

MÓDULO 11 — ACTUADORES DE EMISIONES Y CONTROL TÉRMICO

EVAP · EGR · OCV/VVT · Aire secundario · AdBlue/SCR · Bujías incandescentes

Índice

PRESENTACIÓN DEL MÓDULO	4
La tabla de verificación funcional del módulo	4
Los tres rangos de corriente	4
11.1 · VÁLVULA DE PURGA EVAP	6
Función	6
1 · Valores en ralentí (motor caliente)	6
2 · Valor aproximado a 2000 RPM	6
3 · Rango de funcionamiento normal	7
4 · Síntomas de falla	7
5 · Posibles soluciones y reparaciones	8
6 · Estrategia de diagnóstico avanzado	8
7 · Valores comunes de resistencia	9
8 · Alimentaciones y tierras	9
9 · Aplicación de la Ley de Ohm	9
10 · Nomenclatura de cableado	10
11 · Simbología y diagrama de conexión	10
12 · Análisis de oscilogramas	11
13 · Señales PWM / ciclo de trabajo	11
14 · Análisis de corriente	11
15 · Preguntas de autoevaluación — Purga EVAP	11
11.2 · VÁLVULA DE VENTILACIÓN Y BOMBA DE DETECCIÓN DE FUGAS	13
11.2.1 · Válvula de ventilación (<i>Vent Valve</i>)	13
11.2.2 · Bomba de detección de fugas (LDP)	14
Puntos 1 – 15 aplicados a la ventilación y al LDP	14
Preguntas de autoevaluación — Ventilación y LDP	15
11.3 · VÁLVULA EGR — LAS TRES ARQUITECTURAS	16
Función	16
1 · Valores en ralentí	16
2 · Valor aproximado a 2000 RPM	16
3 · Rango de funcionamiento normal	17
4 · Síntomas de falla	17
5 · Posibles soluciones y reparaciones	17
6 · Estrategia de diagnóstico avanzado	18

7 · Valores comunes de resistencia	19
8 · Alimentaciones y tierras	19
9 · Aplicación de la Ley de Ohm	20
10 · Nomenclatura de cableado	21
11 · Simbología y diagrama de conexión	21
12 · Análisis de oscilogramas	21
13 · Señales PWM / ciclo de trabajo	21
14 · Análisis de corriente	22
15 · Preguntas de autoevaluación — EGR	22
11.4 · SOLENOIDE OCV / VVT	23
Relación con los Módulos 1 y 7	23
Principio	23
1 · Valores en ralentí	23
2 · Valor aproximado a 2000 RPM	24
3 · Rango de funcionamiento normal	24
4 · Síntomas de falla	24
5 · Posibles soluciones y reparaciones	25
6 · Estrategia de diagnóstico avanzado	25
7 · Valores comunes de resistencia	25
8 · Alimentaciones y tierras	26
9 · Aplicación de la Ley de Ohm	26
10 · Nomenclatura de cableado	26
11 · Simbología y diagrama de conexión	27
12 · Análisis de oscilogramas	27
13 · Señales PWM / ciclo de trabajo	27
14 · Análisis de corriente	27
15 · Preguntas de autoevaluación — OCV / VVT	27
11.5 · SISTEMA DE AIRE SECUNDARIO (AIR)	29
Función	29
1 · Valores durante la operación	29
2 · Valor a 2000 RPM	30
3 · Rango de funcionamiento normal	30
4 · Síntomas de falla	30
5 · Posibles soluciones y reparaciones	30
6 · Estrategia de diagnóstico avanzado	31
7 · Valores comunes de resistencia	31
8 · Alimentaciones y tierras	32
9 · Aplicación de la Ley de Ohm	32
10 · Nomenclatura de cableado	32
11 · Simbología y diagrama de conexión	32
12 · Análisis de oscilogramas	33
13 · Señales PWM / ciclo de trabajo	33
14 · Análisis de corriente	33
15 · Preguntas de autoevaluación — Aire secundario	34
11.6 · SISTEMA SCR — INYECCIÓN DE ADBLUE (DEF)	35
Función	35
1 · Valores durante la operación	35
2 · Valor a 2000 RPM	36

3 · Rango de funcionamiento normal	36
4 · Síntomas de falla	36
5 · Posibles soluciones y reparaciones	37
6 · Estrategia de diagnóstico avanzado	37
7 · Valores comunes de resistencia	37
8 · Alimentaciones y tierras	38
9 · Aplicación de la Ley de Ohm	38
10 · Nomenclatura de cableado	39
11 · Simbología y diagrama de conexión	39
12 - 14 · Oscilogramas, PWM y corriente	39
15 · Preguntas de autoevaluación — SCR / AdBlue	39
11.7 · BUJÍAS INCANDESCENTES Y MÓDULO GPCM	40
Función y las dos tecnologías	40
1 · Valores durante la operación	40
2 · Valor con el motor en marcha	41
3 · Rango de funcionamiento normal	41
4 · Síntomas de falla	41
5 · Posibles soluciones y reparaciones	42
6 · Estrategia de diagnóstico avanzado	42
ADVERTENCIA CRÍTICA	42
7 · Valores comunes de resistencia	43
8 · Alimentaciones y tierras	43
9 · Aplicación de la Ley de Ohm	44
10 · Nomenclatura de cableado	44
11 · Simbología y diagrama de conexión	45
12 · Análisis de oscilogramas	45
13 · Señales PWM / ciclo de trabajo	46
14 · Análisis de corriente	46
15 · Preguntas de autoevaluación — Bujías incandescentes	46
CUESTIONARIO INTEGRADOR — MÓDULO 11	48
HOJA DE REFERENCIA RÁPIDA — MÓDULO 11	49

PRESENTACIÓN DEL MÓDULO

ACTUADORES DE EMISIONES — CORRIENTE Y RESISTENCIA DE UN VISTAZO			
	RESISTENCIA	CORRIENTE	CONTROL
Purga EVAP	20 – 40 Ω	0.3 – 0.7 A	PWM 10 – 200 Hz · duty 0 – 100 %
Ventilación EVAP	20 – 40 Ω	0.3 – 0.8 A	On/off · NORMALMENTE ABIERTA
Solenoide EGR (vacío)	20 – 60 Ω	0.2 – 0.6 A	PWM 32 – 128 Hz
EGR motor DC	2 – 8 Ω	0.5 – 2.0 A	PWM + sensor de posición
OCV / VVT	6 – 15 Ω	0.3 – 1.5 A	PWM 200 – 300 Hz · duty 25 – 90 %
Bomba de aire secundario	0.2 – 0.6 Ω	20 – 35 A (pico 60 A)	Relé · 30 – 90 s tras arranque frío
Inyector AdBlue	8 – 16 Ω	0.8 – 2.0 A	Pulsado · dosis 2 – 5 % del gasóleo
Bujía incandescente	0.5 – 2.0 Ω	8 – 25 A (pico 30 A)	PWM desde el GPCM

Figura 1: Actuadores de emisiones: resistencia, corriente y control

Los actuadores de este módulo comparten una característica incómoda para el diagnóstico: **casi todos fallan sin dejar de funcionar eléctricamente**. Un solenoide de EGR con el vástago trabado por carbón recibe corriente correcta, presenta resistencia correcta y no mueve nada. Una válvula de purga pegada abierta tiene un oscilograma impecable.

El principio del Módulo 8 se aplica aquí con más fuerza que en ningún otro módulo: el voltaje demuestra que llegó la orden, la corriente demuestra que el circuito está sano, y **solo la verificación del efecto físico demuestra que el actuador cumplió su función.**

La tabla de verificación funcional del módulo

Actuador	Cómo se confirma que realmente funcionó
Purga EVAP	El FTP registra vacío al comandar (Módulo 6, §6.4)
Ventilación EVAP	El sistema retiene el vacío al cerrarla
EGR	El motor se vuelve inestable al comandarla en ralentí
OCV / VVT	La posición real de la leva se desplaza (Módulo 7, §7.3)
Aire secundario	La sonda lambda salta a pobre al activarse
Inyector AdBlue	El NOx posterior cae (Módulo 4, §4.5)
Bujía incandescente	La corriente individual es la esperada (GPCM)

Los tres rangos de corriente

Grupo	Corriente	Límite de caída de voltaje
Solenoides de emisiones (purga, vent, EGR de vacío, OCV)	0.2 - 1.5 A	0.20 V
Motores DC (EGR eléctrica, bomba DEF)	0.5 - 5 A	0.20 V
Cargas de alta corriente (aire secundario, bujías)	8 - 60 A	0.30 V alimentación · 0.15 V masa

11.1 · VÁLVULA DE PURGA EVAP

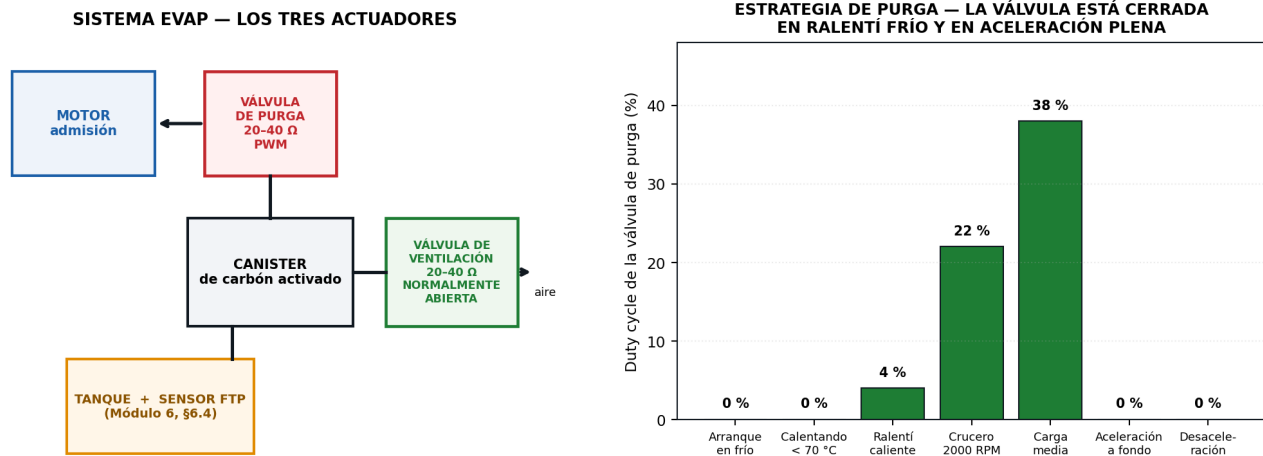


Figura 2: Sistema EVAP y estrategia de purga

Función

El canister acumula los vapores de combustible del tanque. La válvula de purga los libera hacia la admisión **cuando el motor puede quemarlos sin alterar la mezcla**. Es **normalmente cerrada**: sin corriente, no pasa nada.

1 · Valores en ralentí (motor caliente)

Parámetro	Valor
Resistencia	20 - 40 Ω (típico 22 - 30)
Frecuencia PWM	10 - 20 Hz (algunos modelos 100 - 200 Hz)
Duty cycle en ralentí caliente	0 - 8 %
Duty cycle en ralentí frío	0 %
Corriente de pico	0.35 - 0.70 A
Corriente media (al 30 % de duty)	0.10 - 0.21 A
Voltaje con driver activo	0.3 - 0.9 V

Cálculo de verificación (válvula de 26 Ω a 14.0 V):

$$I_{pico} = \frac{14.0}{26} = 0.538 \text{ A} \quad I_{media(30\%)} = 0.538 \times 0.30 = 0.161 \text{ A}$$

2 · Valor aproximado a 2000 RPM

Condición	Duty cycle
2000 RPM crucero	15 - 35 %
2000 RPM carga media	30 - 50 %

Condición	Duty cycle
2000 RPM plena carga	0 % (la ECU cierra la purga)
Desaceleración con corte de combustible	0 %

La purga se cierra en aceleración plena y en desaceleración. En el primer caso porque la ECU no puede corregir la mezcla con precisión; en el segundo porque no hay combustión. Un duty distinto de cero en esas condiciones indica una estrategia anómala o una válvula pegada.

3 · Rango de funcionamiento normal

Condición	Duty cycle
Motor frío (< 70 °C)	0 %
Ralentí caliente	0 - 8 %
Crucero ligero	15 - 35 %
Crucero con canister saturado	40 - 80 %
Plena carga	0 %
Durante el monitor de fugas	Variable, controlado por la rutina
Rango total	0 - 100 %

4 · Síntomas de falla

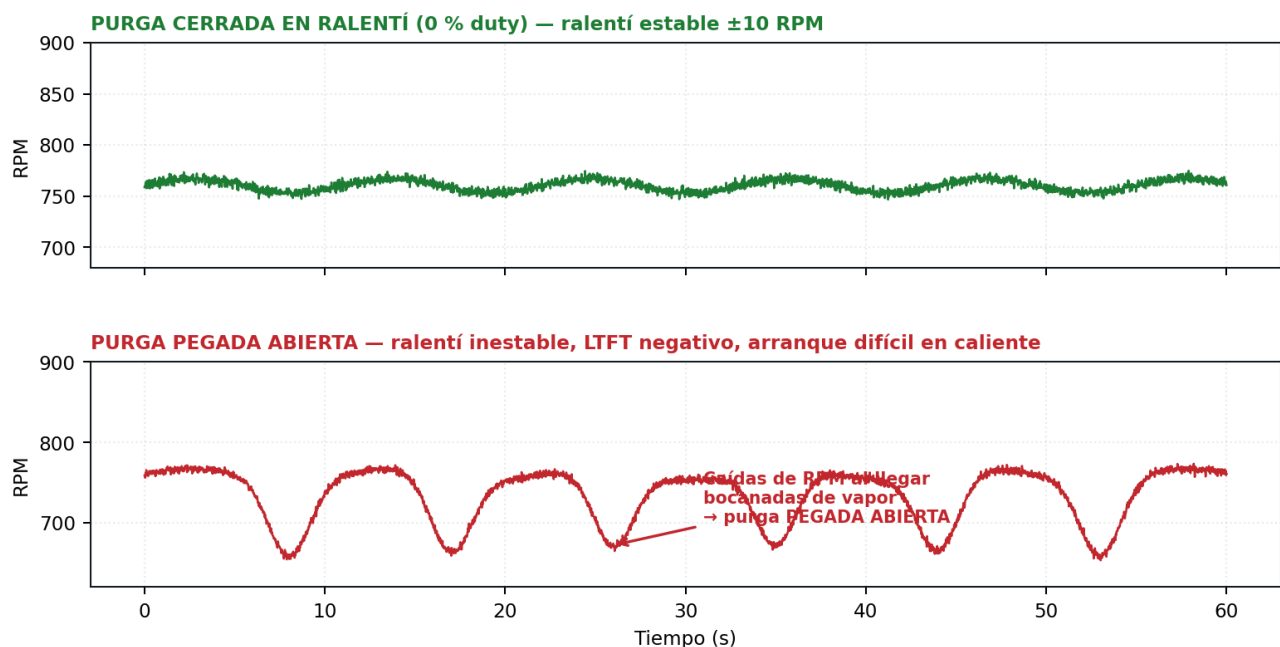


Figura 3: Efecto de una purga pegada abierta

Falla	Síntoma
Pegada ABIERTA	Ralentí inestable con caídas periódicas de RPM , arranque difícil en caliente, LTFT negativo en ralentí, olor a combustible, P0441/P0496
Pegada CERRADA	Canister saturado, olor a combustible en el tanque, monitor EVAP incompleto, P0441/P0443
Bobina abierta	Sin purga; P0443
Válvula con fuga interna	Purga permanente pequeña; ralentí ligeramente inestable
Canister saturado por sobrellenado	Combustible líquido a la admisión; humo negro, purga dañada
Manguera desconectada	Fuga de vacío grande; ralentí alto, P0455

Códigos: P0443 (circuito de la válvula de purga), P0444 (circuito abierto), P0445 (circuito en corto), **P0441 (flujo de purga incorrecto)**, **P0496 (flujo de purga alto — válvula pegada abierta)**, P0497 (flujo bajo), P1450/P1442 (fabricante).

El síntoma más característico es el ralentí que cae bruscamente cada 8 - 15 segundos, al llegar una bocanada de vapor concentrado. Se distingue de una fuga de vacío porque la fuga produce ralentí **alto y estable**, mientras que la purga pegada produce **caídas periódicas**.

5 · Posibles soluciones y reparaciones

1. **Prueba de estanqueidad de la válvula:** desconéctela eléctricamente y aplique vacío manual al lado del canister. **Debe mantener el vacío indefinidamente.** Si no lo mantiene, está pegada o tiene fuga interna.
2. **Verificar el canister** por saturación de combustible líquido (llenar el tanque en exceso es la causa).
3. Verificar mangueras y conexiones.
4. Reparar el circuito si la corriente no coincide con el cálculo.
5. Reemplazar la válvula cuando la prueba de vacío la condene.
6. Reemplazar el canister si está saturado de líquido.

6 · Estrategia de diagnóstico avanzado

Paso 1 — Prueba de estanqueidad con bomba de vacío manual. Es la prueba decisiva y toma 60 segundos:

Estado	Comportamiento esperado
Sin corriente	Mantiene el vacío (normalmente cerrada)
Con 12 V aplicados	Libera el vacío de inmediato

Paso 2 — Prueba funcional con el FTP. Comande la purga con el escáner observando el PID del sensor de presión del tanque (Módulo 6, §6.4). **Debe generarse vacío en el tanque de inmediato.**

Paso 3 — Captura de 2 canales.

Canal	Señal	Ajuste
CH1	Voltaje de control	DC · 5 V/div · 20 ms/div
CH2	Corriente con pinza	100 mV/A · 0.2 A/div

Verificar frecuencia, duty coherente con el PID, y **rampa de corriente con joroba** (Módulo 8) que confirme el movimiento del émbolo.

Paso 4 — Prueba de LTFT en ralentí. Con la válvula desconectada eléctricamente, si el LTFT negativo en ralentí **desaparece**, la válvula estaba purgando sin permiso.

Paso 5 — Caída de voltaje.

Circuito	Corriente	Límite
Alimentación	0.35 - 0.70 A	0.20 V
Control (lado bajo)	0.35 - 0.70 A	0.3 - 0.9 V es normal (driver)

7 · Valores comunes de resistencia

Fabricante	Resistencia
GM	20 - 30 Ω
Ford	25 - 40 Ω
Chrysler	22 - 30 Ω
Toyota (VSV)	30 - 40 Ω
VW / Audi (Bosch)	22 - 28 Ω
Aislamiento a carcasa	> 10 MΩ

8 · Alimentaciones y tierras

Pin	Función	Valor
1	Alimentación 12 V (relé principal)	12.0 - 14.5 V
2	Control por lado bajo (ECU)	12 - 14 V en reposo · 0.3 - 0.9 V activo

9 · Aplicación de la Ley de Ohm**Cálculo 1 — Corriente esperada**

$$I_{pico} = \frac{14.0}{26} = 0.538 \text{ A} \quad P = 14.0 \times 0.538 = 7.53 \text{ W}$$

Cálculo 2 — Voltaje efectivo y posición de la válvula

$$V_{efectivo} = 14.0 \times DC$$

Duty cycle	Voltaje efectivo	Apertura
10 %	1.40 V	Mínima
30 %	4.20 V	Parcial
60 %	8.40 V	Amplia
100 %	14.0 V	Máxima

Cálculo 3 — Deducción de resistencia parásita

Con 40 % de duty y una corriente medida de 0.14 A:

$$R_{total} = \frac{14.0 \times 0.40}{0.14} = 40.0 \, \Omega \quad R_{par} = 40.0 - 26 = 14.0 \, \Omega$$

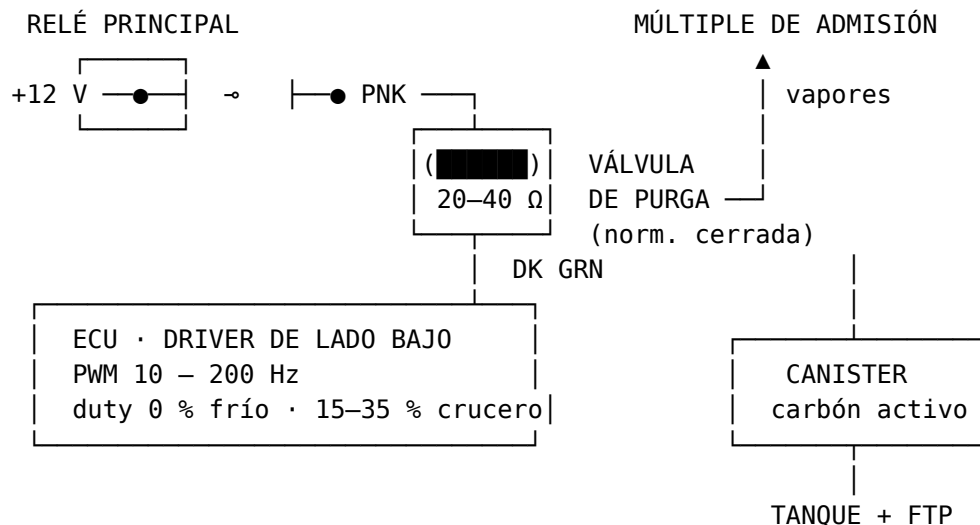
$$\frac{F}{F_{nominal}} = \left(\frac{0.14}{0.215} \right)^2 = 0.424$$

Pérdida del 58 % de la fuerza. La válvula abre menos de lo comandado, el canister no se purga completamente y el monitor EVAP no completa — sin ningún código de circuito.

10 · Nomenclatura de cableado

Marca	Alimentación	Control
GM	PNK	DK GRN, LT BLU
Ford	RED	GRY/YEL, WHT/PNK
Chrysler	DK BLU/YEL	VIO/BRN
Toyota	+B	PRG o EVP
VW / Audi	rt/sw	gn/ws

11 · Simbología y diagrama de conexión



NORMALMENTE CERRADA: sin corriente NO debe pasar nada.

PRUEBA DE 60 s: aplicar vacío manual con la válvula desconectada.
Debe MANTENER el vacío. Si no lo mantiene → pegada o con fuga.

12 · Análisis de oscilogramas

Criterio	Correcto	Falla
Frecuencia	Constante	Variable = driver
Duty cycle	Coincide con el PID	Discrepancia = polaridad de medición
Nivel activo	0.3 – 0.9 V	> 1.5 V = driver o resistencia parásita
Rampa de corriente con joroba	Presente	Ausente = émbolo pegado
Corriente media	Coincide con el cálculo	Baja = resistencia parásita
Actividad en ralentí frío	Ninguna (0 %)	Actividad = estrategia anómala

Configuración: DC · 5 V/div · 20 ms/div (para 10 – 20 Hz) · pinza a 0.2 A/div.

13 · Señales PWM / ciclo de trabajo

Parámetro	Valor
Frecuencia	10 – 20 Hz (algunos 100 – 200 Hz)
Duty en ralentí frío	0 %
Duty en ralentí caliente	0 – 8 %
Duty en cruce	15 – 35 %
Duty a plena carga	0 %
Rango	0 – 100 %

14 · Análisis de corriente

Parámetro	Valor
Corriente de pico	0.35 – 0.70 A
Corriente media al 30 %	0.10 – 0.21 A
Corriente en reposo	0 A

15 · Preguntas de autoevaluación — Purga EVAP

P1. Un motor presenta ralentí que cae 90 RPM cada 10 segundos aproximadamente, con LTFT de –9 % en ralentí. Al desconectar eléctricamente la válvula de purga, el ralentí se estabiliza y el LTFT vuelve a –1 %. Emita el diagnóstico y describa la prueba de confirmación de 60 segundos.

P2. Una válvula de purga especifica 24 Ω. Con 35 % de duty a 13.9 V, la pinza mide 0.13 A. Calcule la corriente esperada, la resistencia parásita y el porcentaje de pérdida de fuerza.

P3. Explique cómo distinguir, por el comportamiento del ralentí, una fuga de vacío de una válvula de purga pegada abierta.

11.2 · VÁLVULA DE VENTILACIÓN Y BOMBA DE DETECCIÓN DE FUGAS

11.2.1 · Válvula de ventilación (Vent Valve)

Función: permite que el canister respire aire limpio del exterior. Es **normalmente ABIERTA** — al revés que la de purga.

Solo se cierra durante el monitor de fugas, para sellar el sistema y permitir que la ECU aplique vacío y mida su retención.

1 · Valores en ralentí

Parámetro	Valor
Resistencia	20 - 40 Ω
Estado en operación normal	Desenergizada = ABIERTA
Corriente cuando se energiza	0.30 - 0.80 A
Tipo de control	On/off (algunos PWM de mantenimiento)
Tiempo activada	Solo durante el monitor (2 - 15 min)

Cálculo de verificación (válvula de 30 Ω a 14.0 V):

$$I = \frac{14.0}{30} = 0.467 \text{ A} \quad P = 6.53 \text{ W}$$

2 - 3 · Rango de funcionamiento

Condición	Estado
Operación normal	Abierta (0 % duty)
Durante el monitor de fugas	Cerrada (100 %)
Durante el llenado del tanque	Abierta (permite el desplazamiento de aire)
Fallo eléctrico	Abierta — posición de seguridad

4 · Síntomas de falla

Falla	Síntoma
Pegada cerrada	Dificultad para cargar combustible (la pistola se corta), presión en el tanque; P0446
Pegada abierta	El monitor de fugas nunca completa; P0455 falso
Filtro de aire del canister obstruido	Igual que pegada cerrada
Bobina abierta	El monitor no completa; P0447
Corrosión (está en la zona trasera del vehículo)	Falla intermitente

Códigos: P0446 (circuito de control de ventilación), P0447 (circuito abierto), P0448 (circuito en corto), P0449 (circuito del solenoide), P2450 - P2454.

6 · Diagnóstico

Paso 1 — Prueba de flujo. Desconectada eléctricamente, debe **dejar pasar aire libremente** (soplar por ella). Energizada con 12 V, debe **bloquear el paso**.

Paso 2 — Prueba funcional. Comande la válvula con el escáner y verifique con el FTP que el sistema puede generar y **retener** vacío.

Paso 3 — Verificar el filtro de aire del canister, especialmente en vehículos que circulan por caminos con polvo o agua.

Paso 4 — Caída de voltaje: alimentación 0.20 V, masa 0.10 V.

11.2.2 · Bomba de detección de fugas (LDP)

Usada por **VW/Audi y Chrysler** en lugar del método de vacío. Es una bomba de diafragma accionada por el vacío del motor que **presuriza** el sistema EVAP a una presión muy baja y **cuenta las carreras** necesarias para mantenerla.

Parámetro	Valor
Solenoides de la bomba	20 - 40 Ω
Presión de prueba	≈ 7.5 mbar (30 inH₂O)
Corriente	0.3 - 0.7 A
Principio de medida	Número de carreras por minuto
Interruptor de posición (reed)	Contacto que señala cada carrera

Interpretación de las carreras:

Carreras por minuto	Diagnóstico
Pocas y espaciadas	Sistema estanco
Muchas y rápidas	Fuga — la bomba compensa continuamente
Ninguna	Bomba sin vacío, sin corriente, o diafragma roto
Continuas sin pausa	Fuga grande o tapón abierto

Códigos: P2401 (circuito de la bomba, bajo), P2402 (alto), P2403 (circuito abierto), P0455/P0442 (fugas detectadas).

Puntos 1 - 15 aplicados a la ventilación y al LDP

Punto	Válvula de ventilación	LDP
1 · Ralentí	Abierta, 0 % duty	Inactiva
2 · 2000 RPM	Sin cambio	Sin cambio
3 · Rango	Abierta / cerrada	7.5 mbar de presión de prueba
4 · Síntomas	No carga combustible (cerrada) · monitor no completa (abierta)	Códigos de fuga falsos
5 · Soluciones	Limpiar filtro del canister; reemplazar válvula	Verificar vacío de accionamiento y diafragma

Punto	Válvula de ventilación	LDP
6 · Diagnóstico	Prueba de flujo + comando + FTP	Conteo de carreras + presión
7 · Resistencia	20 - 40 Ω	20 - 40 Ω
8 · Alimentaciones	12 V + control por lado bajo	12 V + control + señal del interruptor
9 · Ley de Ohm	$I = 14/30 = 0.47 \text{ A}$	Igual
10 · Cableado	GM: PNK / LT GRN · VW: rt-sw / gn-ge	VW: rt-sw / gn-br / sw-ws
11 · Simbología	Solenoides normalmente abiertos	Bomba de diafragma + solenoide + reed
12 · Oscilograma	Conmutación limpia; rampa con joroba	Pulsos del reed contables
13 · PWM	On/off (algunos con PWM de mantenimiento al 40 - 60 %)	On/off
14 · Corriente	0.30 - 0.80 A	0.3 - 0.7 A

Detalle del PWM de mantenimiento: algunas válvulas de ventilación se energizan al 100 % durante 100 - 300 ms para vencer el resorte y luego bajan a un **40 - 60 % de duty** para mantener la posición con menos calor. Ver ese escalón en el oscilograma es **normal**, no una falla.

Preguntas de autoevaluación — Ventilación y LDP

P1. Un cliente reclama que la pistola de combustible se corta continuamente al cargar. Explique qué actuador de este módulo investigaría, en qué posición estaría fallando y qué prueba de 30 segundos lo confirma.

P2. Un vehículo con LDP presenta P0455 (fuga grande). La máquina de humo no encuentra ninguna fuga y el tapón es original y está bien cerrado. ¿Qué elemento del propio sistema de detección investigaría y por qué puede generar un código falso?

P3. En el oscilograma de una válvula de ventilación se observa un pulso inicial al 100 % de duty durante 200 ms, seguido de un tren al 50 %. Explique si esto constituye una falla y cuál es su función.

11.3 · VÁLVULA EGR — LAS TRES ARQUITECTURAS

LAS TRES ARQUITECTURAS DE EGR

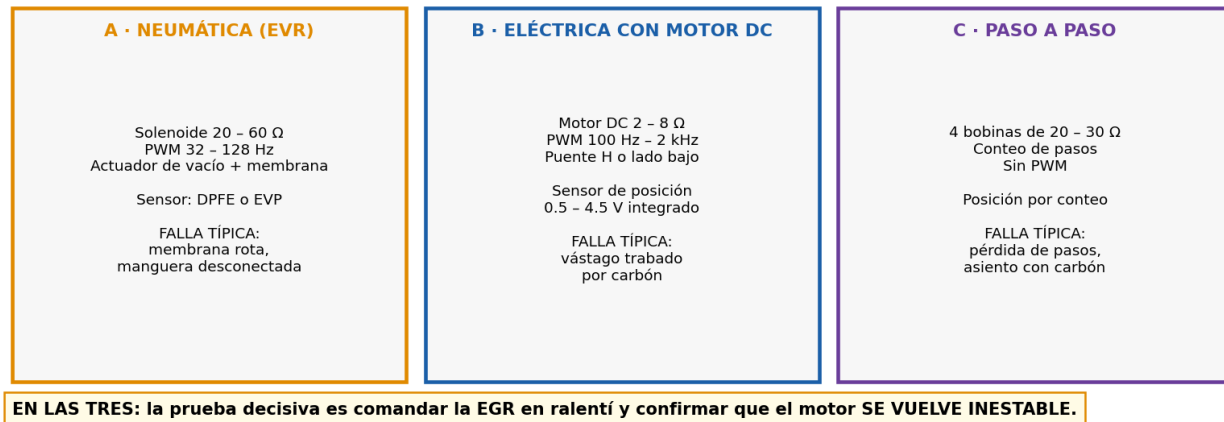


Figura 4: Las tres arquitecturas de EGR

Función

Reintroduce gases de escape en la admisión para **bajar la temperatura de combustión** y reducir la formación de NOx. Los gases de escape son inertes: no arden, ocupan volumen y absorben calor.

Consecuencias que hay que tener claras:

- La EGR **nunca actúa en ralentí ni a plena carga** en operación normal.
- Una EGR **inoperante** produce **detonación** (Módulo 5) y NOx elevados.
- Una EGR **pegada abierta** produce ralentí inestable, calado y humo.

1 · Valores en ralentí

Arquitectura	Estado	Valores eléctricos
A · Neumática (EVR)	Solenoide al 0 %, válvula cerrada	20 - 60 Ω · 0.2 - 0.6 A
B · Motor DC	Posición 0 %, cerrada	Motor 2 - 8 Ω · 0.5 - 2.0 A
C · Paso a paso	Conteo 0 - 5 pasos	20 - 30 Ω por bobina

Sensor de posición (arquitecturas A y B)	Valor
Cerrada	0.4 - 1.0 V
Abierta al 50 %	2.3 - 2.8 V
Plenamente abierta	3.9 - 4.6 V

2 · Valor aproximado a 2000 RPM

Condición	Apertura de EGR
2000 RPM sin carga	0 - 10 %
2000 RPM crucero con carga ligera	20 - 45 % (zona de máxima actividad)
2000 RPM carga media	30 - 60 %
2000 RPM plena carga	0 %
Desaceleración	0 %
Motor frío (< 60 °C)	0 %

3 · Rango de funcionamiento normal

Parámetro	Valor
Solenoides neumáticos: frecuencia PWM	32 - 128 Hz
Motor DC: frecuencia PWM	100 Hz - 2 kHz
Tolerancia comandado vs real	±5 %
Tiempo de respuesta	< 500 ms
Vacío requerido (arquitectura A)	≥ 400 mbar (12 inHg)
Caída de RPM al comandar en ralentí	150 - 400 RPM

4 · Síntomas de falla

Falla	Síntoma
Vástago trabado por carbón	P0401 (flujo insuficiente); detonación bajo carga (Módulo 5), NOx altos
Pegada abierta	P0402 ; ralentí muy inestable, calado al detenerse, humo blanco en diésel
Membrana rota (neumática)	Sin flujo; además, fuga de vacío que altera el ralentí
Manguera de vacío desconectada	Sin flujo; P0401
Solenoides abiertos	Sin flujo; P0403
Conducto de EGR obstruido	P0401 con actuador funcionando correctamente
Sensor de posición con zona muerta	Control oscilante; P0404/P0405
Refrigerador de EGR con fuga (diésel)	Humo blanco, pérdida de refrigerante, presurización del sistema

Códigos: P0400 (flujo de EGR), **P0401 (flujo insuficiente)**, **P0402 (flujo excesivo)**, P0403 (circuito del solenoide), P0404 (rango/desempeño), P0405/P0406 (sensor de posición bajo/alto), P0409, P046x, P2413 (desempeño del sistema EGR).

5 · Posibles soluciones y reparaciones

1. **Descarbonizar la válvula y el conducto.** Es la reparación dominante. El conducto de EGR se obstruye tanto o más que la válvula.
2. **Verificar el vacío disponible** y la integridad de la membrana (arquitectura neumática): aplique vacío manual, debe moverse y **mantenerlo**.

3. Verificar el **sensor de posición** con barrido lento (Módulo 2, §2.6).
4. Verificar el **DPFE y sus mangueras** (Módulo 6, §6.5) — se obstruyen con carbón y producen P0401 con un sistema sano.
5. En diésel, verificar el **refrigerador de EGR** por fugas internas.
6. **Ejecutar el aprendizaje de posición** en arquitecturas de paso a paso.

6 · Estrategia de diagnóstico avanzado

Fase A — Prueba de comando en ralentí (la prueba decisiva)

PRUEBA DE COMANDO DE EGR — SI EL MOTOR NO SE INESTABILIZA, NO HAY FLUJO

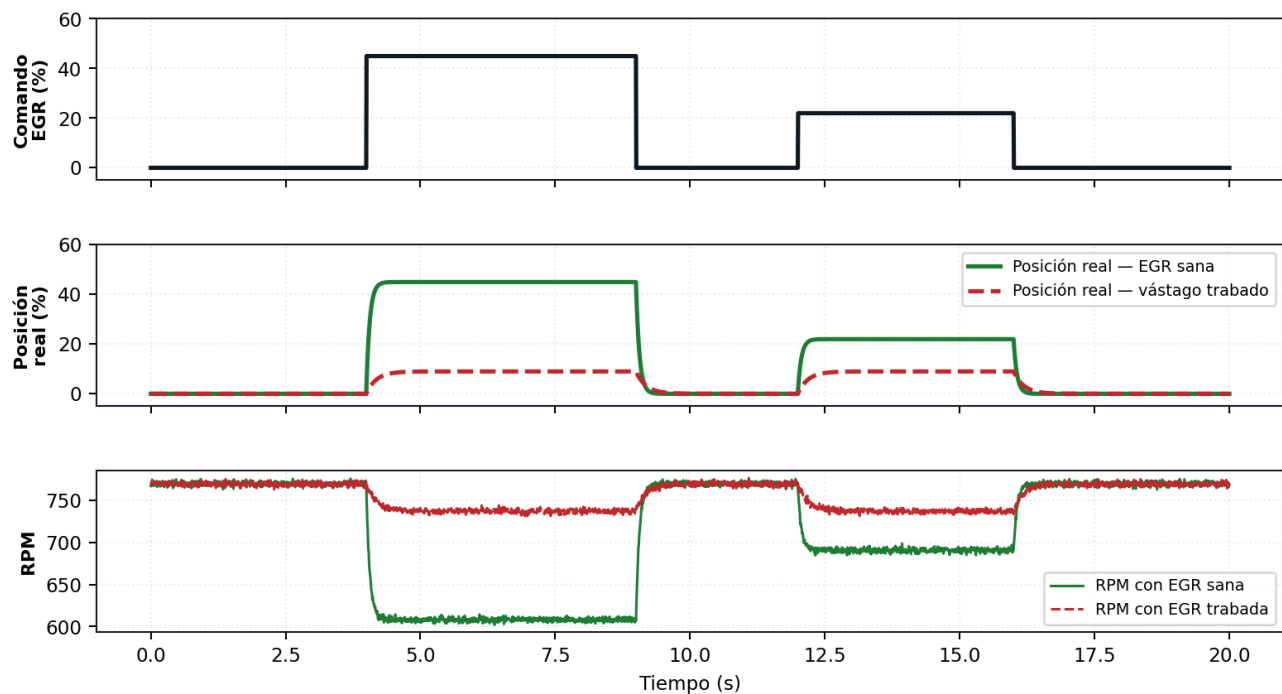


Figura 5: Comando de EGR y respuesta del motor

1. Motor a temperatura de operación, en ralentí estable.
2. Comande la EGR al 30 – 50 % con el escáner.

Resultado	Diagnóstico
El motor se vuelve claramente inestable o se cala	Hay flujo real de EGR
Nada ocurre	No hay flujo: válvula trabada, conducto obstruido o actuador sin movimiento
Se mueve el vástago pero el motor no reacciona	Conducto de EGR obstruido — el actuador está bien

Ésta es la prueba que separa el actuador del conducto, y la que evita reemplazar válvulas nuevas en motores que siguen dando P0401.

Fase B — Comparación comandado vs posición real

Tolerancia $\pm 5\%$. Si la real no alcanza la comandada con el actuador al máximo, el problema es mecánico.

Fase C — Prueba de vacío (arquitectura neumática)

1. Desconecte la manguera del actuador y aplique vacío manual.
2. La válvula debe **abrir** y **mantener** el vacío.

Resultado	Diagnóstico
Abre y mantiene	Actuador sano
Abre y pierde vacío	Membrana perforada
No abre	Vástago trabado

3. Con el motor en ralentí y vacío aplicado manualmente, **el motor debe inestabilizarse**. Si no, el conducto está obstruido.

Fase D — Captura de 2 canales

Canal	Señal	Ajuste
CH1	Control del solenoide o motor	DC · 5 V/div · 5 - 20 ms/div
CH2	Corriente	100 mV/A · 0.5 A/div
CH3 (opcional)	Señal del sensor de posición	1 V/div

Fase E — Caída de voltaje

Circuito	Corriente	Límite
Alimentación del solenoide	0.2 - 0.6 A	0.20 V
Alimentación del motor DC	0.5 - 2.0 A	0.20 V
Masa	igual	0.10 V
VREF / SIG RTN del sensor de posición	mA	0.10 / 0.05 V

7 · Valores comunes de resistencia

Componente	Resistencia
Solenoide EVR (neumático)	20 - 60 Ω (típico 26 - 40)
Motor DC de EGR eléctrica	2 - 8 Ω
EGR de paso a paso, por bobina	20 - 30 Ω
Sensor de posición (pista)	1 - 10 k Ω
Aislamiento a carcasa	> 10 M Ω

8 · Alimentaciones y tierras

Arquitectura	Circuitos
Neumática	12 V + control por lado bajo del solenoide + señal DPFE/EVP
Motor DC	M+ / M- (puente H) + VREF / señal / SIG RTN del sensor
Paso a paso	4 fases desde la ECU

9 · Aplicación de la Ley de Ohm

Cálculo 1 — Solenoide neumático

Solenoide de 40 Ω a 14.0 V:

$$I_{pico} = \frac{14.0}{40} = 0.350 \text{ A} \quad I_{media(50\%)} = 0.175 \text{ A}$$

Cálculo 2 — Motor DC de EGR eléctrica

Motor de 4.0 Ω a 13.8 V con 45 % de duty:

$$I_{pico} = \frac{13.8}{4.0} = 3.45 \text{ A} \quad I_{media} = 3.45 \times 0.45 = 1.55 \text{ A}$$

Cálculo 3 — Detección de vástago trabado

Si el vástago está trabado, el motor entra en **rotor bloqueado** y absorbe la corriente de pico de forma sostenida:

$$I_{bloqueo} = 3.45 \text{ A sostenidos}$$

Frente a los 1.55 A normales, es un **123 % más**. La potencia disipada:

$$P = I^2 R = 3.45^2 \times 4.0 = 47.6 \text{ W}$$

frente a los 9.6 W normales. **Ese exceso destruye el motor y el driver** en poco tiempo, por lo que un P0404 con corriente elevada debe atenderse de inmediato.

Cálculo 4 — Deducción de resistencia parásita en el solenoide

Con 50 % de duty y corriente medida de 0.11 A:

$$R_{total} = \frac{14.0 \times 0.50}{0.11} = 63.6 \Omega \quad R_{par} = 63.6 - 40 = 23.6 \Omega$$

$$\frac{F}{F_{nominal}} = \left(\frac{0.11}{0.175} \right)^2 = 0.395$$

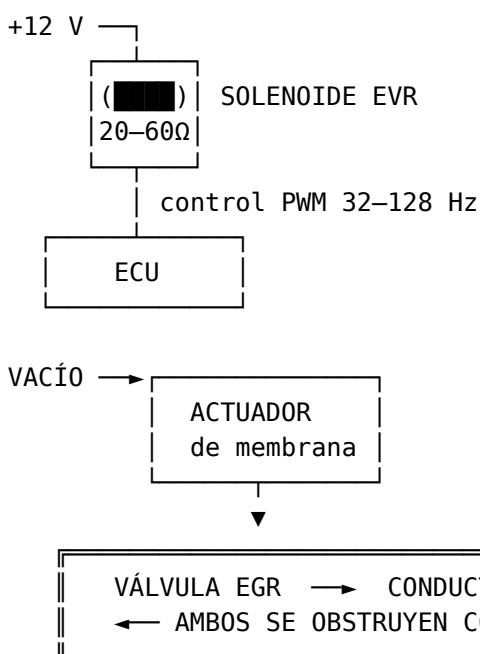
Pérdida del 60 % de la fuerza: el solenoide no abre completamente el paso de vacío y la EGR abre menos de lo comandado → **P0401 con un actuador mecánicamente sano.**

10 · Nomenclatura de cableado

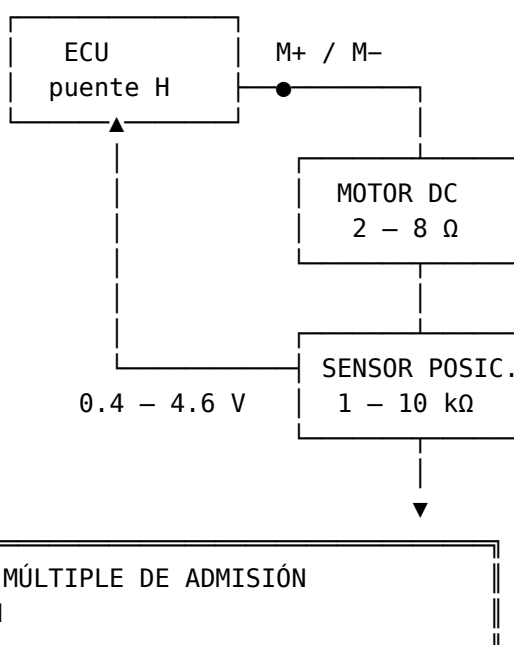
Marca	Alimentación	Control	Sensor de posición
GM	PNK	GRY, DK BLU	GRY / DK BLU / BLK-WHT
Ford	RED	BRN/LT GRN, GRY/RED	BRN-WHT / GRY-RED / BLK-WHT
Toyota	+B	EGR o E-VSV	VC / EGLS / E2
VW / Audi	rt/sw	gn/br	rt-ge / gn-ge / br-ws

11 · Simbología y diagrama de conexión

ARQUITECTURA NEUMÁTICA (A)



ARQUITECTURA ELÉCTRICA (B)



PRUEBA DECISIVA: comandar en ralentí. EL MOTOR DEBE INESTABILIZARSE.
Vástago se mueve + motor no reacciona = CONDUCTO OBSTRUIDO.

12 · Análisis de oscilogramas

Criterio	Correcto	Falla
Señal de control	Conmuta al comando	Sin conmutación = driver
Frecuencia	32 - 128 Hz (neumática)	Variable = driver
Rampa de corriente con joroba	Presente	Ausente = vástago pegado
Corriente sostenida elevada	No	Sí = rotor bloqueado
Sensor de posición	Barrido continuo	Escalones = zona muerta
Tiempo de respuesta	< 500 ms	Lento = fricción

13 · Señales PWM / ciclo de trabajo

Arquitectura	Frecuencia	Duty en ralentí	Duty en cruce
Neumática (EVR)	32 - 128 Hz	0 %	25 - 60 %
Motor DC	100 Hz - 2 kHz	0 - 10 %	25 - 60 %
Paso a paso	No aplica	0 - 5 pasos	20 - 60 pasos

14 · Análisis de corriente

Arquitectura	Corriente normal	Corriente en bloqueo
Solenoides neumáticos	0.2 - 0.6 A	Sin cambio
Motor DC	0.5 - 2.0 A	3 - 4 A sostenidos
Paso a paso	0.3 - 0.6 A por bobina	Sin cambio (pierde pasos)

15 · Preguntas de autoevaluación — EGR

P1. Un motor presenta P0401 (flujo insuficiente). Al comandar la EGR al 50 %, el vástago se mueve visiblemente en todo su recorrido y la posición real coincide con la comandada, pero el ralentí no se altera en absoluto. Emita el diagnóstico y explique por qué reemplazar la válvula no resolvería el problema.

P2. Un solenoide EVR de 34 Ω trabaja con 60 % de duty a 13.9 V. La pinza mide 0.15 A. Calcule la corriente esperada, la resistencia parásita y el porcentaje de pérdida de fuerza. Indique qué código aparecerá.

P3. Un motor con EGR eléctrica presenta P0404. La corriente del motor DC mide 3.6 A sostenidos cuando la especificación es 1.4 A. Calcule la potencia disipada en ambos casos, determine la causa y explique la urgencia de la reparación.

11.4 · SOLENOIDE OCV / VVT

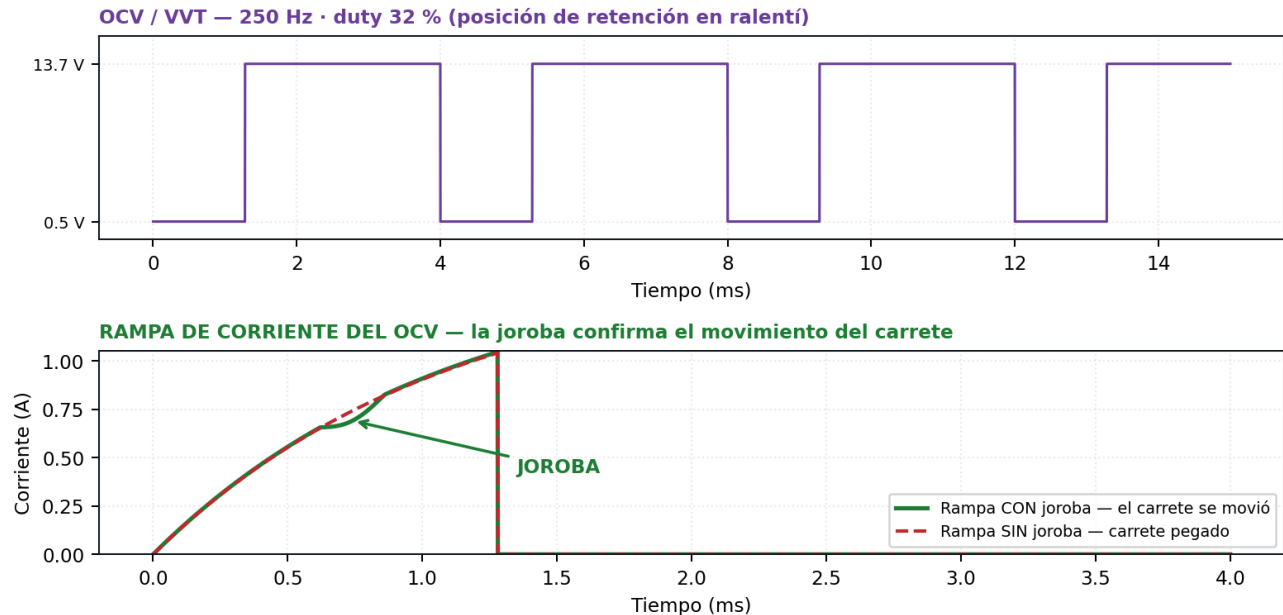


Figura 6: PWM y rampa de corriente del OCV

Relación con los Módulos 1 y 7

Módulo	Enfoque
Módulo 1, §1.7	El CMP como sensor de correlación; diagnóstico de cadena estirada
Módulo 7, §7.3	El lazo cerrado de posición: comandada vs real
Módulo 11 (aquí)	El actuador: el solenoide, su corriente y su filtro

Principio

El OCV (*Oil Control Valve*) es una **válvula de carrete** que dirige la presión de aceite hacia una u otra cámara del actuador de leva. El ciclo de trabajo determina la posición del carrete y, con ella, el caudal de aceite hacia cada lado.

1 · Valores en ralentí

Parámetro	Valor
Resistencia	6 - 15 Ω (algunos 4 - 20)
Frecuencia PWM	200 - 300 Hz
Duty cycle en retención	25 - 40 %
Corriente de pico	0.9 - 2.3 A
Corriente media	0.3 - 0.8 A

Parámetro	Valor
Voltaje con driver activo	0.3 - 0.9 V
Presión de aceite mínima requerida	1.0 - 1.5 bar (Módulo 6, §6.3)

Cálculo de verificación (solenoides de 9.0 Ω a 13.7 V, 32 % de duty):

$$I_{pico} = \frac{13.7}{9.0} = 1.52 \text{ A} \quad I_{media} = 1.52 \times 0.32 = 0.487 \text{ A}$$

2 · Valor aproximado a 2000 RPM

Condición	Duty cycle	Corriente media
2000 RPM sin carga	45 - 65 %	0.68 - 0.99 A
2000 RPM carga media	55 - 80 %	0.84 - 1.22 A
2000 RPM plena carga	40 - 60 %	0.61 - 0.91 A
Desaceleración	20 - 35 %	0.30 - 0.53 A

3 · Rango de funcionamiento normal

Parámetro	Valor
Rango de duty	0 - 100 %
Duty en retención	25 - 40 %
Duty en avance máximo	60 - 90 %
Duty en retardo máximo	5 - 20 %
Autoridad del actuador	20 - 60° de cigüeñal
Temperatura mínima de habilitación	ECT > 40 - 60 °C

Algunos sistemas usan lógica invertida (duty alto = retardo). Verifique la especificación: un OCV al 85 % puede ser avance máximo o retardo máximo según el fabricante.

4 · Síntomas de falla

Falla	Síntoma
Filtro-malla obstruido	La leva no se mueve; P0011/P0012; el solenoide está sano
Carrete pegado	Igual que el anterior; sin joroba en la rampa
Bobina abierta	Sin actuación; P0010
Resistencia parásita	Fuerza insuficiente; movimiento incompleto
Presión de aceite baja	El VVT no actúa; P0011 (Módulo 6, §6.3)
Aceite degradado o de viscosidad incorrecta	Respuesta lenta, P0011 intermitente
Junta tórica del OCV dañada	Fuga interna; presión insuficiente en el actuador

Códigos: P0010 (circuito del actuador banco 1), P0011/P0012 (posición sobre-avanzada / sobre-retrasada), P0013/P0014 (banco 1 escape), P0020 – P0024 (banco 2), P0028, P0016 – P0019 (correlación, Módulo 1).

5 · Posibles soluciones y reparaciones

1. **Retirar y limpiar el filtro-malla del OCV.** Es la reparación más frecuente y la más ignorada. Está detrás del solenoide, en el bloque o en la culata.
2. Verificar **nivel, viscosidad y estado del aceite** (Módulo 3, §3.3 y Módulo 6, §6.3).
3. Verificar la **presión real de aceite** con manómetro mecánico.
4. Limpiar el **carrete del OCV** con limpiador de frenos y aire comprimido.
5. Verificar el **actuador de leva** (*phaser*) por holgura o pasador roto.
6. **Reiniciar los valores adaptativos** tras la intervención.

6 · Estrategia de diagnóstico avanzado

Paso 1 — Comparación comandada vs real (Módulo 7, §7.3, Fase A).

Paso 2 — Verificación de la saturación del duty. Si el duty satura sin que la posición cambie, el problema **no es de control**: es hidráulico o mecánico.

Paso 3 — Captura de 2 canales con rampa de corriente.

Canal	Señal	Ajuste
CH1	Control del OCV	DC · 5 V/div · 1 ms/div
CH2	Corriente	100 mV/A · 0.5 A/div

La joroba en la rampa confirma que el carrete se movió. Sin joroba con corriente correcta: carrete pegado o filtro totalmente obstruido.

Paso 4 — Prueba de comando con el motor en ralentí.

Resultado	Diagnóstico
El ralentí se altera y la posición cambia	Sistema funcional
Sin corriente	Solenoide o circuito
Corriente correcta, sin movimiento	Filtro, presión de aceite o actuador

Paso 5 — Caída de voltaje.

Circuito	Corriente	Límite
Alimentación	0.3 – 1.5 A	0.20 V
Control (lado bajo)	0.3 – 1.5 A	0.3 – 0.9 V es normal

7 · Valores comunes de resistencia

Fabricante	Resistencia
Toyota / Denso	6.9 – 7.9 Ω

Fabricante	Resistencia
Honda	6.7 – 7.7 Ω
Ford	6 – 13 Ω
GM	6 – 10 Ω
VW / Audi	8 – 15 Ω
BMW (VANOS)	6 – 9 Ω
Aislamiento a carcasa	> 10 M Ω

8 · Alimentaciones y tierras

Pin	Función
1	Alimentación 12 V desde el relé principal
2	Control por lado bajo desde la ECU (PWM)

9 · Aplicación de la Ley de Ohm

Cálculo 1 — Corriente esperada

$$I_{pico} = \frac{13.7}{9.0} = 1.52 \text{ A} \quad I_{media(32\%)} = 0.487 \text{ A}$$

Cálculo 2 — Deducción de resistencia parásita

Con 32 % de duty y corriente medida de 0.31 A:

$$R_{total} = \frac{13.7 \times 0.32}{0.31} = 14.1 \text{ } \Omega \quad R_{par} = 14.1 - 9.0 = 5.1 \text{ } \Omega$$

Cálculo 3 — Pérdida de fuerza

$$\frac{F}{F_{nominal}} = \left(\frac{0.31}{0.487} \right)^2 = 0.405$$

Pérdida del 60 % de la fuerza del solenoide. El carrete no alcanza su posición, el caudal de aceite es insuficiente y la leva no llega al objetivo: **P0011 con un actuador de leva perfectamente sano y un filtro limpio.**

Este cálculo es el que separa las tres causas posibles de un P0011: resistencia parásita (corriente baja), filtro/carrete (corriente correcta sin joroba), y presión de aceite o actuador (corriente correcta con joroba pero sin movimiento de la leva).

10 · Nomenclatura de cableado

Marca	Alimentación	Control
Toyota	+B	OCV+ / OCV-

Marca	Alimentación	Control
Honda	BLK/YEL	GRN/BLK
Ford	RED	GRY/YEL, BRN/WHT
GM	PNK	DK GRN, BRN
VW / Audi	rt/sw	gn/ge

11 · Simbología y diagrama de conexión

Ver el diagrama de arquitectura del Módulo 7, §7.3.

12 · Análisis de oscilogramas

Criterio	Correcto	Falla
Frecuencia Duty cycle	200 - 300 Hz constante Coherente con la demanda	Variable = driver Saturado sin efecto = hidráulico
Nivel activo Joroba en la rampa	0.3 - 0.9 V Presente	> 1.5 V = driver o resistencia Ausente = carrete pegado
Corriente media	Coincide con el cálculo	Baja = resistencia parásita

13 · Señales PWM / ciclo de trabajo

Parámetro	Valor
Frecuencia	200 - 300 Hz
Duty en retención	25 - 40 %
Duty en avance máximo	60 - 90 %
Duty en retardo máximo	5 - 20 %
Tipo de control	Lado bajo

14 · Análisis de corriente

Parámetro	Valor
Corriente de pico	0.9 - 2.3 A
Corriente media en retención	0.3 - 0.8 A
Corriente media en avance máximo	0.8 - 1.5 A

15 · Preguntas de autoevaluación — OCV / VVT

P1. Un solenoide OCV de 7.4Ω trabaja con 38 % de duty a 13.8 V. La pinza mide 0.44 A. Calcule la corriente esperada, la resistencia parásita y el porcentaje de pérdida de fuerza.

P2. Un motor presenta P0011. El OCV recibe la corriente calculada correctamente y la rampa muestra joroba, pero la posición de la leva no cambia. Enumere las tres causas restantes en orden de probabilidad y describa la prueba que las separa.

P3. Explique cómo el análisis de la rampa de corriente del OCV separa las tres familias de causa de un P0011, y qué observaría en cada caso.

11.5 · SISTEMA DE AIRE SECUNDARIO (AIR)

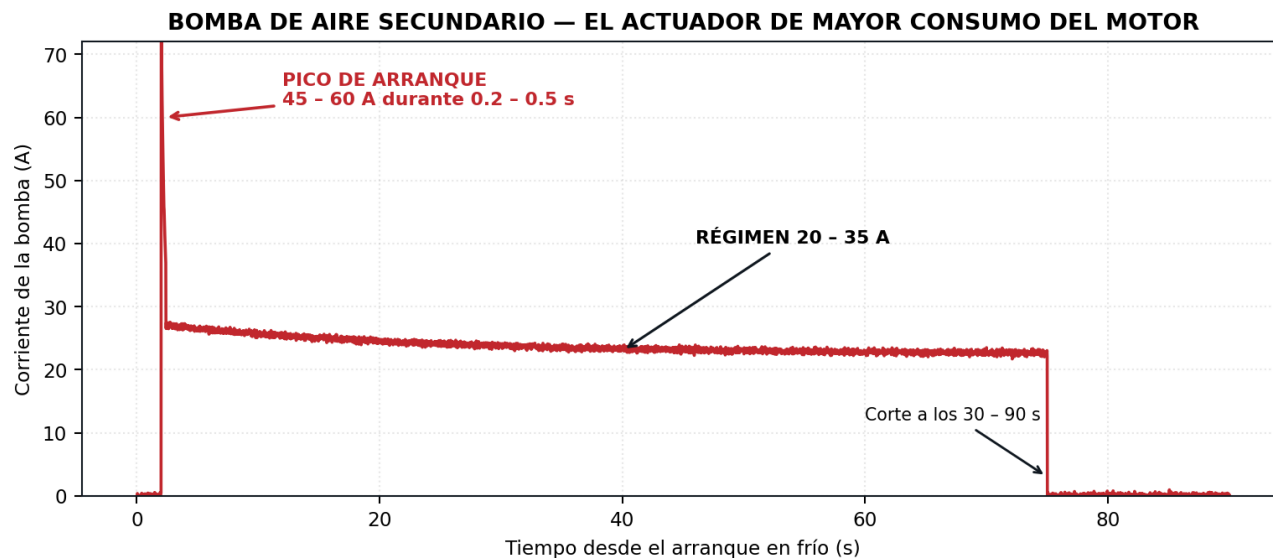


Figura 7: Corriente de la bomba de aire secundario

Función

Tras un arranque en frío, la mezcla es muy rica y el catalizador está frío. El sistema inyecta **aire fresco directamente en el múltiple de escape** para que los hidrocarburos no quemados se oxiden y **el calor de esa oxidación caliente el catalizador rápidamente**.

Funciona solo durante 30 - 90 segundos tras un arranque en frío. Fuera de esa ventana, todo el sistema está inactivo.

1 · Valores durante la operación

Parámetro	Valor
Corriente de la bomba en régimen	20 - 35 A
Pico de arranque (rotor bloqueado)	45 - 60 A durante 0.2 - 0.5 s
Resistencia del motor de la bomba	0.2 - 0.6 Ω
Fusible de la bomba	40 - 60 A
Relé de la bomba	30 - 60 A
Solenoides de la válvula combinada	20 - 60 Ω · 0.2 - 0.6 A
Duración de la operación	30 - 90 s
Efecto en la sonda lambda	Salta a pobre (< 0.2 V)

Cálculo de verificación (motor de 0.40 Ω a 13.8 V):

$$I = \frac{13.8}{0.40} = 34.5 \text{ A} \quad P = 13.8 \times 34.5 = 476 \text{ W}$$

Es el actuador de mayor consumo del motor, comparable al motor de arranque en potencia instantánea. Por eso su circuito tiene fusible propio, relé dedicado y cables de sección grande.

2 · Valor a 2000 RPM

El sistema no opera a 2000 RPM. Se desactiva en cuanto el motor supera condiciones de ralentí frío. Intentar diagnosticarlo con el motor caliente es imposible sin forzarlo con el escáner.

3 · Rango de funcionamiento normal

Condición de activación	Valor típico
Temperatura del refrigerante al arrancar	5 - 40 °C
Temperatura ambiente mínima	> -10 °C
Duración	30 - 90 s
Presión generada por la bomba	30 - 80 mbar
Frecuencia de operación	Solo tras arranques en frío

4 · Síntomas de falla

Falla	Síntoma
Bomba con agua ingresada	Bomba destruida; ruido fuerte, fusible fundido, P0410
Válvula combinada pegada abierta	Los gases de escape entran a la bomba y la destruyen; P0410
Válvula combinada pegada cerrada	Sin flujo; P0411
Bomba abierta / fusible fundido	Sin operación; P0412
Conductos obstruidos por carbón	Flujo insuficiente; P0411
Relé pegado	La bomba funciona permanentemente; se destruye
Manguera desconectada	Ruido de bomba sin efecto

Códigos: P0410 (sistema de aire secundario, mal funcionamiento), P0411 (flujo incorrecto), P0412 - P0414 (circuito del solenoide), P0415 - P0419, P2440 - P2449 (válvulas de conmutación y bombas por banco).

La causa raíz más frecuente: la válvula combinada (antirretorno) falla y permite que gases de escape y condensación lleguen a la bomba. La bomba se corroe por dentro y se destruye. **Reemplazar solo la bomba sin reemplazar la válvula garantiza la repetición de la avería.**

5 · Posibles soluciones y reparaciones

1. **Reemplazar SIEMPRE la válvula combinada junto con la bomba.** Es la regla del sistema.
2. Verificar y limpiar los **conductos de aire hacia el escape** (se obstruyen con carbón).

3. Verificar el **drenaje y la posición de montaje** de la bomba: si acumula agua, volverá a fallar.
4. Verificar el **relé y el fusible** — con 35 A, ambos sufren.
5. Verificar la **caída de voltaje** del circuito de potencia: con 35 A, es crítica.
6. Verificar la **manguera de vacío** de la válvula combinada, si la usa.

6 · Estrategia de diagnóstico avanzado

Paso 1 — Forzar la activación con el escáner (no espere a un arranque en frío) y observar simultáneamente:

Verificación	Resultado esperado
Ruido de la bomba	Audible y constante
Corriente con pinza	20 - 35 A , estable
Sonda lambda anterior	Salta a < 0.2 V (pobre)
Fuel trims	Corrección hacia rico

La sonda lambda es el testigo del flujo real. Si la bomba suena y consume corriente pero la lambda no reacciona, el aire **no está llegando al escape**: válvula combinada cerrada o conducto obstruido.

Paso 2 — Prueba de la válvula combinada. Con el motor apagado, aplique aire a baja presión: debe pasar en un sentido y **bloquear en el sentido inverso**.

Paso 3 — Inspección de la bomba. Retírela y verifique que no haya agua ni carbonilla en su interior. Cualquier resto de humedad indica válvula defectuosa.

Paso 4 — Caída de voltaje (crítica en este sistema).

Circuito	Corriente	Límite
Alimentación (batería → relé → bomba)	20 - 35 A	0.30 V
Masa de la bomba	20 - 35 A	0.15 V
Contactos del relé	20 - 35 A	0.20 V

Fundamento numérico: con 35 A, una caída de 0.5 V significa $0.5 \times 35 = 17.5$ W disipados en el cableado, y reduce el voltaje disponible en la bomba de 13.8 a 13.3 V, con la consiguiente pérdida de caudal.

7 · Valores comunes de resistencia

Componente	Resistencia
Motor de la bomba	0.2 - 0.6 Ω (usar función REL del multímetro)
Solenoides de la válvula combinada	20 - 60 Ω
Bobina del relé	60 - 120 Ω
Contactos del relé (cerrados)	< 0.1 Ω
Aislamiento a carcasa	> 10 M Ω

8 · Alimentaciones y tierras

Circuito	Descripción
Alimentación de potencia	Batería → fusible de 40 - 60 A → relé → bomba
Bobina del relé	12 V + control por lado bajo desde la ECU
Solenoides de la válvula	12 V + control por lado bajo
Masa de la bomba	Directa a chasis, sección grande

9 · Aplicación de la Ley de Ohm

Cálculo 1 — Corriente y potencia

$$I = \frac{13.8}{0.40} = 34.5 \text{ A} \quad P = 476 \text{ W}$$

Cálculo 2 — Efecto de la caída de voltaje

Con 0.8 V de caída total (alimentación + masa):

$$V_{bomba} = 13.8 - 0.8 = 13.0 \text{ V} \quad I = \frac{13.0}{0.40} = 32.5 \text{ A}$$

$$P_{bomba} = 13.0 \times 32.5 = 422 \text{ W}$$

Pérdida del 11 % de potencia y, por tanto, de caudal de aire. Además se disipan $0.8 \times 32.5 = 26$ W en el cableado, que calientan conectores y aceleran la corrosión.

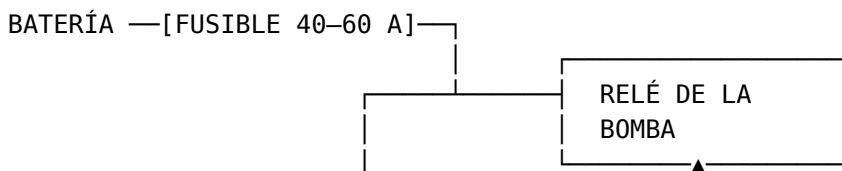
Cálculo 3 — Verificación del fusible

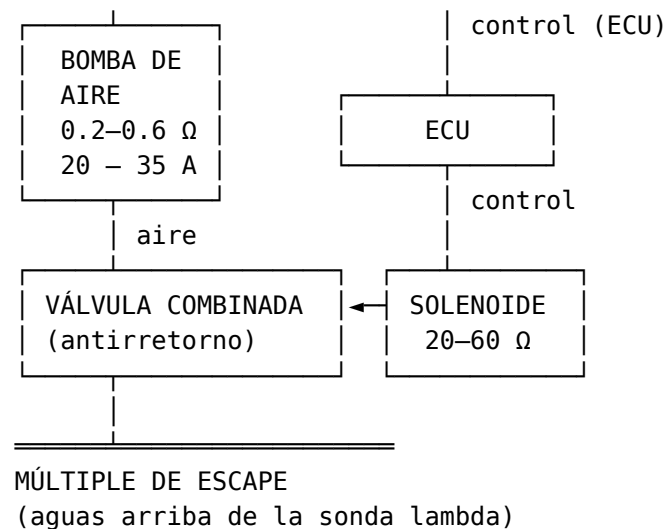
Con 34.5 A de régimen y picos de 55 A, un fusible de 40 A trabaja al **86 % de su capacidad nominal** en régimen. Es normal que se degrade con el tiempo: un fusible que “se ve bien” pero presenta 0.3 V de caída con 35 A tiene $0.3/35 = 0.0086 \Omega$ y debe reemplazarse.

10 · Nomenclatura de cableado

Marca	Alimentación de la bomba	Control del relé	Solenoides
VW / Audi	rt (sección grande)	sw/ge	gn/ws
BMW / Mercedes	rt	gn/br	bl/ws
Toyota	+B	AIR	ASV
GM	RED	DK GRN	LT BLU

11 · Simbología y diagrama de conexión





△ SI LA VÁLVULA COMBINADA FALLA, LOS GASES DESTRUYEN LA BOMBA.
 Reemplazar bomba SIN reemplazar la válvula = avería repetida.
 TESTIGO DE FLUJO REAL: la sonda lambda debe saltar a POBRE (< 0.2 V).

12 · Análisis de oscilogramas

Criterio	Correcto	Falla
Corriente de la bomba	20 - 35 A estable	Errática = escobillas o rotor
Pico de arranque	45 - 60 A, 0.2 - 0.5 s	Muy alto = rotor trabado
Duración	30 - 90 s	Corta = protección por corriente
Respuesta de la lambda	Salta a < 0.2 V	Sin cambio = no llega aire

Configuración: DC · pinza de **alta corriente** (rango 100 - 200 A) · 10 A/div · 5 s/div en modo *roll* · capturar el ciclo completo desde el arranque.

13 · Señales PWM / ciclo de trabajo

No aplica. La bomba es on/off a través del relé. El solenoide de la válvula combinada también es on/off.

Algunos sistemas modernos usan **PWM en la bomba** para modular el caudal (frecuencia 100 - 500 Hz); en esos casos, el duty determina la velocidad.

14 · Análisis de corriente

En este actuador, la corriente ES el diagnóstico principal.

Hallazgo	Diagnóstico
20 - 35 A estables + lambda a pobre	Sistema funcional
20 - 35 A + lambda sin cambio	Válvula combinada o conducto obstruido

Hallazgo	Diagnóstico
> 45 A sostenidos	Rotor trabado por corrosión — la bomba está destruida
Corriente errática	Escobillas desgastadas
0 A	Fusible, relé, cableado o bomba abierta
Corriente normal pero sin ruido	Acoplamiento roto (raro)

Método: pinza de **alta corriente** sobre el cable de alimentación de la bomba. Una pinza de baja corriente se satura con 35 A.

15 · Preguntas de autoevaluación — Aire secundario

P1. Un vehículo presenta P0411 (flujo de aire secundario incorrecto). Al forzar la activación, la bomba suena, la corriente mide 31 A y es estable, pero la sonda lambda anterior no se mueve de 0.75 V. Emita el diagnóstico y explique por qué la bomba no es la culpable.

P2. Una bomba de aire secundario de $0.35\ \Omega$ opera a 13.9 V. Calcule la corriente y la potencia. Después recalcule suponiendo 1.1 V de caída total en el circuito y determine el porcentaje de pérdida de potencia y los vatios disipados en el cableado.

P3. Un taller reemplaza una bomba de aire secundario destruida. A los seis meses, la nueva bomba falla igual. Explique la causa raíz que se omitió y describa el procedimiento correcto.

11.6 · SISTEMA SCR — INYECCIÓN DE ADBLUE (DEF)

SISTEMA SCR / ADBLUE — ACTUADORES Y CALEFACTORES

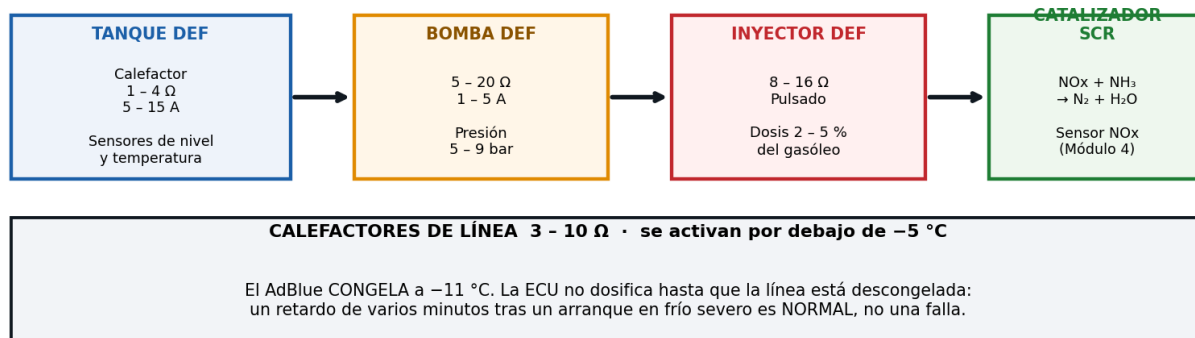
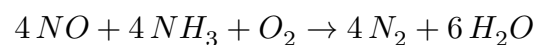


Figura 8: Arquitectura del sistema SCR

Función

El **AdBlue** (urea al 32.5 % en agua desmineralizada, también llamado DEF) se inyecta en el escape antes del catalizador SCR. El calor la descompone en amoníaco, que reacciona con los NOx:



Consumo típico: 2 - 5 % del consumo de gasóleo.

1 · Valores durante la operación

Componente	Resistencia	Corriente
Inyector / dosificador DEF	8 - 16 Ω	0.8 - 2.0 A
Bomba DEF	5 - 20 Ω	1 - 5 A
Calefactor del tanque	1 - 4 Ω	5 - 15 A
Calefactores de línea	3 - 10 Ω	1 - 4 A cada uno
Válvula de retorno / reversión	10 - 30 Ω	0.5 - 1.5 A

Parámetro del sistema	Valor
Presión de dosificación	5 - 9 bar
Temperatura mínima de operación del escape	180 - 200 °C
Punto de congelación del AdBlue	-11 °C
Activación de calefactores	Por debajo de -5 a 0 °C
NOx posterior al SCR con dosificación correcta	< 50 ppm (Módulo 4, §4.5)

2 · Valor a 2000 RPM

Condición	Dosificación
Escape frío (< 180 °C)	0 % — no se dosifica
2000 RPM crucero, escape caliente	Proporcional a los NOx medidos
Plena carga	Máxima dosificación
Ralentí prolongado	Mínima o nula

3 · Rango de funcionamiento normal

Parámetro	Valor
Presión del sistema	5 - 9 bar
Tiempo de purga tras apagar	60 - 180 s (la bomba retira el líquido de la línea)
Consumo de AdBlue	2 - 5 % del gasóleo
Concentración de urea	32.5 % ±0.7
Eficiencia de conversión objetivo	> 80 %

Comportamiento normal que se confunde con falla: al apagar el motor, la bomba funciona 1 - 3 minutos **retirando el AdBlue de las líneas** para que no se congele ni cristalice. Es normal oírlo y **no debe interrumpirse desconectando la batería**.

4 · Síntomas de falla

Falla	Síntoma
Cristalización del inyector	Dosificación insuficiente, P20EE (eficiencia SCR baja), NOx altos
Calefactor abierto	El sistema no dosifica en frío; P20xx
Bomba con presión insuficiente	P204F, P203F
AdBlue de mala calidad o diluido	Eficiencia baja, cristalización acelerada, P20EE
Nivel bajo	Cuenta atrás de arranques, luego inmovilización del vehículo
Sensor de calidad defectuoso	Falsa alarma de AdBlue incorrecto
Sensor de NOx sesgado	Dosificación errónea (Módulo 4, §4.5)
Línea obstruida por cristales	Presión alta sin flujo

Códigos: P20EE (eficiencia del catalizador SCR por debajo del umbral), P203F (nivel de reactivo bajo), P204F (rendimiento del sistema), P205B (temperatura del reactivo), P207F (calidad del reactivo), P20E8 (presión baja), P229F (sensor de NOx), P2BAC (limitación de par por NOx).

Advertencia legal y operativa: los sistemas SCR incorporan una estrategia de **inmovilización progresiva**: primero advertencia, luego cuenta atrás de arranques, luego limitación de par y finalmente el vehículo no arranca. Manipular o anular el sistema es ilegal en la mayoría de las jurisdicciones.

5 · Posibles soluciones y reparaciones

1. **Verificar la calidad del AdBlue con refractómetro.** Debe indicar **32.5 % ± 0.7** . AdBlue diluido o contaminado es la causa raíz de muchas fallas de eficiencia.
2. **Limpiar el inyector dosificador** de cristales de urea. Use agua desmineralizada tibia — **nunca solventes ni ácidos**.
3. Verificar la **presión del sistema** con el PID del escáner.
4. Verificar los **calefactores** por resistencia y corriente.
5. Verificar el **sensor de NOx** antes de intervenir el SCR (Módulo 4, §4.5).
6. Verificar los **EGT** (Módulo 3, §3.4): sin temperatura suficiente no hay conversión.
7. Ejecutar los procedimientos de **purga y cebado** tras cualquier intervención.

6 · Estrategia de diagnóstico avanzado

Paso 1 — Verificar la calidad del AdBlue con refractómetro. Es la prueba más barata y descarta la causa raíz más común.

Paso 2 — Verificar la presión del sistema con el PID: 5 – 9 bar durante la dosificación.

Paso 3 — Prueba de dosificación forzada. Comande el inyector con el escáner y verifique:

Verificación	Resultado esperado
Corriente del inyector	0.8 – 2.0 A en pulsos
Caída de presión al dosificar	Visible en el PID
NOx posterior	Debe caer (Módulo 4, §4.5)
Consumo de AdBlue	Coherente con la dosis comandada

Paso 4 — Verificación de calefactores. Resistencia y corriente de cada uno. Con el vehículo frío, deben activarse automáticamente.

Paso 5 — Inspección del inyector. Retírelo y verifique la presencia de cristales blancos. La cristalización es visible a simple vista.

Paso 6 — Caída de voltaje.

Circuito	Corriente	Límite
Inyector dosificador	0.8 – 2.0 A	0.20 V
Bomba DEF	1 – 5 A	0.20 V
Calefactor del tanque	5 – 15 A	0.30 V
Masas	igual	0.15 V

7 · Valores comunes de resistencia

Componente	Resistencia
Inyector dosificador	8 - 16 Ω
Bomba DEF	5 - 20 Ω
Calefactor del tanque	1 - 4 Ω
Calefactores de línea	3 - 10 Ω
Sensor de nivel/temperatura combinado	Ver Módulo 3 y 7
Aislamiento a carcasa	> 10 M Ω

8 · Alimentaciones y tierras

Circuito	Descripción
Módulo de dosificación (DCU/SCR)	12 V + masa + CAN
Inyector	12 V + control por lado bajo
Bomba	12 V + control PWM
Calefactores	12 V + control por relé o lado bajo (alta corriente)

Muchos sistemas SCR tienen su propio módulo de control que se comunica con la ECU del motor por CAN. En esos casos, el diagnóstico incluye verificar la comunicación del módulo.

9 · Aplicación de la Ley de Ohm

Cálculo 1 — Inyector dosificador

Inyector de 12 Ω a 13.8 V:

$$I = \frac{13.8}{12} = 1.15 \text{ A} \quad P = 15.9 \text{ W}$$

Cálculo 2 — Calefactor del tanque

Calefactor de 2.0 Ω a 13.8 V:

$$I = \frac{13.8}{2.0} = 6.90 \text{ A} \quad P = 95.2 \text{ W}$$

Cálculo 3 — Efecto de la caída de voltaje sobre el calefactor

La potencia calorífica va con el **cuadrado** del voltaje:

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

Con 1.0 V de caída:

$$P = \frac{12.8^2}{2.0} = 81.9 \text{ W}$$

$$\frac{81.9}{95.2} = 0.860 \Rightarrow \mathbf{14 \% \text{ menos de calor}}$$

En condiciones de $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, ese 14 % puede ser la diferencia entre descongelar el AdBlue a tiempo o que el sistema no dosifique durante todo el trayecto.

10 · Nomenclatura de cableado

Marca	Inyector	Bomba	Calefactores
Bosch Denoxtronic	gn/ws	rt/sw, gn/br	rt (sección grande), br
Cummins / Ford	GRY-YEL	RED-BLU	RED, BLK
Mercedes / Daimler	bl/ws	rt/bl	rt/sw

11 · Simbología y diagrama de conexión

Ver el diagrama de arquitectura al inicio de esta sección.

12 - 14 · Oscilogramas, PWM y corriente

Punto	Contenido
12 · Oscilograma	Inyector: pulsos con rampa de corriente y joroba · Bomba: PWM con rizado de corriente · DC · 5 V/div · 0.5 A/div · 50 ms/div
13 · PWM	Bomba: PWM 100 – 500 Hz, duty proporcional a la presión objetivo · Inyector: pulsos de ancho variable · Calefactores: on/off por relé o PWM lento
14 · Corriente	Inyector 0.8 – 2.0 A · Bomba 1 – 5 A · Calefactor del tanque 5 - 15 A (pinza estándar)

15 · Preguntas de autoevaluación — SCR / AdBlue

P1. Un vehículo diésel presenta P20EE (eficiencia SCR baja) con un catalizador SCR reemplazado hace 20 000 km. Enumere, en orden, las **cuatro** verificaciones que realizaría antes de considerar cualquier intervención en el escape, indicando de qué módulo del curso proviene cada una.

P2. Un calefactor de tanque de $2.4\ \Omega$ opera a 13.9 V. Calcule la corriente y la potencia. Después recalculé con 1.4 V de caída en el circuito y determine el porcentaje de pérdida de calor.

P3. Un cliente reclama que “la bomba sigue funcionando después de apagar el motor”. Explique si esto constituye una falla, cuál es su función y qué le advertiría al cliente respecto a desconectar la batería.

11.7 · BUJÍAS INCANDESCENTES Y MÓDULO GPCM

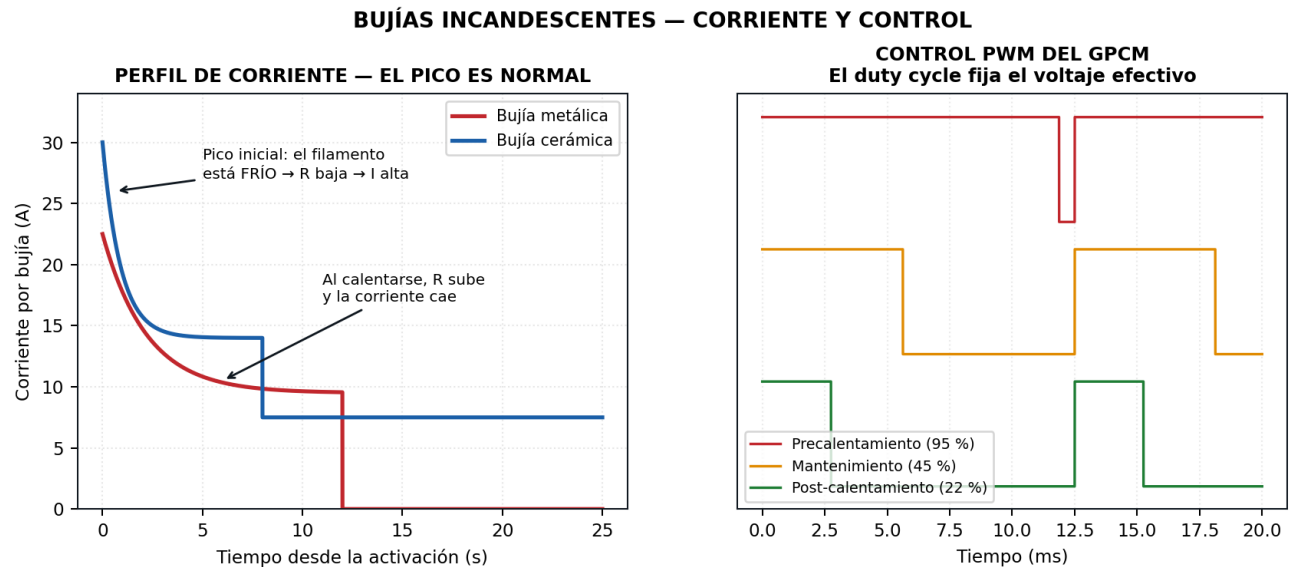


Figura 9: Corriente y control PWM de las bujías incandescentes

Función y las dos tecnologías

Calientan la cámara de combustión para permitir el arranque en frío de un motor diésel y **continúan trabajando después del arranque (post-glow)** durante 3 - 5 minutos, para reducir humo, ruido y emisiones.

Tecnología	Temperatura	Tiempo hasta temperatura	Resistencia en frío
Metálica	850 - 900 °C	5 - 8 s	0.6 - 2.0 Ω
Cerámica	1 000 - 1 300 °C	2 - 3 s	0.5 - 1.2 Ω

Ambas son PTC: su resistencia **sube** al calentarse (Módulo 3, §3.0). Ése es el mecanismo que autolimita la corriente.

1 · Valores durante la operación

Parámetro	Valor
Resistencia en frío	0.5 - 2.0 Ω
Resistencia en caliente	2.0 - 5.0 Ω (sube con la temperatura)
Corriente inicial (pico)	15 - 30 A por bujía
Corriente estabilizada	5 - 12 A por bujía
Corriente total (4 cilindros, pico)	60 - 120 A
Voltaje nominal de la bujía	4.4 V · 7 V · 11 V · 12 V según diseño
Duración del precalentamiento	2 - 20 s según temperatura
Duración del post-calentamiento	3 - 5 minutos

Cálculo de verificación (bujía de 0.80 Ω en frío a 13.8 V, sin PWM):

$$I_{inicial} = \frac{13.8}{0.80} = 17.3 \text{ A} \quad P = 238 \text{ W}$$

Al calentarse a 3.5 Ω :

$$I_{caliente} = \frac{13.8}{3.5} = 3.94 \text{ A} \quad P = 54.4 \text{ W}$$

La caída de corriente no es una falla: es el propio principio de funcionamiento. La bujía se autorregula porque es PTC.

2 · Valor con el motor en marcha

Condición	Estado
Post-calentamiento (3 - 5 min tras arrancar)	Activas con duty reducido (20 - 40 %)
Motor caliente en marcha	Inactivas
Regeneración del DPF (algunos motores)	Pueden reactivarse

3 · Rango de funcionamiento normal

Parámetro	Valor
Temperatura ambiente para activación	< 5 - 10 °C (algunos siempre)
Tiempo de precalentamiento a -20 °C	10 - 20 s
Tiempo de precalentamiento a +10 °C	1 - 3 s
Diferencia máxima de corriente entre bujías	±15 %
Duty cycle del GPCM en precalentamiento	80 - 100 %
Duty cycle en mantenimiento	30 - 55 %
Duty cycle en post-calentamiento	15 - 40 %

4 · Síntomas de falla

Falla	Síntoma
Una o dos bujías abiertas	Arranque en frío difícil , humo blanco al arrancar, ralentí irregular hasta calentar
Todas abiertas	No arranca en frío; arranca normalmente en caliente
Bujía en corto	Fusible fundido o driver del GPCM dañado; P067x
Bujía de bajo voltaje alimentada con 12 V directos	Destrucción inmediata ; puede fundirse dentro del cilindro
Punta hinchada por sobrecalentamiento	La bujía no sale ; puede romperse al desmontar

Falla	Síntoma
GPCM sin comunicación	Sin precalentamiento; P0380
Relé pegado	Bujías permanentemente activas; se destruyen

Códigos: P0380 (circuito del calentador A), P0381 (indicador del calentador), P0382, P0670 - P0678 (circuitos individuales de bujías 1 a 8), P0683 (comunicación GPCM ↔ ECU), P062F.

5 · Posibles soluciones y reparaciones

1. **Medir la resistencia de cada bujía individualmente** con la función REL del multímetro (valores de 0.8Ω exigen descontar las puntas).
2. **Medir la corriente de cada bujía con pinza** durante el precalentamiento — es más fiable que la resistencia.
3. **Verificar el voltaje nominal de la bujía** antes de reemplazarla o de aplicarle tensión de prueba.
4. **Aflojar en caliente y con penetrante** — las bujías con la punta hinchada se rompen. Existen procedimientos y extractores específicos.
5. Verificar el **relé y el fusible** del circuito de potencia.
6. Verificar la **comunicación del GPCM** con la ECU.

6 · Estrategia de diagnóstico avanzado

ADVERTENCIA CRÍTICA

Muchas bujías modernas son de 4.4 V, 7 V u 11 V. El GPCM les entrega el voltaje reducido mediante PWM. **Aplicar 12 V directos a una bujía de 4.4 V la destruye en segundos**, y el fragmento puede quedar dentro del cilindro.

Verifique SIEMPRE el voltaje nominal antes de aplicar tensión de prueba. Si no puede confirmarlo, diagnostique únicamente midiendo la corriente en el circuito original.

Paso 1 — Lectura de códigos individuales. El GPCM reporta cada bujía por separado (P0671 - P0678). Es el diagnóstico más rápido.

Paso 2 — Medición de corriente individual con pinza.

Resultado	Diagnóstico
15 - 30 A iniciales, cayendo a 5 - 12 A	Bujía sana
0 A	Bujía abierta o circuito interrumpido
Corriente muy superior sin caer	Bujía en corto
Diferencia > 15 % respecto a las demás	Bujía degradada

Paso 3 — Medición de resistencia con función REL.

$$R_{real} = R_{medida} - R_{puntas}$$

Con puntas de 0.25Ω y una lectura de 1.05Ω , la resistencia real es **0.80Ω** . Sin la corrección, el error es del **31 %**.

Paso 4 — Captura del PWM del GPCM.

Ajuste	Valor
Canales	Voltaje + corriente con pinza de alta corriente
V/div	5 V/div
A/div	5 A/div
Time/div	5 s/div en modo <i>roll</i> para el ciclo completo · 2 ms/div para el PWM

Paso 5 — Caída de voltaje (crítica).

Circuito	Corriente	Límite
Alimentación (relé/GPCM → bujía)	8 - 25 A	0.30 V
Masa (por la rosca al bloque)	8 - 25 A	0.15 V
Contactos del relé	60 - 120 A total	0.20 V

La masa de la bujía es su propia rosca. Un asiento con carbón o corrosión introduce resistencia directamente en serie.

7 · Valores comunes de resistencia

Tipo	Resistencia en frío
Bujía metálica de 12 V	1.0 - 2.0 Ω
Bujía metálica de 11 V	0.8 - 1.5 Ω
Bujía cerámica de 7 V	0.5 - 1.0 Ω
Bujía cerámica de 4.4 V	0.3 - 0.7 Ω
Bobina del relé	60 - 120 Ω
Aislamiento cuerpo ↔ terminal	> 10 MΩ

Con valores de 0.3 - 2.0 Ω , la función REL del multímetro es obligatoria (mismo criterio que los inyectores common rail, Módulo 8, §8.4).

8 · Alimentaciones y tierras

Circuito	Descripción
Potencia	Batería → fusible de 60 - 150 A → relé o GPCM → bujías
Masa de cada bujía	Por la rosca al bloque — el asiento debe estar limpio
Control del GPCM	CAN o señal lógica desde la ECU
Alimentación del GPCM	12 V + masa

9 · Aplicación de la Ley de Ohm

Cálculo 1 — Corriente inicial y en caliente

$$I_{fr} = \frac{13.8}{0.80} = 17.3 \text{ A} \quad I_{caliente} = \frac{13.8}{3.5} = 3.94 \text{ A}$$

Cálculo 2 — El voltaje efectivo del PWM

Para una bujía de 7 V alimentada desde 13.8 V:

$$DC = \frac{V_{nominal}}{V_{sistema}} = \frac{7.0}{13.8} = 0.507 \Rightarrow 50.7 \%$$

El GPCM aplica $\approx 51 \%$ de duty cycle para entregar los 7 V efectivos. Éste es el cálculo que explica por qué el oscilograma muestra PWM y no 12 V continuos.

Cálculo 3 — Qué ocurre al aplicar 12 V a una bujía de 7 V

$$P_{nominal} = \frac{7.0^2}{0.60} = 81.7 \text{ W}$$

$$P_{con \ 13.8V} = \frac{13.8^2}{0.60} = 317 \text{ W}$$

$$\frac{317}{81.7} = 3.88$$

Casi cuatro veces la potencia de diseño. La punta se funde en segundos. Éste es el cálculo que justifica la advertencia crítica.

Cálculo 4 — Efecto de la caída de voltaje

Con 1.5 V de caída total en un circuito de bujía de 12 V y 0.9 Ω :

$$V_{buj} = 13.8 - 1.5 = 12.3 \text{ V} \quad P = \frac{12.3^2}{0.9} = 168 \text{ W}$$

Frente a $13.8^2/0.9 = 212 \text{ W}$:

$$\frac{168}{212} = 0.793 \Rightarrow \mathbf{21 \% \text{ menos de calor}}$$

A -20°C , ese 21 % puede impedir el arranque. **La caída de voltaje es, junto con la resistencia de la rosca, la causa más subestimada de arranque difícil en frío.**

10 · Nomenclatura de cableado

Marca	Alimentación	Control del GPCM
Bosch (VAG, PSA)	rt (sección grande)	CAN: or/sw, or/br

Marca	Alimentación	Control del GPCM
Ford Power Stroke	RED-BLU	GRY-YEL
GM Duramax	RED	DK BLU (CAN)
Toyota / Denso	+B	GLOW o GREL

11 · Simbología y diagrama de conexión

MÓDULO DE CONTROL DE BUJÍAS (GPCM) — CONTROL INDIVIDUAL

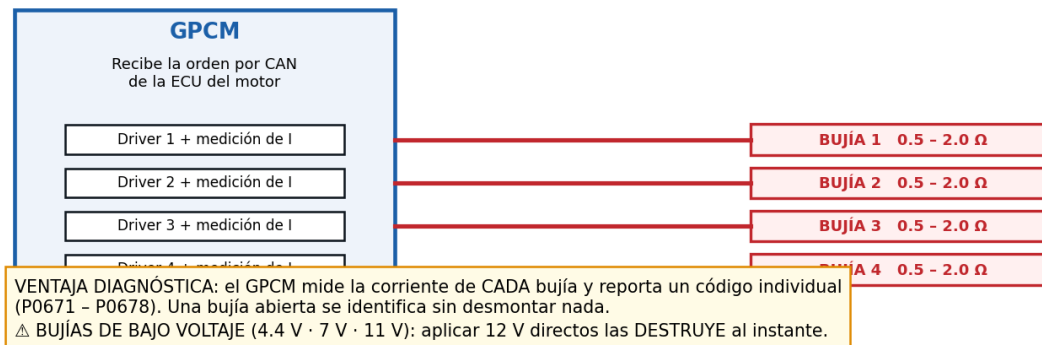
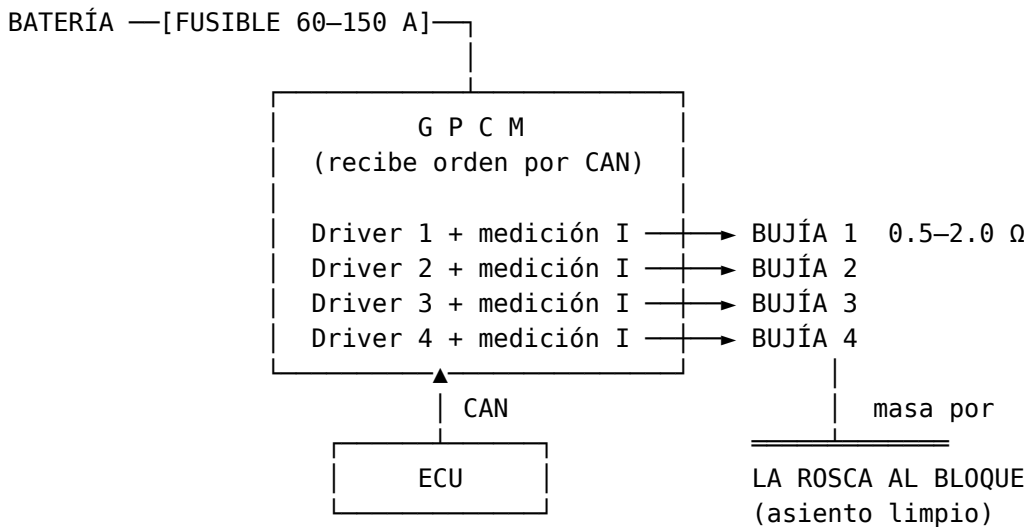


Figura 10: Control individual del GPCM



El GPCM aplica PWM para entregar el voltaje NOMINAL de la bujía:

$$\text{duty} = \frac{V_{\text{nominal}}}{V_{\text{sistema}}} \rightarrow \text{bujía de 7 V: } 7.0/13.8 = 51 \%$$

△ APLICAR 12 V A UNA BUJÍA DE 7 V = 3.9 VECES SU POTENCIA = DESTRUCCIÓN

12 · Análisis de oscilogramas

Criterio	Correcto	Falla
Corriente inicial	15 - 30 A por bujía	0 A = abierta · Muy alta = corto
Caída progresiva de corriente	Sí (comportamiento PTC)	Sin caída = elemento degradado
Duty cycle del PWM	Coherente con el voltaje nominal	100 % continuo en bujía de bajo voltaje = falla del GPCM
Diferencia entre bujías	< 15 %	Mayor = esa bujía
Duración del post-calentamiento	3 - 5 min	Ausente = estrategia inhibida

13 · Señales PWM / ciclo de trabajo

Fase	Duty cycle	Duración
Precalentamiento	80 - 100 %	2 - 20 s según temperatura
Durante el arranque	90 - 100 %	Mientras gira el motor
Mantenimiento	30 - 55 %	Hasta estabilizar
Post-calentamiento	15 - 40 %	3 - 5 minutos
Frecuencia	10 - 100 Hz	—

$$V_{efectivo} = V_{sistema} \times DC$$

14 · Análisis de corriente

En este sistema, la corriente individual es el diagnóstico definitivo.

Bujía	Corriente inicial	Corriente a los 10 s	Diagnóstico
1	18 A	7 A	Sana
2	17 A	7 A	Sana
3	0 A	0 A	Abierta
4	19 A	8 A	Sana

Método: pinza de **alta corriente** sobre el cable de cada bujía por separado, o lectura de los códigos individuales del GPCM si el vehículo los soporta.

15 · Preguntas de autoevaluación — Bujías incandescentes

P1. Una bujía incandescente de 7 V nominales presenta 0.65 Ω. Calcule la potencia de diseño, la potencia que disiparía con 13.8 V directos, y la relación entre ambas. Explique la consecuencia práctica.

P2. Un multímetro con puntas de 0.28 Ω mide 1.12 Ω en una bujía cuya especificación es 0.7 - 1.0 Ω. Determine la resistencia real y si la bujía está dentro de especificación.

P3. Un motor diésel arranca con dificultad a -15 °C pero normalmente a 5 °C. Las cuatro bujías miden dentro de especificación y el GPCM no reporta códigos. La caída de voltaje en el circuito de

alimentación mide 1.6 V con 18 A. Calcule la pérdida de potencia calorífica y explique si justifica el síntoma.

CUESTIONARIO INTEGRADOR — MÓDULO 11

1. Una válvula de purga EVAP de $28\ \Omega$ trabaja con 45 % de duty a 14.0 V. La pinza mide 0.16 A. Calcule la corriente esperada, la resistencia parásita, el porcentaje de pérdida de fuerza y el síntoma que producirá.
 2. Explique la diferencia funcional entre la válvula de purga y la de ventilación en cuanto a su posición de reposo, y describa el síntoma característico de cada una cuando se pega en la posición contraria.
 3. Un motor presenta P0401. Al comandar la EGR, el vástago recorre todo su rango, la posición real sigue a la comandada y el ralentí no se altera. Emita el diagnóstico y describa la verificación adicional del Módulo 6 que corresponde.
 4. Un solenoide EVR de $45\ \Omega$ opera con 55 % de duty a 13.8 V. Calcule la corriente media esperada. Si la pinza mide 0.12 A, calcule la resistencia parásita y el porcentaje de pérdida de fuerza.
 5. Describa cómo la rampa de corriente del OCV separa las tres familias de causa de un P0011, indicando qué observaría en cada caso.
 6. Una bomba de aire secundario de $0.45\ \Omega$ opera a 13.9 V. Calcule la corriente y la potencia. Con 1.2 V de caída total, recalcule ambos valores y determine los vatios disipados en el cableado.
 7. Un vehículo presenta P20EE. Enumere en orden las cuatro verificaciones previas, indicando el módulo del curso de cada una, y explique por qué el catalizador SCR es el último elemento a considerar.
 8. Calcule el ciclo de trabajo que debe aplicar un GPCM para entregar 4.4 V efectivos a una bujía desde un sistema de 13.9 V, y explique qué ocurriría con un duty del 100 %.
 9. Un calefactor de tanque de AdBlue de $1.8\ \Omega$ opera a 13.8 V. Calcule la corriente y la potencia. Con 1.0 V de caída, determine el porcentaje de pérdida de calor y explique la consecuencia a $-15\ ^\circ\text{C}$.
 10. Ordene los siete actuadores de este módulo de menor a mayor corriente de operación, indique el límite de caída de voltaje que corresponde a cada grupo, y explique por qué los límites no son uniformes.
-

HOJA DE REFERENCIA RÁPIDA — MÓDULO 11

TABLA MAESTRA DE ACTUADORES

ACTUADOR	RESISTENCIA	CORRIENTE	CONTROL
Purga EVAP	20 – 40 Ω	0.35–0.70 A ..	PWM 10–200 Hz
Ventilación EVAP	20 – 40 Ω	0.30–0.80 A ..	On/off · NORM.ABIERTA
Bomba LDP	20 – 40 Ω	0.3–0.7 A	conteo de carreras
Solenoides EGR	20 – 60 Ω	0.2–0.6 A	PWM 32–128 Hz
EGR motor DC	2 – 8 Ω	0.5–2.0 A	PWM + posición
EGR paso a paso	20 – 30 Ω	0.3–0.6 A	conteo de pasos
OCV / VVT	6 – 15 Ω	0.3–1.5 A	PWM 200–300 Hz
Bomba aire secund. ..	0.2 – 0.6 Ω ..	20–35 A	relé · 30–90 s
Inyector AdBlue	8 – 16 Ω	0.8–2.0 A	pulsado
Bomba DEF	5 – 20 Ω	1–5 A	PWM
Calefactor tanque DEF	1 – 4 Ω	5–15 A	on/off
Bujía incandescente .	0.5 – 2.0 Ω ..	15–30 A pico .	PWM desde el GPCM

LÍMITES DE CAÍDA DE VOLTAJE POR GRUPO

Solenoides 0.2 – 1.5 A	alimentación 0.20 V · masa 0.10 V
Motores DC 0.5 – 5 A	alimentación 0.20 V · masa 0.10 V
Alta corriente 8 – 60 A	alimentación 0.30 V · masa 0.15 V
△ El DRIVER de la ECU cae 0.3 – 0.9 V: ES NORMAL (Módulo 8)	

DUTY CYCLE POR CONDICIÓN

PURGA EVAP:	frío 0 % · ralentí 0–8 % · cruce 15–35 % · WOT 0 %
EGR:	ralentí 0 % · cruce 25–60 % · WOT 0 % · frío 0 %
OCV/VVT:	retención 25–40 % · avance máx. 60–90 % · retardo 5–20 %
BUJÍAS:	precalent. 80–100 % · mantenim. 30–55 % · post 15–40 %
duty = $V_{\text{nominal}} / V_{\text{sistema}}$	

VERIFICACIÓN FUNCIONAL – CÓMO SABER QUE REALMENTE FUNCIONÓ

Purga EVAP	el FTP registra VACÍO al comandar
Ventilación	el sistema RETIENE el vacío al cerrarla
EGR	el motor SE INESTABILIZA al comandarla en ralentí
OCV / VVT	la POSICIÓN REAL de la leva se desplaza
Aire secundario	la sonda lambda SALTA A POBRE (< 0.2 V)
Inyector AdBlue	el NOx posterior CAE
Bujías	la corriente INDIVIDUAL es 15–30 A → 5–12 A

DIAGNÓSTICOS DIFERENCIALES CLAVE

Ralentí ALTO y ESTABLE	fuga de vacío
Ralentí con CAÍDAS PERIÓDICAS	purga pegada abierta
Vástago EGR se mueve + motor no reacciona	conducto de EGR OBSTRUIDO (el actuador está bien)
OCV: corriente baja	resistencia parásita
OCV: corriente OK, sin joroba	filtro-malla o carrete pegado
OCV: corriente OK, con joroba, leva no se mueve	presión de aceite o actuador de leva (phaser)
Bomba aire suena + lambda sin cambio .	válvula combinada o conducto

⚡ ADVERTENCIAS CRÍTICAS

BUJÍAS DE 4.4 V / 7 V / 11 V: aplicar 12 V directos las DESTRUYE.

Bujía de 7 V y 0.6 Ω : 82 W nominal $\rightarrow$ 317 W con 13.8 V = 3.9 veces.

AIRE SECUNDARIO: reemplazar la bomba SIN reemplazar la válvula combinada garantiza que la avería se repita.

ADBLUE: la bomba trabaja 1–3 min tras apagar (purga de líneas).

NO desconectar la batería durante ese proceso.

RESISTENCIAS < 2 Ω : usar función REL del multímetro (puntas 0.1–0.3 Ω)

CÓDIGOS CLAVE

P0441/P0443/P0496 purga · P0446–P0449 ventilación · P2401–P2403 LDP

P0400–P0409 EGR · P0401 insuficiente · P0402 excesivo

P0010–P0014 / P0020–P0024 VVT · P0011 sobre-avanzada

P0410–P0419 · P2440–P2449 aire secundario

P20EE eficiencia SCR · P203F nivel · P207F calidad del reactivo

P0380 bujías · P0670–P0678 circuitos individuales · P0683 GPCM

Fin del Módulo 11. El Módulo 12 (Actuadores de Alimentación y Refrigeración) desarrolla la bomba de combustible con control PWM y módulo FPDM, los electroventiladores PWM y por LIN, el diagnóstico de relés por caída de voltaje y el actuador de geometría variable de turbo.