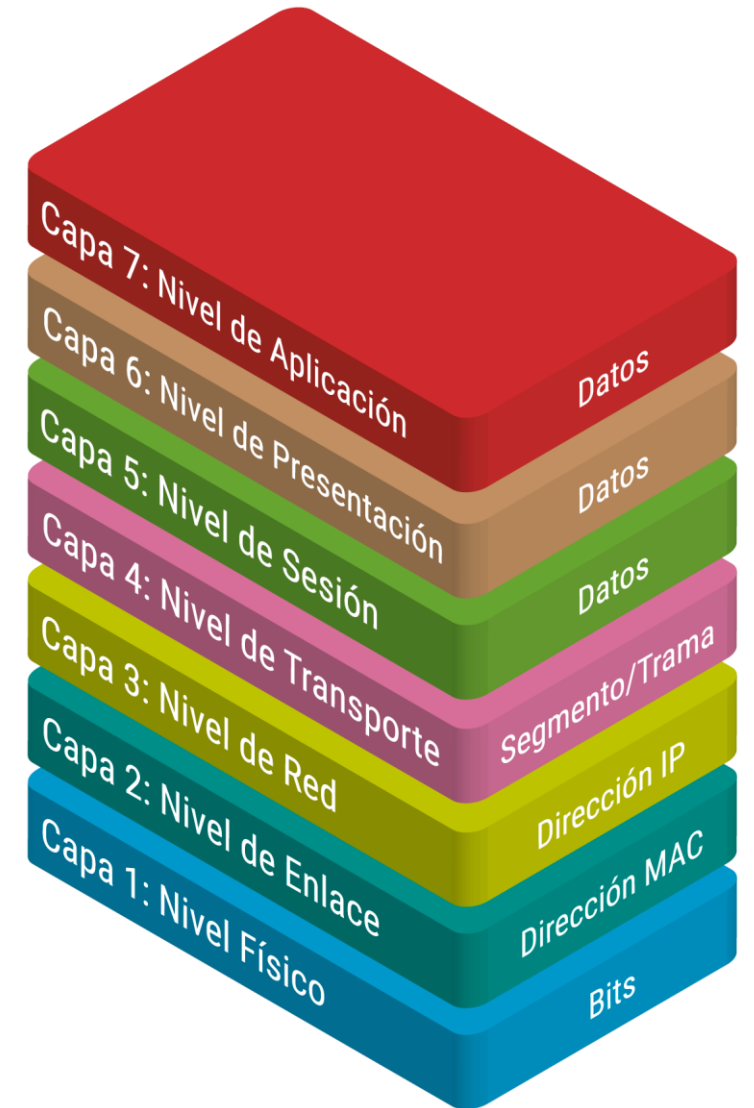
Ustedes son el fabricante

Tienen Ethernet: **barato, universal, todo el mundo lo sabe usar.**

Y tiene un problema: **el peor caso no se puede acotar**, por culpa de la cola del switch.

No lo pueden tirar. Tienen que arreglarlo.

¿Qué se les ocurre?



1 · Dejar Ethernet intacto y resolver arriba

No se toca nada. Ethernet, IP y TCP quedan tal cual.
El programa de arriba se encarga de que el dato llegue.

Modbus TCP · EtherNet/IP

- | | |
|---|--|
| ✓ | Funciona con cualquier switch, cualquier red, cualquier PC |
| ✓ | Se rutea: atraviesa subredes, llega a la oficina |
| ✓ | Barato: no hace falta hardware especial |
| ✗ | Hereda todo el <i>jitter</i> de Ethernet |
| 🕒 | Alcanza hasta unos 10 - 100 ms de ciclo |

Sirve para: supervisión, lectura de sensores, arranque y parada, recetas, producción.

No sirve para: control de movimiento, sincronismo entre ejes.

→ **Es lo que se suele encontrar en la mayoría de las plantas argentinas.**

2 · Saltear las capas del medio

Ethernet queda intacto abajo. Pero se **elimina IP y TCP** para el tráfico de control.

La trama va directo: **MAC → datos de proceso.**

PROFINET RT

- | | |
|---|---|
| ✓ | Se ahorra todo el procesamiento de IP y TCP |
| ✓ | Funciona con switches Ethernet comunes |
| ✗ | No se rutea: sin IP no hay routers. No sale del barrio. |
| ✗ | Sigue habiendo cola en el switch, mejor, pero no garantizado |
| 🕒 | Alcanza ciclos de ~1–10 ms |

La misma red lleva las dos cosas: control por PROFINET, y en paralelo IP normal para configurar y diagnosticar.

3 · Cambiar cómo se accede al medio

Se conserva el cable y la señal de Ethernet. **Todo lo demás cambia.**

EtherCAT

Cómo funciona

Una sola trama recorre todos los equipos, uno tras otro, en anillo. Cada equipo **lee lo suyo y escribe su respuesta al vuelo**, sin detener la trama. La trama vuelve al maestro con los datos de todos.

→ **No hay colas. No hay switches. Nadie compite por transmitir.**

→ El maestro decide cuándo sale la trama: **hay un reloj común.**

- | | |
|---|---|
| ✓ | Ciclos de decenas de μs . <i>Jitter</i> por debajo del microsegundo |
| ✓ | Muy eficiente: un solo mensaje para toda la red |
| ✗ | Hace falta hardware específico en cada equipo |
| ✗ | Topología rígida, un solo maestro, no se rutea |

Ya casi no es Ethernet. Usa el cable y la señal; el resto es otra cosa.

El espectro completo

	Dónde mete mano	Ciclo	¿Se rutea?	¿Hardware especial?
ModbusTCP / EtherNet/IP	arriba de todo	10 - 100 ms	Sí	No
PROFINET RT	saca las capas del medio	1 - 10 ms	No	No
EtherCAT	cambia el acceso al medio	10 - 100 μ s	No	Sí

¿Por qué hay tantas y no una sola?

Porque cada una la empujó **un fabricante distinto**, y ninguno adoptó la del competidor. La lámina que vimos las clases pasadas era de **Rockwell** → mostraba **EtherNet/IP**. Si buscaran la de Siemens, mostraría **PROFINET**.

¿Cómo se elige?

Igual que siempre: el requisito temporal del proceso, contra lo que garantiza cada una. **Nadie elige la más rápida. Se elige la más barata que alcance.**

La misma trama, tres veces

Todas transportan **2 bytes** de dato de proceso.

Ethernet común / Modbus TCP

MAC dest | MAC orig | Tipo=IP | IP | TCP | Modbus | DATO | FCS
 $14 + 20 + 20 + 7 + 2 + 4 \rightarrow \sim 67 \text{ bytes para mandar 2}$

PROFINET RT

MAC dest | MAC orig | Tipo=PROFINET | DATO | FCS
 $14 + 2 + 4 \rightarrow \sim 20 \text{ bytes (se rellena hasta 64: el mínimo manda)}$

EtherCAT

MAC dest | MAC orig | Tipo=EtherCAT | eq.1 | eq.2 | eq.3 | ... | eq.50 | FCS
Una sola trama para los 50 equipos

Los dos primeros: **una trama por equipo, por ciclo.**
EtherCAT: **una trama para toda la red, por ciclo.**

Desglose de Tamaños

Encabezado Ethernet – 14 bytes

Campo	Bytes	Para qué
MAC destino	6	La dirección física del receptor. Si es todo unos, es broadcast
MAC origen	6	La dirección física del emisor
Tipo	2	Qué protocolo hay adentro. <code>0x0800</code> =IPv4 . <code>0x8892</code> =PROFINET . <code>0x88A4</code> =EtherCAT

FCS: 4 bytes al final. El resultado de un cálculo sobre toda la trama, para detectar corrupción.

Encabezado IP – 20 bytes

Campo	Bytes	Para qué
Versión + longitud de encabezado	1	Si es IPv4 o IPv6, y dónde terminan los encabezados
Tipo de servicio	1	Prioridad. Acá es donde se marca el tráfico urgente
Longitud total	2	Cuánto mide todo el paquete
Identificación + banderas + offset	4	Para partir y rearmar paquetes grandes
Tiempo de vida	1	Cuántos routers puede atravesar antes de descartarse
Protocolo	1	Qué hay adentro: TCP, UDP, etc.
Verificación de encabezado	2	Chequeo, solo del encabezado
IP origen	4	
IP destino	4	

Encabezado TCP – 20 bytes

Campo	Bytes	Para qué
Puerto origen	2	Qué programa lo mandó
Puerto destino	2	Qué programa lo recibe. Modbus TCP usa el 502
Número de secuencia	4	En qué orden va este pedazo
Número de confirmación	4	Hasta dónde recibí bien.
Longitud + banderas	2	Control de la conexión: abrir, cerrar, urgente
Ventana	2	Cuánto me podés mandar sin que te confirme
Verificación	2	Chequeo
Puntero urgente	2	Casi no se usa

Encabezado Modbus TCP – 7 bytes

Campo	Bytes	Para qué
Identificador de transacción	2	Para aparear pregunta y respuesta
Identificador de protocolo	2	Siempre 0
Longitud	2	Cuántos bytes siguen
Identificador de unidad	1	Herencia del Modbus serie: qué esclavo es
<i>Código de función</i>	<i>1</i>	<i>Leer, escribir, etc., ya es parte de los datos</i>

La suma

	Ethernet	IP	TCP	Modbus	Dato	FCS	Total
Modbus TCP	14	20	20	7+1	2	4	68
PROFINET RT	14	-	-	-	2	4	20 → <i>rellenado a 64</i>
EtherCAT	14	-	-	12*	2×50	4	~130 para 50 equipos

* EtherCAT agrega un encabezado propio de 2 bytes, más 10 bytes por cada bloque de datos que lleva. Por eso el número final depende de cómo estén agrupados los equipos.