MANUAL DE ESTUDIO · MECATRÓNICA AUTOMOTRIZ

# Dirección eléctrica y by-wire, climatización y seguridad

Capítulo 13 · En el video: **minuto 2:58:14** · Duración 14:25

**Objetivo.** Describir los sistemas de dirección, confort y acceso y calcular la detección antipinzamiento y la distancia UWB.

## Ideas clave

### Dirección activa y EPS

Un engranaje planetario en la columna suma un ángulo del motor al del conductor: relación directa en ciudad e indirecta en carretera. La EPS ayuda con un motor eléctrico solo cuando hace falta (menos consumo que la hidráulica).

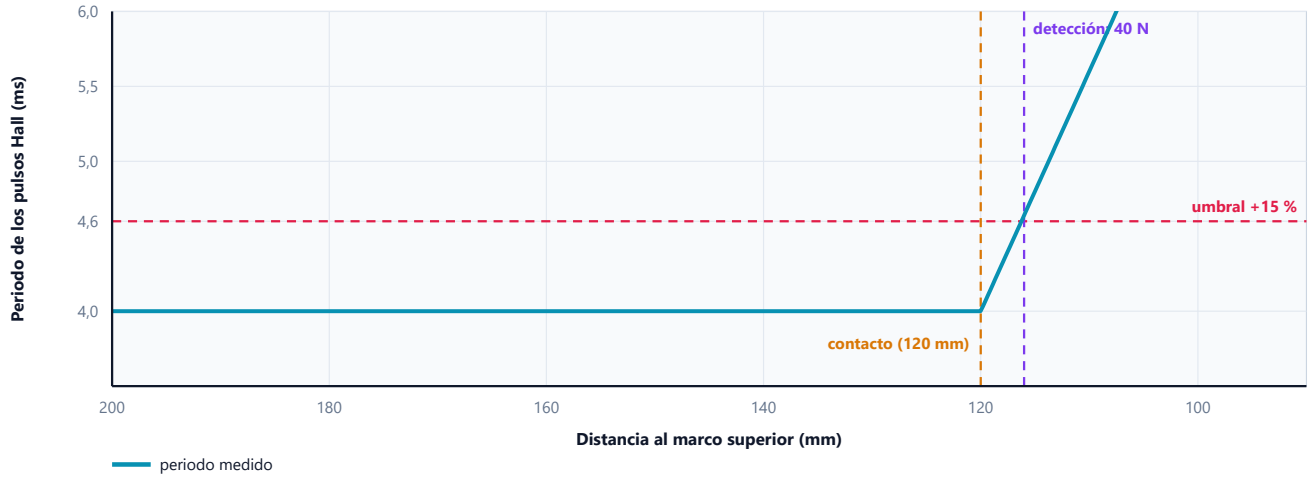
### Steer-by-wire

Sin unión mecánica entre volante y ruedas: un actuador mueve la cremallera y otro da sensación al volante. Exige redundancia completa; algunos diseños conservan un respaldo mecánico con embrague. Permite estabilizar la guiñada dirigiendo además de frenando.

### Actuadores de confort

Alzavidrios, techos corredizos, asientos con memoria y columnas eléctricas usan motores DC con sensores Hall. La protección antipinzamiento detecta que el motor se frena y lo invierte antes de que la fuerza supere 100 N.

**Alzavidrios con protección antipinzamiento** — cursosmecatronica.com




*Al tocar el obstáculo el motor se frena y los pulsos se espacian. Se invierte el giro a 116 mm, con 40 N: muy bajo el límite de 100 N.*

*Salida de antipinzamiento_y_uwb.py.*

### Climatización

El circuito frigorífico (compresor, condensador, expansión, evaporador) puede invertirse en una bomba de calor: en los eléctricos calienta con un tercio o la mitad de la energía de una resistencia. La climatización multizona balancea el calor del sol, las personas y la ventilación.

### Acceso y seguridad

Inmovilizador con transpondedor, cierre "open-by-wire", llave digital en el teléfono y biometría. La banda ultraancha (UWB) mide la distancia por tiempo de vuelo y frustra los ataques de relé que engañaban a las llaves por intensidad de señal.

## Fórmulas y relaciones

| Relación | Expresión | Cómo leerla |
|---|---|---|
| **Relación variable** | $\delta_{rueda} = \delta_{volante}/i + \delta_{motor}$ | Superposición en la columna. |
| **Fuerza de apriete** | $F = k \cdot x$ | Ensayo con rigidez de 10 N/mm. |
| **UWB doble ida y vuelta** | $t_v = (R_1R_2 - D_1D_2)/(R_1 + R_2 + D_1 + D_2)$ | $d = c \cdot t_v$. |
| **Bomba de calor** | $COP = Q_{calor}/W_{eléctrica}$ | 2 a 3 en invierno. |

**Ejemplo resuelto: alzavidrios con un obstáculo**

1. Obstáculo a 120 mm del marco; rigidez de ensayo 10 N/mm.
2. Periodo base de los pulsos Hall: 4,0 ms; umbral de detección +15 % (4,6 ms).
3. La fuerza llega a 37,5 N a 116,25 mm; la detección se produce a 116,0 mm con 40 N.
4. El motor invierte y abre la ventana.

**Muy por debajo del límite de 100 N. En UWB, 2,40 m equivalen a 8,01 ns de vuelo: 1 ns de error son 30 cm (antipinzamiento_y_uwb.py).**

## Sistemas de dirección

| Sistema | Unión mecánica | Asistencia | Función extra |
|---|---|---|---|
| Hidráulica | Sí | Bomba permanente | — |
| EPS | Sí | Motor eléctrico | Mantenimiento de carril, estacionamiento |
| Dirección activa | Sí | EPS + planetario | Relación variable |
| Steer-by-wire | No (o respaldo) | Actuador en la cremallera | Relación libre, conducción automatizada |

## Código del capítulo

Los archivos completos vienen en el paquete ZIP del capítulo (carpeta `codigo/`).

**antipinzamiento_y_uwb.py** — detección antipinzamiento por periodo Hall, distancia UWB y consumo de una bomba de calor.

```
"""
antipinzamiento_y_uwb.py — Capítulo 13: protección antipinzamiento de un alzavidrios con
sensor Hall, distancia por UWB (doble ida y vuelta) y COP de una bomba de calor.
"""
C = 299_792_458.0


def periodos_hall(obstaculo_mm=120.0, k_n_mm=10.0, pulsos_mm=2.0):
    """Periodo (ms) de los pulsos Hall al subir; al tocar el obstáculo la fuerza crece
```

```
    con la rigidez k y el motor se frena."""
    datos, pos = [], 400.0               # mm desde el marco superior
    while pos > 0:
        fuerza = max(0.0, (obstaculo_mm - pos) * k_n_mm) if pos < obstaculo_mm else 0.0
        periodo = 4.0 * (1 + fuerza / 250.0)
        datos.append((pos, periodo, fuerza))
        pos -= 1 / pulsos_mm
    return datos


def detectar(datos, umbral=0.15):
    base = datos[0][1]
    for pos, periodo, fuerza in datos:
        if 4 <= pos <= 200 and periodo > base * (1 + umbral):
            return pos, fuerza
    return None


def distancia_ds_twr(t_round1, t_reply1, t_round2, t_reply2):
    tof = (t_round1 * t_round2 - t_reply1 * t_reply2) / (t_round1 + t_round2 + t_reply1 + t_reply2)
    return tof * C


if __name__ == '__main__':
    pos, f = detectar(periodos_hall())
    print(f'Obstáculo a 120 mm del marco: detectado a {pos:.1f} mm con {f:.1f} N -> el motor invierte')
    print('  (el reglamento exige no superar 100 N de fuerza de apriete)')

    d_real = 2.40
    tof = d_real / C
    r1, p1 = 2 * tof + 200e-6, 200e-6            # el llavero responde tras 200 µs
    r2, p2 = 2 * tof + 180e-6, 180e-6
    print(f'\nUWB: tiempo de vuelo {tof * 1e9:.2f} ns -> distancia {distancia_ds_twr(r1, p1, r2, p2):.2f} m')
    print(f'Un error de 1 ns en el tiempo de vuelo equivale a {C * 1e-9 * 100:.0f} cm')

    for t_ext, cop in ((5, 3.0), (-10, 2.0)):
        print(f'Bomba de calor a {t_ext:+d} °C, COP {cop}: 3 kW de calefacción consumen {3 / cop:.1f} kW'
              f' (resistencia PTC: 3,0 kW)')
```

## Errores frecuentes

- Fijar el umbral antipinzamiento sin compensar el frío (los sellos frenan más el vidrio).
- Confiar en la intensidad de señal para saber dónde está la llave.
- Calentar un eléctrico solo con resistencias y perder autonomía.

## Autoevaluación

1. ¿Qué fuerza máxima de apriete permite la protección antipinzamiento?
2. ¿Cuánto equivale 1 ns de tiempo de vuelo?
3. ¿Qué COP tiene una bomba de calor típica en invierno?

**Respuestas. 1.** 100 N. **2.** Unos 30 cm. **3.** Entre 2 y 3.