

MÓDULO 2 — SENSORES DE CARGA DEL MOTOR

Curso Master: Sensores y Actuadores Automotrices · Diagnóstico Electrónico
Avanzado

Índice

PRESENTACIÓN DEL MÓDULO	4
2.1 · SENSOR MAP — PRESIÓN ABSOLUTA DEL MÚLTIPLE	5
Principio de funcionamiento	5
1 · Valores en ralentí (~750 RPM, motor sano, nivel del mar)	5
2 · Valor aproximado a 2000 RPM	6
3 · Rango de funcionamiento normal	6
4 · Síntomas de falla	7
5 · Posibles soluciones y reparaciones	8
6 · Estrategia de diagnóstico avanzado paso a paso	8
7 · Valores comunes de resistencia	10
8 · Alimentaciones y tierras	11
9 · Aplicación de la Ley de Ohm	11
10 · Nomenclatura de cableado	12
11 · Simbología y diagrama de conexión	12
12 · Análisis de oscilogramas	13
13 · Señales PWM / ciclo de trabajo	14
14 · Análisis de corriente	14
15 · Preguntas de autoevaluación — MAP	15
2.2 · SENSOR BARO — PRESIÓN BAROMÉTRICA	16
Función	16
Tres arquitecturas posibles	16
1 · Valores en ralentí	16
2 · Valor aproximado a 2000 RPM	16
3 · Rango de funcionamiento normal	16
4 · Síntomas de falla	17
5 · Posibles soluciones y reparaciones	17
6 · Estrategia de diagnóstico avanzado	17
7 · Valores comunes de resistencia	18
8 · Alimentaciones y tierras	18
9 · Aplicación de la Ley de Ohm	18
10 · Nomenclatura de cableado	18
11 · Simbología y diagrama de conexión	18
12 · Análisis de oscilogramas	18
13 · Señales PWM / ciclo de trabajo	18

14 · Análisis de corriente	18
15 · Preguntas de autoevaluación — BARO	18
2.3 · SENSOR MAF — FLUJO MÁSCO DE AIRE	20
Principio de funcionamiento	20
Variantes constructivas	20
1 · Valores en ralentí (~750 RPM)	20
2 · Valor aproximado a 2000 RPM (sin carga, en punto muerto)	21
3 · Rango de funcionamiento normal	21
4 · Síntomas de falla	22
5 · Posibles soluciones y reparaciones	23
6 · Estrategia de diagnóstico avanzado paso a paso	23
7 · Valores comunes de resistencia	25
8 · Alimentaciones y tierras	25
9 · Aplicación de la Ley de Ohm	26
10 · Nomenclatura de cableado	27
11 · Simbología y diagrama de conexión	27
12 · Análisis de oscilogramas	27
13 · Señales PWM / ciclo de trabajo	28
14 · Análisis de corriente	28
15 · Preguntas de autoevaluación — MAF	29
2.4 · MAF DIGITAL MODERNO (HFM6 / HFM7 / SENT)	31
Qué cambió	31
1 · Valores en ralentí	31
2 · Valor aproximado a 2000 RPM	31
3 · Rango de funcionamiento normal	31
4 · Síntomas de falla	31
5 · Posibles soluciones y reparaciones	32
6 · Estrategia de diagnóstico avanzado	32
7 · Valores comunes de resistencia	32
8 · Alimentaciones y tierras	32
9 · Aplicación de la Ley de Ohm	32
10 · Nomenclatura de cableado	33
11 · Simbología y diagrama de conexión	33
12 · Análisis de oscilogramas	33
13 · Señales PWM / ciclo de trabajo	33
14 · Análisis de corriente	34
15 · Preguntas de autoevaluación — MAF digital	34
2.5 · TPS — SENSOR DE POSICIÓN DE LA MARIPOSA	35
Principio de funcionamiento	35
1 · Valores en ralentí (mariposa cerrada)	35
2 · Valor aproximado a 2000 RPM (sin carga, en punto muerto)	35
3 · Rango de funcionamiento normal	36
4 · Síntomas de falla	36
5 · Posibles soluciones y reparaciones	36
6 · Estrategia de diagnóstico avanzado paso a paso	37
7 · Valores comunes de resistencia	38
8 · Alimentaciones y tierras	39
9 · Aplicación de la Ley de Ohm	39

10 · Nomenclatura de cableado	40
11 · Simbología y diagrama de conexión	40
12 · Análisis de oscilogramas	40
13 · Señales PWM / ciclo de trabajo	41
14 · Análisis de corriente	41
15 · Preguntas de autoevaluación — TPS	41
2.6 · APP — SENSOR DE POSICIÓN DEL PEDAL DEL ACELERADOR	42
Por qué la redundancia es obligatoria	42
1 · Valores con el pedal en reposo	42
2 · Valores con el pedal a fondo	42
3 · Rango de funcionamiento normal	43
4 · Síntomas de falla	43
5 · Posibles soluciones y reparaciones	43
6 · Estrategia de diagnóstico avanzado paso a paso	44
7 · Valores comunes de resistencia	45
8 · Alimentaciones y tierras	45
9 · Aplicación de la Ley de Ohm	45
10 · Nomenclatura de cableado	46
11 · Simbología y diagrama de conexión	46
12 · Análisis de oscilogramas	47
13 · Señales PWM / ciclo de trabajo	47
14 · Análisis de corriente	47
15 · Preguntas de autoevaluación — APP	48
2.7 · SENSOR COMPUESTO: MAF + IAT + PRESIÓN + HUMEDAD	49
Qué es y por qué existe	49
1 · Valores en ralentí	49
2 · Valor aproximado a 2000 RPM	49
3 · Rango de funcionamiento normal	49
4 · Síntomas de falla	50
5 · Posibles soluciones y reparaciones	50
6 · Estrategia de diagnóstico avanzado	50
7 · Valores comunes de resistencia	51
8 · Alimentaciones y tierras	51
9 · Aplicación de la Ley de Ohm	51
10 · Nomenclatura de cableado	52
11 · Simbología y diagrama de conexión	52
12 · Análisis de oscilogramas	52
13 · Señales PWM / ciclo de trabajo	53
14 · Análisis de corriente	53
15 · Preguntas de autoevaluación — Sensor compuesto	53
CUESTIONARIO INTEGRADOR — MÓDULO 2	54
HOJA DE REFERENCIA RÁPIDA — MÓDULO 2	55

PRESENTACIÓN DEL MÓDULO

Los sensores de sincronismo (Módulo 1) le dicen a la ECU **cuándo** inyectar. Los sensores de carga le dicen **cuánto**. De su exactitud depende directamente la relación aire/combustible, y por lo tanto el consumo, las emisiones, la potencia y la vida del catalizador.

Las dos filosofías de medición de carga:

Estrategia	Sensor principal	Cómo calcula la masa de aire
Speed-Density (velocidad-densidad)	MAP + IAT + RPM	La calcula matemáticamente a partir de presión, temperatura, cilindrada y eficiencia volumétrica
Mass Airflow (flujo másico)	MAF	La mide directamente en gramos por segundo
Híbrida (la mayoría de vehículos modernos)	MAF y MAP	Usa MAF como principal y MAP para verificación cruzada, carga del turbo y diagnóstico de EGR

El problema diagnóstico central de este módulo:

Un sensor de carga que falla de forma **abrupta** genera código y es fácil. Un sensor de carga que **se desvía lentamente** (*skewed sensor*) no genera código propio: genera **códigos de mezcla** (P0171, P0172, P0174) y hace que el técnico persiga fugas de aire, inyectores y sondas lambda durante horas.

Este módulo entrega el método para atrapar al sensor desviado antes de gastar en piezas.

2.1 · SENSOR MAP — PRESIÓN ABSOLUTA DEL MÚLTIPLE

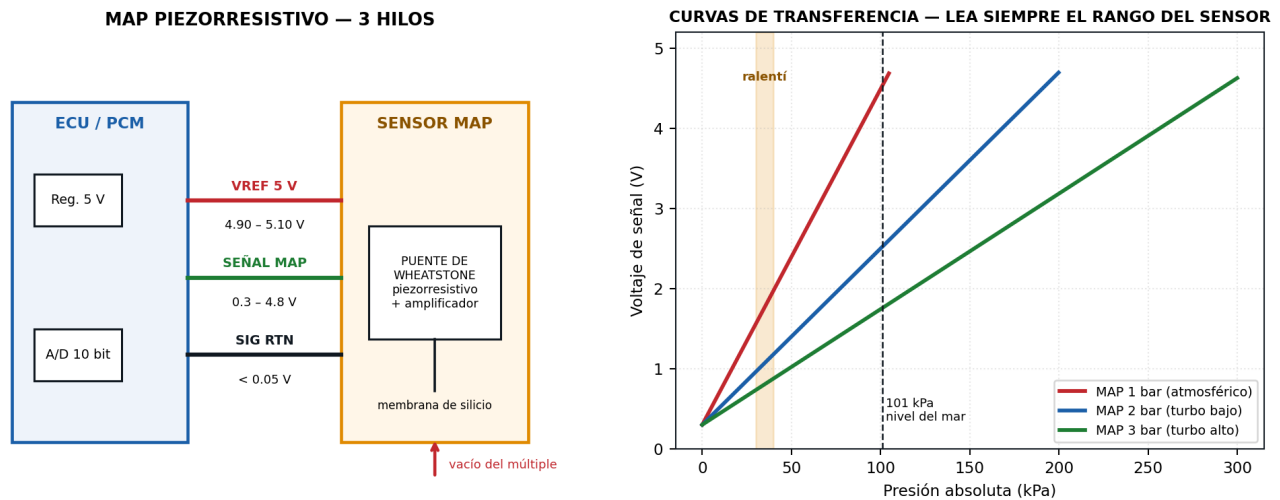


Figura 1: Circuito del MAP y funciones de transferencia

Principio de funcionamiento

Una **membrana de silicio** separa una cámara de vacío de referencia sellada de la presión del múltiple de admisión. Sobre la membrana están difundidas cuatro resistencias piezorresistivas conectadas en **punto de Wheatstone**. Al deformarse la membrana, dos resistencias aumentan y dos disminuyen, desbalanceando el puente. Un amplificador integrado convierte ese desbalance en una señal lineal de 0.5 a 4.9 V.

Consecuencia crítica: el MAP mide presión ABSOLUTA, no vacío. Con el motor apagado indica la presión atmosférica del lugar. Cuanto más vacío hay en el múltiple, **menor** es el voltaje.

$$P_{absoluta} = P_{baro} - P_{vac}$$

Conversión de unidades imprescindible en el taller:

Unidad	Equivalencia
1 inHg (pulgada de mercurio)	3.386 kPa
1 bar	100 kPa
1 psi	6.895 kPa
Atmósfera al nivel del mar	101.3 kPa = 29.92 inHg = 14.7 psi

1 · Valores en ralentí (~750 RPM, motor sano, nivel del mar)

Parámetro	Valor esperado
Presión absoluta	28 - 40 kPa (típico 30 - 35 kPa)
Vacío equivalente	18 - 21 inHg
Voltaje (MAP 1 bar)	1.0 - 1.5 V

Parámetro	Valor esperado
Voltaje (MAP 2 bar, turbo)	0.6 - 1.0 V
Voltaje (MAP 3 bar)	0.4 - 0.7 V
Frecuencia (MAP tipo Ford)	95 - 110 Hz
Fluctuación (rizado)	±0.05 V (pulsaciones del múltiple)

Función de transferencia estándar de un MAP de 1 bar:

$$V_{sig} = 0.05 \times P_{kPa} - 0.1$$

$$P_{kPa} = \frac{V_{sig} + 0.1}{0.05}$$

Verificación: con 1.35 V medidos $\rightarrow P = (1.35 + 0.1)/0.05 = 29 \text{ kPa} \rightarrow$ vacío de $(101.3 - 29)/3.386 = 21.4 \text{ inHg}$. Motor con excelente sellado.

Tabla de referencia rápida (MAP 1 bar):

kPa absolutos	Voltaje	inHg de vacío	Condición del motor
10	0.4 V	27.0	Desaceleración con corte de combustible
20	0.9 V	24.0	Desaceleración
30	1.4 V	21.0	Ralentí sano
40	1.9 V	18.1	Ralentí con carga (A/C) o motor cansado
50	2.4 V	15.2	Crucero suave
70	3.4 V	9.2	Aceleración moderada
95	4.65 V	1.9	Plena carga (WOT)
101	4.95 V	0.0	Motor apagado / KOEO

2 · Valor aproximado a 2000 RPM

Condición	Valor
2000 RPM estable sin carga	1.0 - 1.5 V (28 - 38 kPa) — similar al ralentí
Transitorio al acelerar hasta 2000 RPM	Pico momentáneo de 3.5 - 4.6 V
2000 RPM con carga en carretera	2.0 - 3.5 V (42 - 72 kPa)
2000 RPM en turbo con presión positiva	1.8 - 3.5 V (MAP 2 bar) = 120 - 180 kPa

Concepto que confunde a muchos técnicos: a 2000 RPM sin carga el MAP **no sube**. El vacío depende de la **carga**, no de las RPM. Un MAP que permanece alto al mantener 2000 RPM en punto muerto indica restricción de escape o distribución desfasada.

3 · Rango de funcionamiento normal

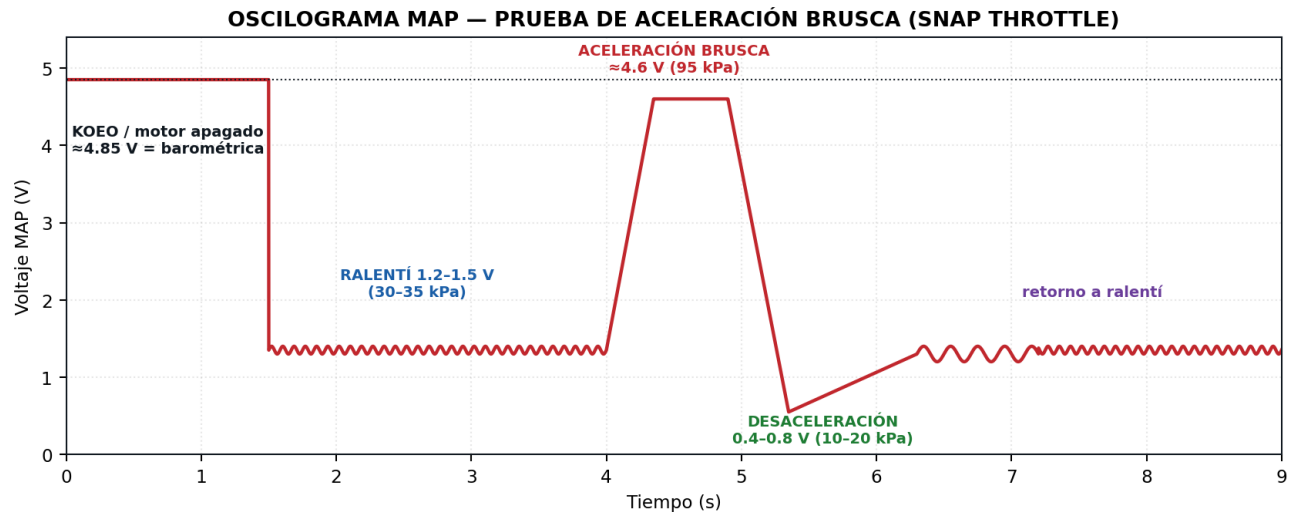


Figura 2: Oscilograma dinámico del MAP

Tipo de MAP	Rango de presión	Rango de voltaje	Aplicación
1 bar	10 - 105 kPa	0.4 - 4.95 V	Atmosférico
2 bar	10 - 200 kPa	0.3 - 4.9 V	Turbo hasta ~1 bar de sobrepresión
2.5 / 3 bar	10 - 250/300 kPa	0.3 - 4.9 V	Turbo de alta presión, diésel
4 bar	10 - 400 kPa	0.3 - 4.9 V	Diésel de alta sobrealimentación
Frecuencia (Ford)	10 - 105 kPa	69 - 159 Hz	Ford hasta ~2004

Tiempo de respuesta: < 1 ms. El MAP es uno de los sensores más rápidos del motor y por eso resuelve pulsaciones individuales de admisión en el osciloscopio.

4 · Síntomas de falla

Falla	Síntoma
MAP desviado hacia alto (lee más presión de la real)	Mezcla rica : humo negro, consumo alto, olor a gasolina, LTFT negativo, bujías engrasadas, P0172
MAP desviado hacia bajo (lee menos presión)	Mezcla pobre : tirones, detonación, falta de potencia, LTFT positivo, P0171
Manguera de vacío rota, floja o tapada	Mezcla rica constante, ralentí inestable, P0106
Sensor sucio de carbón (GDI, EGR)	Respuesta lenta, tirones en transición, P0106/P0107
Circuito abierto	5.0 V fijos, P0108 (entrada alta)
Corto a masa	0.0 V fijos, P0107 (entrada baja)
Membrana perforada	Lectura errática o pegada, sin respuesta a vacío

Falla	Síntoma
VREF colapsada	Falla simultánea de MAP, TPS y otros sensores de 5 V

Códigos: P0105 (circuito), P0106 (rango/desempeño), P0107 (entrada baja), P0108 (entrada alta), P0109 (intermitente), P1106/P1107 (específicos de marca).

5 · Posibles soluciones y reparaciones

1. **Verificar la manguera de vacío** antes que nada: rota, colapsada, tapada de carbón o conectada al puerto equivocado. Causa n.º 1 real.
2. **Limpiar el puerto del múltiple** — en motores con EGR y GDI el orificio se obstruye con carbón y produce respuesta lenta sin código.
3. **Limpiar el sensor** con limpiador de contactos electrónicos únicamente. Nunca introducir hisopos ni líquidos en la cámara de la membrana.
4. Reparar VREF, señal o masa según los hallazgos eléctricos.
5. Reemplazar el sensor si la comparación con vacuómetro mecánico lo condena.
6. **Verificar la salud mecánica del motor:** un MAP correcto que reporta 45 kPa en ralentí no está fallando — está reportando un motor con fugas, distribución desfasada o escape restringido.

6 · Estrategia de diagnóstico avanzado paso a paso

Prueba A — Verificación barométrica (30 segundos, sin herramientas)

Con la llave en contacto y el motor apagado (KOEO), el MAP debe indicar la **presión atmosférica de su localidad**.

Altitud	Presión esperada	Voltaje (1 bar)
0 m (nivel del mar)	101.3 kPa	4.97 V
500 m	95.5 kPa	4.68 V
1000 m	89.9 kPa	4.40 V
1500 m	84.6 kPa	4.13 V
2000 m	79.5 kPa	3.88 V
2240 m (Ciudad de México)	77.3 kPa	3.77 V
2800 m (Bogotá)	72.0 kPa	3.50 V
3400 m (El Alto)	67.0 kPa	3.25 V

Si en un taller a 1000 m el MAP indica 101 kPa con el motor apagado, **el sensor está desviado 11 kPa hacia alto**: la ECU inyectará de más en todo el rango. **Este error no genera ningún código.**

Prueba B — Comparación contra vacuómetro mecánico (la prueba definitiva)

1. Conectar un vacuómetro mecánico en T con la manguera del MAP.
2. Con el motor en ralentí, leer simultáneamente el vacuómetro y el PID del MAP.
3. Convertir la lectura del vacuómetro a presión absoluta:

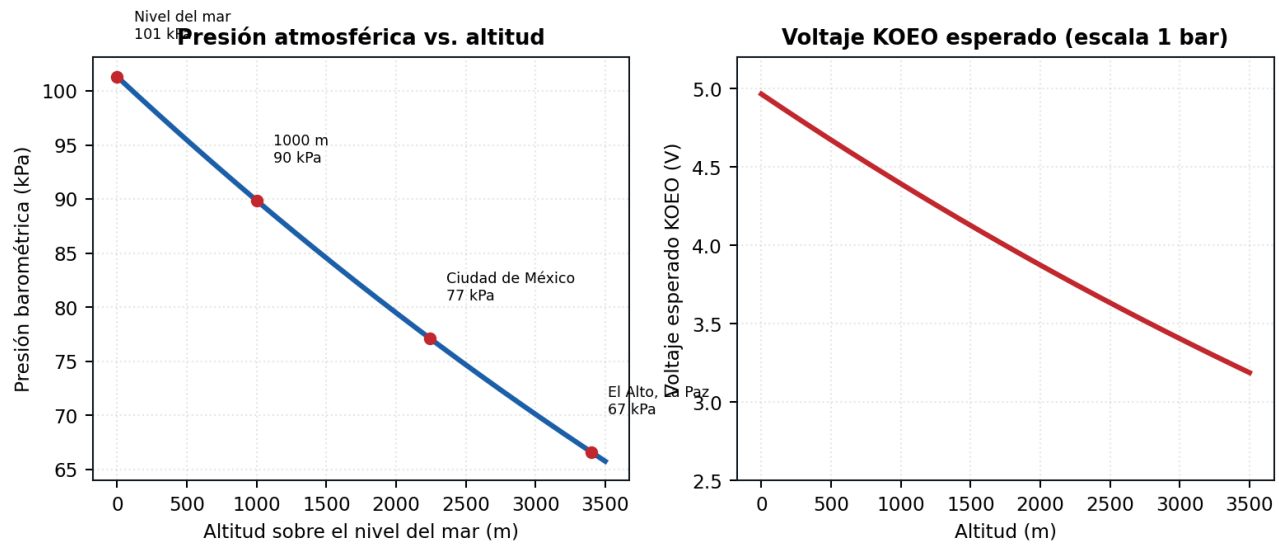
EL VOLTAJE KOEO DEL MAP ES UN BARÓMETRO: DEBE CORRESPONDER A LA ALTITUD DEL TALLER

Figura 3: Presión barométrica vs. altitud

$$P_{absoluta} = P_{baro} - (\text{inHg} \times 3.386)$$

Ejemplo: barométrica 101 kPa, vacuómetro 20 inHg $\rightarrow P = 101 - (20 \times 3.386) = 33.3$ kPa. El escáner debe indicar **33 ± 3 kPa**. Una diferencia mayor a 5 kPa condena al sensor.

Prueba C — Prueba de aceleración brusca (snap throttle)

Motor en ralentí, acelerar bruscamente hasta el tope y soltar.

Momento	Valor esperado
Ralentí	1.0 - 1.5 V
Pico de aceleración	≥ 4.0 V (≥ 85 kPa)
Valle de desaceleración	≤ 0.8 V (≤ 18 kPa)
Retorno a ralentí	1.0 - 1.5 V estable

Si el pico no alcanza 4.0 V: manguera restringida, sensor lento o escape tapado. Si el valle no baja de 0.8 V: fuga de aire o mariposa que no cierra.

Prueba D — Prueba de bomba de vacío manual

1. Desconectar el sensor del múltiple y conectar una bomba de vacío manual.
2. Con KOEO, aplicar vacío en escalones de 5 inHg y registrar el voltaje.
3. Comparar contra la función de transferencia:

Vacío aplicado	kPa absolutos	Voltaje esperado
0 inHg	101	4.95 V
5 inHg	84	4.10 V

Vacío aplicado	kPa absolutos	Voltaje esperado
10 inHg	67	3.25 V
15 inHg	50	2.40 V
20 inHg	33	1.55 V
25 inHg	17	0.75 V

4. **Mantener el vacío 30 segundos:** el sensor debe conservar la lectura estable. Una lectura que “se cae” indica membrana perforada.

Prueba E — Prueba de caída de voltaje

Advertencia (coherente con Módulos 0 y 1): el circuito de **señal** del MAP es de alta impedancia. La entrada A/D de la ECU presenta 10 k Ω – 10 M Ω ; la corriente es de decenas de microamperios. **La caída de voltaje clásica no detecta resistencia parásita en el cable de señal.**

Dónde **sí** aplica y con qué límites:

Circuito	Corriente típica	Límite de caída
VREF 5 V	6 – 12 mA (más el resto de sensores de la línea)	0.10 V
SIG RTN (masa de sensor)	6 – 12 mA	0.05 V
Señal	10 – 100 μ A	No aplica (usar método comparativo)

Procedimiento para VREF: 1. KOEO, sensor conectado. 2. Punta roja en el pin de VREF **en el conector de la ECU**. 3. Punta negra en el pin de VREF **en el conector del MAP** (backprobe). 4. Escala mV. **Máximo 0.10 V.**

Procedimiento para SIG RTN: 1. Punta roja en el pin de masa del conector del MAP. 2. Punta negra en el negativo de la batería. 3. **Máximo 0.05 V.**

Método comparativo para el circuito de señal: Mida el voltaje de señal simultáneamente en el conector del sensor y en el conector de la ECU con el motor en ralentí. La diferencia debe ser **menor a 0.05 V**. Una diferencia mayor confirma resistencia parásita.

7 · Valores comunes de resistencia

NO APLICA — no medir. El MAP contiene un puente piezorresistivo y un amplificador integrado. El óhmetro aplica voltaje a un circuito activo y las lecturas **carecen de valor diagnóstico**. Un MAP bueno y uno malo pueden medir lo mismo.

Medición	Utilidad
Continuidad de cada conductor del arnés (sensor $\leftrightarrow$ ECU)	Sí, útil. < 1 Ω
Aislamiento entre conductores (VREF $\leftrightarrow$ señal $\leftrightarrow$ masa)	Sí, útil. > 10 M Ω

Medición	Utilidad
Resistencia entre pines del sensor	Sin valor diagnóstico

8 · Alimentaciones y tierras

Pin	Nombre	Valor esperado	Medido contra
A	VREF / 5V REF / Vc	4.90 - 5.10 V	Pin de masa del sensor
B	SIG RTN / Sensor Ground / E2	< 0.05 V	Negativo de batería
C	MAP SIG / PIM	0.4 - 4.95 V	Pin de masa del sensor

Configuración de 4 pines: muchos MAP modernos integran el **IAT** en el mismo cuerpo (TMAP). El cuarto pin es la señal del termistor NTC, que comparte la misma masa de sensor.

Punto crítico: VREF del MAP es casi siempre **compartida** con TPS, APP, sensor de presión de A/C y otros. Un corto en cualquiera de ellos colapsa la línea y produce códigos múltiples. Ver Módulo 0, §0.4.3.

9 · Aplicación de la Ley de Ohm

Caso 1 — Resistencia parásita en el circuito de VREF

El MAP consume 9 mA. Si la línea VREF alimenta además TPS (1.7 mA) y el sensor de presión de A/C (7 mA), la corriente total es **17.7 mA**. Con 8 Ω de resistencia parásita en el tramo común:

$$V_{drop} = 0.0177 \times 8 = 0.14 \text{ V}$$

El MAP recibe 4.86 V en vez de 5.00 V. Su salida escala proporcionalmente:

$$V_{sig,real} = 1.40 \times \frac{4.86}{5.00} = 1.36 \text{ V}$$

La ECU interpreta $P = (1.36 + 0.1)/0.05 = 29.2 \text{ kPa}$ en vez de 30.0 kPa. Error de **2.7 %** hacia pobre. Pequeño, pero acumulativo con otros errores.

Caso 2 — Resistencia parásita en el circuito de señal

La salida del MAP es un amplificador operacional de baja impedancia ($R_{salida} \approx 100 \Omega$). La entrada A/D de la ECU presenta $R_{AD} = 100\,000 \Omega$. Forman un divisor:

$$V_{ECU} = V_{sensor} \times \frac{R_{AD}}{R_{salida} + R_{par} + R_{AD}}$$

Con circuito sano ($R_{par} = 2 \Omega$):

$$V_{ECU} = 1.40 \times \frac{100000}{100 + 2 + 100000} = 1.3986 \text{ V}$$

Con terminal corroído ($R_{par} = 15\,000\ \Omega$):

$$V_{ECU} = 1.40 \times \frac{100000}{100 + 15000 + 100000} = 1.2166\text{ V}$$

La ECU calcula $P = (1.2166 + 0.1)/0.05 = 26.3\text{ kPa}$ en lugar de 30 kPa . **Error del 12 % hacia pobre.** El motor funcionará con LTFT positivo y el técnico buscará una fuga de aire que no existe.

Verificación de la corriente del circuito de señal:

$$I = \frac{1.40}{100000} = 14\ \mu A$$

$$V_{drop\ medible} = 14\ \mu A \times 15000\ \Omega = 0.21\text{ V}$$

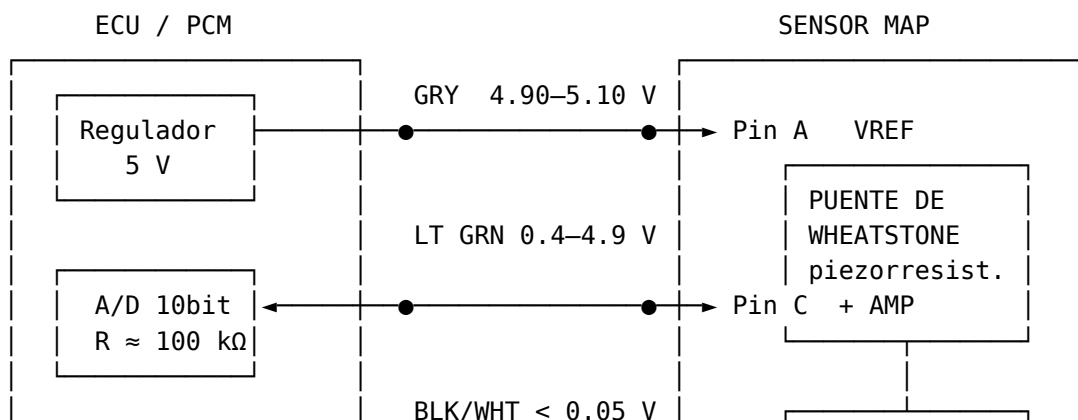
Nótese que la caída **sí existe**, pero como el multímetro se conecta en paralelo con el conductor y su propia impedancia ($10\text{ M}\Omega$) es mucho mayor, la medición directa da valores inconsistentes. **Por eso se usa el método comparativo** (medir la señal en ambos extremos), que es equivalente y confiable.

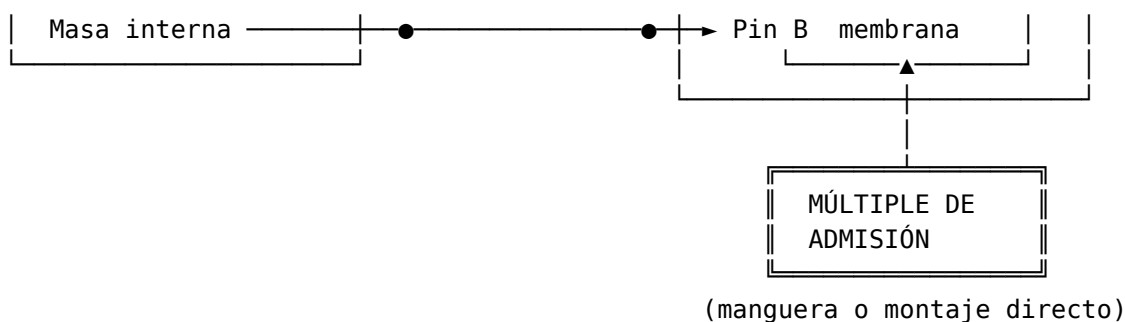
10 · Nomenclatura de cableado

Marca	VREF	Señal	Masa de sensor
GM	GRY, LT BLU	LT GRN, DK GRN	BLK, BLK/WHT
Ford	BRN/WHT, GRY/RED	LT GRN/BLK, DK BLU/LT GRN	GRY/RED, BLK/WHT
Chrysler	VIO/WHT	DK GRN/RED	BLK/LT BLU
Toyota	VC (B/R, Y)	PIM (B, W)	E2 (BR, B/W)
Honda	YEL/RED (VCC1)	WHT/RED	GRN/WHT
VW / Audi	rt/ge	gn/ws	br/ws

Nomenclatura Toyota: VC = referencia 5 V · PIM = señal del MAP · E2 = masa de sensores. Aparecen impresas en el propio conector en muchos modelos.

11 · Simbología y diagrama de conexión





RESOLUCIÓN DEL A/D DE 10 BITS:

1024 pasos sobre 5 V → 4.88 mV por paso → ≈0.1 kPa de resolución

12 · Análisis de oscilogramas

Los cinco puntos que se inspeccionan en una onda MAP:

Punto	Correcto	Qué indica la desviación
Nivel de ralentí	1.0 - 1.5 V estable	Alto = motor cansado, escape tapado, distribución
Rizado / pulsaciones	±0.05 V uniforme	Pulsación irregular = cilindro con baja compresión o válvula quemada
Pico de snap	≥ 4.0 V	Menor = manguera restringida o escape tapado
Valle de desaceleración	≤ 0.8 V	Mayor = fuga de aire o mariposa abierta
Velocidad de respuesta	Flancos limpios	Respuesta lenta = puerto obstruido o sensor degradado

Técnica avanzada — diagnóstico mecánico con el MAP: amplíe la escala a 0.1 V/div con acoplamiento **AC** y observe las pulsaciones individuales del múltiple en ralentí. En un motor sano, todas las pulsaciones tienen igual amplitud. Un cilindro con compresión baja o válvula quemada produce una pulsación de amplitud distinta que se repite cada 720°. Sincronice con el CKP (Módulo 1) para identificar el cilindro.

Configuración del osciloscopio:

Ajuste	Valor
Acoplamiento	DC para la señal general · AC para analizar pulsaciones
V/div	1 V/div (general) · 0.1 V/div (análisis de pulsaciones)
Time/div	500 ms/div (snap test) · 20 ms/div (pulsaciones)
Trigger	Automático o en flanco de subida
Referencia	Pin de masa del sensor

13 · Señales PWM / ciclo de trabajo

MAP analógico: no aplica. Señal analógica lineal.

MAP de frecuencia (Ford): la señal es una onda cuadrada de 0 a 5 V con **ciclo de trabajo fijo** de $\approx 50\%$. La información **no está en el duty cycle**, sino en la **frecuencia**.

MAP DE SALIDA EN FRECUENCIA (FORD DPS) — SE MIDE EN Hz, NO EN VOLTIOS

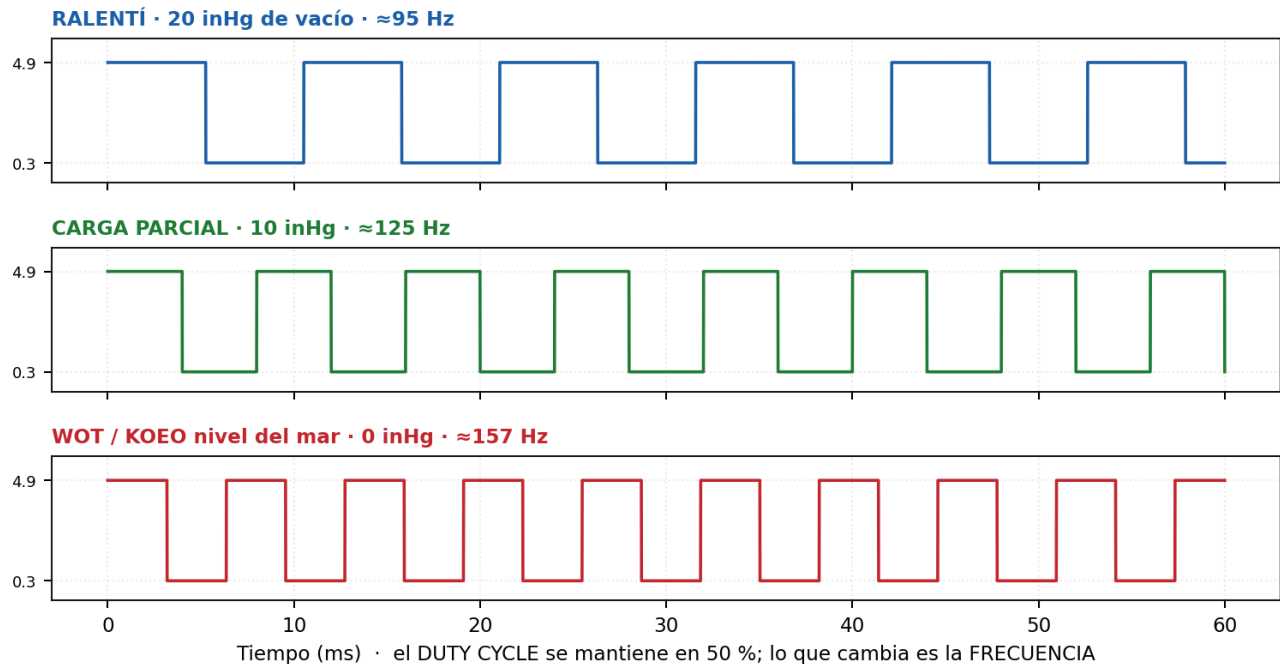


Figura 4: MAP de salida de frecuencia

Condición	Frecuencia	kPa absolutos	Vacío
KOEO / atmosférica al nivel del mar	156 - 159 Hz	101	0 inHg
Aceleración a fondo	145 - 155 Hz	92 - 100	0 - 3 inHg
Crucero	120 - 135 Hz	60 - 78	7 - 12 inHg
Ralentí	95 - 110 Hz	30 - 42	18 - 21 inHg
Desaceleración	69 - 85 Hz	10 - 20	24 - 27 inHg

Regla práctica de campo: ≈ 3 Hz por cada pulgada de mercurio de vacío.

Error de diagnóstico frecuente: medir un MAP de frecuencia con el multímetro en voltios DC. Dará una lectura de ≈ 2.5 V constante (el promedio de una cuadrada al 50 %) que **no cambia con la carga**, llevando al técnico a condenar un sensor sano. **Use la función Hz del multímetro.**

14 · Análisis de corriente

Medición	Valor esperado	Método
Consumo total del MAP	6 - 12 mA	Pinza de baja corriente, 10 vueltas del cable de VREF
Corriente del circuito de señal	10 - 50 μ A	No medible con pinza

Interpretación del consumo:

Lectura	Diagnóstico
6 - 12 mA	Normal
0 mA	Sensor sin alimentación o circuito interno abierto
> 30 mA	Cortocircuito interno. Está cargando la línea VREF y puede estar provocando códigos en TPS, APP y otros sensores de la misma línea

Técnica de aislamiento de VREF colapsada: en lugar de desconectar sensores uno a uno, mida el consumo de cada uno con la pinza y multiplicación de vueltas. El sensor que consume de más es el culpable, sin desconectar nada.

15 · Preguntas de autoevaluación — MAP

P1. En un taller ubicado a 1500 m sobre el nivel del mar, un MAP de 1 bar indica 4.95 V con la llave en contacto y el motor apagado. El vehículo presenta P0172 (mezcla rica) y LTFT de -18 %. ¿Está el sensor dentro de especificación? Calcule el error en kPa y explique la relación con el código.

P2. Un vacuómetro mecánico indica 19 inHg en ralentí en un taller al nivel del mar. Calcule la presión absoluta en kPa y el voltaje que debe entregar un MAP de 1 bar. ¿Qué diferencia máxima aceptaría antes de condenar el sensor?

P3. Un MAP de frecuencia Ford medido con el multímetro en voltios DC indica 2.48 V en ralentí y 2.51 V a plena carga. El técnico concluye que el sensor está “pegado”. ¿Es correcta la conclusión? Explique qué está midiendo realmente el multímetro y cuál es el procedimiento correcto.

2.2 · SENSOR BARO — PRESIÓN BAROMÉTRICA

Función

La ECU necesita conocer la densidad del aire ambiente para corregir la mezcla y el avance de encendido según la altitud y las condiciones meteorológicas. Sin corrección barométrica, un vehículo calibrado al nivel del mar funcionaría **excesivamente rico** a 2500 m, donde el aire contiene ~25 % menos oxígeno.

Tres arquitecturas posibles

Arquitectura	Cómo obtiene el dato	Presente en
BARO inferido del MAP (la más común)	La ECU toma la lectura del MAP con la llave en contacto y motor apagado, y la actualiza a plena carga	La mayoría del parque
BARO integrado en el MAF	Un elemento independiente dentro del cuerpo del MAF	Ford, algunos VAG
BARO discreto	Sensor independiente, generalmente en el habitáculo o en el compartimento motor	Vehículos con turbo, diésel, algunos GM

1 · Valores en ralentí

El BARO **no varía con el ralentí**: mide presión ambiente. Su valor depende exclusivamente de la altitud y la meteorología.

Altitud	kPa	Voltaje (escala 1 bar)
0 m	101.3	4.97 V
1000 m	89.9	4.40 V
2000 m	79.5	3.88 V
3000 m	70.1	3.41 V

Variación meteorológica normal: ± 3 kPa (± 0.15 V) entre un sistema de alta y uno de baja presión. Una variación mayor a 5 kPa en el mismo lugar y día indica falla.

2 · Valor aproximado a 2000 RPM

Sin cambios. El valor solo se actualiza en los momentos de refresco:

- Con la llave en contacto antes de arrancar (KOEO).
- Durante eventos de plena carga (WOT), cuando la presión del múltiple se aproxima a la atmosférica.
- En algunos sistemas, durante la desaceleración con mariposa abierta.

3 · Rango de funcionamiento normal

Parámetro	Rango
Presión	50 – 110 kPa
Altitud equivalente	–500 m a 5500 m
Tolerancia respecto al MAP en KOEO	± 2 kPa
Resolución	0.1 – 0.5 kPa

4 · Síntomas de falla

Falla	Síntoma
BARO alto (lee más presión de la real)	Mezcla rica en altura, humo negro, P0172
BARO bajo	Mezcla pobre , detonación, pérdida de potencia, P0171
BARO pegado tras un cambio de altitud	El vehículo funciona mal solo después de subir o bajar de la montaña
Discrepancia BARO ↔ MAP	P0106, P2227, P2228, P2229

Códigos: P2227 (rango/desempeño), P2228 (entrada baja), P2229 (entrada alta), P2230 (intermitente), P0106 (correlación MAP/BARO).

5 · Posibles soluciones y reparaciones

1. Comparar el PID de BARO contra el PID de MAP en KOEO: deben coincidir dentro de **2 kPa**. Si difieren, uno de los dos está desviado.
2. Comparar contra un barómetro de referencia o contra el dato meteorológico local corregido por altitud.
3. En sistemas con BARO inferido del MAP: reparar el MAP resuelve el BARO.
4. En sistemas con BARO discreto: verificar que su puerto de referencia no esté obstruido ni expuesto a la corriente de aire del ventilador (una presión dinámica falsea la lectura).
5. Tras el reemplazo, ejecutar el procedimiento de reinicialización si el fabricante lo requiere.

6 · Estrategia de diagnóstico avanzado

Prueba 1 — Correlación MAP/BARO en KOEO Con la llave en contacto y motor apagado, ambos PIDs deben coincidir dentro de 2 kPa y corresponder a la altitud del taller (ver tabla del §2.1 Prueba A).

Prueba 2 — Verificación en plena carga Con el vehículo en un tramo de aceleración fuerte, el MAP debe aproximarse a 2-5 kPa por debajo del BARO. Si el MAP supera al BARO en un motor atmosférico, uno de los dos sensores está desviado.

Prueba 3 — Cálculo de referencia por altitud Fórmula de la atmósfera estándar:

$$P = 101.325 \times (1 - 2.25577 \times 10^{-5} \times h)^{5.25588}$$

donde h es la altitud en metros.

Ejemplo para 1800 m: $P = 101.325 \times (1 - 0.0406)^{5.25588} = 81.5 \text{ kPa}$

Prueba 4 — Caída de voltaje Idéntica al MAP (§2.1 Prueba E): VREF máx. 0.10 V, masa máx. 0.05 V.

7 · Valores comunes de resistencia

No aplica. Misma arquitectura piezorresistiva del MAP. **No medir con óhmetro.**

8 · Alimentaciones y tierras

Idéntica al MAP: VREF 5 V, señal, masa de sensor. En BARO integrado en el MAF, la señal comparte el conector del MAF y usa la misma masa de sensor.

9 · Aplicación de la Ley de Ohm

Idéntica al §2.1 punto 9. **Consideración adicional:** dado que el BARO se actualiza pocas veces por ciclo de conducción, un error transitorio de VREF en el momento exacto del refresco queda **congelado en memoria** hasta el siguiente refresco. Por eso una VREF con caída intermitente puede producir un comportamiento errático de mezcla que no correlaciona con nada visible en tiempo real.

10 · Nomenclatura de cableado

Idéntica al MAP. En BARO discreto GM: **GRY** (VREF), **LT GRN** (señal), **BLK** (masa).

11 · Simbología y diagrama de conexión

Idéntico al MAP (§2.1 punto 11), con la diferencia de que **no existe conexión al múltiple**: el puerto de referencia está abierto a la atmósfera y debe permanecer libre de obstrucciones.

12 · Análisis de oscilogramas

Señal **plana**. El osciloscopio se usa aquí solo para verificar estabilidad: cualquier ruido o fluctuación superior a ± 0.05 V indica problema de VREF, masa o del propio sensor.

13 · Señales PWM / ciclo de trabajo

No aplica en la variante analógica. Algunos BARO integrados en módulos modernos transmiten el dato por **red CAN o SENT** (ver Módulo 14).

14 · Análisis de corriente

6 – 12 mA, idéntico al MAP. Mismo método de pinza con multiplicación de vueltas.

15 · Preguntas de autoevaluación — BARO

P1. Un vehículo funciona perfectamente en su ciudad a 200 m de altitud, pero al subir a 2800 m presenta humo negro y falta de potencia, y al regresar el problema persiste durante varios ciclos de conducción. ¿Qué componente sospecha, por qué el problema persiste al regresar y cómo lo confirma?

P2. Calcule la presión atmosférica esperada a 1650 m usando la fórmula de la atmósfera estándar, y el voltaje correspondiente en un sensor de escala 1 bar.

P3. En KOEO, el PID de MAP indica 88 kPa y el PID de BARO indica 97 kPa, en un taller a 900 m de altitud. ¿Cuál de los dos sensores está desviado y cómo lo determina sin herramientas adicionales?

2.3 · SENSOR MAF — FLUJO MÁSSICO DE AIRE

MAF DE HILO / PELÍCULA CALIENTE — PRINCIPIO DEL PUENTE DE WHEATSTONE

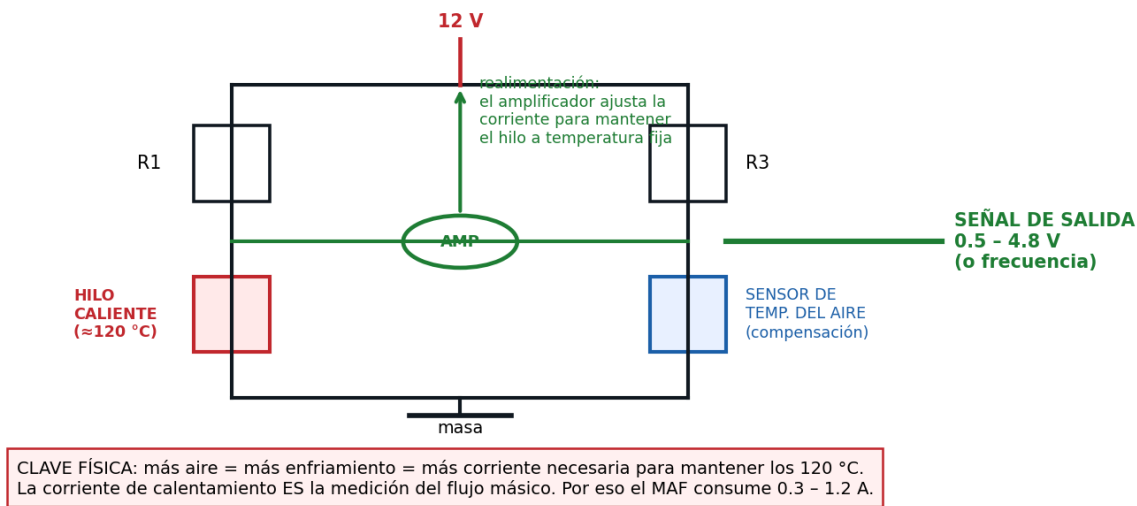


Figura 5: Puente de Wheatstone del MAF

Principio de funcionamiento

Un elemento resistivo (hilo de platino o película delgada) se mantiene a una **temperatura constante** por encima de la del aire de admisión — típicamente **120 °C a 200 °C** por encima del ambiente. El aire que pasa lo enfría; un circuito de realimentación aumenta la corriente para restaurar la temperatura.

La corriente necesaria para mantener la temperatura ES la medición del flujo másico. Un segundo elemento (sensor de temperatura del aire) compensa las variaciones ambientales.

La consecuencia práctica más importante: el MAF mide **masa**, no volumen. Ya incorpora automáticamente la corrección por densidad, temperatura y altitud. Por eso un motor con MAF no necesita corrección barométrica para el cálculo de combustible.

Variantes constructivas

Variante	Salida	Aplicación
Hilo caliente (<i>hot wire</i>)	Analógica 0 - 5 V	Bosch clásico, GM, Nissan
Película caliente (<i>hot film</i> , HFM)	Analógica 0 - 5 V o digital	Bosch HFM5/6/7, la más extendida hoy
Karman-Vortex	Frecuencia 0 - 5 V	Mitsubishi, Toyota, Chrysler
Digital / SENT	Trama digital	VAG, BMW, Ford recientes

1 · Valores en ralentí (~750 RPM)

Cilindrada	Flujo esperado	Voltaje (analógico)	Frecuencia (Karman)
1.0 - 1.6 L	1.5 - 3.5 g/s	0.7 - 1.1 V	25 - 32 Hz
1.8 - 2.5 L	2.5 - 5.0 g/s	0.9 - 1.4 V	28 - 38 Hz
3.0 - 4.0 L	4.0 - 7.0 g/s	1.1 - 1.6 V	32 - 45 Hz
5.0 L y superiores	6.0 - 10.0 g/s	1.3 - 1.9 V	38 - 55 Hz

Regla práctica de campo para ralentí:

$$g/s_{ral} \approx \text{Cilindrada en litros} \times 1.5 \text{ a } 2.0$$

2 · Valor aproximado a 2000 RPM (sin carga, en punto muerto)

Cilindrada	Flujo esperado	Voltaje	Frecuencia (Karman)
1.6 L	7 - 11 g/s	1.4 - 1.8 V	55 - 70 Hz
2.0 L	9 - 14 g/s	1.5 - 2.0 V	62 - 80 Hz
3.5 L	15 - 24 g/s	1.9 - 2.5 V	80 - 105 Hz
5.0 L	22 - 34 g/s	2.2 - 2.8 V	95 - 125 Hz

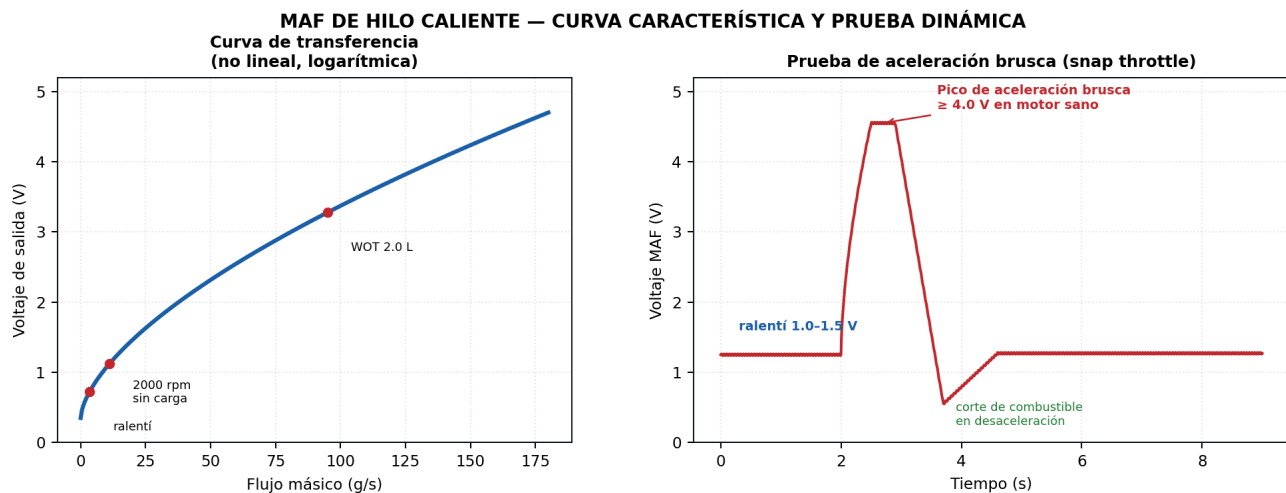


Figura 6: Curva característica y prueba dinámica del MAF

3 · Rango de funcionamiento normal

Parámetro	Rango
Voltaje de salida (analógico)	0.2 - 5.0 V
Frecuencia (Karman-Vortex)	25 - 190 Hz
Flujo	0 - 480 g/s según tamaño del sensor
Tiempo de respuesta	5 - 15 ms
Temperatura de operación	-40 °C a +125 °C

Flujo esperado a plena carga — fórmula fundamental:

$$g/s = \frac{\text{Cilindrada (L)}}{2} \times \frac{RPM}{60} \times EV \times \rho_{aire}$$

donde EV = eficiencia volumétrica (0.80 - 0.95 a par máximo en un motor atmosférico sano) y $\rho_{aire} = 1.184$ g/L a 25 °C y nivel del mar.

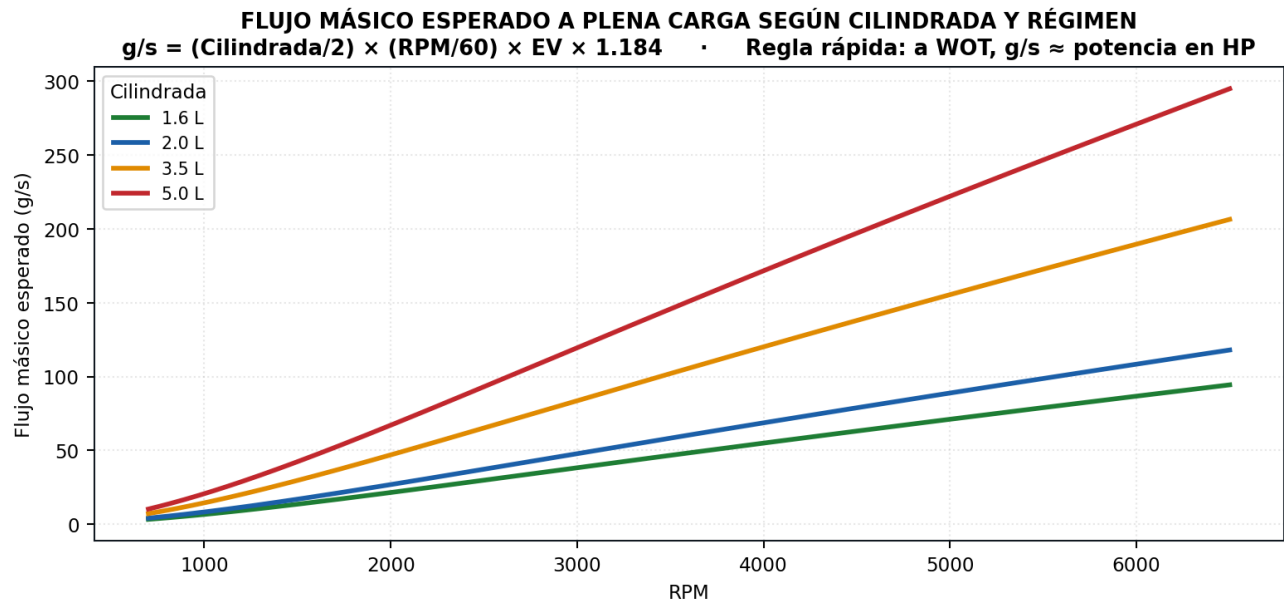


Figura 7: Flujo másico esperado según cilindrada

Regla rápida de verificación: a plena carga y máxima potencia,

$$g/s_{m\acute{a}x} \approx HP \times 0.8 \text{ a } 1.0$$

Un motor de 180 HP debe alcanzar aproximadamente **145 - 180 g/s**. Compruebe la regla con la física: un 2.0 L a 6500 RPM con $EV = 0.90$ entrega $(2.0/2) \times (6500/60) \times 0.90 \times 1.184 = 115$ g/s, y ese motor declara típicamente 150 HP — es decir, un factor de 0.77.

Use la regla solo como tamizado inicial. El cálculo con la fórmula de eficiencia volumétrica es el que decide; la regla del HP varía con el diseño de admisión, el árbol de levas y la altitud.

4 · Síntomas de falla

Falla	Síntoma
MAF contaminado (lee de menos)	La falla más común. Mezcla pobre , LTFT positivo (+15 a +35 %), tirones al acelerar, apagones en desaceleración, P0171/P0174
MAF que lee de más	Mezcla rica , humo negro, LTFT negativo, P0172/P0175

Falla	Síntoma
Fuga de aire después del MAF	Aire no medido entra al motor → mezcla pobre → LTFT positivo. El MAF está sano
Filtro de aire saturado	Flujo real reducido; el MAF lo reporta correctamente pero el motor pierde potencia
Elemento roto	Señal en 0 V o 5 V fija, P0102/P0103
Aceite del filtro de alto flujo sobre el elemento	Lectura baja permanente, muy difícil de limpiar
Manguera de admisión rota o floja	Turbulencia sobre el elemento → señal errática

Códigos: P0100 (circuito), P0101 (rango/desempeño), P0102 (entrada baja), P0103 (entrada alta), P0104 (intermitente), P0171/P0174 (mezcla pobre), P0172/P0175 (mezcla rica).

5 · Posibles soluciones y reparaciones

1. **Limpiar el elemento** con limpiador específico para MAF (no usar limpiador de frenos ni de carburador). Rociar sin tocar el elemento y dejar secar completamente antes de instalar.
2. **Inspeccionar el filtro de aire y su caja:** un filtro deteriorado deja pasar polvo que contamina el elemento en pocos miles de kilómetros.
3. **Descartar filtros de alto flujo aceitados** — el aceite migra al elemento y es la causa de un porcentaje significativo de P0171.
4. **Verificar todas las uniones entre el MAF y la mariposa** — cualquier fuga introduce aire no medido.
5. **Verificar el sistema PCV:** aceite en la admisión termina sobre el elemento.
6. Reparar el circuito de alimentación de 12 V (ver punto 9: es el circuito donde la caída de voltaje sí es crítica).
7. Reemplazar el sensor solo tras las pruebas cuantitativas del punto 6.

6 · Estrategia de diagnóstico avanzado paso a paso

Prueba A — Cálculo de eficiencia volumétrica (la prueba cuantitativa)

Esta es la prueba que convierte “el MAF parece bajo” en un número.

Paso 1. Con el vehículo en carretera y a plena carga (WOT), registre con el escáner: **RPM, g/s del MAF, IAT y presión barométrica.**

Paso 2. Calcule el flujo teórico:

$$g/s_{teo} = \frac{Cil (L)}{2} \times \frac{RPM}{60} \times 1.184$$

Paso 3. Calcule la eficiencia volumétrica real:

$$EV (\%) = \frac{g/s_{medido}}{g/s_{teo}} \times 100$$

Paso 4. Interprete:

EV calculada a par máximo	Interpretación
80 - 95 %	Motor y MAF sanos
95 - 105 %	Normal en motores con admisión variable o VVT bien calibrado
65 - 79 %	MAF que lee bajo, restricción de admisión o motor cansado
< 65 %	MAF muy contaminado o restricción severa (catalizador tapado)
> 110 %	MAF que lee alto (o motor sobrealimentado, donde no aplica esta escala)

Ejemplo completo: motor 2.0 L a 5200 RPM WOT, MAF indica 78 g/s.

$$g/s_{teo} = \frac{2.0}{2} \times \frac{5200}{60} \times 1.184 = 102.6 \text{ g/s}$$

$$EV = \frac{78}{102.6} \times 100 = 76 \%$$

76 % es bajo para plena carga. Combinado con LTFT de +22 %, confirma **MAF que lee de menos**.

Prueba B — Prueba de aceleración brusca (snap throttle)

Motor en ralentí, acelerar a fondo bruscamente en punto muerto.

Criterio	Valor aprobatorio
Voltaje pico	≥ 4.0 V
Flujo pico (motor 4 cil. 2.0 L)	≥ 90 g/s
Flujo pico (V6 3.5 L)	≥ 150 g/s
Valle en desaceleración	≤ 0.6 V / ≤ 2 g/s
Retorno a ralentí	Estable, mismo valor inicial

Prueba C — Correlación MAF ↔ MAP (verificación cruzada)

En vehículos que tienen ambos sensores:

1. Con el motor en ralentí, registre MAF (g/s) y MAP (kPa).
2. A plena carga, el MAP debe acercarse a la barométrica y el MAF debe alcanzar el valor calculado.
3. **Si el MAP indica carga alta pero el MAF indica flujo bajo**, el MAF está desviado (o hay restricción entre ambos).
4. **Si el MAF indica flujo correcto pero el MAP indica vacío alto en carga**, hay restricción de escape.

Prueba D — Prueba de sustitución de datos (Data Substitution)

Muchos escáneres permiten forzar el modo *Speed-Density* o desconectar el MAF. Desconecte el MAF con el motor en marcha:

- Si el motor **mejora** y los LTFT se normalizan → el MAF estaba desviado.
- Si el motor **empeora** notablemente → el MAF estaba aportando datos correctos.

Prueba E — Prueba de caída de voltaje

El MAF es el sensor donde la caída de voltaje SÍ es una prueba de primera línea, porque su circuito de calentamiento maneja **0.2 a 1.2 A** — corriente plenamente medible, a diferencia del MAP, el TPS o el CKP.

Circuito	Corriente	Límite de caída
Alimentación 12 V del calefactor	0.2 - 1.2 A	0.20 V
Masa de potencia del MAF	0.2 - 1.2 A	0.10 V
VREF 5 V (si aplica)	8 - 15 mA	0.10 V
Masa de señal (SIG RTN)	8 - 15 mA	0.05 V
Señal	μA	Método comparativo

Procedimiento — alimentación de 12 V: 1. Motor **en marcha** (es cuando circula corriente). 2. Punta roja en el borne positivo de la batería. 3. Punta negra en el pin de alimentación del conector del MAF (backprobe). 4. Escala mV. **Máximo 0.20 V**. 5. Repetir durante una aceleración brusca: la caída aumenta con la corriente y puede revelarse solo bajo demanda.

Procedimiento — masa de potencia: 1. Punta roja en el pin de masa del conector del MAF. 2. Punta negra en el negativo de la batería. 3. **Máximo 0.10 V**.

7 · Valores comunes de resistencia

No medir el elemento sensor. El MAF contiene un puente activo con amplificador. La resistencia del hilo caliente en frío ronda los **2 - 10 Ω**, pero **no es accesible** desde el conector y ningún fabricante publica un valor de prueba desde los pines.

Medición	Utilidad
Continuidad de cada conductor del arnés	Sí. < 1 Ω
Aislamiento entre conductores	Sí. > 10 MΩ
Resistencia del termistor IAT integrado (si aplica)	Sí, muy útil. 2000 - 3000 Ω a 20 °C
Resistencia entre pines de señal/alimentación del MAF	Sin valor diagnóstico

8 · Alimentaciones y tierras

Configuración típica de 5 pines (Bosch HFM)	Función	Valor
Pin 1	Masa de potencia	< 0.10 V
Pin 2	Alimentación 12 V (relé principal)	11.5 - 14.5 V
Pin 3	Señal IAT integrado	0.5 - 4.5 V (NTC)
Pin 4	Señal MAF	0.2 - 5.0 V

Configuración típica de 5 pines (Bosch HFM)	Función	Valor
Pin 5	Masa de señal (SIG RTN)	< 0.05 V

Punto crítico exclusivo del MAF: es de los pocos sensores que necesita **alimentación de 12 V y masa de potencia**, no solo 5 V. Una masa de potencia deficiente afecta la calibración del puente sin abrir el circuito, produciendo lecturas desviadas sin código.

9 · Aplicación de la Ley de Ohm

Caso 1 — Por qué la caída de voltaje descalibra el MAF

El elemento se mantiene a temperatura constante disipando potencia:

$$P = \frac{V^2}{R} = I^2 \times R$$

El circuito de control ajusta la corriente para que la potencia disipada compense el enfriamiento del aire. Si el voltaje de alimentación cae, el circuito puede compensar **hasta cierto punto**; más allá, la calibración se desplaza.

Con 0.8Ω de resistencia parásita en la alimentación y 0.9 A de consumo a media carga:

$$V_{drop} = 0.9 \times 0.8 = 0.72 \text{ V}$$

El MAF recibe 13.1 V en vez de 13.8 V. En aceleración brusca, el consumo sube a 1.2 A:

$$V_{drop} = 1.2 \times 0.8 = 0.96 \text{ V} \rightarrow V_{MAF} = 12.84 \text{ V}$$

La caída **crece justo cuando más se necesita la señal**. Resultado: el MAF subreporta el flujo en aceleración → mezcla pobre bajo carga → tirones y detonación, con LTFT normal en ralentí. **Un patrón que confunde a cualquiera que no haga la prueba de caída de voltaje bajo carga.**

Caso 2 — Cálculo de la potencia disipada por el elemento

Con 13.8 V y 0.9 A:

$$P = 13.8 \times 0.9 = 12.4 \text{ W}$$

Esa potencia se convierte en calor. Es la razón por la que el elemento **no debe tocarse ni limpiarse mecánicamente**: cualquier depósito aislante sobre él reduce la transferencia de calor y descalibra permanentemente el sensor.

Caso 3 — Efecto de la contaminación (por qué el MAF sucio lee bajo)

Una capa de aceite o polvo actúa como **aislante térmico**. El elemento pierde menos calor del que debería para un flujo dado, por lo que el circuito **reduce** la corriente. El resultado es un flujo reportado **menor al real**:

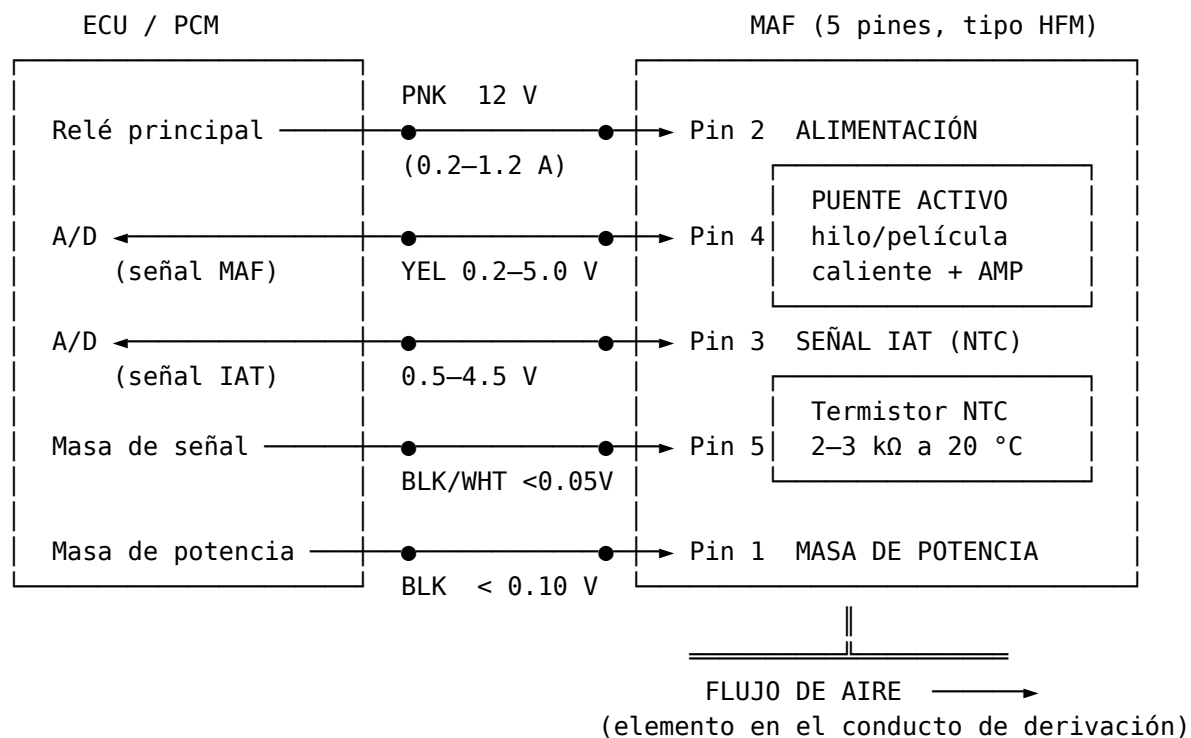
Grado de contaminación	Error típico	LTFT resultante
Leve	-5 a -10 %	+8 a +14 %

Grado de contaminación	Error típico	LTFT resultante
Moderada	-12 a -20 %	+15 a +25 %
Severa	-25 a -40 %	+26 a +40 %, con códigos

10 · Nomenclatura de cableado

Marca	12 V	Señal MAF	Masa de señal	Masa de potencia
GM	PNK, ORN	YEL, DK BLU	BLK/WHT	BLK
Ford	RED, ORN/RED	LT BLU/RED, GRY/BLK	BRN/WHT	BLK
Toyota	+B (B/R)	VG (W, LG)	E2G (BR)	E2 (BR)
Nissan	W/B	W/R	B	B
VW / Audi	rt/sw	gn/ge	br/ws	br

11 · Simbología y diagrama de conexión



El MAF es el único sensor con DOS masas distintas: señal y potencia.

12 · Análisis de oscilogramas

Punto	Correcto	Falla que indica
Nivel de ralentí	0.7 - 1.5 V estable	Bajo = contaminado · Alto = fuga antes del elemento
Pico de snap	≥ 4.0 V	Menor = contaminación, restricción o elemento dañado

Punto	Correcto	Falla que indica
Ruido superpuesto	< 0.05 V p-p	Ruido = turbulencia, manguera rota, masa deficiente
Respuesta al acelerar	Subida limpia en < 200 ms	Lenta = elemento con depósitos
Caída en desaceleración	Hasta ≤ 0.6 V	No baja = fuga de aire después del MAF
Cortes momentáneos a 0 V	Ninguno	Conexión intermitente o falla de alimentación

Configuración del osciloscopio:

Ajuste	Valor
Acoplamiento	DC
V/div	1 V/div
Time/div	500 ms/div (snap) · 1 s/div (prueba en carretera)
Trigger	Automático
Referencia	Pin de masa de señal del MAF

13 · Señales PWM / ciclo de trabajo

MAF analógico: no aplica.

MAF de frecuencia (Karman-Vortex y digitales): onda cuadrada de 0 a 5 V con **ciclo de trabajo fijo de ≈ 50 %**. La información está en la frecuencia.

Condición	Frecuencia típica	Flujo aproximado
Motor apagado	0 Hz	0 g/s
Ralentí	25 - 40 Hz	2 - 5 g/s
2000 RPM sin carga	62 - 95 Hz	9 - 20 g/s
Aceleración brusca	145 - 190 Hz	80 - 150 g/s

Mismo error de diagnóstico que en el MAP de frecuencia: medir en voltios DC dará ≈ 2.5 V constante. **Use la función Hz.**

14 · Análisis de corriente

El MAF es, junto con los inyectores y las bobinas, uno de los pocos sensores donde el análisis de corriente entrega información directa del estado interno.

Condición	Corriente esperada
KOEO (elemento calentando)	0.15 - 0.35 A
Ralentí	0.25 - 0.45 A
2000 RPM sin carga	0.40 - 0.65 A
Aceleración brusca	0.85 - 1.20 A

Condición	Corriente esperada
Plena carga sostenida	0.9 – 1.2 A

Método: pinza de baja corriente sobre el cable de alimentación de 12 V, escala 100 mV/A, osciloscopio a 200 mV/div y 500 ms/div.

Interpretación:

Hallazgo	Diagnóstico
Corriente que sube y baja con el flujo	Elemento sano
Corriente baja y poco variable	Elemento contaminado (aislado térmicamente)
Corriente alta y constante	Elemento en corto o circuito de control fallado
Corriente 0 A	Alimentación ausente o elemento abierto
Corriente que no alcanza 0.85 A en snap	Restricción de admisión o contaminación

Ventaja de esta prueba: detecta contaminación **antes** de que aparezca un código, porque la corriente reacciona a la contaminación de forma más directa que el voltaje de salida (que el propio circuito de compensación intenta corregir).

15 · Preguntas de autoevaluación — MAF

P1. Un motor 2.4 L a 5000 RPM en plena carga reporta 71 g/s en el MAF. Calcule la eficiencia volumétrica e interprete el resultado. ¿Qué esperaría ver en los fuel trims y qué prueba realizaría a continuación?

P2. Un vehículo presenta P0171 con LTFT de +24 % a ralentí que **baja a +6 %** en cruce a 2500 RPM. ¿Es más probable un MAF contaminado o una fuga de aire? Justifique con el razonamiento físico del comportamiento de los fuel trims.

P3. La prueba de caída de voltaje en la alimentación del MAF arroja 0.11 V en ralentí (dentro de especificación) pero 0.94 V durante una aceleración brusca. Calcule la resistencia parásita en ambos casos sabiendo que la corriente es de 0.32 A y 1.15 A respectivamente. ¿Por qué la resistencia calculada es similar pero el efecto es tan distinto?

MAF DE SALIDA DE FRECUENCIA (KARMAN-VORTEX / DIGITAL)
La amplitud NO cambia; toda la información está en los hercios

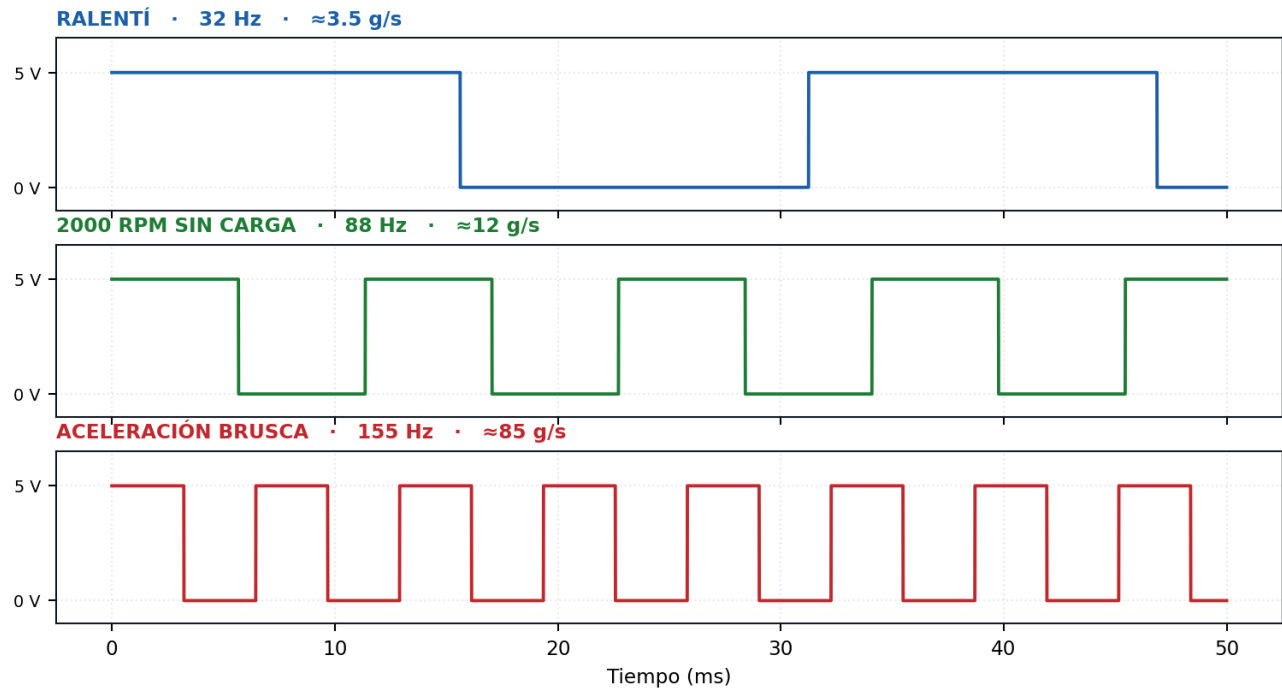


Figura 8: MAF de salida de frecuencia

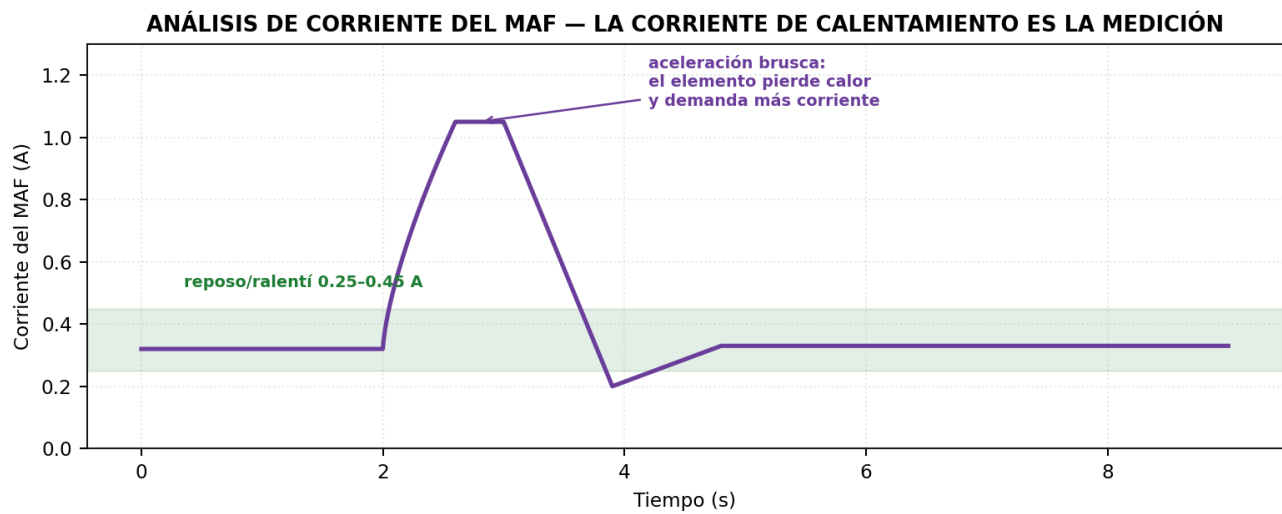


Figura 9: Análisis de corriente del MAF

2.4 · MAF DIGITAL MODERNO (HFM6 / HFM7 / SENT)

Qué cambió

Los MAF de última generación integran el acondicionamiento de señal y entregan el dato **ya digitalizado**. Las razones son inmunidad al ruido, mayor resolución y la posibilidad de transmitir **varias variables por un solo hilo**.

Generación	Salida	Variables transmitidas
HFM5 (analógico)	0 - 5 V	Flujo (+ IAT por hilo separado)
HFM6 HFM7 / SENT	Frecuencia o 0 - 5 V Trama digital SENT (SAE J2716)	Flujo, IAT Flujo, IAT, presión, humedad relativa

1 · Valores en ralentí

Parámetro	Valor
Alimentación	11.5 - 14.5 V
Nivel bajo de la trama SENT	0.0 - 0.5 V
Nivel alto de la trama SENT	4.5 - 5.0 V
Frecuencia base (<i>tick</i>) SENT	3 µs por tick (típico), rango 1 - 90 µs
Periodo de trama	0.5 - 3 ms
Flujo reportado (2.0 L)	2.5 - 5.0 g/s

2 · Valor aproximado a 2000 RPM

La **forma de la señal no cambia**: sigue siendo una trama digital con niveles fijos. Lo que cambia es el **contenido de los nibbles de datos**. Solo se lee con escáner o con un osciloscopio con decodificador SENT.

3 · Rango de funcionamiento normal

Parámetro	Rango
Flujo	0 - 480 g/s
Resolución	12 bits (4096 pasos)
Frecuencia de actualización	1 - 2 kHz
Temperatura de operación	-40 °C a +130 °C

4 · Síntomas de falla

Idénticos a los del MAF analógico en cuanto a comportamiento del motor. La diferencia está en el diagnóstico: **una trama corrupta produce códigos de comunicación**, no de “circuito alto/bajo”.

Códigos típicos adicionales: P0101 con subcódigos de *checksum*, y códigos específicos de fabricante para “señal de sensor no válida” o “mensaje perdido”.

5 · Posibles soluciones y reparaciones

1. Las mismas del MAF analógico (contaminación, fugas, filtro, PCV).
2. **Verificar el blindaje del cable de señal:** la trama digital es rápida y sensible a interferencia.
3. Verificar la integridad de los conectores: un contacto marginal que en un sensor analógico solo desplazaría la lectura, en un sensor digital **corrompe la trama entera** y produce pérdida total del dato.
4. Reemplazar el sensor si la trama es incoherente con alimentación y masa correctas.

6 · Estrategia de diagnóstico avanzado

Paso 1 — Alimentación y masa. Iguales al MAF analógico, con los mismos límites de caída de voltaje (0.20 V / 0.10 V).

Paso 2 — Verificación de la trama con osciloscopio.

Criterio	Valor aprobatorio
Niveles lógicos	0 - 0.5 V / 4.5 - 5.0 V
Flancos	< 5 μ s
Ruido en las mesetas	< 0.3 V
Periodicidad de la trama	Constante
Presencia del pulso de sincronía (56 ticks)	Sí

Paso 3 — Lectura de PIDs. Sin decodificador SENT, el diagnóstico se apoya en los PIDs del escáner y en las pruebas funcionales (EV, snap, correlación con MAP) del §2.3.

Paso 4 — Caída de voltaje. Idéntica al §2.3 Prueba E.

7 · Valores comunes de resistencia

No aplica. Circuito integrado digital. **No medir.**

8 · Alimentaciones y tierras

Pin	Función	Valor
1	Masa	< 0.10 V
2	Alimentación 12 V	11.5 - 14.5 V
3	Señal SENT	Trama digital 0 - 5 V
4	Alimentación 5 V (algunos)	4.90 - 5.10 V
5	Masa de señal	< 0.05 V

9 · Aplicación de la Ley de Ohm

Idéntica al §2.3 punto 9 para el circuito de potencia. **Diferencia crítica en el circuito de señal:** en una señal analógica, 500 Ω parásitos desplazan la lectura un pequeño porcentaje y el motor sigue funcionando degradado. En una señal digital, la degradación de los flancos por resistencia y capacitancia parásita produce **pérdida total del dato** de forma abrupta.

$$\tau = R_{par} \times C_{cable}$$

Con $C_{cable} = 200 \text{ pF}$ y $R_{par} = 5\,000 \Omega$:

$$\tau = 5000 \times 200 \times 10^{-12} = 1 \mu s$$

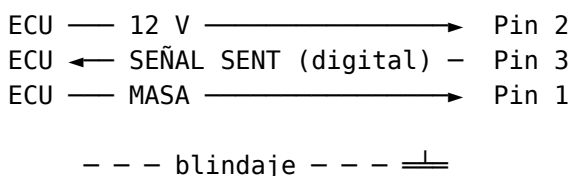
Un tiempo de subida de $\sim 2.2\tau = 2.2 \mu s$ es todavía aceptable frente a un tick de $3 \mu s$, pero está en el límite. Con $20 \text{ k}\Omega$ parásitos, $\tau = 4 \mu s$ y **la trama deja de ser decodificable**.

Regla del diagnóstico digital: los sensores digitales fallan de forma **binaria** — funcionan o no funcionan. No producen la deriva gradual de los analógicos. Esto simplifica el diagnóstico eléctrico y hace más importantes las pruebas funcionales (EV, correlación, snap).

10 · Nomenclatura de cableado

Marca	12 V	Señal SENT	Masa
VW / Audi	rt/sw	gn/ws (blindado)	br
BMW	rt/ge	ws/gn	br/sw
Ford	RED	GRY/BLU	BLK

11 · Simbología y diagrama de conexión



ELEMENTO DE PELÍCULA
+ ASIC de conversión
+ IAT + humedad
+ presión (opcional)

TRAMA SENT SIMPLIFICADA (SAE J2716):

SYNC	STATUS	DATA 1	DATA 2	DATA 3	DATA 4	DATA 5	CRC
56 tk	...	4 bit	4 bit	4 bit	4 bit	4 bit	4 bit

El ancho de cada nibble (en ticks) codifica el valor. 1 tick $\approx 3 \mu s$.

12 · Análisis de oscilogramas

Lo que se verifica es la **integridad de la trama**, no su contenido: niveles, flancos, periodicidad, ausencia de ruido y presencia del pulso de sincronía. Un osciloscopio con decodificador SENT muestra directamente los valores; sin él, se verifica que la trama exista y sea limpia, y el dato se lee por escáner.

13 · Señales PWM / ciclo de trabajo

SENT **no es PWM**. Es codificación por **ancho de pulso en ticks**: cada nibble de datos dura entre 12 y 27 ticks, y ese número codifica un valor de 0 a 15. El concepto de “duty cycle” no aplica y medirlo con multímetro no aporta nada.

Algunos MAF digitales de transición sí entregan **PWM verdadero** con duty cycle proporcional al flujo: 10 % en reposo, 90 % a flujo máximo, a frecuencia fija de 1 – 2 kHz. Verifique el diagrama antes de interpretar.

14 · Análisis de corriente

Idéntico al §2.3 punto 14: **0.2 - 1.2 A**, con el mismo valor diagnóstico. El análisis de corriente es especialmente útil en MAF digitales porque **no depende de poder decodificar la trama**.

15 · Preguntas de autoevaluación — MAF digital

P1. Un MAF con salida SENT presenta pérdida intermitente del dato en el escáner. La trama en el osciloscopio muestra niveles correctos pero flancos con tiempo de subida de 4.5 μ s. Con una capacitancia de cable de 220 pF, calcule la resistencia parásita presente y explique por qué el fallo es abrupto y no gradual.

P2. ¿Por qué el análisis de corriente conserva todo su valor diagnóstico en un MAF digital, mientras que la medición de voltaje de señal lo pierde?

P3. Un técnico mide 2.4 V en el pin de señal de un MAF SENT con el multímetro en DC y concluye que el sensor está entregando “media señal”. ¿Qué está midiendo realmente y cuál es el procedimiento correcto?

2.5 · TPS — SENSOR DE POSICIÓN DE LA MARIPOSA

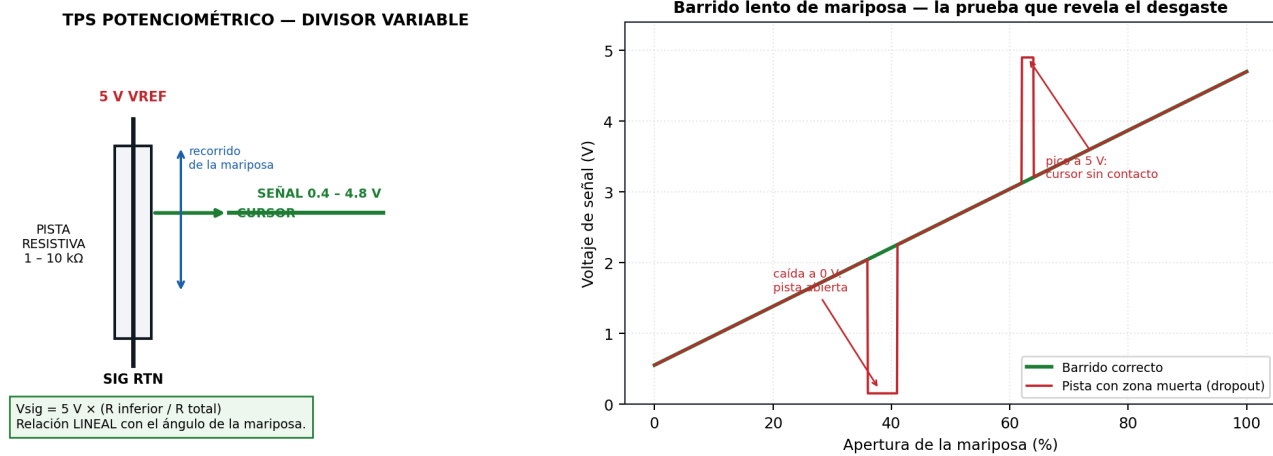


Figura 10: Circuito del TPS y barrido

Principio de funcionamiento

TPS potenciométrico (cable de acelerador): una pista resistiva de carbón o cerámica-metal recibe 5 V en un extremo y masa en el otro. Un cursor solidario al eje de la mariposa toma una fracción proporcional del voltaje. Es un **divisor de tensión variable** (Módulo 0, §0.2.4).

TPS de efecto Hall (cuerpo de aceleración electrónico): un imán solidario al eje se mueve frente a un elemento Hall lineal. **No hay contacto mecánico**, por lo que no se desgasta. Es la arquitectura estándar en ETC.

1 · Valores en ralentí (mariposa cerrada)

Tipo	Valor esperado
TPS potenciométrico, mariposa cerrada	0.4 - 0.9 V (típico 0.5 - 0.7 V)
TPS Hall (ETC), pista 1	0.5 - 0.9 V
TPS Hall (ETC), pista 2 en espejo	4.1 - 4.5 V
TPS Hall (ETC), pista 2 proporcional	0.25 - 0.45 V
PID de posición en el escáner	0 % (tras aprendizaje)
Ángulo de apertura real en ralentí (ETC)	3 - 8 %

2 · Valor aproximado a 2000 RPM (sin carga, en punto muerto)

Tipo	Valor
TPS potenciométrico	0.9 - 1.5 V (12 - 22 % de apertura)
TPS Hall pista 1	1.0 - 1.6 V
PID de posición	10 - 20 %

A plena carga (WOT):

Tipo	Valor
TPS potenciométrico	3.9 - 4.8 V
TPS Hall pista 1	4.2 - 4.7 V
PID de posición	95 - 100 %

3 · Rango de funcionamiento normal

Parámetro	Rango
Voltaje de salida	0.4 - 4.9 V
Ángulo mecánico de barrido	80° - 95°
Resistencia total de la pista (potenciométrico)	1 - 10 kΩ (típico 3 - 6 kΩ)
Linealidad	±2 % del fondo de escala
Vida útil (potenciométrico)	1 - 3 millones de ciclos
Consumo	0.5 - 5 mA

4 · Síntomas de falla

Falla	Síntoma
Zona muerta en la pista (dropout)	Tirón o “patada” al pasar por una apertura específica, cambios erráticos en automático, luz MIL intermitente
Señal siempre alta (> 4.5 V)	La ECU cree WOT permanente: modo de anegamiento, no arranca, no inyecta
Señal siempre baja (< 0.2 V)	Sin respuesta al acelerador, ralentí solamente
Ajuste de cero incorrecto	Ralentí alto o bajo, cambios de marcha tardíos
Pista desgastada por vibración	Señal ruidosa, misfires falsos, P0121
Correlación TPS1/TPS2 fuera de rango (ETC)	P2135 , modo de emergencia, potencia limitada
VREF colapsada	Falla simultánea con MAP y APP

Códigos: P0120 (circuito A), P0121 (rango/desempeño), P0122 (entrada baja), P0123 (entrada alta), P0124 (intermitente), P0220/P0221/P0222/P0223 (circuito B), **P2135** (correlación TPS A/B), P2101 (rango del actuador ETC).

5 · Posibles soluciones y reparaciones

1. **Limpiar el cuerpo de aceleración** — los depósitos de carbón alrededor de la mariposa alteran el punto de cierre y falsean el aprendizaje.
2. **Ejecutar el procedimiento de aprendizaje** del cuerpo de aceleración (*Throttle Body Relearn / Idle Relearn*) después de limpiar o reemplazar. **Omitir este paso deja ralentí alto o inestable.**
3. Verificar y ajustar el TPS potenciométrico si es de posición ajustable (tornillos ranurados) al valor especificado con la mariposa cerrada.
4. Reparar VREF, señal y masa según los hallazgos.
5. Reemplazar el TPS (o el cuerpo completo, si es integrado) cuando el barrido revele zonas muertas.

6 · Estrategia de diagnóstico avanzado paso a paso

Prueba A — Barrido lento con osciloscopio (la prueba insustituible)

El multímetro no sirve para esta prueba. Una zona muerta de 5 ms de duración es invisible para un multímetro (que actualiza 2-4 veces por segundo) y evidente en el osciloscopio.

1. Osciloscopio en el pin de señal, referencia en el pin de masa del sensor.
2. Ajustes: **DC, 1 V/div, 500 ms/div a 1 s/div**, trigger automático.
3. Abrir la mariposa **muy lentamente** de cierre total a tope, y cerrarla igual de lento. Repetir 3 veces.
4. La traza debe ser una **rampa perfectamente limpia**, sin escalones, caídas a 0 V ni picos a 5 V.
5. Repetir el barrido **golpeando ligeramente el sensor** con el mango de un destornillador: revela pistas con contacto marginal.

Hallazgo	Diagnóstico
Rampa limpia y lineal	TPS sano
Caída puntual a 0 V	Pista abierta en ese punto
Pico puntual a 5 V	Cursor sin contacto (queda flotando hacia VREF)
Escalones o “dientes de sierra”	Pista desgastada
Rampa que no llega a 4.0 V en WOT	Tope mecánico o sensor mal montado
Rampa con ruido superpuesto	Masa de sensor deficiente

Prueba B — Verificación de puntos fijos

Punto	Valor esperado
Mariposa cerrada	0.4 - 0.9 V
Mariposa a fondo (WOT)	3.9 - 4.8 V
Recorrido total	≥ 3.2 V de excursión

Un recorrido menor a 3.0 V indica pista desgastada en los extremos o montaje incorrecto.

Prueba C — Verificación de correlación en ETC (doble pista)

1. Osciloscopio de 2 canales, uno en cada señal.
2. Barrer la mariposa lentamente (con el escáner en modo de prueba de actuadores, o pisando el pedal con el motor apagado y llave en contacto).
3. Verificar la relación:

Configuración	Verificación
Espejo	$TPS_1 + TPS_2 \approx 5.0 \text{ V}$ en todo el recorrido ($\pm 0.2 \text{ V}$)
Proporcional 2:1	$TPS_1 / TPS_2 \approx 2.0$ en todo el recorrido (± 0.1)

Cualquier punto del recorrido donde la relación se rompa genera **P2135** y activa el modo de emergencia.

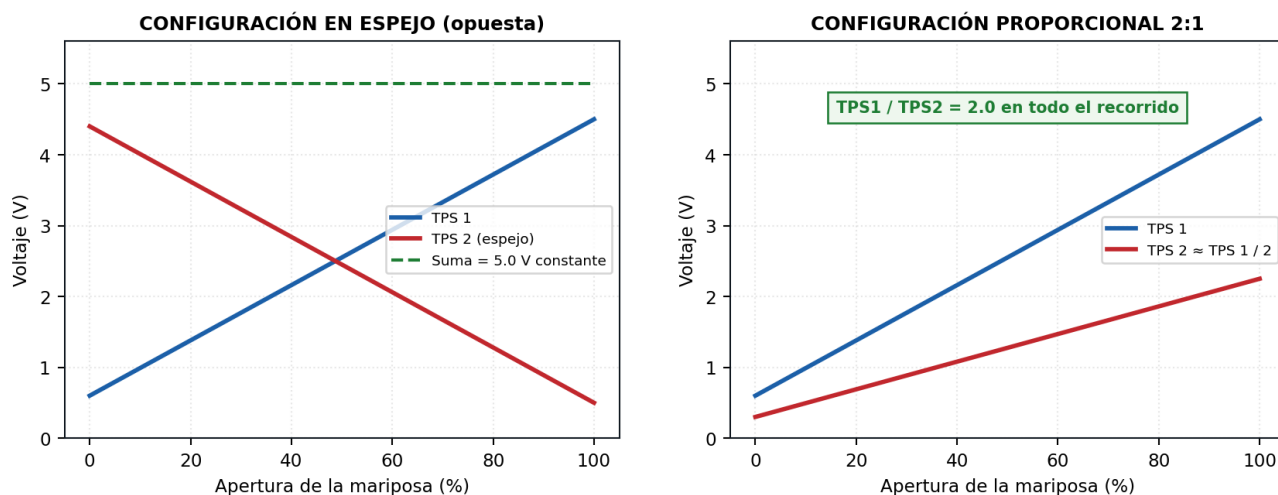
TPS DOBLE PISTA DEL CUERPO DE ACCELERACIÓN ELECTRÓNICO (ETC) — REDUNDANCIA DE SEGURIDAD

Figura 11: Configuraciones de TPS doble pista

Prueba D — Prueba de caída de voltaje

Circuito	Corriente	Límite
VREF 5 V	0.5 – 5 mA (más el resto de la línea)	0.10 V
SIG RTN	0.5 – 5 mA	0.05 V
Señal	μ A	Método comparativo (< 0.05 V de diferencia)

Procedimiento específico para el TPS: realice la medición de la caída en VREF **con la mariposa a fondo**, momento de máxima corriente por la pista. Una VREF que cae solo en WOT produce un TPS que “se aplana” en el extremo superior.

7 · Valores comunes de resistencia

Aplica únicamente al TPS potenciométrico. En el TPS Hall (ETC), **no medir**.

Medición (sensor desconectado)	Valor esperado
Pista completa: VREF $\leftrightarrow$ masa	1 - 10 kΩ (típico 3 - 6 k Ω), constante al mover la mariposa
Cursor $\leftrightarrow$ masa, mariposa cerrada	0.5 - 1.5 k Ω
Cursor $\leftrightarrow$ masa, mariposa a fondo	3 - 8 k Ω (cercano al total)
Cursor $\leftrightarrow$ VREF + cursor $\leftrightarrow$ masa	Debe sumar el valor de la pista completa

Prueba de barrido con óhmetro: mida cursor $\leftrightarrow$ masa mientras abre lentamente la mariposa. El valor debe subir de forma continua. Cualquier salto a **OL** delata una zona muerta.

Limitación: el óhmetro es lento y puede no capturar zonas muertas breves. **El osciloscopio siempre tiene la última palabra.**

8 · Alimentaciones y tierras

Pin	Nombre	Valor	Notas
A	VREF / VC / 5V	4.90 - 5.10 V	Compartida con MAP y otros
B	SIG / VTA / TP	0.4 - 4.9 V	Señal
C	SIG RTN / E2	< 0.05 V	Masa de sensor

ETC (4 a 6 pines): dos señales (TPS1 y TPS2), y según el diseño, una o **dos VREF y dos masas independientes**. La duplicación es deliberada: un fallo de una VREF no debe dejar al sistema sin ninguna señal de posición.

9 · Aplicación de la Ley de Ohm

Cálculo del divisor:

$$V_{sig} = V_{REF} \times \frac{R_{cursor \rightarrow masa}}{R_{pista\ total}}$$

Ejemplo: pista de 4 700 Ω , cursor a 780 Ω de la masa, VREF 5.0 V:

$$V_{sig} = 5.0 \times \frac{780}{4700} = 0.83\text{ V}$$

Cálculo de la corriente que circula por la pista:

$$I = \frac{5.0}{4700} = 1.06\text{ mA}$$

Caso — Resistencia parásita en el circuito de masa del sensor

Con 40 Ω de resistencia parásita en SIG RTN:

$$V_{drop} = 0.00106 \times 40 = 0.042\text{ V}$$

Toda la señal se desliza hacia arriba en 42 mV. Con la mariposa cerrada, el TPS lee 0.87 V en vez de 0.83 V — apenas 5 % de error, tolerable.

Caso — Resistencia parásita de 800 Ω en el circuito de VREF

$$V_{drop} = 0.00106 \times 800 = 0.85\text{ V}$$

El TPS recibe 4.15 V. La señal en WOT ya no alcanza 4.5 V sino:

$$V_{WOT} = 4.15 \times \frac{4400}{4700} = 3.88\text{ V}$$

La ECU nunca reconoce plena carga: **el motor pierde el enriquecimiento de potencia y el corte de A/C en WOT**. El síntoma es “falta de potencia” sin código.

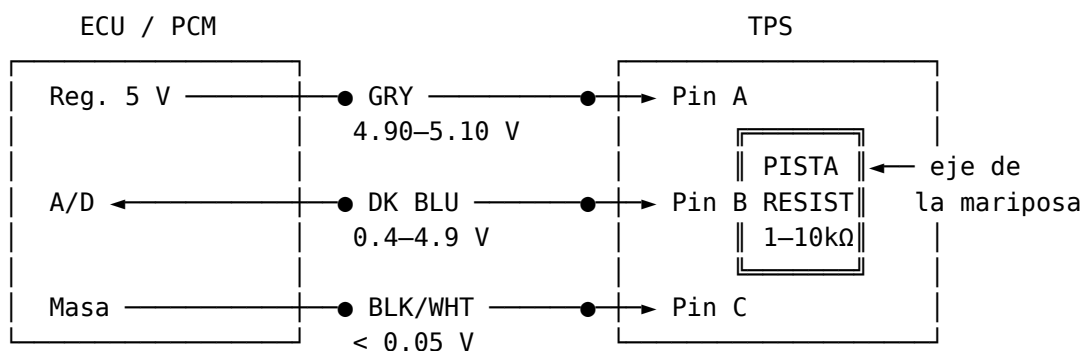
Observación importante: el TPS es tan poco exigente en corriente (1 mA) que tolera resistencias parásitas grandes antes de fallar. Por eso, cuando un TPS falla, la causa es **casi siempre mecánica** (pista desgastada) y no eléctrica. Lo contrario ocurre con el MAF.

10 · Nomenclatura de cableado

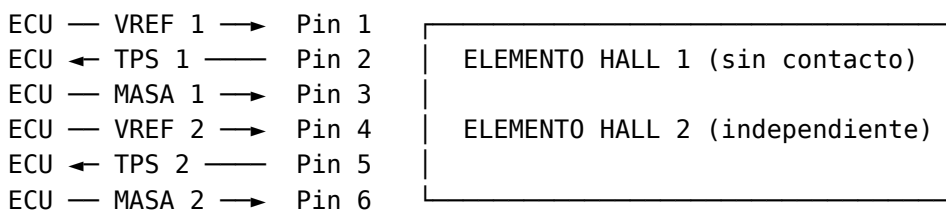
Marca	VREF	Señal	Masa
GM	GRY	DK BLU, LT GRN	BLK, BLK/WHT
Ford	BRN/WHT, GRY/RED	GRN/WHT, DK GRN/LT GRN	GRY/RED, BLK/WHT
Chrysler	VIO/WHT	ORN/DK BLU	BLK/LT BLU
Toyota	VC (B/Y)	VTA / VTA1 (L/R)	E2 (BR)
Honda	YEL/RED	RED/BLK	GRN/WHT
VW / Audi	rt/ge	gn/br, ws/gn	br/ws

11 · Simbología y diagrama de conexión

TPS POTENCIOMÉTRICO (3 hilos)



TPS DOBLE PISTA DE CUERPO ELECTRÓNICO (ETC) – 6 pines



Dos circuitos ELÉCTRICAMENTE INDEPENDIENTES = redundancia real.

Los pines 7 y 8 del conector corresponden al MOTOR del ETC (Módulo 10).

12 · Análisis de oscilogramas

Ya cubierto en la Prueba A (§2.5 punto 6). **Configuración de referencia:**

Ajuste	Valor
Acoplamiento	DC
V/div	1 V/div
Time/div	500 ms/div - 1 s/div
Trigger	Automático
Referencia	Pin de masa del sensor
Canales	1 (potenciométrico) · 2 (ETC, obligatorio)

13 · Señales PWM / ciclo de trabajo

No aplica al sensor. El TPS es analógico o Hall lineal analógico.

Advertencia de contexto: en el conector de un cuerpo de aceleración electrónico conviven las señales analógicas del TPS y la señal PWM del motor del actuador (1 - 2 kHz, puente H). No las confunda: los pines del motor presentan una onda cuadrada de alta frecuencia y decenas de miliamperios a varios amperios. Se estudian en el Módulo 10.

14 · Análisis de corriente

Medición	Valor	Método
Consumo del TPS potenciométrico	0.5 - 5 mA	Calculado: $I = 5 V / R_{pista}$
Consumo del TPS Hall (ETC), por pista	8 - 15 mA	Pinza con 10 vueltas

Interpretación: el consumo del TPS potenciométrico es tan bajo que la pinza amperimétrica **no aporta valor diagnóstico**; se calcula con la Ley de Ohm a partir de la resistencia de la pista.

En el TPS Hall, un consumo anormalmente alto en una de las dos pistas indica elemento en corto, que puede además estar cargando su línea VREF.

15 · Preguntas de autoevaluación — TPS

P1. Un vehículo con transmisión automática presenta un tirón repetible al acelerar suavemente, siempre alrededor del 30 % de apertura. El PID del TPS en el escáner sube de forma continua sin anomalías. ¿Por qué el escáner no detecta el problema, qué prueba realiza y qué espera observar?

P2. Un TPS potenciométrico tiene una pista de 5 200 Ω . Con la mariposa cerrada, la resistencia cursor $\leftrightarrow$ masa es de 640 Ω . Calcule el voltaje de señal esperado con VREF de 5.00 V, y recalcúlelo si existe una resistencia parásita de 600 Ω en el circuito de VREF.

P3. En un cuerpo de aceleración electrónico, TPS1 indica 2.40 V y TPS2 indica 2.55 V. El vehículo entra en modo de emergencia con P2135. Determine qué configuración usa este sistema y si los valores son coherentes con ella.

2.6 · APP — SENSOR DE POSICIÓN DEL PEDAL DEL ACELERADOR

SENSOR DE PEDAL (APP) — LÓGICA DE CORRELACIÓN DE DOS PISTAS INDEPENDIENTES

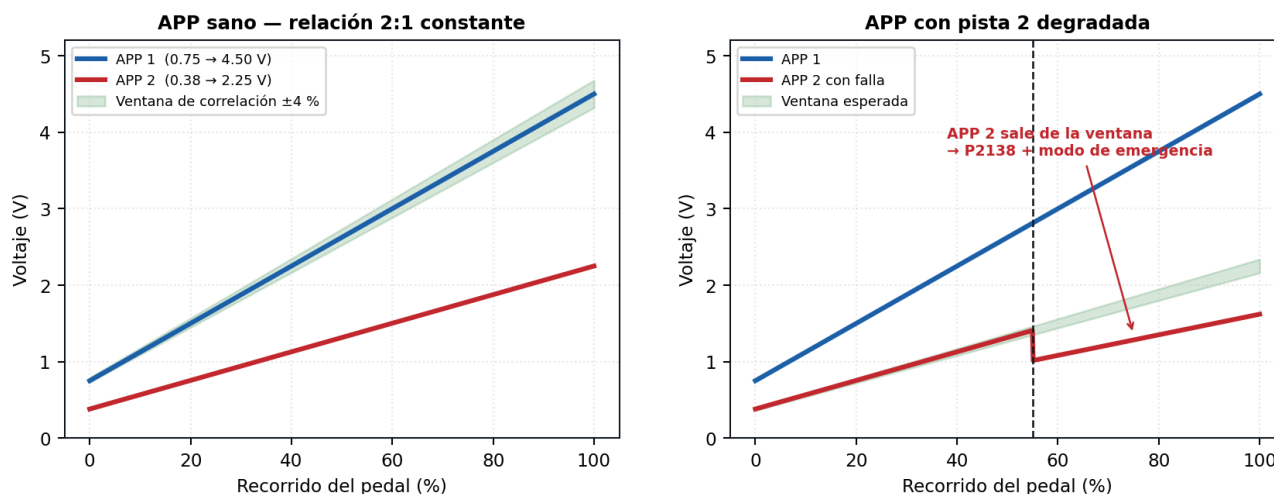


Figura 12: Lógica de correlación del APP

Por qué la redundancia es obligatoria

En un vehículo con **acelerador electrónico** no existe cable entre el pedal y la mariposa. Si el APP entregara un dato erróneo, la ECU abriría la mariposa sin orden del conductor. Por eso **la norma exige redundancia**: dos (o tres) elementos sensores **eléctricamente independientes**, con VREF y masas separadas, y una lógica de correlación permanente.

Si las señales dejan de correlacionar, la ECU no elige una: entra en modo de emergencia (limp mode), limitando la apertura de la mariposa y las RPM.

1 · Valores con el pedal en reposo

Configuración	APP 1	APP 2	APP 3 (si existe)
Proporcional 2:1 (la más común)	0.6 - 0.9 V	0.3 - 0.5 V	—
Espejo (opuesta)	0.6 - 0.9 V	4.1 - 4.4 V	—
Toyota de 3 pistas	VPA 0.6 - 1.0 V	VPA2 1.2 - 2.0 V	—
PID del escáner	0 %	0 %	0 %

2 · Valores con el pedal a fondo

Configuración	APP 1	APP 2
Proporcional 2:1	3.9 - 4.6 V	1.9 - 2.4 V
Espejo	3.9 - 4.6 V	0.4 - 0.9 V
Toyota de 3 pistas	VPA 3.4 - 4.5 V	VPA2 4.0 - 4.9 V
PID del escáner	95 - 100 %	95 - 100 %

Nota: el APP no tiene “valor a 2000 RPM”: su señal depende del pedal, no del régimen. Los valores relevantes son **reposo**, **recorrido intermedio** y **fondo**.

3 · Rango de funcionamiento normal

Parámetro	Rango
Excursión de APP 1	$\geq 3.0 \text{ V}$
Excursión de APP 2	$\geq 1.5 \text{ V}$ (config. 2:1)
Ventana de correlación	$\pm 4 \% \text{ a } \pm 8 \%$ del fondo de escala
Tiempo de respuesta	$< 10 \text{ ms}$
Consumo por pista	8 - 15 mA (Hall) · 0.5 - 5 mA (potenciométrico)
Vida útil	> 5 millones de ciclos

4 · Síntomas de falla

Falla	Síntoma
Correlación fuera de ventana	Modo de emergencia: RPM limitadas a 1000 - 1500, el pedal apenas responde, luz MIL, P2138
Una pista con zona muerta	Tirón momentáneo en un punto del recorrido, luego modo de emergencia
VREF de una pista colapsada	Modo de emergencia inmediato
Masa de una pista abierta	Señal que sube hacia VREF, correlación rota
Resorte del pedal debilitado	Ralentí ligeramente alto, retorno lento
Alfombra o tapete interfiriendo	Pedal que no retorna a cero: la ECU registra apertura permanente

Códigos:

Código	Significado
P2122 / P2123	APP sensor A — entrada baja / alta
P2127 / P2128	APP sensor B — entrada baja / alta
P2132 / P2133	APP sensor C — entrada baja / alta
P2138	Correlación APP A / B
P2139	Correlación APP B / C
P2140	Correlación APP A / C
P2135	Correlación TPS A / B (no confundir con el APP)

5 · Posibles soluciones y reparaciones

1. **Verificar primero que el pedal retorne libremente** a su tope. Tapetes mal colocados, suciedad y resortes vencidos causan códigos sin falla eléctrica.
2. Reparar VREF, señal y masa de la pista afectada — **recuerde que son circuitos independientes:** la falla puede estar en solo uno de ellos.
3. Reemplazar el conjunto de pedal completo (en la mayoría de vehículos el sensor no se vende por separado).

4. **Ejecutar el aprendizaje del pedal** (*APP Learn / Idle Learn*) tras el reemplazo cuando el fabricante lo exija.
5. Borrar códigos y verificar que el modo de emergencia se desactive tras un ciclo de llave.

6 · Estrategia de diagnóstico avanzado paso a paso

Prueba A — Barrido de dos canales (la prueba central)

1. Osciloscopio de 2 canales: CH1 = APP1, CH2 = APP2.
2. Referencia de cada sonda en **su propia masa de sensor**.
3. Ajustes: DC, 1 V/div, 1 s/div, trigger automático.
4. Con la llave en contacto (motor apagado), pisar el pedal **muy lentamente** de cero a fondo y regresar. Repetir 3 veces.
5. Verificar:

Criterio	Aprobatorio
Ambas rampas limpias, sin escalones	Sí
Relación 2:1 constante en todo el recorrido (config. proporcional)	± 0.1
Suma constante de 5 V (config. espejo)	± 0.2 V
Ambas parten del mismo punto de reposo tras soltar el pedal	Sí
Sin caídas a 0 V ni picos a 5 V	Sí

Prueba B — Identificación de la configuración

Antes de juzgar los valores, **determine qué configuración usa el vehículo**:

1. Pise el pedal lentamente observando ambos PIDs.
2. Si ambos **suben** → configuración **proporcional**. Calcule la relación.
3. Si uno sube y el otro **baja** → configuración **espejo**. Verifique que la suma sea constante.

Error frecuente: condenar un APP en configuración espejo porque “la pista 2 baja cuando se pisa el pedal”. Eso es exactamente lo que debe hacer.

Prueba C — Prueba de independencia de circuitos

1. Mida VREF de la pista 1 y VREF de la pista 2 **por separado**.
2. Ambas deben estar en 4.90 – 5.10 V.
3. Mida cada masa de sensor contra el negativo de batería: **< 0.05 V** cada una.
4. **Si ambas VREF caen juntas**, comparten origen en la ECU y hay un corto aguas abajo. Si cae solo una, el problema es de ese circuito específico.

Prueba D — Prueba de caída de voltaje

Circuito	Corriente	Límite
VREF de cada pista	8 – 15 mA (Hall)	0.10 V
Masa de cada pista	8 – 15 mA	0.05 V
Señal de cada pista	μ A	Método comparativo

Procedimiento crítico: realice la medición **con el pedal a fondo y sostenido**, no en reposo. Muchas fallas de APP solo se manifiestan en el extremo del recorrido.

7 · Valores comunes de resistencia

Tipo de APP	Resistencia
Potenciométrico (más antiguo)	Pista completa 1 - 6 kΩ , constante
Hall / sin contacto (el estándar actual)	No aplica — no medir

Para identificar el tipo: mida VREF ↔ masa del sensor con el conector desconectado. Un valor estable de kilo-ohmios indica potenciométrico; una lectura tipo diodo o inestable indica Hall.

8 · Alimentaciones y tierras

Pin (configuración típica de 6)	Función	Valor
1	VREF pista 1	4.90 - 5.10 V
2	Señal APP 1	0.6 - 4.6 V
3	Masa pista 1	< 0.05 V
4	VREF pista 2	4.90 - 5.10 V
5	Señal APP 2	0.3 - 2.4 V (o espejo)
6	Masa pista 2	< 0.05 V

Principio de diseño de seguridad: las dos VREF y las dos masas son **circuitos separados desde la ECU**. Nunca puentee uno con otro “para probar”: anula la redundancia y puede provocar una condición insegura.

9 · Aplicación de la Ley de Ohm

Verificación matemática de la correlación (config. proporcional 2:1):

$$APP_2 = \frac{APP_1 - V_{offset}}{2} + V_{offset2}$$

En la práctica de taller basta con verificar la relación directa:

$$\text{Relación} = \frac{APP_1}{APP_2} \approx 2.0 \pm 0.1$$

Caso — Resistencia parásita en la masa de la pista 2

Un APP Hall consume 12 mA por pista. Con 25 Ω parásitos en la masa de la pista 2:

$$V_{drop} = 0.012 \times 25 = 0.30 \text{ V}$$

Toda la señal de APP2 se desplaza **hacia arriba** 0.30 V. Con el pedal en reposo:

$$APP_2 = 0.40 + 0.30 = 0.70 \text{ V}$$

$$\text{Relación} = \frac{0.75}{0.70} = 1.07 \quad (\text{esperado: } 2.0)$$

Correlación rota → P2138 → modo de emergencia. El elemento sensor está perfecto; el problema es una masa de 25 Ω. **Reemplazar el pedal no resuelve nada.**

Caso — Resistencia parásita en VREF de la pista 1

Con 60 Ω parásitos y 12 mA:

$$V_{drop} = 0.012 \times 60 = 0.72 \text{ V} \rightarrow V_{REF1} = 4.28 \text{ V}$$

La señal APP1 escala proporcionalmente. Con el pedal a fondo:

$$APP_1 = 4.50 \times \frac{4.28}{5.00} = 3.85 \text{ V}$$

$$\text{Relación} = \frac{3.85}{2.25} = 1.71 \quad (\text{esperado: } 2.0)$$

Desviación del 15 %: fuera de la ventana de ±8 % → **P2138**.

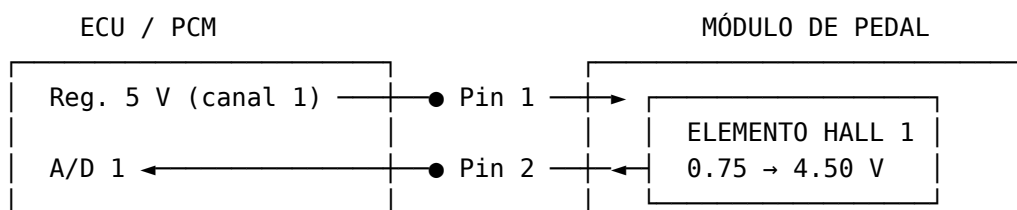
Conclusión operativa del punto 9: en el APP, una caída de voltaje de apenas 0.3 V en un circuito basta para provocar el modo de emergencia. Es el sensor donde los límites de caída de voltaje deben respetarse con mayor rigor de todo el vehículo.

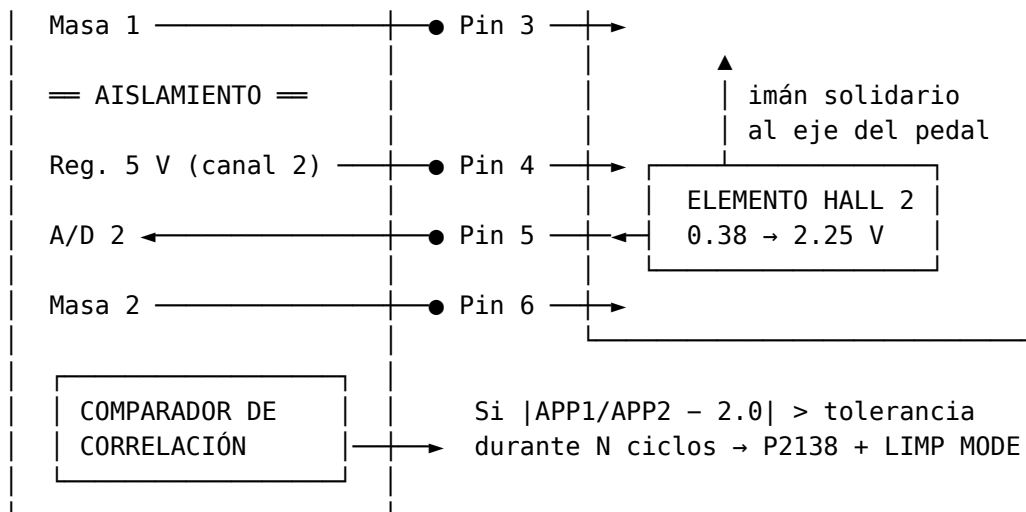
10 · Nomenclatura de cableado

Marca	VREF 1 / VREF 2	Señal 1 / Señal 2	Masa 1 / Masa 2
GM	GRY / LT BLU	DK BLU / DK GRN	BLK/WHT / BLK
Ford	GRY/RED / BRN/WHT	GRN/WHT / VIO/YEL	GRY/RED / BLK/WHT
Toyota	VCPA / VCP2	VPA / VPA2	EPA / EPA2
Honda	YEL/RED / RED/YEL	RED/BLK / BLU/WHT	GRN/WHT / GRN/BLK
VW / Audi	rt/ge / rt/bl	gn/ws / gn/br	br/ws / br/gn

11 · Simbología y diagrama de conexión

MÓDULO DE PEDAL ELECTRÓNICO (APP) – DOS CIRCUITOS INDEPENDIENTES





12 · Análisis de oscilogramas

Qué debe verse en un barrido de 2 canales:

Criterio	Correcto	Falla
Forma de ambas rampas	Lineales y limpias	Escalones = zona muerta
Punto de partida tras soltar	Idéntico en cada repetición	Distinto = pedal que no retorna
Relación entre canales	Constante	Variable = correlación rota
Ruido	$< 0.03 \text{ V}$	Mayor = masa deficiente
Simultaneidad de los flancos	Perfecta	Retraso de un canal = sensor degradado

Configuración: DC, 1 V/div, 1 s/div, 2 canales, cada referencia en **su propia masa de sensor**.

13 · Señales PWM / ciclo de trabajo

No aplica. Ambas señales del APP son analógicas.

Algunos vehículos de gama alta transmiten la posición del pedal por **red CAN** desde un módulo dedicado. En esos casos no hay señal analógica que medir y el diagnóstico se realiza por PIDs y por verificación de la red (Módulo 14).

14 · Análisis de corriente

Medición	Valor	Método
Consumo por pista (Hall)	8 - 15 mA	Pinza con 10 vueltas sobre el cable de VREF
Consumo por pista (potenciométrico)	1 - 5 mA	Calculado con Ley de Ohm

Interpretación: un consumo desbalanceado entre las dos pistas (por ejemplo, 12 mA en una y 45 mA en la otra) indica elemento en corto en la pista de mayor consumo — que además estará cargando su VREF y afectando a otros sensores de esa línea.

15 · Preguntas de autoevaluación — APP

P1. Un vehículo entra en modo de emergencia con P2138. En el osciloscopio, APP1 barre de 0.75 V a 4.50 V y APP2 barre de 0.70 V a 2.55 V, ambas rampas limpias y sin escalones. Calcule la relación en reposo y a fondo. ¿Está el elemento sensor defectuoso? Identifique el circuito responsable y calcule la resistencia parásita si el consumo es de 12 mA.

P2. Un técnico observa que al pisar el pedal, APP1 sube de 0.8 V a 4.4 V mientras APP2 baja de 4.2 V a 0.8 V. Concluye que la pista 2 está invertida y reemplaza el pedal, sin resultado. ¿Cuál fue el error de razonamiento?

P3. Explique por qué el APP es el sensor del vehículo donde los límites de caída de voltaje deben aplicarse con mayor rigor, comparándolo cuantitativamente con el TPS potenciométrico del §2.5.

2.7 · SENSOR COMPUESTO: MAF + IAT + PRESIÓN + HUMEDAD

Qué es y por qué existe

Los motores modernos con **EGR de alta tasa, GDI y normativas de emisiones estrictas** necesitan conocer la densidad real del aire con precisión mucho mayor que la que ofrece un MAF simple. La solución es integrar en un solo cuerpo:

Elemento	Qué mide	Por qué se necesita
Elemento de película caliente	Flujo másico (g/s)	Cálculo base de combustible
Termistor NTC	Temperatura del aire (IAT)	Corrección de densidad
Elemento piezorresistivo	Presión absoluta en el conducto	Detección de restricción del filtro, cálculo con turbo
Elemento capacitivo de humedad	Humedad relativa (%)	Corrección de NOx y de avance de encendido

1 · Valores en ralentí

Variable	Valor esperado (2.0 L, 25 °C, nivel del mar)
Flujo	2.5 - 5.0 g/s
IAT	Temperatura ambiente +5 a +20 °C
Presión en el conducto	99 - 101 kPa (ligeramente bajo la barométrica)
Humedad relativa	20 - 90 % según clima
Salida	Trama digital SENT o varias señales analógicas

2 · Valor aproximado a 2000 RPM

Variable	Comportamiento
Flujo	9 - 14 g/s (2.0 L sin carga)
IAT	Sube 3 - 10 °C respecto al ralentí (calor del motor)
Presión en el conducto	96 - 100 kPa (cae con el flujo)
Humedad	Sin cambio significativo

3 · Rango de funcionamiento normal

Variable	Rango
Flujo	0 - 480 g/s
IAT	-40 °C a +130 °C
Presión	50 - 115 kPa (atmosférico) · hasta 400 kPa (turbo)
Humedad relativa	0 - 100 %
Caída de presión filtro limpio ↔ sucio	0.5 kPa ↔ 5 kPa

4 · Síntomas de falla

Falla	Síntoma
Elemento de flujo contaminado	Idéntico al MAF (§2.3): P0171, LTFT positivo
Elemento IAT desviado	Mezcla incorrecta en frío, avance incorrecto, P0111/P0112/P0113
Elemento de presión desviado	Falso diagnóstico de “filtro de aire restringido”, P2029, P0106
Elemento de humedad fallado	Aumento de NOx, código de emisiones, P2228 en algunos sistemas
Trama digital corrupta	Pérdida simultánea de todas las variables

Consecuencia diagnóstica del sensor compuesto: la falla de un solo elemento interno no se puede reparar por separado. **Pero la falla del circuito de comunicación pierde las cuatro variables a la vez**, lo que produce un cuadro de códigos aparentemente inconexo que en realidad tiene una sola causa.

5 · Posibles soluciones y reparaciones

1. Las mismas del MAF (§2.3 punto 5): limpieza del elemento, filtro, PCV, fugas.
2. Verificar el blindaje y la integridad del conector — la trama digital no tolera contactos marginales.
3. Verificar el **estado del filtro de aire** antes de condenar el elemento de presión: puede estar reportando correctamente una restricción real.
4. Reemplazar el conjunto completo (los elementos no son separables).
5. Ejecutar el procedimiento de codificación/adaptación si el fabricante lo exige.

6 · Estrategia de diagnóstico avanzado

Paso 1 — Verificar la coherencia entre las cuatro variables. Con el motor apagado y frío durante varias horas:

Comparación	Criterio
IAT vs. ECT	Deben coincidir dentro de 3 °C
Presión del conducto vs. BARO	Deben coincidir dentro de 2 kPa
Flujo	0 g/s
Humedad	Coherente con el clima local

Cualquier variable que no coincida delata el elemento desviado.

Paso 2 — Verificar el elemento de presión bajo carga. Acelere a plena carga: la presión en el conducto debe caer 2 – 5 kPa respecto a la barométrica. Una caída superior a 8 kPa indica **filtro de aire restringido** (y el sensor está funcionando correctamente).

Paso 3 — Pruebas funcionales del elemento de flujo. Idénticas a §2.3: cálculo de EV, snap test y correlación con MAP.

Paso 4 — Caída de voltaje.

Circuito	Límite
Alimentación 12 V	0.20 V
Masa de potencia	0.10 V
VREF 5 V (si aplica)	0.10 V
Masa de señal	0.05 V

7 · Valores comunes de resistencia

Elemento	Resistencia
Termistor IAT integrado (si tiene salida analógica)	2000 - 3000 Ω a 20 °C — sí medible
Elemento de flujo	No aplica
Elemento de presión	No aplica
Elemento de humedad	No aplica
Continuidad del arnés	< 1 Ω , útil

8 · Alimentaciones y tierras

Pin (configuración de 6 - 7)	Función
1	Masa de potencia
2	Alimentación 12 V
3	Señal SENT o señal MAF analógica
4	Señal IAT (si es analógica separada)
5	Masa de señal
6	VREF 5 V (si aplica)
7	Señal de presión / humedad (si son analógicas separadas)

9 · Aplicación de la Ley de Ohm

Combinación de los tres casos ya estudiados en el módulo:

1. **Circuito de potencia (elemento de flujo):** 0.2 - 1.2 A. La caída de voltaje es una prueba de primera línea. Ver §2.3 punto 9.
2. **Circuito del termistor IAT:** divisor de tensión con pull-up interna. Ver Módulo 0, §0.2.3 y Módulo 3.
3. **Circuito de señal digital:** constante RC del cable. Ver §2.4 punto 9.

Cálculo integrado del consumo total:

$$I_{total} = I_{flujo} + I_{elec} + I_{IAT}$$

$$I_{total} = 0.90 + 0.05 + 0.002 = 0.952 \text{ A}$$

Con 0.6 Ω de resistencia parásita en la alimentación:

$$V_{drop} = 0.952 \times 0.6 = 0.57 \text{ V}$$

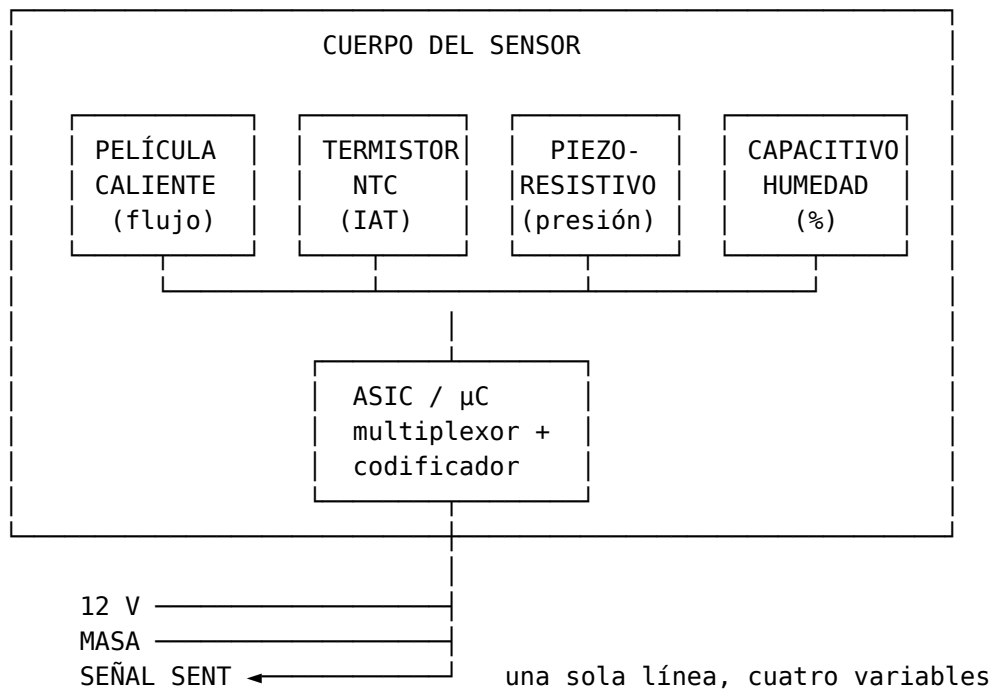
El elemento de flujo se descalibra y, si la caída es suficiente, el ASIC pierde su voltaje mínimo de operación y deja de transmitir la trama — perdiendo también IAT, presión y humedad. Un solo defecto de 0.6Ω produce cuatro códigos.

10 · Nomenclatura de cableado

Marca	12 V	Señal digital	Masa
VW / Audi	rt/sw	gn/ws (blindado)	br
BMW	rt/ge	ws/bl	br/sw
Ford	RED/ORN	GRY/BLU	BLK/GRY
GM	PNK	YEL, DK BLU	BLK

11 · Simbología y diagrama de conexión

SENSOR COMPUESTO DE ADMISIÓN



VENTAJA: menos cables, más datos.

RIESGO: un solo punto de falla afecta a cuatro variables.

12 · Análisis de oscilogramas

Se verifica **la integridad de la trama** (§2.4 punto 12) y, cuando existan salidas analógicas separadas, cada una según su tipo:

Salida	Cómo se analiza
Flujo analógico	Como §2.3 punto 12
IAT analógica	Rampa lenta con la temperatura (Módulo 3)
Presión analógica	Como §2.1 punto 12
Trama SENT	Niveles, flancos, periodicidad, pulso de sincronía

13 · Señales PWM / ciclo de trabajo

Salida SENT: **no es PWM** (ver §2.4 punto 13).

Algunas variantes de transición usan **PWM verdadero multiplexado**: la señal alterna entre bloques que representan distintas variables, cada uno con su propio duty cycle. Sin la documentación del fabricante es indescifrable; el diagnóstico se apoya en PIDs y pruebas funcionales.

14 · Análisis de corriente

Medición	Valor esperado
Consumo total en ralentí	0.30 – 0.55 A
Consumo en aceleración brusca	0.90 – 1.30 A
Consumo con la llave en contacto, motor apagado	0.15 – 0.35 A

Interpretación: idéntica al §2.3 punto 14. El consumo alto y variable corresponde al elemento de flujo; los demás elementos consumen microamperios y no son distinguibles con la pinza.

15 · Preguntas de autoevaluación — Sensor compuesto

P1. Un vehículo presenta simultáneamente P0101 (rango del MAF), P0111 (rango del IAT) y P2229 (presión barométrica alta). El técnico planea reemplazar tres sensores. ¿Cuál es la hipótesis más probable y qué prueba la confirma antes de comprar nada?

P2. Tras 8 horas apagado en un taller a 21 °C, un vehículo reporta IAT de 34 °C y ECT de 22 °C. ¿Qué indica esta discrepancia y por qué la comparación con el ECT es una prueba válida?

P3. Calcule la caída de voltaje en la alimentación de un sensor compuesto que consume 0.98 A a plena carga, si la resistencia parásita del circuito es de 0.45 Ω. Explique por qué esta única falla puede generar cuatro códigos distintos.

CUESTIONARIO INTEGRADOR — MÓDULO 2

1. Un motor 3.5 L V6 a 5400 RPM en plena carga reporta 118 g/s en el MAF y un MAP de 96 kPa. Calcule la eficiencia volumétrica. ¿Es coherente con un motor sano? ¿Qué le dice la lectura del MAP sobre la restricción de admisión?
 2. En un taller a 1200 m de altitud, con la llave en contacto, el MAP de 1 bar indica 4.42 V. Calcule la presión que reporta y compárela con la esperada. Determine si el sensor está dentro de tolerancia.
 3. Un vehículo presenta P0171 y P0174 (mezcla pobre en ambos bancos) con LTFT de +26 %. El MAF reporta 3.1 g/s en ralentí en un motor 3.0 L. Sin realizar más pruebas, ¿cuál es su hipótesis principal y por qué el hecho de que sean **ambos bancos** es diagnósticamente relevante?
 4. Explique la diferencia física entre un motor que reporta 45 kPa en ralentí por tener un MAP desviado y uno que reporta 45 kPa por estar mecánicamente cansado. ¿Qué prueba única separa ambos casos?
 5. Un TPS potenciométrico presenta una zona muerta de 8 ms de duración durante un barrido de 2 segundos. El escáner muestra el PID subiendo sin anomalías. Calcule qué porcentaje del barrido representa la zona muerta y explique por qué el escáner no puede detectarla.
 6. Un APP en configuración proporcional muestra APP1 = 3.60 V y APP2 = 1.62 V a media carrera del pedal. Calcule la relación y determine si está dentro de una ventana de ± 6 %.
 7. Un MAF consume 0.28 A en ralentí y solo 0.61 A durante una aceleración brusca (especificación: 0.95 - 1.20 A). El voltaje de salida alcanza 3.2 V en el snap test. Interprete ambos hallazgos de forma conjunta.
 8. Compare cuantitativamente por qué una resistencia parásita de 500 Ω es irrelevante en el circuito de señal de un TPS, produce un error del 0.5 % en un MAP, y puede inutilizar por completo una señal SENT de un MAF digital.
 9. Un MAP de frecuencia Ford indica 158 Hz en ralentí en un vehículo al nivel del mar. ¿Qué indica este valor sobre el estado del motor o del circuito? Enumere las tres causas posibles en orden de probabilidad.
 10. Diseñe la secuencia completa de pruebas (en orden) para diagnosticar un vehículo que presenta: P0171, LTFT +22 % en ralentí que baja a +7 % en cruce, MAP de 38 kPa en ralentí y MAF de 4.2 g/s en un motor 2.5 L. Justifique el orden.
-

HOJA DE REFERENCIA RÁPIDA — MÓDULO 2

FÓRMULAS DE CARGA DEL MOTOR

MAP 1 bar: $V = 0.05 \times \text{kPa} - 0.1$ · $\text{kPa} = (V + 0.1) / 0.05$

MAP 2 bar: $V = 0.025 \times \text{kPa} - 0.1$

P absoluta = P barométrica - (inHg × 3.386)

BARO (m): $P = 101.325 \times (1 - 2.25577e-5 \times h)^{5.25588}$

Flujo teórico: $\text{g/s} = (\text{Cil L} / 2) \times (\text{RPM} / 60) \times \text{EV} \times 1.184$

EV (%) = $(\text{g/s medido} / \text{g/s teórico}) \times 100$

TPS: $V = V_{\text{REF}} \times (\text{R cursor} \rightarrow \text{masa} / \text{R pista total})$

APP: Relación = $\text{APP1} / \text{APP2} \approx 2.0 \pm 0.1$

MAP (1 bar, nivel del mar)

KOE0 4.90 – 4.97 V · 101 kPa

Ralentí 1.0 – 1.5 V · 28 – 40 kPa · 18–21 inHg

2000 RPM sin carga .. 1.0 – 1.5 V (NO sube: depende de la carga)

Snap pico ≥ 4.0 V · ≥ 85 kPa

Snap valle ≤ 0.8 V · ≤ 18 kPa

Consumo 6 – 12 mA · Resistencia: NO MEDIR

Frecuencia (Ford) ... 159 Hz atm · 95–110 Hz ralentí · ≈ 3 Hz por inHg

MAF

Ralentí $\text{g/s} \approx \text{cilindrada} \times 1.5\text{--}2.0$ · 0.7 – 1.5 V

2000 RPM sin carga .. 9 – 14 g/s (2.0 L) · 1.5 – 2.0 V

Snap pico ≥ 4.0 V

WOT $\text{g/s} \approx \text{potencia en HP} (\pm 15 \%)$

EV a par máximo 80 – 95 % (sano) · $< 79 \%$ = MAF bajo

CORRIENTE 0.25–0.45 A ralentí · 0.85–1.20 A snap

Caída máx. 12 V 0.20 V · masa de potencia 0.10 V

Resistencia NO MEDIR (salvo el NTC del IAT: 2–3 kΩ a 20 °C)

TPS / APP

TPS cerrado 0.4 – 0.9 V · TPS WOT 3.9 – 4.8 V

Excursión mínima ≥ 3.2 V

Pista (potenciom.) .. 1 – 10 kΩ (típico 3–6 kΩ) · Hall: NO MEDIR

APP1 reposo 0.6 – 0.9 V · APP1 fondo 3.9 – 4.6 V

APP2 reposo (2:1) ... 0.3 – 0.5 V · APP2 fondo 1.9 – 2.4 V

Ventana correlación . $\pm 4 \%$ a $\pm 8 \%$ → fuera = P2138 + LIMP MODE

Caída máx. VREF 0.10 V · masa de sensor 0.05 V

CÓDIGOS CLAVE

P0106/07/08 → MAP rango/bajo/alto

P0101/02/03 → MAF rango/bajo/alto

P2227/28/29 → BARO

P0121/22/23 → TPS A

P2135 → correlación TPS A/B

P2138 → correlación APP A/B

P0171/74 → mezcla POBRE

P0172/75 → mezcla RICA

SECUENCIA DE DIAGNÓSTICO DE CARGA

1. Verificar MAP en KOE0 contra la altitud del taller (barométrica)

2. Verificar MAF en ralentí contra la cilindrada ($\text{g/s} \approx \text{cil} \times 1.5\text{--}2$)

3. Snap test: MAP ≥ 4.0 V y MAF ≥ 4.0 V

- | |
|---|
| 4. Calcular EV a plena carga (80–95 % = sano) |
| 5. Comparar MAF ↔ MAP ↔ BARO entre sí (verificación cruzada) |
| 6. Analizar corriente del MAF (detecta contaminación antes del código) |
| 7. Barrido de TPS/APP con osciloscopio, NUNCA con multímetro |
| 8. Caída de voltaje: $12\text{ V del MAF} (0.20\text{ V}) \cdot VREF (0.10\text{ V}) \cdot masa (0.05)$ |

Fin del Módulo 2. El Módulo 3 (Sensores de Temperatura NTC/PTC) desarrolla el divisor de tensión térmico, las tablas completas resistencia/temperatura y el diagnóstico del sensor desviado que no genera código.