

CLASE 4 — TELEMETRÍA INALÁMBRICA

4.1 Definición y Principio de Funcionamiento

La telemetría inalámbrica transmite datos a través del espectro electromagnético (ondas de radio, microondas, infrarrojo, luz visible) sin necesidad de conductores físicos. Es la tecnología de mayor crecimiento en los últimos años gracias a la Industria 4.0 y el Internet de las Cosas (IoT).

4.2 Tecnologías Inalámbricas para Telemetría Industrial

A) ZigBee (IEEE 802.15.4)

- Frecuencia: 2,4 GHz (global) / 868–915 MHz (regional)
- Velocidad: 250 kbps (2,4 GHz), 20–40 kbps (868–915 MHz)
- Alcance: 10–100 m por nodo (hasta varios km en topología mesh)
- Consumo: extremadamente bajo (baterías duran años)
- Nodos por red: hasta 65.000
- Topologías: estrella, árbol, malla
- Aplicaciones: sensores de temperatura, humo, nivel, dommótica industrial

B) Wi-Fi Industrial (IEEE 802.11)

- Frecuencia: 2,4 GHz y 5 GHz
- Velocidad: 54 Mbps (802.11g), 300 Mbps+ (802.11n), varios Gbps (802.11ac/ax)
- Alcance: 50–150 m interior, hasta 300 m exterior
- Consumo: moderado-alto
- Aplicaciones: HMI inalámbrico, cámaras IP, robots AGV, control de grúas

C) Bluetooth / BLE

- Frecuencia: 2,4 GHz
- Velocidad: hasta 3 Mbps (BT Classic), 1–2 Mbps (BLE)
- Alcance: 10–100 m según clase
- Consumo: muy bajo (BLE) — ideal para sensores con batería
- Aplicaciones: mantenimiento predictivo portátil, etiquetas de activos, wearables industriales

D) LoRa / LoRaWAN

- Frecuencia: 433, 868 (Europa) o 915 MHz (América)
- Velocidad: 0,3–50 kbps (muy baja, pero suficiente para telemetría)
- Alcance: 2–15 km en áreas urbanas, hasta 50 km en campo abierto
- Consumo: ultra bajo (baterías de 5–10 años)
- Aplicaciones: medidores de agua/gas/electricidad, sensores rurales, monitoreo ambiental

E) Sigfox

- Red propietaria de baja potencia (LPWAN)
- Frecuencia: 868–902 MHz
- Velocidad: 100–600 bps (muy baja)
- Alcance: hasta 50 km en campo abierto
- Mensajes: máx. 140 mensajes/día de subida (12 bytes c/u)
- Aplicaciones: seguimiento de activos, trazabilidad logística

F) Radio Frecuencia Industrial (RF)

- Bandas: VHF (30–300 MHz) y UHF (300 MHz–3 GHz)
- Alcance: varios km (con antenas direccionales, decenas de km)
- Velocidad: variable según modulación (FSK, GFSK, LoRa)
- Aplicaciones: SCADA en oleoductos, agua, energía eléctrica, ferroviario

G) Satélite (VSAT / Iridium / Starlink)

- Cobertura: global, incluso en zonas sin infraestructura terrestre
- Latencia: alta (300–600 ms en satélites GEO; baja en LEO como Starlink)
- Velocidad: desde kbps (SCADA por satélite) hasta cientos de Mbps (Starlink)
- Aplicaciones: plataformas off-shore, minería en altura, oleoductos remotos

4.3 Cuadro Comparativo de Tecnologías Inalámbricas

Tecnología	Frecuencia	Velocidad	Alcance	Consumo	Aplicación Industrial
ZigBee	2,4 GHz	250 kbps	10–100 m	Muy bajo	Sensores de planta
Wi-Fi	2,4/5 GHz	>100 Mbps	50–300 m	Alto	HMI, cámaras, AGV
Bluetooth/BLE	2,4 GHz	1–3 Mbps	10–100 m	Bajo (BLE)	Mant. predictivo
LoRa	433–915 MHz	0,3–50 kbps	2–50 km	Ultra bajo	Medidores remotos
Sigfox	868–902 MHz	100–600 bps	10–50 km	Ultra bajo	Trazabilidad
RF Industrial	VHF/UHF	Variable	Varios km	Medio	SCADA extenso
Satélite	Ku/Ka/L band	kbps–Gbps	Global	Alto	Zonas remotas

4.4 Ventajas y Desventajas de la Telemetría Inalámbrica

☑ VENTAJAS	✗ DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Instalación rápida y flexible • Ideal para nodos móviles • Bajo costo de infraestructura • Fácil escalabilidad • Apto para zonas de difícil acceso • Menor tiempo de instalación 	<ul style="list-style-type: none"> • Susceptible a interferencias • Limitado por el espectro radioel. • Menor seguridad (requiere cifrado) • Confiabilidad menor a acrimed • Baterías requieren mantenimiento • Mayor latencia en algunas tecn.