MANUAL DE ESTUDIO · MECATRÓNICA AUTOMOTRIZ

# Sistemas mecatrónicos y arquitectura eléctrica y electrónica zonal

Capítulo 01 · En el video: **minuto 0:52** · Duración 14:55

**Objetivo.** Describir cómo se organiza la electrónica de un vehículo y cómo se arbitran pedidos de varias funciones.

## Ideas clave

### El lazo mecatrónico

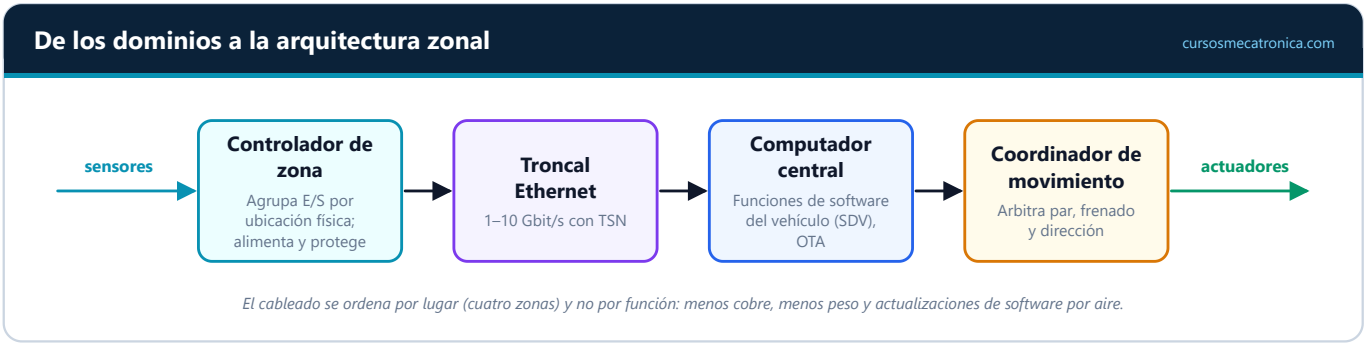
Sensores, unidad de control, actuadores y el proceso mecánico forman un lazo cerrado. El diseño se hace en conjunto: modelos en espacio de estados acoplan las partes mecánica, eléctrica y de software desde el principio, y la validación virtual adelanta errores que antes aparecían en los prototipos.

### Modelo en V y seguridad funcional

El lado izquierdo de la V baja de requisitos del vehículo a sistemas, componentes y código; el derecho sube con pruebas de componente, integración y vehículo. ISO 26262 asigna a cada función un nivel ASIL (A a D) según la gravedad, la exposición y la controlabilidad de su falla.

### Más electrónica en cada generación

La proporción del valor del vehículo que corresponde a electrónica y software ha crecido de forma sostenida desde los años setenta, y en los eléctricos es aún mayor. Eso llevó primero a agrupar las ECU por dominios (tren motriz, chasis, carrocería, infoentretenimiento, asistencia).




*Arquitectura eléctrica y electrónica zonal.*

### Coordinador de movimiento

El dominio de movimiento tiene una jerarquía: el conductor y los asistentes piden, un coordinador calcula el vector global de fuerzas (longitudinal, lateral y de guiñada) y lo reparte entre motor, frenos y dirección. Así nacieron arquitecturas funcionales como CARTRONIC.




*Cadena de arbitraje del ejemplo del capítulo 01.*

### Vehículo definido por software

Con computadores centrales y zonas, las funciones se actualizan por aire (OTA). Los vehículos eléctricos agregan plataformas de 800 V para cargar más rápido con menos corriente.

## Fórmulas y relaciones

| Relación | Expresión | Cómo leerla |
|---|---|---|
| **Arbitraje de deseos** | $T = \max(T_{conductor}, T_{ACC})$ | El conductor puede anular al ACC pisando más. |
| **Arbitraje de límites** | $T = \min(T, T_{lím,1}, T_{lím,2}, \ldots)$ | Protecciones y TCS. |
| **Pisos** | $T = \max(T, T_{mín})$ | Por ejemplo, regulación del freno motor (MSR). |
| **Riesgo ISO 26262** | $\mathrm{ASIL} = f(S, E, C)$ | Severidad, exposición, controlabilidad. |

**Ejemplo resuelto: arbitraje de par**

1. El conductor pide 180 N·m; el ACC pide 120 N·m: gana el máximo, 180.
2. La transmisión limita a 150 N·m durante un cambio.
3. El control de tracción detecta patinamiento y limita a 90 N·m.
4. El ESP fija un piso de 40 N·m para que el freno motor no bloquee las ruedas: no actúa porque 90 > 40.

**Se entregan 90 N·m. arbitraje_y_zonal.py también compara el cableado de 24 nodos: 47,7 m con una ECU central frente a 29,9 m con cuatro zonas (37 % menos).**

## Dominios funcionales del vehículo

| Dominio | Funciones | Exigencia |
|---|---|---|
| Tren motriz | Motor, transmisión, batería e inversor | Tiempo real, temperatura |
| Chasis | Frenos, dirección, suspensión | Seguridad (ASIL C/D) |
| Carrocería y confort | Luces, puertas, climatización | Muchos nodos, bajo costo |
| Infoentretenimiento | Pantallas, audio, conectividad | Ancho de banda |
| Asistencia (ADAS) | Cámaras, radar, fusión | Cómputo y ancho de banda |

## Código del capítulo

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

**arbitraje_y_zonal.py** — arbitraje de par con deseos, límites y pisos; largo de cableado centralizado frente a zonal.

```
"""
arbitraje_y_zonal.py — Capítulo 01: coordinador de movimiento (arbitraje de par) y largo de
cableado de una arquitectura centralizada frente a una zonal.
"""
import math


def arbitrar(deseo_conductor, pedidos):
    """pedidos: (fuente, tipo, valor). 'deseo' compite por máximo (anulación del conductor);
    'max' limita hacia abajo; 'min' asegura un piso (p. ej. arrastre del motor en el ESP)."""
    deseo = deseo_conductor
    traza = [('conductor', deseo)]
    for fuente, tipo, valor in pedidos:
        if tipo == 'deseo':
            deseo = max(deseo, valor)
        elif tipo == 'max':
            deseo = min(deseo, valor)
        elif tipo == 'min':
            deseo = max(deseo, valor)
        traza.append((fuente, deseo))
    return deseo, traza


# Posiciones (x, y) en metros de 24 sensores y actuadores del vehículo
REJILLA = [(x, y) for x in (0.3, 1.2, 2.4, 3.3, 4.2) for y in (-0.7, 0.0, 0.7)]
EXTRA = [(0.2, -0.5), (0.2, 0.5), (4.4, -0.5), (4.4, 0.5), (1.8, -0.8), (1.8, 0.8),
         (2.8, -0.8), (2.8, 0.8), (3.9, 0.0)]
NODOS = REJILLA + EXTRA


def largo(a, b):
    return abs(a[0] - b[0]) + abs(a[1] - b[1])      # cable sigue la carrocería


def cableado_central(ecu=(1.4, 0.0)):
    return sum(largo(n, ecu) for n in NODOS)


def cableado_zonal(zonas, central=(1.4, 0.0)):
    total = sum(min(largo(n, z) for z in zonas) for n in NODOS)
    troncal = sum(largo(z, central) for z in zonas)
    return total, troncal


if __name__ == '__main__':
    final, traza = arbitrar(180, [('ACC', 'deseo', 120), ('transmisión', 'max', 150),
                                  ('TCS', 'max', 90), ('ESP-MSR', 'min', 40)])
    print('Arbitraje de par (N·m):')
    for fuente, valor in traza:
        print(f'  después de {fuente:<12s}: {valor:5.0f}')
    print(f'  Par entregado al motor: {final:.0f} N·m')

    c = cableado_central()
    zonas = [(0.6, -0.6), (0.6, 0.6), (3.6, -0.6), (3.6, 0.6)]
    z, troncal = cableado_zonal(zonas)
    print(f'\n{len(NODOS)} nodos: arquitectura centralizada {c:.1f} m de cable')
    print(f'Zonal (4 zonas): {z:.1f} m locales + {troncal:.1f} m de troncal Ethernet'
          f' = {z + troncal:.1f} m  ({100 * (1 - (z + troncal) / c):.0f} % menos)')
```

## Errores frecuentes

- Arbitrar todo por prioridad fija en vez de por tipo de pedido (deseo, límite, piso).
- Pensar la arquitectura zonal como un cambio solo de software: también cambia el mazo de cables y la alimentación.
- Olvidar que cada función tiene un ASIL que condiciona su hardware y su software.

## Autoevaluación

1. ¿Qué gana la arquitectura zonal?
2. Si el conductor pide 180 N·m y el TCS limita a 90, ¿cuánto se entrega?
3. ¿Qué norma define los niveles ASIL?

**Respuestas. 1.** Menos cable y peso, y funciones centralizadas actualizables por aire. **2.** 90 N·m. **3.** ISO 26262.