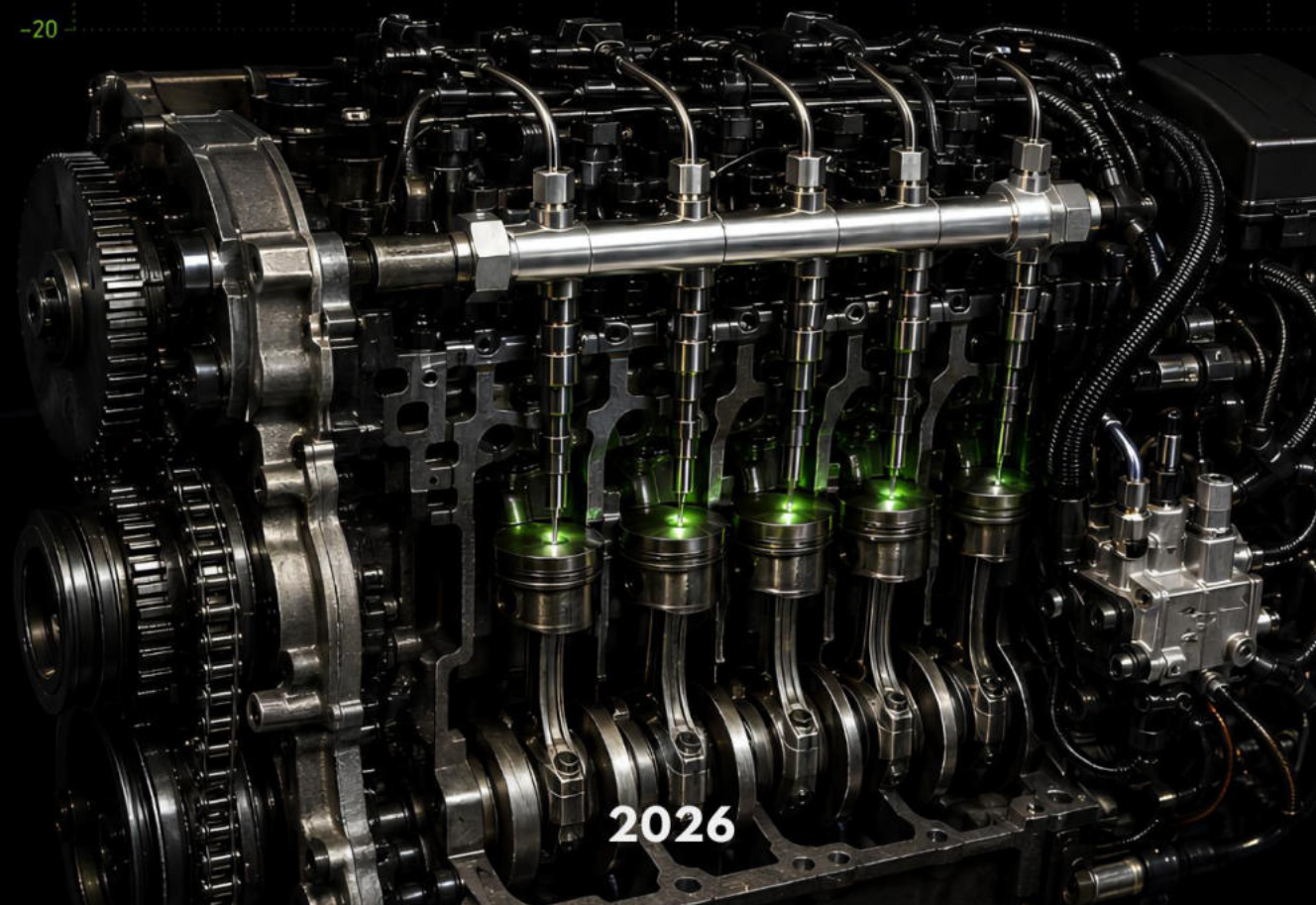
GRUPO BLR

OSCILOSCOPIO EN EL DIAGNÓSTICO DE SISTEMAS DIÉSEL COMMON RAIL

Paúl Alejandro Montúfar Paz
Eugenia Mercedes Naranjo Vargas
Juan Carlos Quinchuela Paucar

ISBN: 978-9907-802-13-9



2026

OSCILOSCOPIO EN EL DIAGNÓSTICO DE SISTEMAS DIÉSEL COMMON RAIL

AUTORES:

PAÚL ALEJANDRO MONTÚFAR PAZ

EUGENIA MERCEDES NARANJO VARGAS

JUAN CARLOS QUINCHUELA PAUCAR

GRUPO BLR

Este libro ha sido debidamente examinado y valorado en la modalidad doble par ciego con fin de garantizar la calidad científica.

©Grupo Editorial BLR
Escuela Superior Politénica de Chimborazo
Riobamba – Ecuador
Correo: publicaciones@grupoblr.com
https://grupoblr.com/libros-investigo
REPOSITORIO

Montúfar, P., Naranjo, E., Quinchuela, J. (2026) Osciloscopio en el diagnóstico de sistemas diésel common rail. Grupo Editorial BLR.

© Paúl Alejandro Montúfar Paz
Eugenia Mercedes Naranjo Vargas
Juan Carlos Quinchuela Paucar

ISBN: 978-9907-802-13-9

El copyright promueve la libertad de expresión, protege la diversidad de ideas y conocimiento, además apoya la libre expresión. Se prohíbe de manera rigurosa la producción o el almacenamiento de esta publicación, ya sea en su totalidad o en parte, está estrictamente prohibido por ley, incluyendo el diseño de la portada, así como su difusión a través de cualquiera de sus medios, ya sean electrónicos, mecánicos, ópticos, de grabación o incluso de fotocopia, sin permiso de los propietarios de los derechos de autor.

FILIACIONES DE LOS AUTORES

Paúl Alejandro Montúfar Paz

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Correo Electrónico: pamp6010@gmail.com

ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9062-8704

Eugenia Mercedes Naranjo Vargas

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Correo Electrónico: eugenia.naranjo@espoch.edu.ec

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9658-6311

Juan Carlos Quinchuela Paucar

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Correo Electrónico: juan.quinchuela@espoch.edu.ec

ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5113-1893

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

GRUPO BLR

CÓMO USAR ESTE LIBRO

Este libro se dirige a mecánicos, técnicos automotrices y estudiantes que ya manejan los fundamentos de la mecánica diésel, pero que se traban a la hora de usar un osciloscopio en sistemas de inyección common rail (CRDi). También sirve para el aficionado que se ha ganado esos conocimientos por su cuenta. El problema que resuelve es concreto: la teoría se domina, la herramienta no.

Este es, deliberadamente, un libro de diagnóstico práctico, no un tratado de termodinámica ni de combustión. Se da por hecho que el lector ya domina los fundamentos del motor diésel de cuatro tiempos y de la gestión electrónica del motor. ¿Qué quieres profundizar en combustión, formación de mezcla, sobrealimentación o inyección de alta presión? Ahí está la bibliografía de referencia del sector [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8]. Aquí el objetivo es más acotado: qué señal eléctrica esperar de cada sensor y actuador, y cómo leerla con un osciloscopio.

Nota de terminología: en este libro, CRDi se usa como término genérico para cualquier sistema de inyección diésel de riel común (common rail), sin importar el fabricante. Bosch, Denso, Delphi/Stellantis y Continental (que absorbió la división automotriz de Siemens VDO en 2007) entre otros venden el mismo principio de funcionamiento bajo marcas comerciales distintas: CDI, TDI, HDi, dCi, CRDi de Hyundai/Kia, y así sucesivamente. Las siglas de componentes, en cambio, sí se mantienen fijas en todo el texto: CKP (cigüeñal), CMP (árbol de levas), IMV/SCV (válvula dosificadora de la bomba de alta presión), VGT/VNT (turbo de geometría variable) y EGP (presión de

gases de escape). El glosario completo está en el Anexo A.

Idea central de este libro: señal anormal = componente defectuoso

Un oscilograma defectuoso te dice **dónde** está el problema eléctrico. No te dice, por sí solo, **cuál pieza** hay que reemplazar — y confundir ambas cosas es uno de los errores más caros que puede cometer un técnico. Piénsalo así: una señal CKP irregular puede venir del sensor, pero también de la rueda fónica o de su cableado. Un MAP fuera de rango a veces es el sensor; otras veces, una fuga de sobrealimentación. Presión de riel baja no siempre significa bomba de alta —puede ser el retorno, o la alimentación de baja presión. Y una corrección de inyector elevada no acusa automáticamente al inyector: la compresión o un problema mecánico del cilindro dejan la misma firma. Leer la señal con precisión es solo el primer paso. El siguiente, siempre, es correlacionarla con el resto del sistema antes de decidir qué pieza cambiar — idea que se repite de forma explícita en los casos de los Capítulos 3 a 7.

Síntoma → dónde empezar

Consulta rápida de taller: antes de entrar al método completo del Capítulo 2, esta es la guía de por dónde empezar según el síntoma reportado.

Tabla 1.1. Síntoma → dónde empezar

Síntoma	Empezar por
No arranca / arranque prolongado	CKP/CMP (sincronización) → presión de riel (Secciones 3.2, 3.3, 4.2)
Pérdida de potencia	Presión de riel → MAP → VGT/turbo (Secciones 4.2, 6.4, 6.6)

Humo negro	MAF → MAP → comprobar EGR (Secciones 6.3, 6.4, 6.5.1)
Ralentí irregular	Balance de inyectores → compresión
Relativa marcha inestable	(Secciones 5.5, 7.7)

Fuente: Elaboración propia

Esta tabla no es un diagnóstico, es un punto de partida. Cada síntoma se desarrolla con la secuencia completa de descarte en el Capítulo 7, y con su prueba correspondiente en los Capítulos 3 a 6.

Este libro resuelve un problema muy concreto de taller. Muchos técnicos ya tienen el osciloscopio, o al menos saben que existe — el problema es otro: dónde conectarlo, cómo configurarlo, qué señal deberían estar viendo, y qué decisión tomar cuando la forma de onda por fin aparece en pantalla.

Principio editorial central: "De la conexión al diagnóstico". Cada sección lleva al lector desde el punto de conexión del osciloscopio hasta una conclusión diagnóstica concreta. La secuencia es siempre la misma: síntoma → conexión → configuración → captura → interpretación → diagnóstico.

Cada prueba de diagnóstico documentada en los capítulos 3 a 7 sigue una ficha fija de 14 puntos (ver plantilla en blanco en el Anexo C):

- Problema o síntoma que permite diagnosticar
- Componente que se analizará

- Punto exacto de conexión del osciloscopio
- Infografía o esquema de conexión
- Configuración inicial recomendada (canales, rango, base de tiempo, trigger, accesorios)
- Procedimiento de captura
- Oscilograma de funcionamiento correcto
- Identificación gráfica de las partes importantes de la señal
- Oscilogramas con fallas
- Comparación señal correcta vs. señal defectuosa
- Interpretación
- Posibles causas
- Decisión diagnóstica
- Consejo práctico o error frecuente del técnico

Si un contenido no ayuda a conectar el osciloscopio, obtener una señal, interpretarla o tomar una decisión diagnóstica, no pertenece a este libro.

ÍNDICE

CÓMO USAR ESTE LIBRO i

ÍNDICE v

CAPÍTULO I 11

1 PRIMEROS PASOS CON EL OSCILOSCOPIO AUTOMOTRIZ 11

1.1 Conexión correcta 11

1.2 Escala de voltaje (V/div) 13

1.3 Base de tiempo (time/div) 14

1.4 Trigger (disparo) 15

1.5 Primera captura 17

1.5.1 Seguridad: antes de tocar cualquier conector 18

1.6 Referencia rápida: configuración inicial por componente 19

CAPÍTULO II 22

2 MÉTODO PRÁCTICO DE DIAGNÓSTICO CRDI 22

2.1 Síntoma 22

2.2 Punto de medición 23

2.3 Configuración..... 24

2.4 Señal… 24

2.5 Interpretación 25

2.6 Decisión..... 26

2.7 Ejemplo completo: ficha de prueba aplicada al sensor CKP..... 27

CAPÍTULO III..... 30

3 DIAGNÓSTICO DE SENSORES CKP Y CMP..... 30

3.1 Fundamento técnico: dos tecnologías, dos for-mas de onda distintas..... 30

3.2 Prueba: señal CKP (sensor de posición de ci-güeñal)..... 31

3.2.1 Cómo elegir la escala de voltaje y la base de tiempo..... 33

3.3 Prueba: señal CMP (sensor de posición de ár-bol de levas) 41

3.3.1 Problema o síntoma 41

3.3.2 Componente a analizar 41

3.3.3 Punto exacto de conexión 42

3.3.4 Cómo elegir la escala de voltaje y la base de tiempo..... 43

3.4 Sincronización CKP–CMP 46

3.5 Fallas típicas: resumen 48

CAPÍTULO IV 49

4 DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA COMMON RAIL 50

4.1 Visión general del sistema 50

4.2 Fundamento técnico: cómo se regula la pre-sión de riel 51

4.3 Prueba: sensor de presión de riel 53

4.4 Prueba: unidad dosificadora / válvula regula-dora (IMV/SCV) 58

4.5 Presión de alimentación de baja (bomba de transferencia): casos reales 65

4.6 Síntesis: presión de riel en las tres condiciones de referencia 68

CAPÍTULO V 70

5 DIAGNÓSTICO DE INYECTORES CRDI ME-DIANTE VOLTAJE Y CORRIENTE 70

5.1 Fundamento técnico: el patrón de corriente del inyector solenoide 70

5.2 Prueba: señal de pilotaje del inyector (voltaje) 72

5.3 Prueba: corriente del inyector (pinza amperimétrica) 79

5.4 Solenoide vs. piezoeléctrico: diferencias en la forma de onda 80

5.4.1 Inyector solenoide 81

5.4.2 Inyector piezoeléctrico 81

5.5 Comparación entre cilindros (balance de inyectores) 84

5.5.1 Correlación con el balance de inyección de la ECU 86

5.5.2 Casos reales: comparación entre cilindros 88

CAPÍTULO VI 92

6 DIAGNÓSTICO DE MAF, MAP, EGR Y TURBO VGT 92

6.1 Fundamento técnico 92

6.1.1 MAF: medidor de masa de aire por película caliente 92

6.1.2 EGR: cómo la ECU calcula el caudal recirculado 92

6.1.3 VGT/VNT: turbo de geometría variable 93

6.2 Configuración común: MAF, MAP, IAT y EGP 93

6.3 Prueba: sensor MAF 95

6.4 Prueba: sensores MAP + IAT 99

6.5 Prueba: sensor de presión de gases de escape (EGP) y sistema EGR 104

6.5.1 Prueba complementaria: electroválvula de control del EGR ... 107

6.6 Prueba: actuador de geometría variable de tur-bo (VGT/VNT) 109

6.6.1 VGT/VNT con electroválvula de control PWM 110

6.6.2 VGT/VNT con actuador electrónico 110

6.7 Correlaciones útiles de dos canales 116

6.7.1 Interpretación conjunta MAF-MAP-EGP durante una aceleración…. 116

CAPÍTULO VII 118

7 DIAGNÓSTICO POR SÍNTOMAS Y CASOS REALES .. 118

7.1 Prueba: sistema de precalentamiento (bujías incandescentes) 118

7.2 Caso 1: motor CRDi que gira, pero no arranca 122

7.3 Caso 2: arranque prolongado o difícil 125

7.4 Caso 3: pérdida de potencia 129

7.5 Caso 4: humo negro excesivo 133

7.6 Caso 5: marcha irregular / ralentí inestable 137

7.7 Prueba complementaria: compresión relativa mediante corriente de arranque 140

7.8 De la señal eléctrica al rendimiento del motor..... 143

7.9 Atlas de señales normales y defectuosas..... 144

7.9.1 Sensores adicionales de referencia (fuera del alcance CRDi estricto) 147

GLOSARIO..... 148

APÉNDICE A 151

APÉNDICE B 155

APÉNDICE D 156

APÉNDICE E 159

BIBLIOGRAFÍA 161

CAPÍTULO I

1 PRIMEROS PASOS CON EL OSCILOSCOPIO AUTOMOTRIZ

Antes de meterte con un sistema CRDi hay cinco cosas del osciloscopio que tienes que dominar sin pensarlas: conectarlo bien, elegir la escala de voltaje, elegir la base de tiempo, configurar el trigger, y lograr una primera captura estable. Todo lo demás en este libro se apoya en esas cinco — no hay atajo. La secuencia sigue la metodología de diagnóstico eléctrico por síntomas y comprobación de señal que describe la literatura de diagnóstico automotriz avanzado [9, 10]. La idea de fondo es simple: primero verificas que la señal capturada sea confiable (conexión, escala, base de tiempo, trigger), y solo después la interpretas.

1.1 Conexión correcta

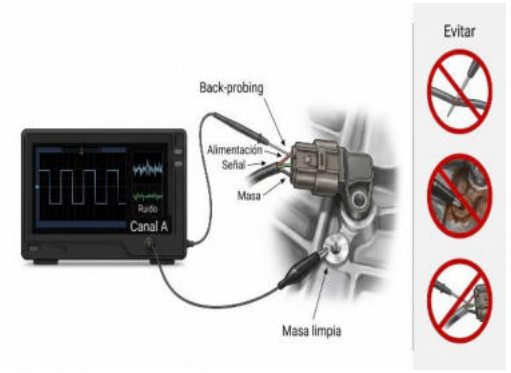
Cómo conectas la sonda importa tanto como la prueba en sí. Una conexión mal hecha produce una señal ruidosa, o directamente falsa — y ahí el técnico termina diagnosticando el cableado de su propio osciloscopio, no el vehículo [10].

- **Nunca perforar el aislamiento del cable.** Ese agujero, por pequeño que sea, abre paso a la humedad y a la corrosión. Es un problema que el técnico crea, no uno que encuentra. Mejor usar siempre back-probing (sonda fina por la parte trasera del conector, sin separar los terminales) o una pinza específica para el conector.
- **La masa de la sonda siempre a una masa de batería o de motor limpia.** Nunca a un punto oxidado, y nunca compartida con un

con-sumidor de alta corriente (motor de arranque, alternador). Una mala masa mete ruido y offset de tensión que en pantalla parece señal real, pero no lo es.

- **Verificar la polaridad antes de energizar el circuito.** En sensores de 3 hilos (alimentación, señal, masa), confirma cuál pin es cuál con el diagrama del fabricante antes de conectar nada. Invertir alimentación y señal puede dañar el sensor o, peor, la ECU.
- **Un canal por señal, con su propia referencia de masa cuando el equipo lo permite.** Mezclar señales de distinto origen en el mismo canal —o compartir una masa de mala calidad entre varios canales—es, con diferencia, la causa más común de capturas "sucias" que después se confunden con fallas reales del vehículo.

Figura 1.1. Conexión correcta (back-probing y masa limpia) vs. conexiones incorrectas que generan ruido



Fuente: Elaboración propia

1.2 Escala de voltaje (V/div)

La escala de voltaje define cuánta señal cabe verticalmente en la pantalla. Elegirla mal trae dos problemas, y son opuestos entre sí. Una escala demasiado amplia. Aplana "la señal y esconde los detalles pequeños: ruido, rebotes, caídas breves. Una escala demasiado ajustada, en cambio, corta los picos—la pantalla los muestra planos arriba y abajo, como recortados— y ahí es justo donde se pierde la información que más importa.

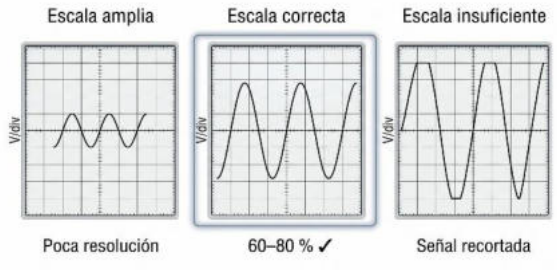
Regla práctica: la señal debe ocupar entre 60 % y 80 % de la altura de la pantalla en su punto más alto. Como punto de partida según el tipo de componente:

- **Sensores con salida acondicionada** (presión de riel, MAP, posición del pedal): 0-5 V — escala inicial recomendada 1 V/div.
- **Sensores inductivos sin acondicionar** (CKP, CMP en algunos vehículos): la amplitud crece mucho con las RPM (de milivoltios en cranking a más de 100 V a alto régimen) — empezar con una escala amplia (10-20 V/div) y cerrarla progresivamente una vez estabilizado el motor.
- **Actuadores solenoide** (IMV/SCV, EGR, inyector solenoide): siguen la tensión de batería, típicamente 5 V/div es un buen punto de partida.
- **Inyectores piezoeléctricos:** manejan tensiones de conmutación mu-cho más altas (50-90 V) — usar siempre una sonda apta para ese rango y una escala inicial de 20 V/div o más (ver advertencia de seguridad más abajo) [11].

¿No conoces el rango esperado? Empieza con una escala amplia y

ciérrala poco a poco en cuanto la señal sea visible. Es mejor eso que arriesgarte a recortarla desde el principio.

Figura 1.2. Efecto de la escala vertical sobre la misma señal: demasiado amplia pierde resolución, la escala recomendada aprovecha 60-80 % de la pantalla con los picos bien definidos, y demasiado ajustada recorta la señal (clipping)



Fuente: Elaboración propia

1.3 Base de tiempo (time/div)

La base de tiempo define cuánto tiempo —y por lo tanto cuántos ciclos de la señal— cabe horizontalmente en la pantalla. La manera más simple de estimarla parte del régimen del motor, o de la frecuencia esperada de la señal:

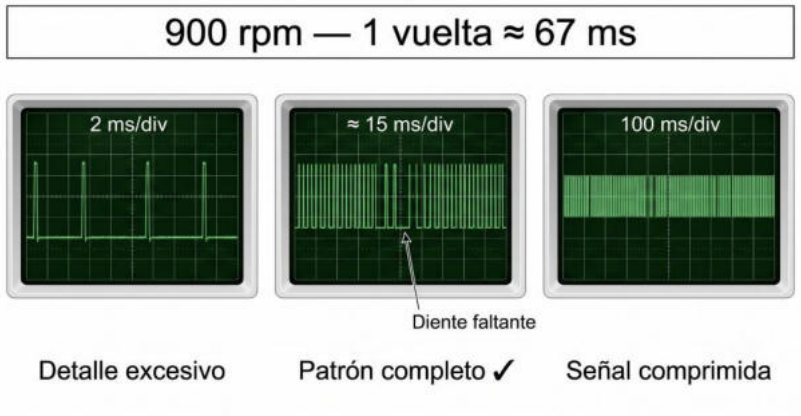
1. Calcular el tiempo de un ciclo completo de la señal: para una señal ligada a una vuelta de cigüeñal, tiempo por vuelta (segundos) = 60/RPM. Por ejemplo, a 900 rpm de ralentí, una vuelta completa dura 60/900 ≈ 0,067 s (67 ms).
2. Decidir cuántos ciclos se quieren ver en pantalla — normalmente 2 a 3 alcanza para juzgar si la señal es regular y encontrar la marca de referencia (el "diente faltante" del CKP, por ejemplo).
3. Repartir ese tiempo total entre las divisiones horizontales de la

pantalla (habitualmente 10): a 900 rpm, para ver 2 vueltas (134 ms) en 10 divisiones, la base de tiempo inicial sería de aproximadamente 13-15

ms/div.

A mayor RPM, la señal se acelera y hay que cerrar la base de tiempo en proporción. A menor RPM —en cranking, por ejemplo— hay que abrirla. Y si la señal no está ligada al régimen del motor, como ocurre con un evento único tipo el arranque, mejor arrancar con una base de tiempo amplia (varios segundos) e ir acercándose después a la zona de interés.

Figura 1.3. Efecto de la base de tiempo sobre la misma señal a 900 rpm (67 ms/vuelta): demasiado corta solo muestra un diente a la vez, la recomendada (~13-15 ms/div) deja ver el patrón completo con el diente faltante identificable, y demasiado amplia comprime tantos ciclos que se pierde el detalle de los pulsos



Fuente: Elaboración propia

1.4 Trigger (disparo)

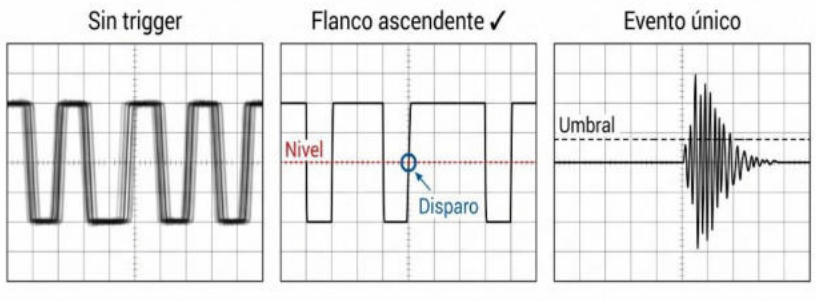
El trigger decide en qué instante exacto arranca la grabación. Sin uno

bien configurado, la señal çorre.en pantalla, y comparar una vuelta con la siguiente se vuelve casi imposible.

- **Trigger por flanco (edge):** dispara cuando la señal cruza un nivel de tensión determinado, subiendo o bajando. Es el que más se usa en este libro para señales periódicas (CKP, CMP, MAF, inyectores), porque da una imagen estable ciclo tras ciclo — justo lo que hace falta para comparar la forma de la señal entre capturas distintas.
- **Trigger por nivel (level):** parecido al de flanco, pero pensado para disparar una sola vez cuando la señal supera un umbral. Útil para eventos únicos y no periódicos: el instante del arranque, un pico de corriente puntual.
- **Modo automático (sin trigger fijo):** el osciloscopio refresca la pan-talla aunque no se cumpla ninguna condición de disparo. Funciona bien con señales lentas y cuasi estáticas —presión de riel en reposo, temperatura— donde sincronizar con un ciclo no aporta nada.

Para una señal periódica como el CKP, el punto de partida recomendado en la mayoría de las pruebas de este libro es el trigger por flanco ascendente, con el nivel ajustado a la mitad de la amplitud esperada.

Figura 1.4. Efecto del trigger sobre la estabilidad de la captura: sin un trigger estable la señal parece desplazarse y es difícil comparar ciclo a ciclo; el trigger por flanco ascendente, con el nivel a la mitad de la amplitud, fija siempre el mismo punto de inicio; el trigger por nivel es útil para eventos únicos como el arranque



Fuente: Elaboración propia

1.5 Primera captura

Antes de pasar al capítulo 3, practica esta secuencia mínima hasta que te salga sin pensarla.

1. Conectar la sonda siguiendo las reglas de la Sección 1.1.
2. Fijar una escala de voltaje amplia (según la Sección 1.2) y ajustarla una vez visible la señal.
3. Fijar una base de tiempo estimada (según la Sección 1.3).
4. Configurar el trigger (Sección 1.4) y arrancar el motor en ralentí.
5. Verificar que la señal se vea estable, ciclo tras ciclo, sin correr pantalla — si corre, revisar el trigger antes que ninguna otra cosa.
6. Guardar la captura (posdata) con un nombre que identifique vehículo, componente y condición (por ejemplo, ckp_ralenti_944rpm.psdata): esta será la plantilla de captura para todas las pruebas de los capítulos 3 a 7.

1.5.1 Seguridad: antes de tocar cualquier conector

Reglas de seguridad para todo el libro

Valen para todas las pruebas de los capítulos 3 a 7, aunque no se repitan en cada ficha:

- **Alta tensión en inyectores CRDi:** los circuitos de pilotaje manejan tensiones de conmutación de 50 a 90 V [12, 11] — usar siempre sondas y pinzas con el rango de tensión adecuado (ver Capítulo 5). **Nunca desconectar eléctricamente un inyector piezoeléctrico con el motor en marcha:** la válvula puede quedar abierta y provocar inyección continua de combustible, con daño catastrófico del motor [11].

3 o más hilos (ver Sección 1.1) — invertirla puede dañar el sensor o la propia ECU.

- **Nunca aplicar tensión directamente a un actuador** (bujía de precalentamiento, inyector, válvula solenoide) para "probarlo "fuera del control de la ECU: en varios sistemas esto es en sí mismo una causa de falla, no solo un método de prueba inválido (ver Sección 7.1).

- **Proteger el propio osciloscopio:** usar siempre la escala de volta-je/corriente adecuada al circuito antes de conectar (Sección 1.2); una sonda de baja corriente en un circuito de alta corriente puede dañar el equipo.

§ Consejo práctico

Practica estos cinco pasos con una señal conocida —la salida de un generador de pulsos, o el propio CKP en ralentí— antes de subirte al vehículo. Dominar la configuración del osciloscopio de memoria ahorra minutos valiosos en cada diagnóstico, y esos minutos se

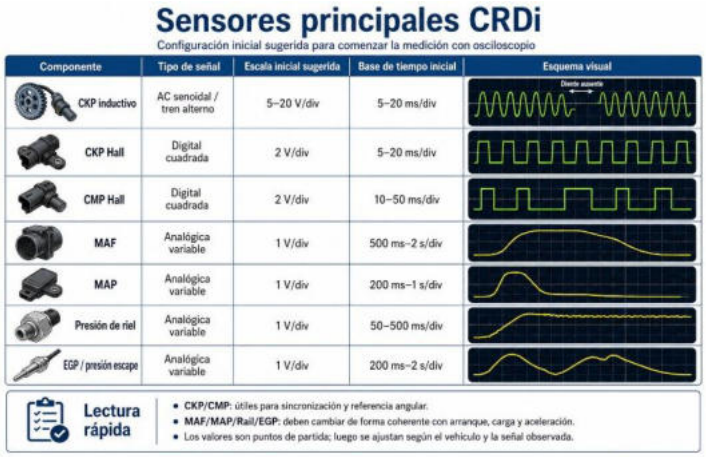
1.6 Referencia rápida: configuración inicial por componente

Antes de entrar en el detalle de cada prueba en los Capítulos 3 a 7, conviene tener a mano un mapa general. Esta tabla reúne en un solo lugar el punto de partida de configuración —tipo de señal, escala de voltaje y base de tiempo— para los sensores y actuadores más comunes de un sistema CRDi, más tres pruebas complementarias de arranque. Sigue el mismo criterio de con-figuración inicial por componente que documenta la biblioteca de pruebas guiadas de Pico Technology [12]. Ojo: son valores iniciales orientativos para empezar a ver la señal en pantalla, no umbrales de fábrica ni valores de diagnóstico. Se ajustan siempre según las reglas de las Secciones 1.2 y 1.3, una vez visible la señal real de cada vehículo. La información se reparte en tres tablas: la Figura 5 resume los sensores principales, la Figura 6 cubre los actuadores principales, y la Figura 7 recoge tres pruebas complementarias de arranque que no encajan del todo ni como sensor ni como actuador de inyección.

Figura 1.5. Configuración inicial sugerida para los sensores principales de un sistema CRDi: CKP inductivo y Hall (Sección 3.2), CMP Hall (Sección 3.3), MAF y MAP (Secciones 6.3 y 6.4), presión de riel (Sección 4.2) y EGP (Sección 6.5)

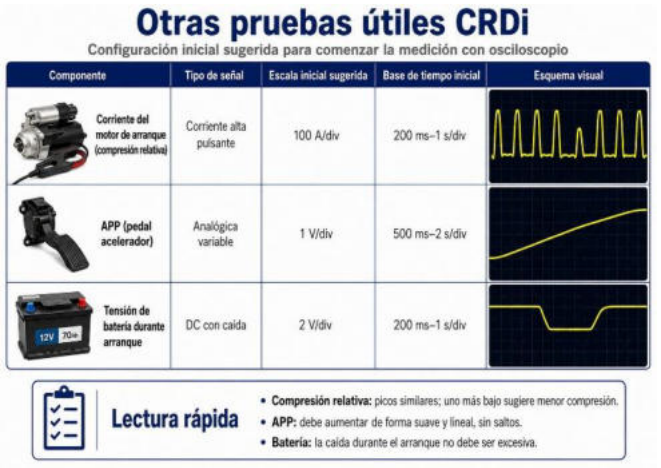
Fuente: Elaboración propia

Figura 1.6. Configuración inicial sugerida para los actuadores principales: IMV/SCV (Sección 4.3), solenoide VGT (Sección 6.6), EGR eléctrica (Sección 6.5.1), inyector solenoide en voltaje y en corriente (Secciones 5.2 y 5.3) y bujía incandescente (Sección 7.1)



Fuente: Elaboración propia

Figura 1.7. Configuración inicial sugerida para tres pruebas complementarias: corriente del motor de arranque para compresión relativa (Sección 7.7), sensor APP (Anexo D) y tensión de batería durante el arranque (ver Sección 7.2)



Fuente: Elaboración propia

Como en el resto del libro: ningún valor de esta tabla sustituye el dato de fábrica cuando está disponible. Son un punto de partida seguro para empezar a capturar, no un umbral de decisión diagnóstica — el mismo criterio, por cierto, con el que los propios fabricantes documentan su gama de sensores de tren motriz [13].

CAPÍTULO II

2 MÉTODO PRÁCTICO DE DIAGNÓSTICO CRDI

Cada prueba de este libro sigue la misma secuencia, sin excepción. Es el en-foque de diagnóstico estructurado por síntomas que describen Denton [9] y Korpach et al. [14] para sistemas de inyección diésel modernos, llevado a la práctica: arrancar siempre desde el síntoma reportado. No desde el componente que resulte más cómodo de desmontar.

Síntoma → Conexión → Configuración → Captura → Interpretación→ Decisión

2.1 Síntoma

Todo diagnóstico arranca con una queja del cliente o un código DTC — nunca con el osciloscopio en la mano [15]. Hay que traducir ese síntoma en un subsistema candidato antes de conectar nada; si no, se termina probando componentes al azar, uno tras otro, sin ningún criterio [16]. La siguiente tabla resume el punto de partida más común para los síntomas que cubre este libro:

Tabla 2.1. Síntomas y DTC frecuentes por subsistema candidato

Síntoma / DTC	Subsistema candidato	Capítulo
No arranca / arranque duro	Precalentamiento, CKP, presión de riel	3, 4, 7
Ralentí inestable, código de sincronización	CKP-CMP	3
Presión de riel fuera de rango	Sensor de riel, IMV/SCV	4

Humo negro, fallo de encendido	Inyector, MAF, EGR	5
Pérdida de potencia	MAF, MAP, presión de riel, VGT	4, 6
Código de flujo/presión de admisión	MAF, MAP+IAT, EGR	6

Fuente: Elaboración propia

¿Y cuando el síntoma apunta a más de un subsistema? El humo negro, por ejemplo, puede venir del inyector, del MAF o de la EGR. Ahí es donde la ficha de 14 puntos de cada prueba sirve para descartar candidatos uno por uno — empezando siempre por el más fácil de verificar.

2.2 Punto de medición

No todos los puntos de conexión valen lo mismo. Al decidir dónde conectar la sonda, este es el orden de prioridad:

1. **Accesibilidad:** preferir el conector del sensor/actuador (back-probing) sobre el conector de la ECU cuando ambos estén disponibles — es más rápido de alcanzar y reduce el riesgo de tocar un pin equivocado en un conector de muchos terminales.
2. **Representatividad de la señal:** el punto elegido debe mostrar la señal *tal como la recibe la ECU*, sin pasar por splices o empalmes adicionales que puedan introducir ruido o caída de tensión no representativa del sensor real.
3. **Riesgo de desconexión del mazo:** evitar desconectar conectores para medir en el aire"— además de perder la señal real de funcionamiento, desconectar puede generar códigos DTC nuevos

o, en el caso de inyectores piezoeléctricos, ser directamente peligroso con el motor en marcha (ver Sección 1.5.1).

2.3 Configuración

La configuración inicial de cada prueba —canal, escala, base de tiempo, trigger, accesorios— sigue siempre los criterios fijados en el Capítulo 1. Al inicio de cada ficha aparece resumida en una configbox como esta:

§ Configuración inicial recomendada

Canal(es): qué mide cada canal · Escala: V/div o A/div según el componente · Base de tiempo: estimada a partir de las RPM o de la frecuencia esperada · Trigger: flanco o nivel, según si la señal es periódica o un evento único · Accesorios: sonda de voltaje, pinza amperimétrica, adaptador de conector, etc.

Los valores concretos que aparecen en cada prueba (Capítulos 3 a 7) son puntos de partida, no cifras fijas. Ajústalos siempre una vez que la señal real sea visible en pantalla, siguiendo las Secciones 1.2 y 1.3.

2.4 Señal

Antes de interpretar cualquier oscilograma hay que aprender a leerlo. La literatura de diagnóstico basado en osciloscopio automotriz coincide en que cinco elementos, identificados en este orden, son los más informativos sobre la condición real del componente [14, 17]:

1. **Amplitud:** ¿qué tan alta/baja es la señal, y coincide con el rango esperado para ese componente?
2. **Frecuencia o periodo:** ¿cada cuánto se repite el ciclo, y escala

como se espera con las RPM o la condición de operación?

3. **Forma:** ¿es senoidal, cuadrada, un pulso con fases (como el inyector solenoide), una rampa? La forma revela la tecnología del componente y es el primer punto de comparación contra la señal de referencia.
4. **Flancos:** ¿son limpios y definidos, o rampas lentas/con escalones? Un flanco que debería ser abrupto y aparece redondeado "suele indicar un problema de conexión, cableado en mal estado o un componente que empieza a fallar.
5. **Ruido:** ¿hay interferencia superpuesta a la señal limpia? El ruido de alta frecuencia superpuesto a una señal por lo demás normal casi siempre viene de una mala masa o de un cable mal apantallado, no del componente que se está probando.

Recién ahí, con los cinco elementos identificados, tiene sentido pasar a interpretar.

2.5 Interpretación

Interpretar es, en esencia, comparar: la señal capturada contra el patrón de referencia de ese componente (los oscilogramas de "funcionamiento correcto "de los Capítulos 3 a 6). Y decidir si lo que se observa es una variación normal o un indicio de falla. Es el mismo principio que sustenta el diagnóstico de sistemas Common Rail mediante analizador de señal eléctrica [18]:

- **Variación normal:** cambios de amplitud o frecuencia proporcionales al cambio de RPM o carga (por ejemplo, el CKP sube de frecuencia con las RPM mantenido la misma forma — ver

Sección 3.2); pequeñas diferencias de fabricación entre sensores del mismo tipo.

- **Indicio de falla**: la forma de la señal cambia (no solo su amplitud o frecuencia), aparecen escalones o discontinuidades donde debería haber una transición suave, la señal no responde a un cambio de condición que debería afectarla, o desaparece por completo.

En caso de duda, compara contra otro cilindro o un componente equivalente del mismo vehículo, en la misma condición de operación — eso da más confianza que un valor "de tabla", porque las tolerancias de fábrica cambian entre fabricantes y muchas veces ni siquiera están publicadas.

2.6 Decisión

Interpretar no puede terminar en un vago. algo anda raro". Debe desembocar en una de estas cuatro acciones:

1. **Reemplazar el componente** — cuando la señal muestra una falla clara del sensor/actuador y se descartaron cableado y conexión.
2. **Revisar cableado o conexión** — cuando la señal es errática, intermitente o ausente, pero el patrón no corresponde a una falla interna típica del componente (ver consejo box de cada prueba).
3. **Profundizar con otra prueba** — cuando la señal por sí sola no aísla la causa (por ejemplo, presión de riel baja puede ser el sensor, la IMV/SCV o un inyector con fuga — Sección 4.2).
4. **Descartar el componente** — cuando la señal coincide con el patrón de referencia: el subsistema probado no es la causa del

síntoma, y hay que volver a la tabla de la Sección 2.1 para elegir el siguiente candi-dato.

2.7 Ejemplo completo: ficha de prueba aplicada al sensor CKP

Así se ve, en la práctica, la ficha fija de 14 puntos (plantilla en blanco en el Anexo C) aplicada a una prueba real. Para el desarrollo completo, con todas sus variantes por RPM, ver la Sección 3.2.

1. Problema o síntoma

Arranque duro, motor que no enciende o falla de sincronización reportada por la ECU (código relacionado con CKP).

2. Componente a analizar

Sensor de posición de cigüeñal (CKP).

3. Punto exacto de conexión

Conector del sensor CKP en el mazo del motor (back-probing) o directamente en el conector de la ECU (ver diagrama eléctrico, Cap. 3).

§ Configuración inicial recomendada

Canal A: sonda de voltaje en la señal del CKP · Canal B (opcional): masa de referencia · Escala: ±10 V en el arranque, ±20 V en ralentí si es inductivo; 0-5 V o 0-12 V si es Hall/activo · Base de tiempo: 50-100 ms/div en el arranque, 20-50 ms/div en ralentí (ver detalle completo en la Sección 3.2.1) · Trigger: flanco ascendente sobre el canal A.

4. Procedimiento de captura

Motor en ralentí, sin carga eléctrica adicional; capturar al menos 3-5 vueltas completas del cigüeñal.

5. Oscilograma de funcionamiento correcto

Este ejemplo aplicado no repite la captura de referencia; para verla, consulta la Sección 3.2, donde se documenta la prueba CKP completa.

6. Identificación gráfica de las partes importantes de la señal

En la señal de referencia (Figura de la Sección 3.2) hay tres cosas que buscar: la sucesión regular de pulsos, uno por diente de la rueda fónica. Luego el pulso ausente o notablemente más largo — el "diente faltante", la marca de sincronismo. Y la amplitud pico a pico, que en un sensor inductivo debe mantenerse consistente ciclo tras ciclo a una misma RPM.

7. Oscilogramas con fallas

Ver el detalle completo de fallas y su comparación contra la señal correcta en la Sección 3.2 (punto 9-10 de esa ficha), que amplía este ejemplo con el desarrollo completo de la prueba CKP.

8. Comparación señal correcta vs. defectuosa

Al igual que en el punto anterior, la comparación completa entre señal correcta y defectuosa se desarrolla en la Sección 3.2, no en este ejemplo apli-cado.

9. Interpretación

La frecuencia escala linealmente con las RPM. En

sensores inductivos, la amplitud pico a pico debe crecer con las RPM y mantenerse consistente ciclo tras ciclo a una misma RPM; y el hueco de referencia tiene que aparecer siempre en la misma posición relativa del ciclo (desarrollo completo en la Sección 3.2).

10. Posibles causas

Sensor dañado, entrehierro incorrecto, rueda fónica dañada, suciedad sobre el sensor o la rueda fónica, cableado en mal estado (ver lista completa en la Sección 3.2).

§ Decisión diagnóstica

Regla de decisión rápida: si la señal está **ausente**, verifica primero alimentación y continuidad de masa antes de sospechar del sensor. Cuando está **presente, pero de amplitud baja o inconsistente** a una RPM donde debería verse clara, el sospechoso es el entrehierro excesivo o la rueda fónica dañada, no el sensor todavía. Y si la **forma** de la señal es correcta pero el hueco de referencia se mueve de posición de una vuelta a otra, el problema no es del CKP — es de sincronismo mecánico (ver Sección 3.4).

§ Consejo práctico

Error frecuente: reemplazar el sensor CKP sin antes verificar el estado de la rueda fónica o el entrehierro, cuando el problema real está ahí.

CAPÍTULO III

3 DIAGNÓSTICO DE SENSORES CKP Y CMP

3.1 Fundamento técnico: dos tecnologías, dos for-mas de onda distintas

Antes de interpretar cualquier oscilograma hay que saber qué tecnología de sensor se está midiendo. La forma de onda esperada cambia por completo según cuál sea:

Sensor inductivo (el más común para CKP): no tiene alimentación propia. Un imán permanente y un núcleo de hierro dulce generan un campo magnético que atraviesa una rueda fónica dentada. Al girar la rueda, la variación de flujo induce una tensión alterna (senoidal) en el bobinado, proporcional a la *velocidad de cambio* del flujo. La amplitud de esta señal crece fuertemente con las RPM (de unos pocos mV a más de 100 V) y se requieren aproximadamente 30 rpm como mínimo para obtener una señal utilizable — por eso en el *cranking* muy lento la señal puede verse débil o ausente [19, 20].

Sensor Hall (habitual para CMP, y también usado para CKP en muchos vehículos modernos): sí requiere alimentación (referencia + masa) y entrega una señal ya acondicionada como onda *cuadrada* (0-5 V, "High"/"Low"), independiente de la velocidad de giro — por eso, a diferencia del inductivo, un sensor Hall puede dar una lectura válida incluso a régimen muy bajo o en giro manual del motor [19, 12]. La rueda fónica asociada suele tener 36 o 60 dientes [12].

Una rueda fónica típica de CKP tiene 60 dientes, de los cuales 2 se omiten (58 dientes reales). Ese hueco grande —el "diente faltante"— es la marca de referencia que la ECU usa para sincronizarse con una posición exacta del cigüeñal [19]. Internamente, la ECU convierte la señal senoidal cruda del sensor inductivo en una onda cuadrada de amplitud constante antes de procesarla. Lo que se ve en el osciloscopio conectado directamente al sensor, en cambio, es la señal sin pasar por esa conversión.

3.2 Prueba: señal CKP (sensor de posición de cigüeñal)

1. Problema o síntoma

Arranque duro o motor que no enciende; ralentí inestable; código de sincronización o de señal errática del CKP.

2. Componente a analizar

Sensor CKP (inductivo o Hall según el vehículo).

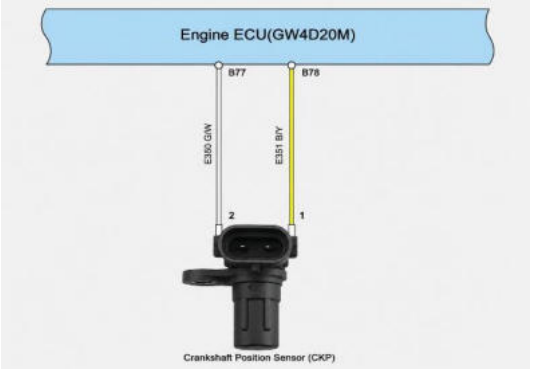
3. Punto exacto de conexión

Conector del sensor en el mazo (back-probing).

4. Infografía o esquema de conexión

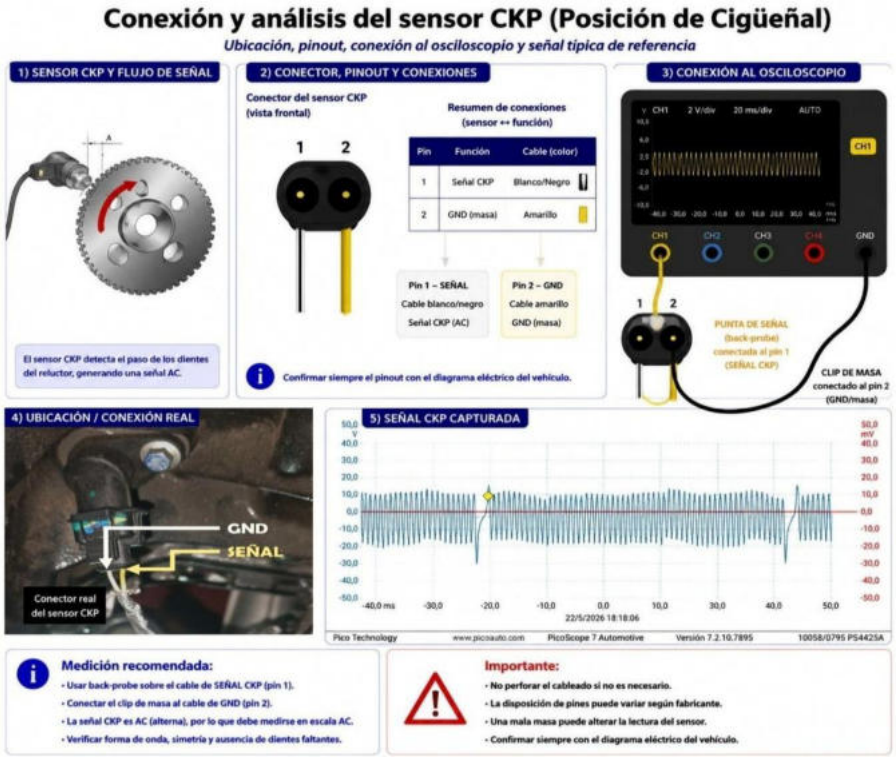
La Figura 3.1 muestra dónde y cómo conectar la sonda al conector del sensor perforar el aislamiento del cable — siguiendo el criterio general de conexión de la Sección 1.1. La Figura 3.2 va un paso más allá: añade la ubicación física del sensor en el motor y un oscilograma de referencia de la señal esperada, para que puedas comprobar de un vistazo si tu propia captura tiene la forma correcta antes de meterte en el detalle de configuración.

Figura 3.1. Conexión del sensor CKP a la ECU



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2. Diagrama de conexión, ubicación y señal de referencia del sensor CKP



Fuente: Elaboración propia

§ Configuración inicial recomendada

Canal A: sonda de voltaje sobre la señal del CKP · Escala: ±10 V durante el arranque, ±20 V en ralentí o mayor régimen si es inductivo (ver Sección 3.2.1), 0-5 V o 0-12 V si es Hall/activo, según la tensión de trabajo del sensor · Base de tiempo: 50-100 ms/div durante el arranque, 20-50 ms/div en ralentí, 5-20 ms/div para analizar el detalle de los pulsos individuales · Trigger: flanco ascendente, nivel a la mitad de la amplitud esperada.

3.2.1 Cómo elegir la escala de voltaje y la base de tiempo

Configurar mal estos dos parámetros es, con diferencia, la causa más común de que un técnico no logre visualizar o interpretar bien la señal CKP — incluso con el sensor funcionando perfectamente.

Escala de voltaje. En un sensor CKP **inductivo**, la señal es alterna y su amplitud varía con la velocidad de giro. En el arranque, con el cigüeñal girando lento, la tensión generada es menor; ya con el motor en marcha, la amplitud crece progresivamente. ¿Se ve muy pequeña en pantalla? Reduce la escala vertical. ¿Se recorta arriba o abajo? Auméntala. En un sensor **Hall o activo** la lógica cambia: la señal es digital (forma cuadrada) y la escala debe adaptarse a la tensión de trabajo del sensor — 0-5 V en sistemas alimentados a 5 V, o 0-12 V si la señal conmuta respecto a tensión de batería.

Base de tiempo. Define cuántos dientes de la rueda fónica ves en pantalla a la vez y por lo tanto, cuántos pulsos—. Conviene empezar amplio (50-100 ms/div) para ubicar el patrón general y el diente faltante, y luego ir

cerrando (hasta 5-20 ms/div) para examinar la forma de cada pulso por separado.

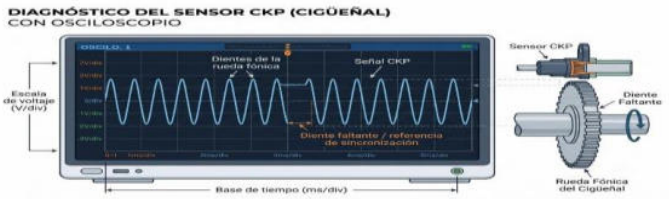
Tabla 3.1. Configuración inicial según condición y tipo de sensor CKP

Condición	**Sensor**	**Escala cial**	**ini-**	**Base de tiempo**
Arranque	Inductivo	±10 V		50-100 ms/div
Ralentí	Inductivo	±20 V		20-50 ms/div
Arranque	Hall / activo	0-5 V o V	0-12	50-100 ms/div
Análisis de dientes	Cualquiera	Según plitud	am-	5-20 ms/div

Fuente: Elaboración propia

Toma estos valores como referencia inicial, no como cifra absoluta — cambian según fabricante, número de dientes de la rueda fónica y diseño del sistema. La figura siguiente resume visualmente ambos ajustes sobre una captura típica.

Figura 3.3. Escala de voltaje (V/div) y base de tiempo (ms/div) sobre una señal CKP típica, con los dientes de la rueda fónica y el diente faltante señalados



Fuente: Elaboración propia

§ Consejo práctico

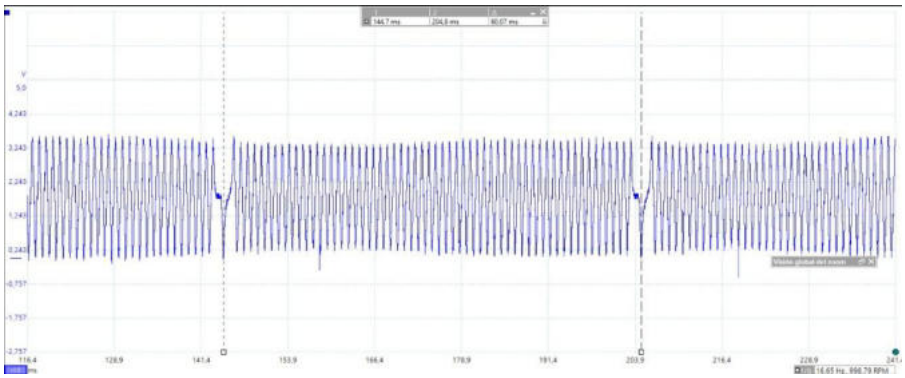
Como estrategia de taller, no hace falta acertar la configuración a la pri-mera: empezar amplio (por ejemplo ±10 V y 50 ms/div en inductivo, o 0-5 V y 50 ms/div en activo) y cerrar progresivamente la escala y la base de tiempo según la respuesta real de la señal, hasta lograr una imagen nítida y estable.

1. Procedimiento de captura

Capturar en ralentí y repetir a distintas RPM para verificar consistencia de la señal (ver tabla ckp_tabla_frecuencia_rpm.xlsx).

2. Oscilograma de funcionamiento correcto

Figura 3.48. Señal CKP de referencia en ralentí, con los cursores del propio osciloscopio midiendo el intervalo entre dos dientes de referencia consecutivos: Δ=60,07 ms, equivalente a 998,79 rpm



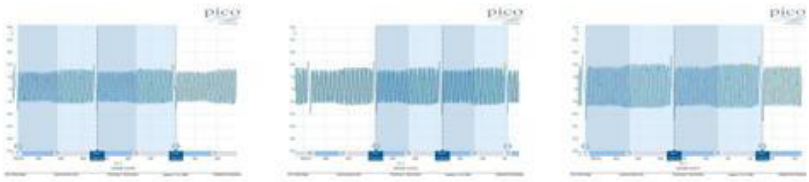
Fuente: Elaboración propia

3. Identificación gráfica de las partes importantes de la señal

Si el sensor es inductivo, la señal es una sucesión de semiciclos senoidales de amplitud regular, uno por diente; el hueco del "diente faltante" se ve como un semiciclo notablemente más largo — esa es la marca de referencia de sincronismo. Con un sensor Hall el panorama es distinto: una onda cuadrada regular, con un pulso ausente o diferente en la misma posición relativa. En cualquiera de los dos casos, una señal CKP sana muestra pulsos uniformes y repetitivos, con amplitud estable y sin interrupciones no previstas. El diente faltante debe identificarse con claridad, el ruido eléctrico debe ser bajo, y la frecuencia tiene que corresponder con el régimen real del motor.

4. Variación de la señal con el régimen del motor

Figura 3.5. Señal CKP a distinto régimen: la frecuencia aumenta con las RPM, pero la forma de la señal se mantiene



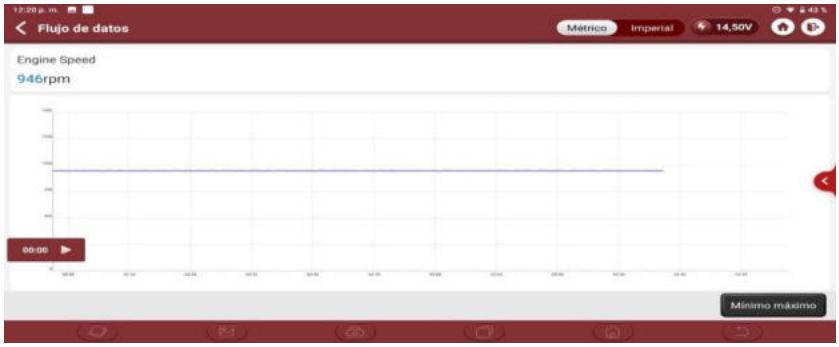
Fuente: Elaboración propia

5. Verificación cruzada: coherencia con el escáner

El osciloscopio muestra la señal cruda del sensor. El escáner, en cambio, muestra el RPM que la ECU ya calculó a partir de esa misma señal — dos instrumentos midiendo el mismo evento físico, pero por caminos distintos. Capturar ambos a la vez es una forma directa de validar que la ECU está interpretando bien la señal del CKP. Si el escáner reporta un

RPM coherente con la frecuencia que ves en el osciloscopio, el problema (si lo hay) no está en la lectura básica de velocidad de giro.

Figura 3.6. Pantalla del escáner (Flujo de datos, Engine Speed) en ralentí: ~944-946 rpm, coherente con los 998,79 rpm medidos directamente en la señal de osciloscopio de la Figura 3.6 — ambas capturas corresponden a ralentí, tomadas en momentos distintos, con la variación normal de RPM de ralentí explicando la pequeña diferencia entre las dos lecturas



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.7. Lectura del escáner en los mismos tres puntos de régimen que la Figura 3.7 — el RPM reportado por la ECU coincide con la frecuencia observada directamente en la señal CKP

(a) 1700 rpm **(b)** 2016 rpm **(c)** 3037 rpm

Fuente: Elaboración propia

§ Decisión diagnóstica

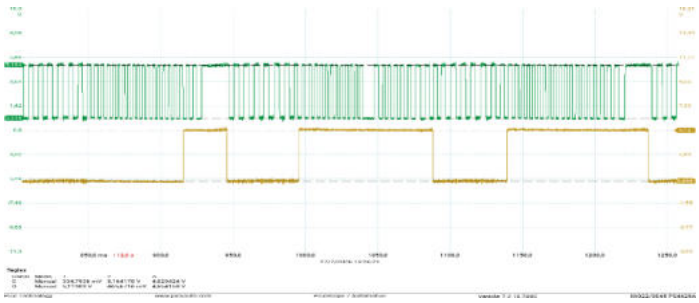
Si el escáner y el osciloscopio coinciden en RPM, el circuito CKP y su interpretación por la ECU están sanos en cuanto a velocidad de giro básica — el problema, si existe, hay que buscarlo en otro punto de la cadena (sincronización con CMP, presión de riel, comando de inyección). Si el escáner muestra 0 rpm o un valor errático mientras el osciloscopio sí ve una señal CKP con forma correcta, sospechar de la interpretación de la ECU (rueda fónica mal aprendida, parámetro de calibración incorrecto) antes que del sensor.

6. Oscilogramas con fallas

Caso real compartido

GMC Canyon 2018, 2.8 L Duramax CRDi. Comparación de dos canales: CMP Hall (correcto) y CKP Hall (defectuoso).

Figura 3.89. Caso real: GMC Canyon 2018, 2.8 L Duramax CRDi. Canal A (traza superior): señal CKP con una interrupción clara del tren de pulsos hacia la mitad de la captura. Canal B (traza inferior): señal CMP, cuadrada y sin anomalías. Captura compartida, PicoScope 4425ª

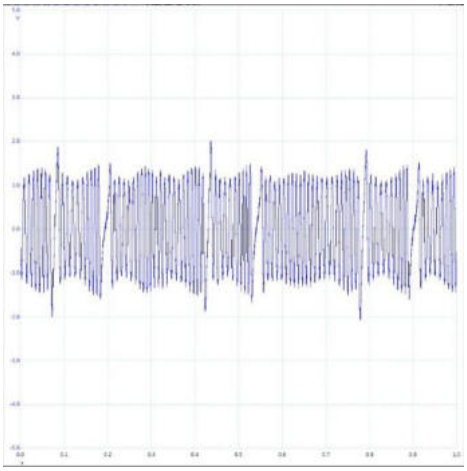


Fuente: Elaboración propia

Captura real compartida

Segundo ejemplo de falla de CKP, en este caso con varias interrupciones recurrentes a lo largo de la captura en vez de una sola.

Figura 3.910. Señal CKP con varias interrupciones recurrentes del tren de pulsos a lo largo de un segundo de captura (varios tramos con amplitud irregular y picos fuera de patrón, en vez del hueco único y limpio del diente faltante de referencia). Un defecto de este tipo —repetido, no puntual— es característico de una rueda fónica con más de una sección dañada, sucia o con dientes rotos, o de un entrehierro inconsistente en todo el giro. En marcha, la ECU recibe varios eventos de sincronización defectuosos por vuelta: el síntoma típico es un encendido errático (fallos de combustión intermitentes, ralentí inestable) y, si la irregularidad es severa, la ECU puede llegar a cortar la inyección por pérdida de sincronismo y el motor no arranca



Fuente: Elaboración propia

7. Comparación señal correcta vs. defectuosa

Comparada con la señal sana de la Figura 3.10, la anomalía de este caso no es una simple caída de amplitud. Es una interrupción completa del tren de pulsos durante un tramo de la captura, mientras el resto de los

pulsos con-serva forma y amplitudes normales. Ese patrón —bueno, bueno, bueno, hueco anómalo, bueno, bueno— apunta a un defecto localizado en la rueda fónica o el anillo excitador: un tramo magnético dañado, sucio o con dientes rotos. No es lo mismo que un sensor uniformemente degradado, que mostraría amplitud baja de forma constante en todo el ciclo. Y la señal CMP, correcta y sin interrupciones, confirma que el problema es específico del circuito o la rueda del cigüeñal, no algo general de alimentación o masa compartida entre 32.

8. Interpretación

La frecuencia debe escalar de forma lineal con las RPM (verificar con la tabla adjunta). Si el sensor es inductivo, la amplitud pico a pico debe crecer con las RPM (a mayor velocidad de giro, mayor tasa de cambio de flujo); una amplitud que no crece con las RPM, o que es baja incluso en ralentí, sugiere un entrehierro excesivo. El hueco de referencia ("diente faltante") debe aparecer siempre en la misma posición relativa del ciclo, vuelta tras vuelta [19].

9. Posibles causas de señal anómala

En un sensor inductivo, una amplitud demasiado baja puede deberse a: separación (entrehierro) excesiva entre sensor y rueda fónica, acumulación de partículas metálicas en la punta del sensor, deterioro interno del sensor o del bobinado — o, si ocurre solo durante el arranque, simplemente a la baja velocidad de giro en ese momento (no es una falla). En un sensor Hall/activo, una señal incorrecta suele apuntar a: problemas de alimentación o masa, fallas de cableado, cortocircuitos o caídas de tensión en la línea de señal, o sensor averiado. En ambos casos, también considerar: rueda fónica dañada,

suciedad/detritos sobre el sensor o la rueda fónica, vibración excesiva de cigüeñal/volante [12].

§ Decisión diagnóstica

Síntomas típicos de un CKP defectuoso: motor que gira mas no arranca, calado súbito del motor, testigo de avería encendido. Códigos DTC habituales: P0016, P0335-P0339, P0385-P0389 [12]. Los umbrales exactos de amplitud mínima admisible a cada RPM son propios de cada fabrican-te y no siempre están publicados: cuando no se tenga ese dato de fábrica, la comparación más confiable es contra la propia curva de referencia de este vehículo capturada cuando funcionaba bien, o contra un vehículo idéntico sano.

§ Consejo práctico

No asumir que un código de CKP obliga a cambiar el sensor: verificar primero entrehierro, estado físico de la rueda fónica y continuidad del cableado.

3.3 Prueba: señal CMP (sensor de posición de ár-bol de levas)

3.3.1 Problema o síntoma

Arranque prolongado, funcionamiento en modo degradado, código de correlación CKP-CMP.

3.3.2 Componente a analizar

Sensor CMP.

3.3.3 Punto exacto de conexión

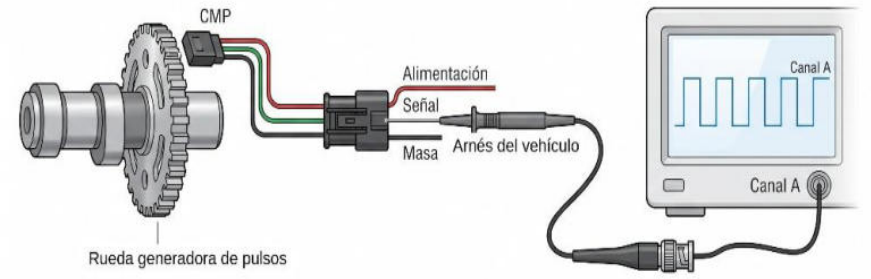
Conector del sensor CMP (back-probing).

1. Infografía o esquema de conexión

Figura 3.10. Conexión del sensor CMP a la ECU

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.11. Diagrama de conexión, ubicación y señal de referencia del sensor CMP



§ Configuración inicial recomendada

Canal A: sonda de voltaje sobre la señal del CMP · Escala: 0-5 V si es Hall alimentado a 5 V, 0-12 V o 0-15 V si el nivel es próximo a tensión de batería, ±5 a ±10 V si es inductivo de dos cables (ver Sección 3.3.1)

· Base de tiempo: 100-200 ms/div durante el arranque, 20-50 ms/div en ralentí, 5-20 ms/div para analizar flancos individuales · Trigger: flanco ascendente.

3.3.4 Cómo elegir la escala de voltaje y la base de tiempo

La mayoría de los CMP en sistemas diésel modernos son sensores Hall o magnetorresistivos activos de tres hilos —alimentación, masa, señal—, con salida cuadrada o rectangular que alterna entre un nivel bajo cercano a 0 V y un nivel alto que depende del diseño del circuito [21]. Cuando el sistema usa un CMP inductivo de dos cables la cosa cambia: la señal es alterna, y su amplitud depende de la velocidad de giro, igual que en un CKP inductivo.

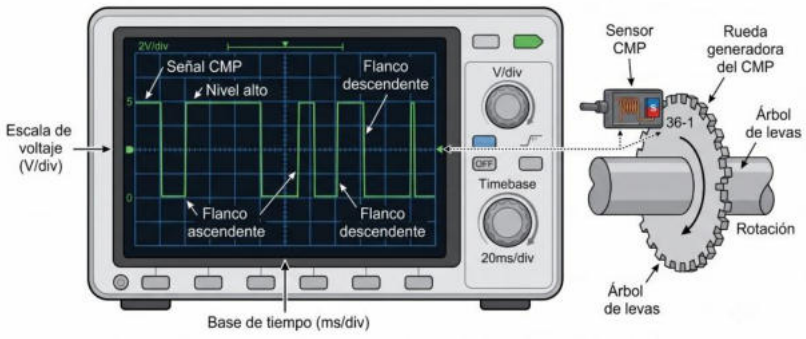
En el CMP, la base de tiempo importa especialmente. El árbol de levas gira a la mitad de la velocidad del cigüeñal en un motor de cuatro tiempos, así que sus eventos aparecen con la mitad de frecuencia que los del CKP — conviene, por eso, empezar con una base de tiempo más amplia que la que usarías para el CKP.

Tabla 1.2. Configuración inicial según condición y tipo de sensor CMP

Condición	Tipo CMP	Escala	Base de tiempo
Arranque	Hall/activo	0–5 V	100–200 ms/div
Ralentí	Hall/activo	0–5 V	20–50 ms/div
Sistema de 12 V	Hall/activo	0–15 V	20–100 ms/div
Arranque	Inductivo	±5 a ±10 V	100–200 ms/div
Análisis de flancos	Hall/activo	Según nivel de señal	5–20 ms/div

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.12. Configuración del osciloscopio y señal típica del sensor CMP: escala de voltaje, base de tiempo, niveles alto/bajo y flancos.



Fuente: Elaboración propia

§ Consejo práctico

Antes de medir, identificar el tipo de sensor y sus terminales con el diagrama eléctrico del vehículo. Para un CMP Hall de 5 V, un buen punto de partida es 0-5 V y 100 ms/div durante el arranque, cerrando después la base de tiempo a 20-50 ms/div. Para un diagnóstico avanzado, usar dos canales (CKP en A, CMP en B) — así se evalúa no solo el funcionamiento eléctrico de cada sensor sino la correlación CKP-CMP (Sección 3.4).

1. Puntos 6 a 11. Procedimiento, oscilograma, interpretación

El procedimiento es idéntico al de la Sección 3.2. La diferencia clave está en la interpretación: el árbol de levas gira a la mitad de la velocidad del cigüeñal (relación 2:1), así que la frecuencia de la señal CMP tiene que ser siempre la mitad de la frecuencia CKP a la misma RPM [19]. Si el sensor es Hall —el caso más común para CMP— la señal es una onda cuadrada regular. Su ausencia con el CKP presente señala una falla del propio sensor CMP, de su cableado o de la rueda fónica del árbol de levas, no del cigüeñal.

Una señal CMP sana tiene niveles de tensión claramente definidos y transiciones estables entre nivel alto y bajo, con un patrón que se repite sin interrupciones inesperadas. La frecuencia debe ser coherente con las RPM del motor, y la posición temporal, estable respecto a la señal CKP. En sensores digitales conviene mirar de cerca los flancos de subida y bajada: si aparecen deformados, con niveles insuficientes o pulsos intermitentes, sospecha de problemas en el sensor, la alimentación, la masa, el cableado o el propio elemento generador de impulsos.

2. Posibles causas de señal anómala

Sensor dañado, cableado, desalineación de la rueda fónica del árbol de le-vas, ECU no sincroniza referencia. Una desviación del pulso CMP respecto al patrón CKP esperado, específicamente, puede asociarse con: distribución fuera de punto, elongación de la cadena de distribución, desplazamiento de la correa, montaje incorrecto de la distribución, daño en la rueda generado-ra de impulsos, o funcionamiento incorrecto de un sistema de distribución variable, cuando el motor lo tenga. Por eso no

basta con mirar la amplitud de la señal CMP: hay que revisar también su posición temporal respecto al CKP (Sección 3.4).

§ Decisión diagnóstica

Si la señal CMP está **ausente** mientras el CKP está presente y es correcto, sospechar primero de la alimentación/masa del propio sensor CMP y de su cableado antes de reemplazarlo. Si la señal CMP está presente pero su **frecuencia no es exactamente la mitad** de la del CKP a la misma RPM, o su **posición temporal varía**, sospechar de desalineación de la rueda fónica del árbol de levas o de una correa/cadena de distribución desfasada (ver Sección 3.4) antes que del sensor. Familia de códigos DTC genéricos OBD-II para este sensor: P0340-P0349 (circuito CMP), P0365-P0369 (CMP, banco/circuito B en motores con más de un sen-sor) — a verificar contra el manual del fabricante, ya que algunos usan códigos propios además de los genéricos.

3.4 Sincronización CKP–CMP

Prueba de dos canales: Canal A = CKP, Canal B = CMP, capturados simultáneamente y en la misma base de tiempo.

La ECU usa la señal CMP para distinguir si un cilindro está en carrera de compresión o de escape — ambas producen la misma posición de cigüeñal, pero el árbol de levas está en una posición distinta en cada caso [19]. De ahí que la relación de fase entre ambas señales (en qué punto exacto del ciclo CKP aparece el pulso CMP) tenga que mantenerse constante, vuelta tras vuelta. Como el CMP gira a la mitad de velocidad del CKP, en dos vueltas completas de cigüeñal aparece un único pulso

CMP, y siempre en la misma posición relativa al hueco de referencia del CKP.

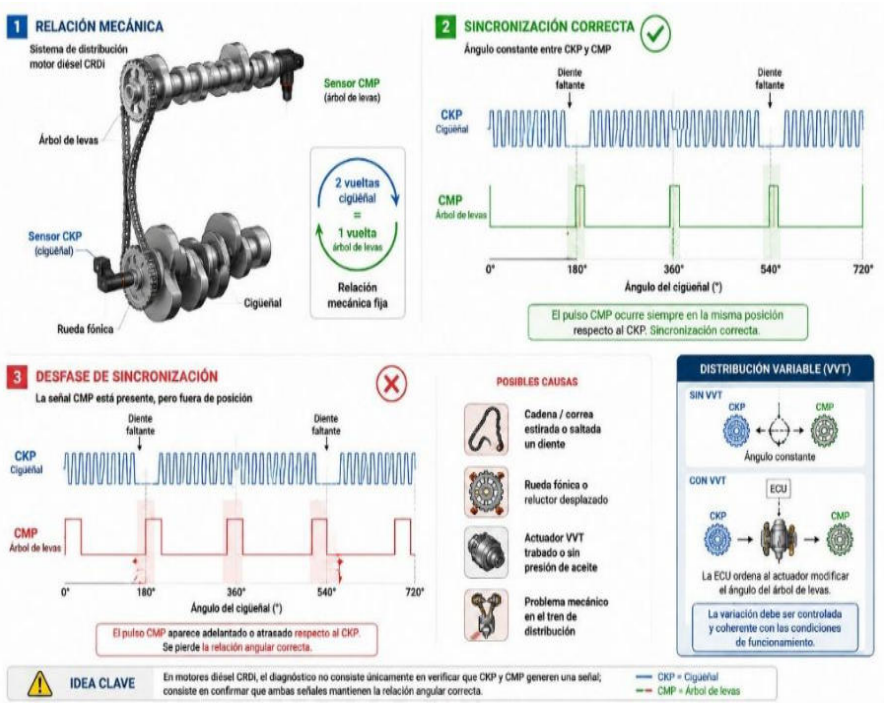
Una pérdida de sincronismo no se ve como ausencia de señal, sino como un desfase variable entre ambos canales: el pulso CMP "se mueve respecto al hueco del CKP de una captura a otra.

§ Decisión diagnóstica

Si la relación de fase CKP-CMP varía captura a captura (no es constante), sospechar de correa/cadena de distribución desfasada, sensor CMP flojo o rueda fónica dañada — antes de considerar fallas más profundas del motor.

La Figura 3.13 resume todo esto de un vistazo. Muestra la relación mecánica fija entre cigüeñal y árbol de levas (2 vueltas de CKP por cada vuelta de CMP), y cómo se ve el pulso CMP cuando la sincronización es correcta: siempre en la misma posición respecto al hueco de referencia del CKP, vuelta tras vuelta. También muestra cómo se ve cuando hay desfase —el pulso CMP adelantado o atrasado respecto al CKP— junto con sus causas mecánicas más frecuentes. El recuadro de distribución variable (VVT) aclara un matiz importante: en motores con VVT, el ángulo entre CKP y CMP sí puede variar por comando de la ECU según la condición de funcionamiento. Lo anormal no es que varíe, sino que lo haga de forma errática o no controlada.

Figura 3.1311. Sincronización CKP–CMP: relación mecánica entre cigüeñal y árbol de levas, forma de las señales con sincronización correcta y con desfase, causas mecánicas típicas del desfase, y el matiz de la distribución variable (VVT)



Fuente: Elaboración propia

3.5 Fallas típicas: resumen

Tabla 3.3. Fallas típicas de CKP y CMP: resumen

Síntoma	Señal observada	Causa probable
No gira, pero no enciende	CKP ausente o de amplitud muy baja	Sensor dañado, entrehierro excesivo, cableado/masa
Ralentí inestable, código de sincronización	CMP ausente con CKP presente y correcto	Sensor CMP, su cableado o rueda fónica del árbol de levas

Funcionamiento de modo degradado	Fase CKP-CMP varía con captura a captura	Distribución desfasada, sensor CMP flojo, rueda fónica dañada (Sección 3.4)
Calado súbito o intermitente	CKP presente pero con caídas breves de amplitud	Conexión intermitente, rueda fónica con suciedad/daño puntual

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

4 DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA COMMON RAIL

4.1 Visión general del sistema

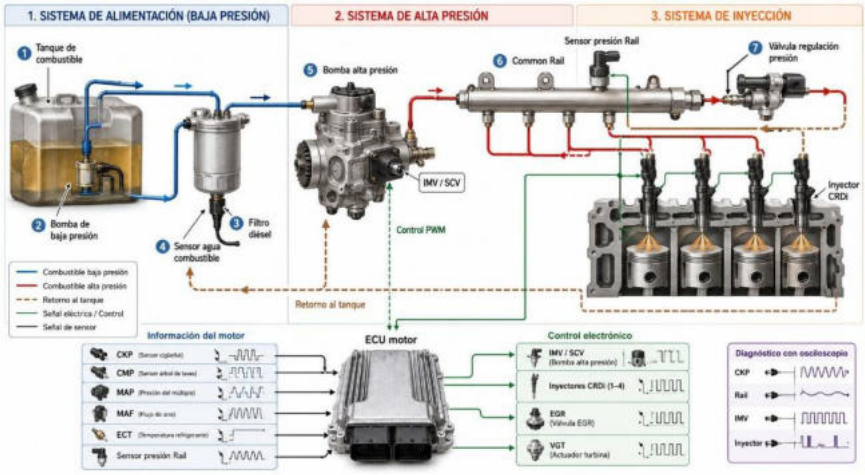
Antes de entrar en el detalle de cada sensor y actuador, conviene mirar el sistema completo de un vistazo. Un sistema common rail diésel es, en el fondo, una cadena de tres etapas que siempre termina en el mismo sitio, el inyector [22]:

1. **Sistema de alimentación (baja presión):** el tanque, la bomba de ba-ja presión, el filtro diésel y su sensor de agua entregan combustible limpio y sin aire hacia la bomba de alta presión.
2. **Sistema de alta presión:** la bomba de alta presión — controlada por la válvula IMV/SCV (Sección 4.3) — eleva la presión del combustible y lo envía al riel común (*common rail*), que actúa como acumulador y cuya presión mide el sensor de presión de riel (Sección 4.2).
3. **Sistema de inyección:** desde el riel, el combustible a alta presión llega a los inyectores CRDi (Capítulo 5), que la ECU abre y cierra electrónicamente en el instante exacto de cada ciclo del motor.

Toda esta cadena la gobierna la ECU del motor. Recibe información de sen-sores (CKP, CMP, MAP, MAF, ECT, presión de riel) y decide, con esos da-tos, cómo controlar los actuadores (IMV/SCV, inyectores, EGR, VGT). Este libro se centra en aplicaciones ligeras, pero la misma arquitectura de tres etapas se escala —con presiones todavía mayores— a los sistemas common rail modulares de vehículos comerciales y motores industriales [23]. El diagrama siguiente resume todo esto de un vistazo:

en el recuadro inferior derecho se indica qué forma de señal produce cada punto visto con el osciloscopio, y sirve como mapa de referencia para todo lo que viene en los Capítulos 3 a 6.

Figura 4.112. Visión general del sistema common rail: alimentación de baja presión (1), bomba y control de alta presión (2) y sistema de inyección (3), con el flujo de información entre sensores, ECU y actuadores, y un resumen de las señales típicas de cada punto vis vistas con el osciloscopio



Fuente: Elaboración propia

4.2 Fundamento técnico: cómo se regula la presión de riel

El sensor de presión de riel es de tipo piezorresistivo: un diafragma de acero con resistencias en puente que se deforman bajo presión (apenas ~20 µm a 1500 bar). El puente entrega una señal cruda de 0-80 mV; un circuito de acondicionamiento interno la amplifica a 0-5 V, y es esa señal ya amplificada la que se mide con el osciloscopio en el conector del sensor. La presión nominal máxima varía con la generación del sistema: hasta 1600 bar en las versiones convencionales, y hasta 2500-

2700 bar en los sistemas de tercera generación con inyectores solenoide o piezoeléctricos [19, 24, 25, 26].

Según la generación del sistema, la ECU regula la presión del riel con uno o dos actuadores [19, 27]:

- **1.ª generación:** solo válvula reguladora de presión (*pressure-control valve*) en el lado de alta presión, sobre el propio riel o la bomba. La bomba siempre entrega el caudal máximo; el excedente se recircula por esta válvula.
- **2.ª generación:** control en el lado de *aspiración* de la bomba median-te la unidad dosificadora (*metering unit* — equivalente a lo que en el mercado se conoce como IMV/SCV). La bomba solo comprime el combustible que el motor realmente necesita, lo que reduce el consumo de energía de la bomba.
- **3.ª generación (inyectores piezoeléctricos):** sistema de dos actuado-res — unidad dosificadora en la aspiración *más* válvula reguladora en el riel — porque el bajo caudal de fuga de los inyectores piezoeléctricos hace que el control por el lado de aspiración, por sí solo, sea demasiado lento ante cambios bruscos de carga.

Esto no es un detalle académico: tiene consecuencias directas en el diagnóstico. En un sistema de 2.ª generación, sospecha primero de la unidad dosificadora si la presión sale de rango. Si el sistema tiene los dos actuadores, en cambio, hay que aislar antes cuál de los dos no está respondiendo — y solo entonces pensar en reemplazar piezas.

4.3 Prueba: sensor de presión de riel

El sensor de presión de riel convierte la presión hidráulica del riel en una señal de voltaje proporcional: a mayor presión, mayor tensión de salida, típicamente entre 0.5 V y 4.5 V en todo el rango de trabajo del sistema (el principio de funcionamiento completo —diafragma piezorresistivo— está en la Sección 4.1) [28]. Y aquí conviene tener algo claro desde el principio: es un sensor puramente pasivo. Solo reporta la presión, no la regula. Por eso una lectura fuera de lo esperado apunta primero al circuito de alta presión (IMV/SCV, bomba, fugas — Sección 4.3) y no necesariamente al sensor mismo.

1. Problema o síntoma

Pérdida de potencia, arranque duro, código de presión de riel fuera de rango (alta o baja).

2. Componente a analizar

Sensor de presión de riel (rail pressure sensor).

3. Punto exacto de conexión

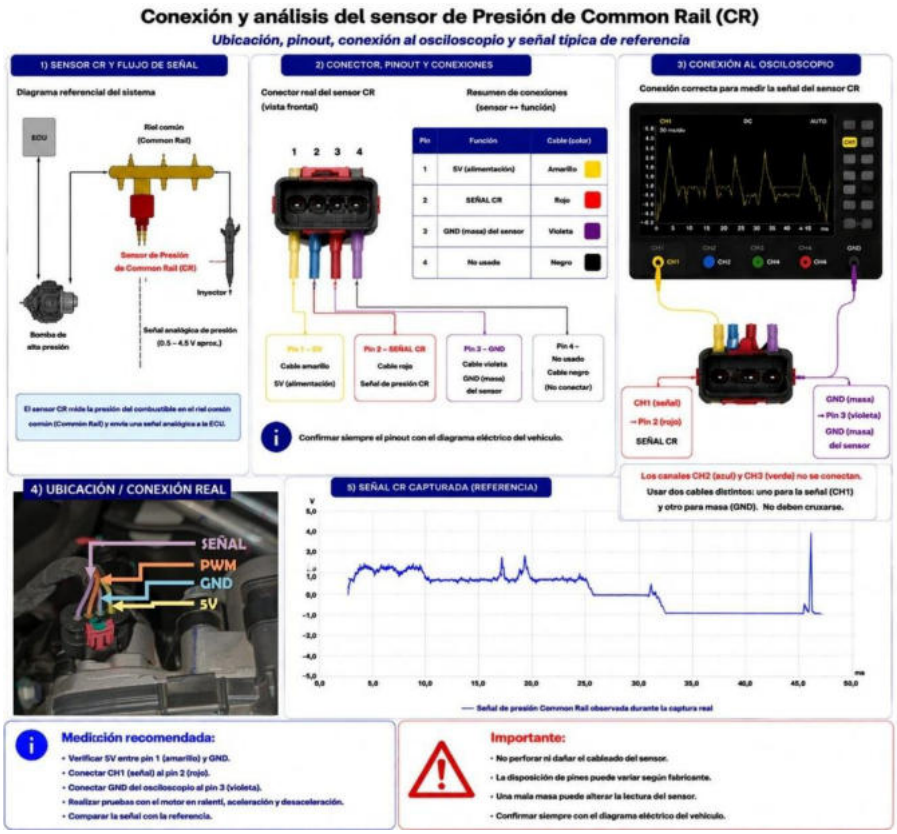
Conector del sensor en el riel (back-probing).

4. Infografía o esquema de conexión

Figura 4.213. Conexión del sensor de presión de riel a la ECU

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.3. Diagrama de conexión, ubicación y señal de referencia del sensor de presión de riel



Fuente: Elaboración propia

§ Configuración inicial recomendada

Canal A: sonda de voltaje sobre la señal del sensor · Escala: 0-5 V (rango de salida típico del sensor tras acondicionamiento interno) · Base de tiempo: lenta (señal cuasiestática, no periódica de alta frecuencia)

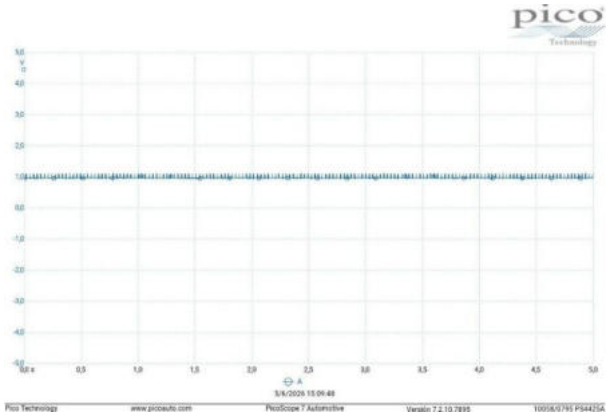
· Trigger: no crítico, usar modo automático.

5. Procedimiento de captura

Capturar en arranque, ralentí y en barrido de aceleración para observar cómo la ECU regula la presión en cada condición.

6. Oscilograma de funcionamiento correcto

Figura 4.414. Señal del sensor de presión de riel en ralentí (~945 rpm)



Fuente: Elaboración propia

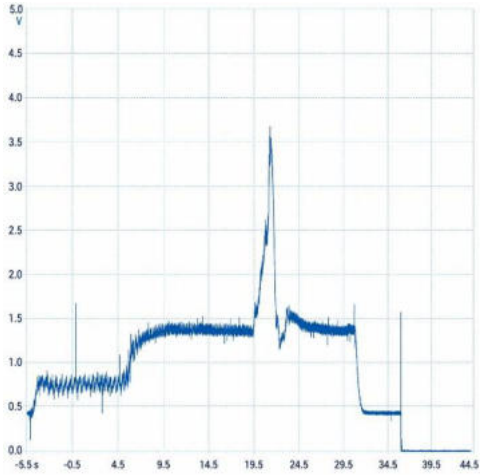
7. Identificación gráfica de las partes importantes de la señal

En la señal de referencia se distinguen dos zonas. Durante el arranque (cran-king), el nivel de tensión todavía está subiendo desde cero, porque la presión no se ha establecido. Luego viene el nivel ya estabilizado en ralentí, una vez que la ECU alcanza y sostiene la presión objetivo — y es este segundo nivel el que debe leerse como "presión de riel en ralentí. Al comparar contra la Sección 4.1.

Conviene además comprobar el sensor con aceleraciones bruscas: pisa y suelta el acelerador con el motor en marcha, sin carga, y observa. La presión de riel debe subir con rapidez y en proporción a la demanda, sin retrasos ni escalones, y volver a estabilizarse en un nivel de ralentí similar

al de partida cuando sueltas. Hay algo interesante detrás de esto: las pequeñas ondulaciones de la señal de presión de riel reflejan, evento a evento, la apertura y cierre de cada inyector, y ese mismo principio es lo que sustenta usar la señal del sensor de riel como herramienta indirecta de diagnóstico del propio proceso de inyección [29, 30, 31]. Pero esa respuesta hay que corroborarla cruzan-do la señal del osciloscopio con la presión que reporta la ECU por escáner en el mismo instante. Si ambas suben y bajan juntas, el sensor y su circuito están sanos. Si el escáner muestra una presión solicitada creciente mientras la señal medida se queda plana o retrasada, el problema está aguas abajo del sensor (IMV/SCV, bomba, fuga — Sección 4.3), no en el sensor mismo.

Figura 4.5. Captura real continua del sensor de presión de riel: arranque (izquierda), ralentí estable (~1.3 V), dos aceleraciones bruscas con entre ambas, y caída a 0 V al apagar el motor. El pico limpio y el retorno a la meseta de ralentí en cada aceleración son la firma esperada de una respuesta sana ante demanda variable



Fuente: Elaboración propia

8. 9-10. Oscilogramas con fallas y comparación

Por ahora no contamos con una captura de campo propia de presión de riel insuficiente (fuga interna, IMV/SCV defectuosa) ni de sobrepresión (regulador pegado) que documente estos dos puntos con una forma de onda real. Los casos de bomba de baja presión de la Sección 4.4 sirven, mientras tanto, como referencia indirecta: esa falla se manifiesta precisamente como una presión de riel insuficiente o inestable en este mismo sensor.

9. Interpretación

Muchos sensores de presión de riel (salida ratiométrica) están calibrados para entregar entre 0.5 V y 4.5 V en todo el rango de presión del sistema (0 a 1600 bar en el ejemplo de referencia). El rango exacto de tensión y presión varía según fabricante y generación — hay que confirmarlo contra la hoja de datos del sensor concreto, igual que con otras familias de sensores de presión de media gama usadas en el motor y la transmisión [32] [12]. Un detalle técnico que vale la pena tener presente: al procesar la señal cruda del sensor, en mediciones de alta resolución pequeños efectos acumulativos del propio sistema de medición pueden distorsionar la lectura si no se corrigen [33]. De ahí se derivan dos chequeos de plausibilidad casi inmediatos. Primero: cualquier lectura en 0 V o en 5 V indica sensor o circuito fallado, nunca una presión real de

§ Atajo de diagnóstico

Prueba de fuga rápida: al detener el motor, si la señal cae *rápidamente* a 0.5 V (en vez de descender de forma gradual), es indicio de una fu-ga en el sistema de alta presión — inyector, válvula reguladora, unidad dosificadora o bomba [12].

0 o del máximo. Segundo: con el motor sin carga la señal se sitúa por debajo de 2.5 V, y a plena carga sostenida puede llegar hasta 4.5 V.

10. Posibles causas

Sensor de presión defectuoso, fuga en el circuito de alta presión, IMV/SCV que no cierra o no abre correctamente, bomba de alta presión desgastada.

§ Decisión diagnóstica

Distinguir sensor vs. actuador: si la presión real (medida con herramienta de escaneo o manómetro) no coincide con la señal del sensor, sospechar del sensor; si coincide, pero está fuera de rango, sospechar de la IMV/SCV o de la bomba (ver Sección 4.3). Códigos DTC habituales: P0087, P0088, P0190-P0194 [12].

§ Consejo práctico

No reemplazar el sensor de presión de riel sin antes correlacionar su lectura con el valor de presión objetivo que reporta la ECU vía escáner.

4.4 Prueba: unidad dosificadora / válvula regula-dora (IMV/SCV)

Este libro usa “IMV/SCV” como nombre comercial genérico para un componente que, según la fuente consultada, aparece bajo varios nombres distintos:

- En la documentación técnica de fábrica (Bosch): unidad

dosificado-ra (controla en la aspiración de la bomba) o válvula reguladora de presión (controla en el lado de alta presión, sobre el riel) — ver la diferencia entre ambas en la Sección 4.1.

- En el software de diagnóstico (PicoScope), como dos pruebas sepa-radas: **QCV** (*Quantity Control Valve* = unidad dosificadora) y **PRV** (*Pressure Regulating Valve* = válvula reguladora) [12, 34, 35, 36].

Ambas son, en el fondo, electroválvulas solenoide controladas por PWM. La ECU mantiene el positivo de batería fijo en un terminal y conecta el otro a masa de forma intermitente. Cuanto mayor el porcentaje de tiempo conecta-do a masa (duty cycle), mayor la corriente media y mayor el desplazamiento de la válvula respecto a su posición de reposo [12]. Ojo: si un mayor duty cycle abre o cierra la válvula depende del diseño de cada fabricante, así que conviene verificarlo siempre en los datos técnicos del vehículo antes de sacar conclusiones.

1. Problema o síntoma

Presión de riel fuera de rango, humo negro, pérdida de potencia, arranque duro.

2. Componente a analizar

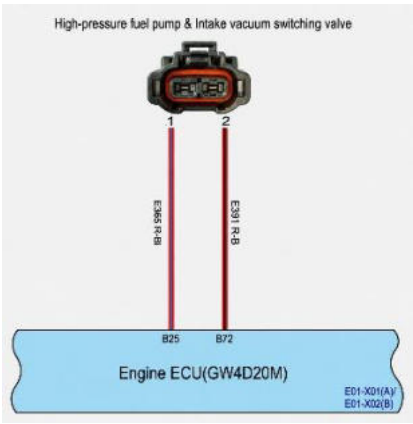
Válvula dosificadora de entrada (IMV) / válvula reguladora de presión (SCV) de la bomba de alta presión.

3. Punto exacto de conexión

Conector de la válvula en la bomba de alta presión.

4. Infografía o esquema de conexión

Figura 4.6. Conexión de la válvula IMV/SCV a la ECU

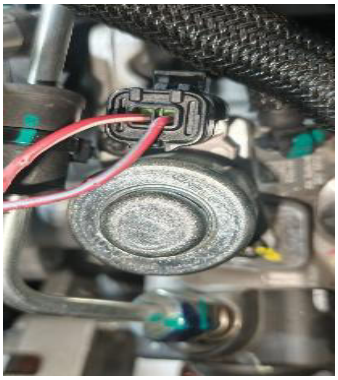


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.7. Diagrama de ubicación, conexión y señal de referencia de la válvula IMV/SCV en la bomba de alta presión

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.8. Foto del actuador (bomba de alta presión con la válvula IMV/SCV



Fuente: Elaboración propia

§ Configuración inicial recomendada

Canal A: sonda de voltaje sobre la señal de control (PWM) · Escala: 0-20 V en sistemas de 12 V (ampliar a 0-50 V si aparecen picos inductivos, o como punto de partida en sistemas de 24 V) · Base de tiempo: 1-5 ms/div para ver varios ciclos, 0.2-1 ms/div para el detalle de un pulso, 10-20 ms/div para ver la evolución del duty cycle ante un cambio de carga — un ajuste práctico inicial es **20 V y 2 ms/div** · Trigger: flanco ascendente sobre el canal A. Si se dispone de pinza amperimétrica, agregar Canal B para corriente.

5. Frecuencia y ciclo de trabajo (duty cycle)

Diagnosticar la IMV/SCV exige leer tres parámetros de la señal PWM: tensión de alimentación, frecuencia de conmutación y duty cycle. Y aquí hay una confusión frecuente que conviene evitar: la base de tiempo del osciloscopio (en ms/div o µs/div) no es lo mismo que la frecuencia de

la señal PWM (en Hz). La primera es un ajuste del equipo; la segunda es una propiedad de la señal que se mide sobre la pantalla.

La frecuencia se calcula a partir del periodo medido entre dos pulsos consecutivos:

$$F = \frac{1}{T}$$

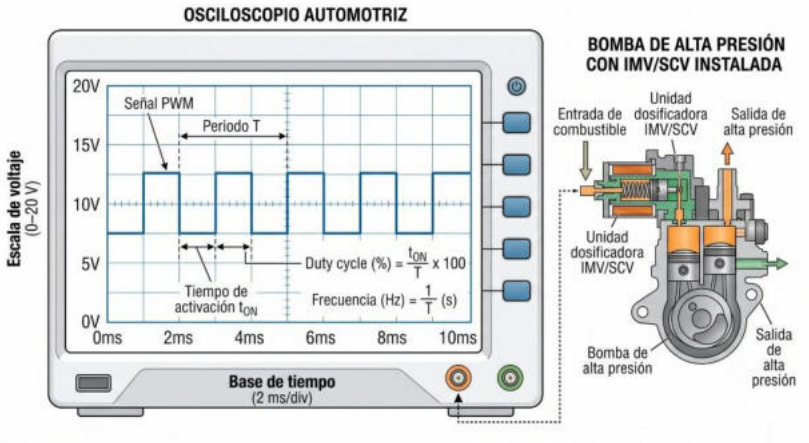
Por ejemplo, si el periodo medido es de 2 ms: f = 1/0,002 = 500 Hz. No existe un valor universal para la frecuencia de accionamiento de una IMV/SCV: depende del fabricante, de la ECU y del diseño de la válvula, y en la práctica puede ir desde unos pocos cientos de Hz hasta más de 1 kHz. Mide siempre la frecuencia real y contrástala contra la documentación técnica del sistema — no asumas un valor de tabla.

El duty cycle es el porcentaje del periodo durante el cual la señal permanece activa:

$$\text{Duty Cycle}(\%) = \frac{Ton}{} \times 100$$

Por ejemplo, si dentro de un periodo de 2 ms la válvula permanece coman-dada durante 0.8 ms: Duty Cycle = (0,8/2) × 100 = 40 %. Aquí hay una trampa habitual: según si la ECU controla el actuador por el lado positivo o por el lado negativo, un duty cycle que aumenta en pantalla puede corresponder a un comportamiento eléctrico inverso al que uno esperaría de forma intuitiva. Verifica siempre contra el diagrama eléctrico del sistema específico antes de sacar conclusiones.

Figura 4.915. Señal PWM de la IMV/SCV: escala de voltaje, base de tiempo, periodo, tiempo de activación y duty cycle



Fuente: Elaboración propia

6. 6-11. Procedimiento, oscilograma, interpretación

¿Cómo se ve una IMV/SCV sana? Su señal PWM debe ser periódica y es-table, con flancos claramente definidos, tensión compatible con el sistema eléctrico, frecuencia relativamente estable para una condición dada, y un duty cycle que cambia cuando cambia la demanda de presión del riel. Al acelerar o modificar la carga, la ECU ajusta el comando de la válvula para regular el caudal hacia la bomba de alta presión. De ahí que convenga comparar la señal PWM con la presión de riel deseada y

§ Consejo práctico

Para un diagnóstico más completo, usar un segundo canal con pinza amperimétrica de baja corriente: Canal A tensión PWM, Canal B corriente del solenoide. La forma de onda de corriente revela la respuesta electromagnética real de la bobina y puede mostrar anomalías que no son evidentes midiendo solo tensión.

la presión real (Sección 4.2), idealmente con datos de escáner en paralelo. Verifica siempre, en paralelo con el sensor de presión de riel, que un cambio de duty cycle produce efectivamente el cambio de presión esperado. Si el duty cycle cambia, pero la presión no responde, la válvula no está siguiendo la orden de la ECU— así de simple. Este cruce entre comando eléctrico y respuesta hidráulica es, de hecho, el fundamento de los métodos de diagnóstico no invasivo de la bomba de alta presión basados en el procesamiento de las pulsaciones de presión del riel [37]. Pero ojo: una señal PWM eléctricamente correcta **no garantiza por sí sola** el funcionamiento mecánico de la válvula. Puede tener suciedad, desgaste o atascamiento, aunque el comando eléctrico se vea perfectamente normal.

7. Posibles causas de señal/comportamiento anómalo

Válvula pegada (mecánicamente atascada), bobina en corto o abierta, cablea-do, bomba con desgaste interno que la válvula no puede compensar, alimentación insuficiente, mala conexión a masa, terminales con alta resistencia, ausencia de comando desde la ECU, irregularidades en el control PWM.

§ Decisión diagnóstica

Códigos DTC habituales — unidad dosificadora (QCV): P0001-P0004, P0087, P0088, P0251-P0255; válvula reguladora (PRV): P0087-P0094

[12]. Nótese el solapamiento en P0087/P0088 (presión de riel baja): con ambos actuadores presentes, hay que aislar cuál de los dos no responde antes de reemplazar piezas (comparar duty cycle de cada uno contra la respuesta del sensor de presión de riel, Sección 4.2).

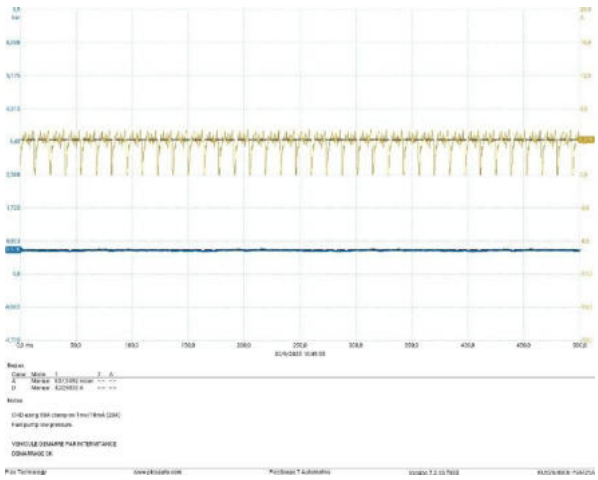
4.5 Presión de alimentación de baja (bomba de transferencia): casos reales

Antes de la bomba de alta presión hay una etapa que este libro no había cubierto todavía: la bomba de baja presión (o de transferencia), que toma el combustible del depósito y lo entrega ya filtrado y a una presión de alimentación estable (típicamente entre 3 y 6 bar, según sistema) a la entrada de la bomba de alta [38]. Si esta etapa falla o entrega presión insuficiente, la bomba de alta presión no recibe suficiente combustible para trabajar, y el síntoma se ve, y con frecuencia se diagnostica erróneamente, como un problema del riel o de la propia bomba de alta. Dos casos reales compartidos ilustran exactamente este patrón:

Caso real compartido: bomba de baja presión, arranque intermitent

Ford Transit Custom 2016, 2.2 L TDCi CRDi Bosch. Prueba KOER en ralentí: presión de combustible y corriente de la bomba de baja, ambas marcadas como anómalas por la plataforma. Nota del caso: baja presión de bomba asociada a arranque intermitente.

Figura 4.10. Caso real: Ford Transit Custom 2016, 2.2 L TDCi CRDi. Presión de combustible de baja (canal superior) y corriente de la bomba de transferencia (canal inferior) en ralentí. Captura compartida, icoScope 4425A

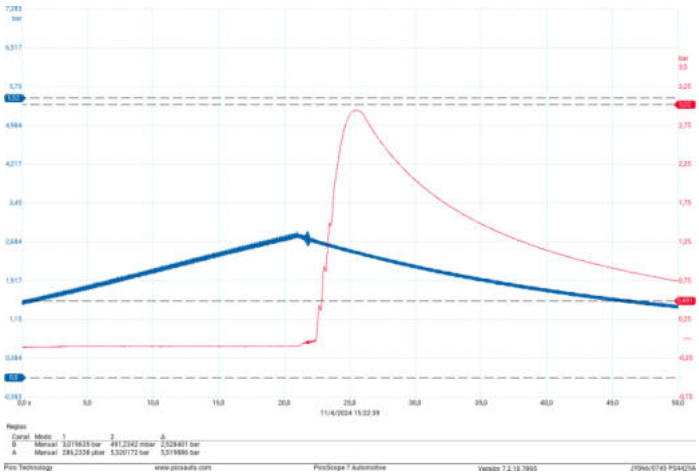


Fuente: Elaboración propia

Caso real compartido: presión de entrada de la bomba de baja durante el arranque

DAF CF 2017 euro 6, motor MX13 de 13 L. Prueba de arranque (*star-ting*): retorno de inyectores correcto, pero presión en la entrada de la bomba de baja (*LP pump inlet*) marcada como anómala durante el evento de arranque.

Figura 4.11. Caso real: DAF CF 2017 euro 6, MX13 13 L. Presión en la entrada de la bomba de baja durante el arranque — la caída/anomalía en este punto, con el retorno de inyectores correcto, aísla el problema a la alimentación antes de la bomba de alta. Captura compartida, PicoScope 4425A



Fuente: Elaboración propia

En ambos casos el retorno de inyectores, o la señal aguas abajo, aparecía correcta (o simplemente no era la variable señalada como defectuosa). Eso dirige el diagnóstico hacia atrás en el circuito hidráulico: filtro de combustible, tuberías de baja presión, conexiones, entrada de aire o la propia bomba de transferencia — no hacia el riel, el sensor de presión o la bomba de alta. Son datos reales que confirman la lógica ya señalada en la Sección 4.2: ante una presión de riel baja o un arranque intermitente, verifica primero la alimentación de baja presión antes de sustituir componentes de alta presión.

§ Decisión diagnóstica

Si la presión de riel (alta) no alcanza el objetivo pese a que la IMV/SCV recibe y responde al comando de la ECU (Sección 4.3), no asumir automáticamente que la bomba de alta está desgastada: verificar primero la presión de alimentación de baja, aguas arriba. Una bomba de alta presión, por diseño, no puede generar más presión de la que le permite el caudal y la presión de entrada que recibe.

4.6 Síntesis: presión de riel en las tres condiciones de referencia

Tabla 4.1. Presión de riel en las tres condiciones de referencia

Condición	Señal del sensor de riel	Qué verificar
Arranque (cranking)	Sube rápidamente desde niveles bajos hasta el valor de ralentí.	Que la presión se alcance en pocos segundos, sin quedarse estancada por debajo de lo esperado (Sección 4.2).
Ralentí	Se estabiliza por debajo de 2,5 V (rango de referencia: 0,5–4,5 V).	Que la lectura sea estable, sin oscilar de forma errática ciclo tras ciclo.
Aceleración / carga	Sube hasta acercarse a 4,5 V bajo carga sostenida.	Que la presión responda con rapidez al pedal, sin retardo excesivo ni caída bajo carga sostenida.

Fuente: Elaboración propia

Los valores de duty cycle de la IMV/SCV correspondientes a cada condición son específicos de cada sistema (varían según generación y fabricante, Sección 4.1) — documentarlos en campo comparando

siempre duty cycle contra la respuesta real del sensor de presión, no contra una tabla genérica.

CAPÍTULO V

5 DIAGNÓSTICO DE INYECTORES CRDI ME-DIANTE VOLTAJE Y CORRIENTE

Advertencia de seguridad

Los circuitos de pilotaje de inyector CRDi manejan tensiones de conmutación elevadas, típicamente entre 50 y 90 V [12] — usar siempre accesorios (sondas, pinzas) con rango de tensión adecuado. **En inyectores piezoeléctricos, nunca desconectar eléctricamente el inyector con el motor en marcha:** la válvula puede quedar en estado abierto, provocan-do inyección continua de combustible en el cilindro y daño catastrófico del motor [12].

5.1 Fundamento técnico: el patrón de corriente del inyector solenoide

En un inyector solenoide, la corriente de pilotaje no es un simple pulso rectangular. La ECU la controla en cinco fases, buscando una apertura rápida y reproducible sin sobrecalentar la bobina [19, 39]. Y no es un detalle menor: analizar esta forma de onda de corriente es uno de los métodos más directos y documentados para diagnosticar electroválvulas de inyección sin desmontarlas [40, 17]. Los valores de corriente que siguen (pickup, holding) son de referencia orientativa, tomados de un sistema representativo — el nivel exacto varía según fabricante y modelo de inyector. Trátalos como un patrón de forma de onda a reconocer, no como una especificación fija a exigir:

1. **Apertura:** la corriente sube con una pendiente muy pronunciada

gracias a una tensión de refuerzo (*booster*) de hasta 50 V, muy superior a la tensión de batería — esto es lo que hace posible la apertura rápida y repetible de la válvula.

2. **Corriente de pico (pickup):** tras el pico inicial, la corriente se limita electrónicamente a ~20 A, ya con tensión de batería, para terminar de abrir la válvula.
3. **Transición.**
4. **Corriente de mantenimiento (holding):** la corriente baja a ~13 A — el mínimo necesario para mantener la válvula abierta — para reducir la disipación de calor en el inyector y en la ECU.
5. **Corte:** al cortar la corriente, el campo magnético colapsa y el muelle cierra la válvula; la energía sobrante se recupera hacia el capacitor de refuerzo.

En el osciloscopio, esto se traduce en una firma de corriente bastante reconocible: un pico agudo (apertura + pickup, hasta ~20 A), luego una meseta más baja y estable (~13 A, holding), y una caída abrupta al corte. Esta firma de cinco fases es propia de la tecnología common rail. Los inyectores unitarios electrónicos más antiguos (sin riel común, con la bomba integrada en el propio inyector) presentan un patrón eléctrico distinto — conviene saber reconocerlo para no confundir ambas tecnologías al leer un oscilograma [41]. La ausencia del pico de apertura, un pico demasiado bajo, o una meseta de mantenimiento inestable son las señales más claras de un inyector con bobina degradada.

En los inyectores piezoeléctricos, en cambio, no hay bobina ni corriente de mantenimiento. El actuador responde en apenas ~150 microsegundos entre el inicio eléctrico de la activación y la apertura mecánica de la

aguja — eso permite hasta cinco eventos de inyección por ciclo (preinyecciones, inyección principal y post inyecciones) [19, 26, 42]. Aquí lo que hay que priorizar no es la corriente, sino la forma de onda de tensión [11].

5.2 Prueba: señal de pilotaje del inyector (voltaje)

1. Problema o síntoma

Marcha irregular, humo negro, pérdida de potencia, cilindro que no aporta.

2. Componente a analizar

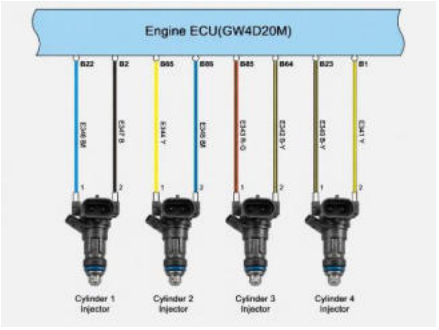
Inyector common rail (solenoide o piezoeléctrico, según el vehículo).

3. Punto exacto de conexión

Conector del inyector (back-probing) o directamente en el conector de la ECU.

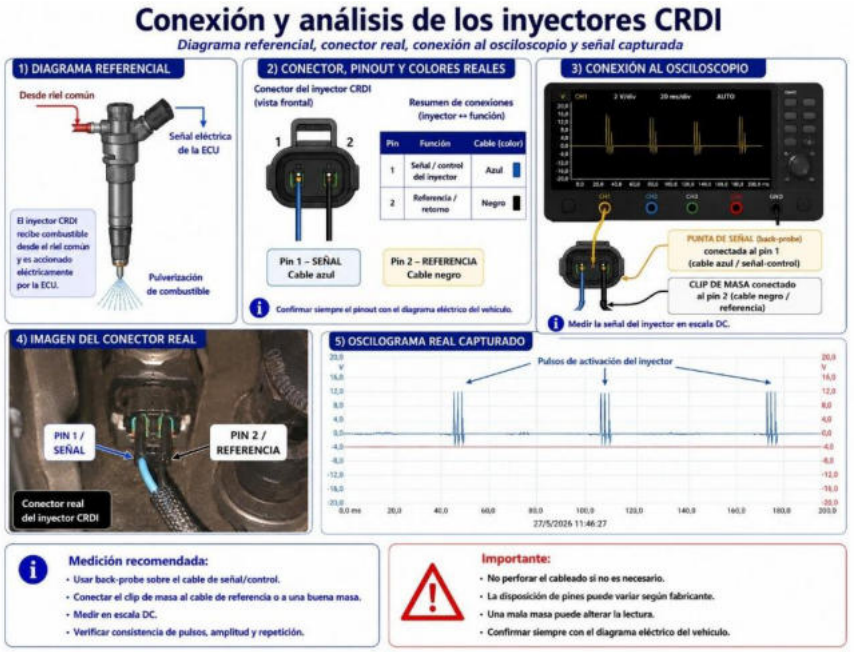
4. Infografía o esquema de conexión

Figura 5.1. Conexión de los inyectores a la ECU



Fuente: Elaboración propia

Figura 5.216. Diagrama de conexión, ubicación y señal de referencia del pilotaje del inyector



Fuente: Elaboración propia

Figura 5.3. Foto de un inyector common rail

Fuente: Elaboración propia

§ Configuración inicial recomendada

Canal A: sonda de voltaje sobre la señal de pilotaje del inyector · Escala: 0-100 V para solenoide como punto de partida (ampliar a 0-200 V si la señal excede la pantalla; el pulso inicial de boost puede rondar 50-100 V), 0-200 V o más para piezoeléctrico (conmutación de 100-200 V o superior — usar sonda diferencial apta para ese rango, ver Sección 1.5.1) ·

Base de tiempo: 0.5-2 ms/div para una inyección individual, 5-20 ms/div para ver varias inyecciones según las RPM — un ajuste práctico inicial en solenoide es **100 V y 1 ms/div** · Acoplamiento: DC · Trigger: flanco del pulso de activación.

5. Procedimiento de captura

Motor en ralentí. Captura el pulso completo de pilotaje (idealmente preinyección, inyección principal y postinyección, si el sistema las usa). Cui-dado con una suposición común: la tensión de pilotaje no corresponde simplemente a la tensión de batería. En varios sistemas Common Rail, la etapa de apertura alcanza tensiones muy superiores a los 12-14 V mediante una etapa electrónica de elevación de tensión en la ECU.

6. Oscilograma de funcionamiento correcto

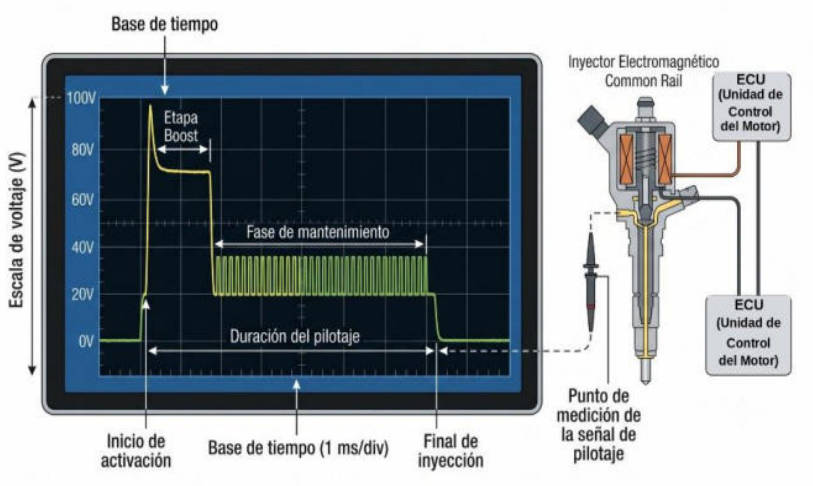
Este libro todavía no incluye una captura propia de la tensión de pilotaje de un inyector Common Rail. Es, junto con las series CMP y EGP a distinto régimen (Sección 7.9), uno de los vacíos de material real que quedan pen-dientes de campo. La infografía más abajo representa la forma esperada de la señal a partir de la literatura técnica del fabricante

—no de una captura propia— y el punto 8 la describe en detalle para que la reconozcas en tu propio osciloscopio.

7. Identificación gráfica de las partes importantes de la señal

Esta prueba sigue pendiente de una captura propia, pero la forma esperada de la señal de voltaje ya se describió en la Sección 5.1. Se puede dividir en tres etapas. Primero, una fase de apertura o boost, donde se aplica una tensión elevada (hasta ~50-100 V en solenoide) para incrementar rápidamente la corriente y lograr una apertura rápida. Luego, una fase de mantenimiento, donde la ECU reduce la energía aplicada y regula la corriente mediante conmutación electrónica (visible como pulsos menores en el oscilograma). Y por último una **fase de cierre**, con una variación brusca de tensión aso-ciada al colapso del campo magnético de la bobina. En un piezoeléctrico el panorama es distinto: se observan hasta cinco pulsos de conmutación por ciclo (preinyecciones, inyección principal, postinyecciones), cada uno con un flanco muy rápido característico de la respuesta en ~150 µs del actuador, sin las fases de apertura/mantenimiento del solenoide — el elemento piezoeléctrico se comporta como una carga capacitiva (carga, mantenimiento y descarga), no como una bobina.

Figura 5.4. Señal de pilotaje y configuración del osciloscopio para un inyector Common Rail electromagnético: escala de voltaje, base de tiempo, fase de boost, mantenimiento y cierre



Fuente: Elaboración propia

8. Oscilogramas con fallas

Todavía no hay una captura propia de tensión de pilotaje defectuosa en un inyector aislado. Sí existen, en cambio, dos casos reales compartidos que muestran fallas de inyector a través de corriente en vez de tensión — ver la Sección 5.5.2 más abajo (Ford Transit Custom 2018 y Peugeot Boxer 2021), que ilustran exactamente el mismo principio de comparación entre cilindros.

9. Comparación señal correcta vs. defectuosa

La forma más práctica de detectar una falla de pilotaje en campo es, sencillamente, comparar de forma sistemática entre cilindros. Esa comparación se desarrolla en la Sección 5.5 (comparación entre

cilindros / balance de inyectores), con dos casos reales en la Sección 5.5.2.

10. Interpretación

¿Qué debe mostrar una señal de pilotaje correcta? Inicio del comando claramente definido, tensión de activación adecuada, duración coherente del pulso, fases de apertura y mantenimiento identificables, cierre definido, y repetibilidad entre ciclos consecutivos. La ausencia del pico de apertura, un pico visiblemente más bajo que en los demás cilindros, o un número de pulsos distinto al programado (en piezoeléctrico), son los primeros indicios de un inyector con problema eléctrico. Compara siempre contra los demás cilindros del mismo motor, en la misma condición de operación (ver Sección 5.5).

§ Consejo práctico

Para un diagnóstico más completo, medir tensión y corriente simultáneamente: Canal A tensión de pilotaje, Canal B corriente (pinza amperimétrica). La corriente permite verificar si el comando eléctrico de la ECU produce realmente la respuesta electromagnética esperada en el actuador información que no siempre es evidente solo con la tensión. En piezoeléctricos, además, nunca usar una sonda convencional sin antes verificar el sistema de medición y las características eléctricas del inyector: emplear siempre sonda diferencial apropiada para alta tensión (Sección 1.5.1).

11. Posibles causas

Hay cuatro modos de falla característicos a los que son propensos los inyectores CRDi [12]:

- **Sellado de cilindro:** una interfaz inyector-culata que no sella bien

deja escapar gases sin quemar o parcialmente quemados, y hollín, durante la compresión y la combustión (*blow-by*). Esto reduce presión y temperatura de combustión, y se nota como humo de escape excesivo.

- **Sellado interno:** si falla un sello interno, el combustible se fuga del lado de alimentación al de retorno. El resultado es baja presión de suministro, notable sobre todo durante el arranque, cuando la bomba no logra generar caudal suficiente a baja velocidad.
- **Circuito eléctrico:** cuando la bobina o el elemento no se energiza lo suficiente, la válvula puede quedarse sin abrir del todo, y eso se traduce en fallos de encendido (*misfire*).
- **Contaminación:** hollín u otra contaminación excesiva en el motor o el combustible afecta la salida del inyector y altera el patrón de flujo y pulverización.

§ Decisión diagnóstica

Regla de decisión rápida: si el pico de apertura está **ausente** en un so-lo cilindro mientras los demás lo muestran normal, sospechar de bobina/elemento piezoeléctrico dañado o de un problema del driver de ese canal en la ECU. Si el pico está ausente en **varios cilindros por igual**, sospechar antes del cableado común o del driver general de la ECU que de que fallen varios inyectores a la vez (coincidencia poco probable). Si el pico está presente pero **retrasado o de duración distinta** en un cilindro respecto a los demás, ver balance de inyectores (Sección 5.5). Bobina/elemento piezoeléctrico dañado, cableado, driver de la ECU dañado (menos común, pero a descartar si varios cilindros fallan igual). Códigos DTC habituales: familia P0200-P0296 (por cilindro) [12].

§ Consejo práctico

La mayoría de los inyectores CRDi modernos se fabrican/reacondicionan con un código individual de calibración que describe sus características exactas de inyección (no todos los sistemas usan este esquema — verificar si el fabricante del vehículo lo requiere). Cuando aplica, ese código debe programarse en la ECU con equipo de escaneo cada vez que se instala un inyector. Si hay fallo de encendido, mal desempeño o emisiones excesivas tras un cambio de inyectores en un sistema que sí usa códigos de calibración, verificar primero que los códigos asignados en la ECU correspondan al cilindro correcto, antes de sospechar de un inyector defectuoso [12].

5.3 Prueba: corriente del inyector (pinza amperimétrica)

1. 1-5. Síntoma, componente, conexión, infografía, configuración

Es prácticamente igual que la prueba de voltaje (Sección 5.2), solo que aquí se usa una pinza amperimétrica en serie con el cable de alimentación del inyector. Comparar la forma de onda de corriente contra el patrón esperado es, de hecho, el mismo enfoque que documentan los procedimientos de prueba guiada para inyectores Bosch y Delphi [39, 43].

§ Configuración inicial recomendada

Canal B (o A si se mide solo corriente): pinza amperimétrica de baja corriente, escala 20 A, puesta a cero antes de conectar [12] · Base de tiempo: igual que en la prueba de voltaje, para poder correlacionar ambas señales · Procedimiento: capturar en ralentí y variar el pedal del acelerador para comparar ralentí, aceleración y retención (*overrun*) [12].

2. 6-11. Procedimiento, oscilograma, interpretación

Ver el patrón de referencia completo (apertura → pickup ~20 A → holding ~13 A → corte) en la Sección 5.1.

3. Posibles causas

Bobina en corto (pico de corriente excesivo) o abierta (sin corriente), resistencia de bobina fuera de rango, fuga interna del inyector (afecta indirecta-mente el patrón por sobrecompensación de la ECU).

§ Decisión diagnóstica

Sin corriente en absoluto: circuito abierto (bobina o cableado). Pico de corriente muy por encima de lo esperado (~20 A en pickup): bobina en corto. Meseta de mantenimiento inestable o ausente (~13 A esperados): posible driver de la ECU o conexión intermitente. En todos los casos, medir la resistencia de la bobina con el inyector desconectado y comparar contra el valor de fábrica antes de reemplazarlo.

5.4 Solenoide vs. piezoeléctrico: diferencias en la forma de onda

Ambos diseños reciben órdenes eléctricas desde la ECU para controlar la inyección, pero su principio de funcionamiento eléctrico es distinto —bobina inductiva frente a elemento capacitivo— y por eso producen

oscilogramas claramente diferentes [25, 26]. Reconocer esta diferencia es el primer paso para configurar bien el osciloscopio. Y también para no interpretar como "falla üna forma de onda que, simplemente, corresponde a otra tecnología de inyector.

5.4.1 Inyector solenoide

La señal típica de un inyector solenoide se organiza en tres etapas. En la etapa de activación o boost, el driver aplica una tensión elevada (del orden de 50-100 V, a confirmar contra la información del fabricante) para incrementar rápidamente la corriente en la bobina. Viene después la etapa de mantenimiento, en la que la ECU reduce la energía y regula la corriente mediante conmutación electrónica (visible como pulsos menores en el oscilograma). Y cierra la etapa de desactivación, donde el colapso del campo magnético almacenado en la bobina produce una variación rápida de tensión.

§ Configuración inicial recomendada

Escala vertical: **0-100 V** (ampliar a 0-200 V si la señal excede la pantalla)

· Base de tiempo: **0.5-2 ms/div** · Acoplamiento: DC · Medición complementaria: corriente con pinza amperimétrica. Ajuste práctico inicial: **100 V y 1 ms/div**.

5.4.2 Inyector piezoeléctrico

El elemento piezoeléctrico se comporta eléctricamente como una carga capacitiva, no como una bobina inductiva — de ahí que su oscilograma sea estructuralmente distinto. Durante la activación se aplica una tensión

elevada para cargar el elemento. Esa carga se mantiene durante el periodo de accionamiento y, al terminar la inyección, el driver tiene que descargar el elemento de forma controlada. Según la arquitectura del sistema, las tensiones de accionamiento pueden llegar a 100-200 V o más.

§ Configuración inicial recomendada

Escala vertical: **0-200 V** (ampliar a 0-250/300 V según el sistema) · Base de tiempo: **0.5-2 ms/div** · Acoplamiento: DC · Tipo de medición recomendada: **diferencial** (nunca una sonda convencional sin verificar antes la tensión máxima admisible del equipo, la categoría de aislamiento de la sonda y el procedimiento del fabricante — ver Sección 1.5.1).

De forma simplificada, la firma de cada tecnología se resume en una secuencia de eventos distinta:

Solenoide: activación → aumento de corriente → mantenimiento → desactivación inductiva

Piezoeléctrico: carga eléctrica → mantenimiento → descarga eléctrica

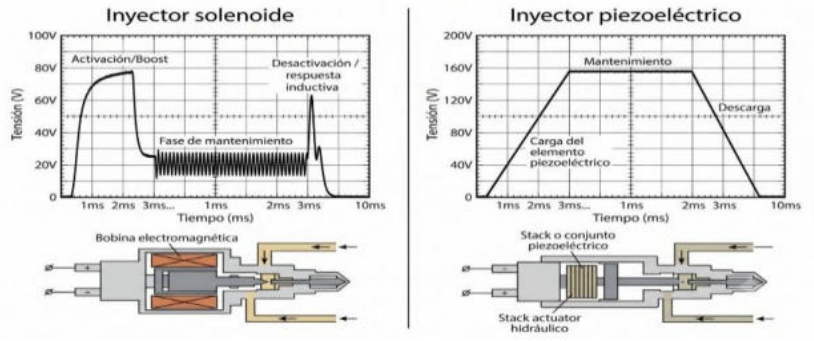
Reconocer esta secuencia —solo a partir del oscilograma— es uno de los criterios más útiles para saber qué tecnología de inyector se está midiendo.

Tabla 5.1. Comparación entre inyector solenoide y piezoeléctrico

Característica	Solenoide	Piezoeléctrico
Elemento actuador	Bobina electromagnética	Elemento piezoeléctrico
Comportamiento eléctrico	Principalmente inductivo	Principalmente capacitivo
Diagnóstica fundamental	Corriente de la bobina	Carga/descarga y tensión
Forma característica	Boost + mantenimiento + caída inductiva	Carga + mantenimiento + descarga
Escala inicial orientativa	**0–100 V**	**0–200 V**
Medición de corriente	Muy útil	Interpretación distinta (no hay corriente de mantenimiento)
Riesgo de medición	Moderado/alto	Alto
Sonda recomendada	Según sistema	Preferentemente diferencial

Fuente: Elaboración propia

Figura 5.5. Comparación de las formas de onda de pilotaje de inyectores solenoide y piezoeléctricos: el solenoide muestra boost, mantenimiento y respuesta inductiva; el piezoeléctrico muestra carga, mantenimiento y descarga



Fuente: Elaboración propia

Preinyección, inyección principal y postinyección

Los motores CRDi modernos pueden ejecutar varias inyecciones por ciclo (piloto/preinyección, principal, y una o más postinyecciones), así que el oscilograma puede mostrar varios eventos consecutivos. Una base dé tiempo de **5-20 ms/div** permite ver la secuencia completa; reducir después a **0.5-2 ms/div** para estudiar cada evento individualmente. Esto aplica tanto a solenoide como a piezoeléctrico, aunque la forma eléctrica de cada pulso sea distinta.

5.5 Comparación entre cilindros (balance de in-yectores)

Esta es una prueba multicanal. Se captura la misma señal (voltaje o corriente) en todos los cilindros, en la misma condición de operación, y se compara el tiempo de inyección (o duty cycle) entre ellos — el mismo principio de comparación entre canales que sustenta los marcos de diagnóstico automatizado basados en aprendizaje profundo sobre la señal de presión de riel [44] y en la descomposición de las pulsaciones de presión [37]. Si el osciloscopio tiene canales suficientes, captúralos simultáneamente. Si no, uno por uno, manteniendo siempre el motor en la misma condición (ralentí estable) para que la comparación tenga sentido. Además de la duración del pulso, conviene comparar tensión de activación, corriente máxima, pendiente de crecimiento de corriente, forma de la etapa de mantenimiento, comporta-miento durante el cierre, número de eventos por ciclo, y regularidad entre eventos consecutivos.

§ Configuración inicial recomendada

Escala de tensión: **0-100 V** · Base de tiempo: **1-5 ms/div** por cilindro individual, ampliable a **10-20 ms/div** para ver varios eventos de inyección en la misma ventana · Corriente: según capacidad de la pinza amperimétrica disponible · Trigger: inicio del comando del inyector · Acopla-miento: DC.

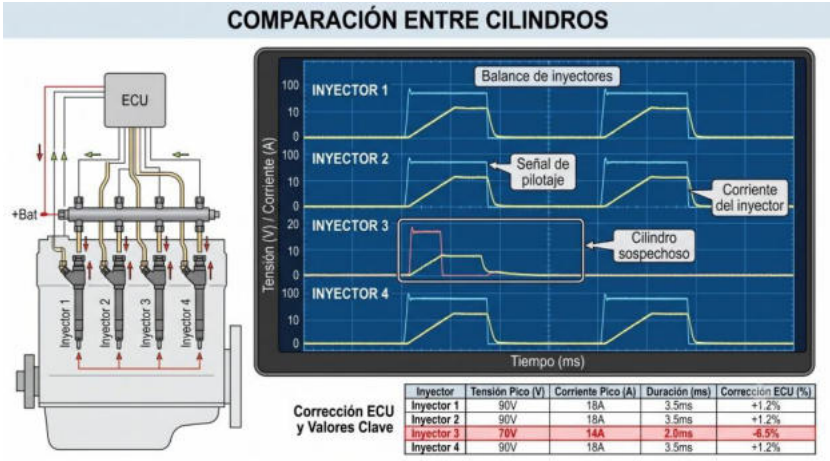
Procedimiento recomendado: (1) estabilizar el motor a temperatura normal de operación; (2) mantener un régimen constante, preferiblemente ralentí estabilizado; (3) usar la misma escala de tensión y base de tiempo para todos los cilindros; (4) registrar la señal de cada inyector; (5) comparar las formas de onda superpuestas; (6) repetir a un régimen superior si se requiere confirmar una anomalía.

Una diferencia notable en el tiempo de inyección entre cilindros indica desbalance en el comando eléctrico — no, automáticamente, en el caudal real inyectado. ¿Por qué la distinción? Porque la ECU calcula ese tiempo de activación en función de la presión de riel, la temperatura y las correcciones de balanceo que ya está aplicando. Un tiempo de comando más largo en un cilindro puede reflejar tanto una estrategia de compensación de la propia ECU como un caudal hidráulico distinto. Para saber cuál de los dos casos es el tuyo hace falta correlacionar el hallazgo eléctrico con la presión de riel real (Sección 4.2), las correcciones de inyección leídas por escáner (más abajo en esta sección) y, si es necesario, una prueba hidráulica directa (retorno de inyectores o banco de pruebas). Sin ese cruce de datos, la diferencia de duración es solo un indicio, no una conclusión. Puede manifestarse como marcha irregular, vibración o humo diferenciado por banco de cilindros. Y si un inyector

presenta una pendiente de corriente significativamente distinta, hay que pensar en resistencia anormal del bobinado, un problema de conexión, caída de tensión, cortocircuito parcial, anomalía en el driver, o deterioro interno del actuador.

Comparación de señales de inyectores entre cilindros: tres formas de onda similares y una claramente diferente, correlacionada con los valores de corrección de inyección de la ECU.

Figura 5.617. Comparación de señales de inyectores entre cilindros: tres formas de onda similares y una claramente diferente, correlacionada con los valores de corrección de inyección de la ECU



Inyector	Tensión Pico (V)	Corriente Pico (A)	Duración (ms)	Corrección ECU (%)
Inyector 1	90V	18A	3.5ms	+1.2%
Inyector 2	90V	18A	3.5ms	+1.2%
Inyector 3	70V	14A	2.0ms	-6.5%
Inyector 4	90V	18A	3.5ms	+1.2%

Fuente: Elaboración propia

5.5.1 Correlación con el balance de inyección de la ECU

Más allá del osciloscopio, muchos sistemas Common Rail permiten leer por escáner los valores de corrección o balance de inyección: la ECU ajusta ligeramente el combustible inyectado por cilindro para mantener

un funcionamiento uniforme del motor (expresados según el fabricante en mg/str, mm3/str, mg/ciclo o % de corrección). No busques un límite universal aquí — lo que importa es comparar la magnitud de las correcciones entre cilindros. Si tres cilindros presentan correcciones próximas entre sí y uno muestra una desviación claramente superior, ese cilindro merece evaluación adicional.

Aunque una corrección elevada no demuestra por sí sola que el inyector esté defectuoso: también puede deberse a pérdida de compresión, desgaste mecánico o problemas de estanqueidad.

Tabla 5.2. Interpretación del balance de inyectores por corrección ECU

Resultado	Posible interpretación
Corrección elevada + señal eléctrica anormal	Posible problema eléctrico del inyector
Corrección elevada + señal eléctrica normal	Investigar problema hidráulico o mecánico
Señal anormal + corrección normal	Posible falla incipiente
Señales similares + correcciones similares	Funcionamiento probablemente equilibrado

Fuente: Elaboración propia

Si se identifica un cilindro sospechoso, complementar con: prueba de retorno de inyectores, comparando la fuga de retorno de cada cilindro con un transductor de presión dedicado [45] (especialmente útil para fugas internas excesivas), prueba de compresión, presión de riel real versus solicitada, prueba de corte de cilindros por escáner (si al desactivar un cilindro el régimen cae poco comparado con los demás,

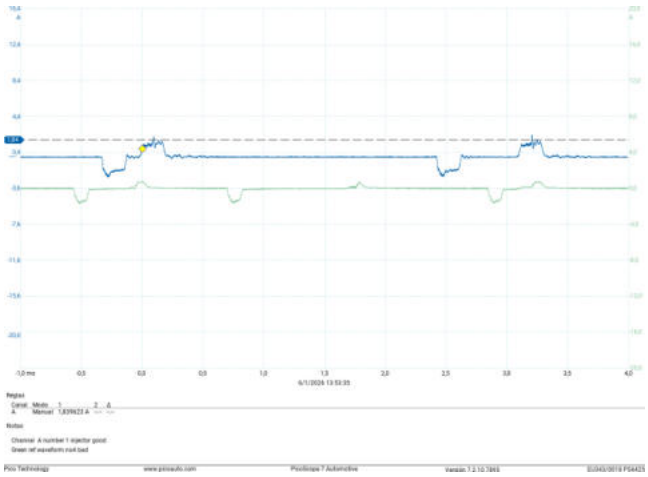
ese cilindro aportaba poco torque), y análisis de vibración o irregularidad de rpm.

5.5.2 Casos reales: comparación entre cilindros

Caso real compartido: inyector con corriente anómala

Ford Transit Custom 2018, 2.0 L CRDi (código YMF6). Comparación de corriente entre cilindros: inyector 1 usado como referencia (correcto), inyector 4 marcado como defectuoso.

Figura 5.718. Caso real: Ford Transit Custom 2018, 2.0 L CRDi. Comparación de corriente entre el inyector 1 (referencia, canal A) y el inyector 4 (canal marcado como defectuoso) — la forma de onda del inyector 4 se aparta claramente del patrón de referencia. Captura compartida, PicoScope 4425ª.

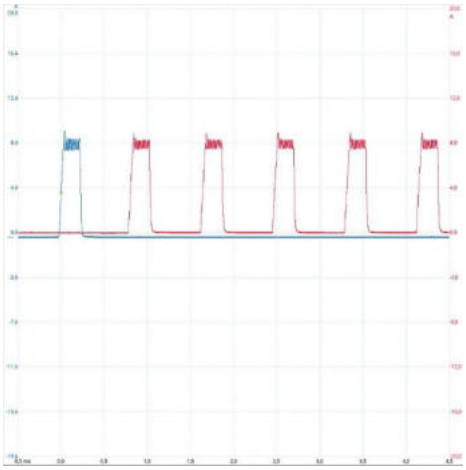


Fuente: Elaboración propia

Caso real compartido: activación anómala con motor apagado

Peugeot Boxer 2021, 2.2 L CRDi Delphi (DW12RUD). Prueba KOEO (contacto dado, motor apagado): corriente del inyector 4 como referencia (correcta), inyector 3 con activación breve y repetición anómala del pulso justo tras dar contacto.

Figura 5.8. Caso real: Peugeot Boxer 2021, 2.2 L CRDi Delphi, prueba KOEO. El inyector 3 muestra una activación eléctrica breve e intermitente inmediatamente después de dar contacto, sin que la ECU haya comandado todavía una inyección real. Captura compartida, Pico PicoScope 4425A



Fuente: Elaboración propia

El segundo caso es especialmente instructivo, precisamente porque ocurre con el motor apagado. Una activación eléctrica del circuito del inyector sin comando real de inyección apunta a un problema del propio circuito —cortocircuito intermitente, driver de la ECU, cableado— más que a un inyector mecánicamente desgastado. Antes de sustituir la pieza, verifica cableado y driver, siguiendo la misma lógica de la Sección 5.2.

Técnica complementaria: presión de escape para aislar el cilindro

Hay una técnica complementaria a la comparación eléctrica: medir las pulsaciones de **presión en el escape** durante el arranque. Cada cilindro que aporta combustión genera un pulso de presión característico en el colector de escape. Un cilindro con combustión deficiente, entonces, se reconoce por un pulso de menor amplitud o de forma distinta en la posición del ciclo que le corresponde según el orden de encendido del motor

— usando idealmente la señal de un inyector como referencia temporal. Esta técnica resulta útil cuando la comparación eléctrica de inyectores, por sí sola, no aísla la causa: evalúa directamente el resultado de la combustión, no la señal de comando, y por eso también puede revelar un problema mecánico (compresión, válvulas) que un inyector eléctricamente sano no explicaría.

§ Decisión diagnóstica

No hay un umbral universal de diferencia "normal.entre cilindros: varía por fabricante y por el sistema de compensación de la ECU (algunos motores ya corrigen pequeñas diferencias de fábrica mediante los códigos de calibración del inyector, ver consejo box de la Sección 5.2). Como referencia práctica, una diferencia de tiempo de inyección que se *correlaciona* con el cilindro donde el cliente reporta el síntoma (vibración, humo, fallo de encendido) pesa más que la magnitud absoluta de la diferencia. Secuencia de diagnóstico recomendada: comparar correcciones ECU → comparar señales eléctricas → medir corriente → prueba de retorno → verificar compresión si es necesario.

§ Consejo práctico

Comparar siempre el patrón del cilindro sospechoso contra los demás cilindros del mismo motor, en la misma condición de operación, antes de concluir que un inyector está defectuoso.

CAPÍTULO VI

6 DIAGNÓSTICO DE MAF, MAP, EGR Y TURBO VGT

6.1 Fundamento técnico

6.1.1 MAF: medidor de masa de aire por película caliente

Por dentro es simple: un elemento calentado se enfría en proporción a la masa de aire que pasa por él, y esa pérdida de temperatura es la que se convierte en señal de salida [46]. La diferencia térmica también indica dirección, así que el sensor no solo mide cuánto aire pasa, sino hacia dónde va — algo relevante porque a bajas RPM las pulsaciones de las válvulas producen flujo inverso con cierta frecuencia [19]. La salida es una tensión que crece de forma no lineal con el caudal (aprox. 0-6 V para 0-600 kg/h en el sensor de referencia Bosch HFM5). Pero eso no es universal: las capturas de este libro muestran señal de frecuencia variable, no analógica, así que conviene comprobar en cada vehículo qué tipo de salida entrega realmente el MAF instalado.

6.1.2 EGR: cómo la ECU calcula el caudal recirculado

Como otros actuadores de posición del motor, la válvula EGR se controla con una señal PWM —ancho de pulso variable a frecuencia constante [19]. Su función es diluir la mezcla de admisión con gases de escape recirculados para frenar la formación de óxidos de nitrógeno (NOx); el precio, si la recirculación se pasa de la raya, es más partículas [47, 48]. Medir directamente el caudal recirculado es complicado, así que la ECU recurre a una estimación indirecta: compara el aire fresco

que reporta el MAF contra el que debería entrar a esas RPM y esa carga. Cuanto más se queda corto el aire medido respecto al esperado, más gas recirculado hay entrando [19]. Por eso, en el diagnóstico de EGR, EGP y MAF terminan siempre correlacionados: ninguno de los dos mide el caudal de EGR de forma directa, los dos lo asoman por otro lado.

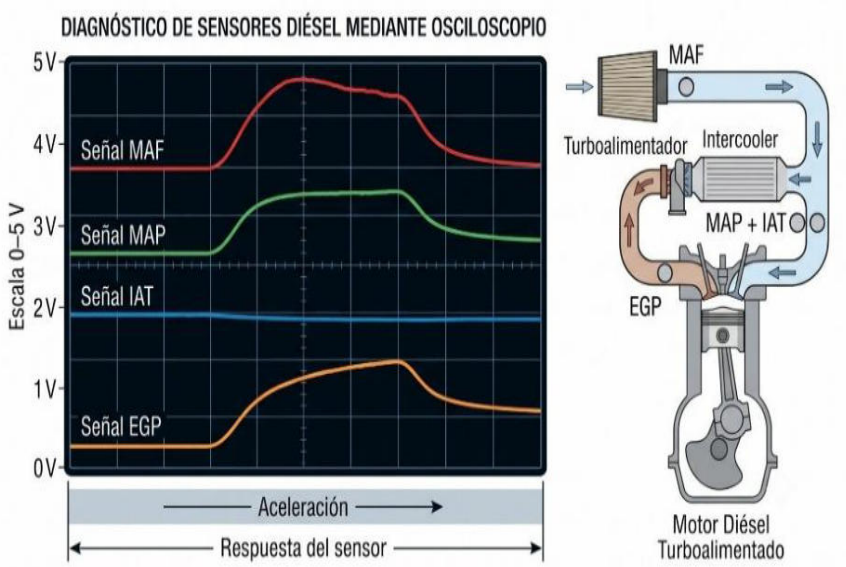
6.1.3 VGT/VNT: turbo de geometría variable

Funciona moviendo unos álabes que cambian la sección de paso del gas de escape hacia la turbina, y así regula la presión de sobrealimentación según las RPM. Se controla por señal PWM —electroneumática o eléctrica, según el sistema— y realimenta su posición mediante un sensor dedicado. Cuando el control falla, la mayoría de los sistemas VGT/VNT caen a una posición de seguridad (fail-safe) [19]: en muchos diseños es la posición completamente abierta, con pérdida de potencia a bajas RPM, pero sin daño al motor ni al turbo. La posición exacta, eso sí, depende del mecanismo de retorno de cada fabricante (ver detalle en la Sección 6.6).

6.2 Configuración común: MAF, MAP, IAT y EGP

Estos cuatro sensores comparten un punto de partida a la hora de configurar el osciloscopio. La mayoría son analógicos y se alimentan con una referencia de 5 V, así que arrancar con una escala vertical de 0-5 V funciona casi siempre (la excepción es el MAF por frecuencia — ver Sección 6.3) [49, 50, 51]. En la práctica conviene empezar con 5 V de rango vertical y 200 ms/div de **base de tiempo** y luego ir cerrando la escala hasta que la señal ocupe buena parte de la pantalla — así se gana resolución.

Figura 6.1. Configuración del osciloscopio para las señales de los sensores MAF, MAP, IAT y EGP: escala de 0-5 V y respuesta característica de cada uno



Fuente: Elaboración propia

Alimentación de 5 V vs. tensión de señal

No hay que confundir la **tensión de referencia/alimentación** (5 V) con la **tensión de señal** que produce el sensor. Que algo esté alimentado a 5 V no significa que su señal también deba llegar a 5 V: se mueve en una ventana más estrecha, la que define la calibración del fabricante. Conviene revisar por separado tres cosas: la tensión de referencia, la calidad de la masa, y la tensión de señal propiamente dicha. Si la alimentación está bien, pero la señal no, sospecha del sensor o de la variable física; si la referencia de 5 V falla, el problema puede afectar de golpe a **varios sensores que comparten el mismo circuito**.

6.3 Prueba: sensor MAF

1. Problema o síntoma

Humo negro o blanco, pérdida de potencia, marcha irregular, código de flujo de aire fuera de rango (afecta el cálculo de EGR y el límite de humo).

2. Componente a analizar

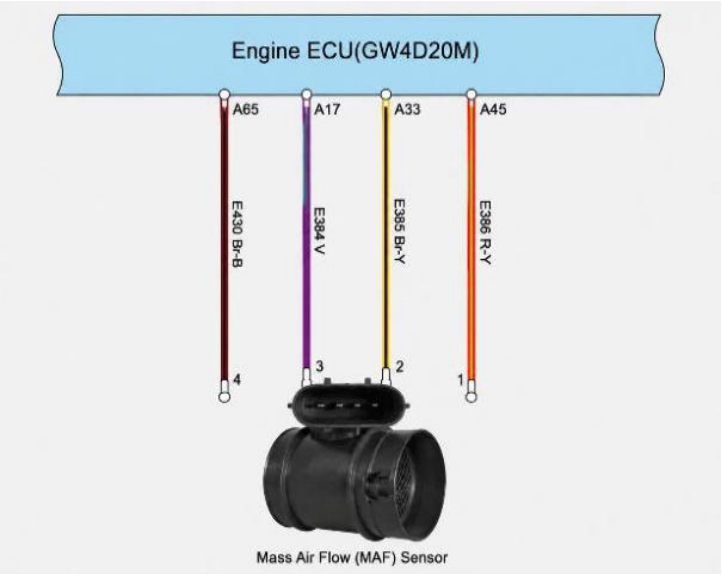
Sensor de masa de aire (MAF), con sensor IAT integrado.

3. Punto exacto de conexión

Conector del sensor MAF (back-probing).

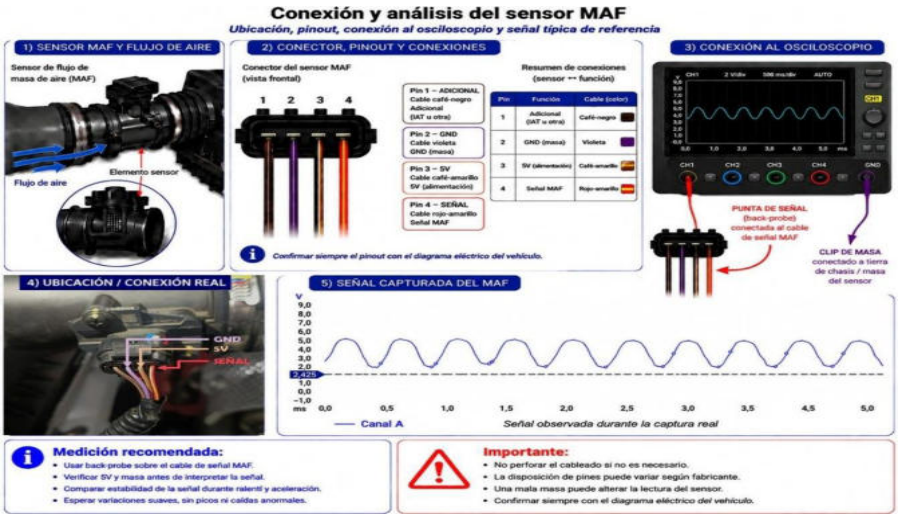
4. Infografía o esquema de conexión

Figura 6.2. Conexión del sensor MAF a la ECU



Fuente: Elaboración propia

Figura 6.319. Diagrama de conexión, ubicación y señal de referencia del sensor MAF



Fuente: Elaboración propia

Figura 6.4. Foto del sensor MAF

Fuente: Elaboración propia

§ Configuración inicial recomendad

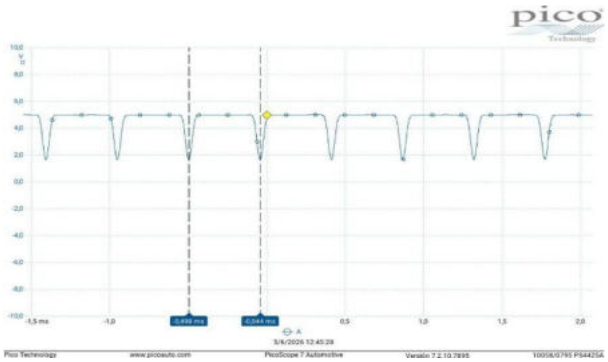
Canal A: sonda de voltaje sobre la señal · Escala: **0-5 V** como punto de partida (ampliar a **0-2 o 0-3 V** si la señal permanece dentro de ese rango, para ganar resolución) · Base de tiempo: **100-500 ms/div** para observar una aceleración completa · Trigger: flanco ascendente. Si la salida es de frecuencia (no analógica), la amplitud del pulso se mantiene en 0-5 V, pero el dato de caudal va codificado en la frecuencia — en ese caso, medir adicionalmente el parámetro en Hz.

5. Procedimiento de captura

Capturar en ralentí y en barrido de RPM (ver tabla de frecuencia por RPM adjunta al material del libro).

6. Oscilograma de funcionamiento correcto

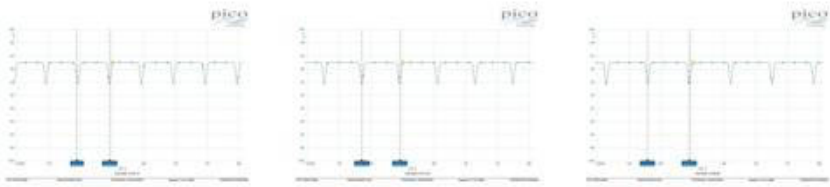
Figura 6.5. Señal MAF de referencia a 944 rpm (ralentí)



Fuente: Elaboración propia

7. Variación con el régimen del motor

Figura 6.6. Señal MAF a distinto régimen



(a) 1321 rpm (b) 1968 rpm (c) 2981 rpm

Fuente: Elaboración propia

8. 8-11. Identificación, fallas, comparación, interpretación

Al acelerar a fondo, la frecuencia (o la tensión, según el tipo de salida) debe subir de forma suave y continua, y volver a bajar cuando se suelta el pedal. Una respuesta lenta o escalonada delata un elemento sensor contaminado. Aquí no sirve fijar un valor de tensión correcto "para ralentí o plena carga — depende demasiado del diseño del sensor y del motor concreto —; lo que importa diagnósticamente es que la respuesta sea **continua, rápida y coherente** frente al barrido de RPM, no un número aislado.

9. Posibles causas

Sensor MAF sucio o dañado (muy sensible a filtros de aire poco efectivos o fallas del cárter/EGR que permiten contaminación), fuga de aire post-MAF, cableado. Con una lectura errónea del MAF, la ECU calcula mal el límite de humo: el resultado es bajo desempeño y, a veces, combustión incompleta con humo negro excesivo [12].

§ Decisión diagnóstica

Códigos DTC habituales: P0100-P0104 [12].

6.4 Prueba: sensores MAP + IAT

1. Problema o síntoma

Humo negro, pérdida de potencia, código de presión/temperatura de admisión fuera de rango.

2. Componente a analizar

Sensor combinado MAP + IAT.

3. Punto exacto de conexión

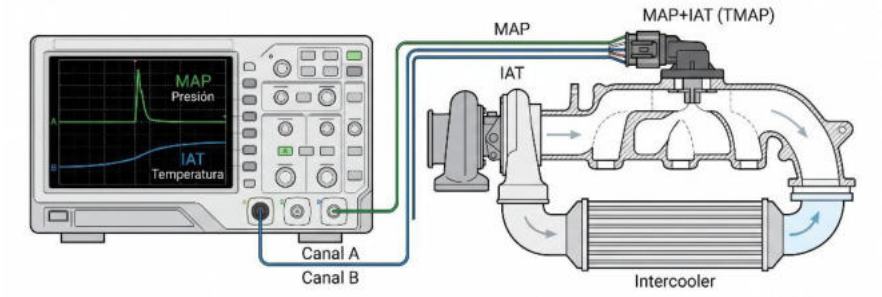
Conector del sensor (back-probing).

4. Infografía o esquema de conexión

Figura 6.720. Conexión del sensor MAP+IAT a la ECU

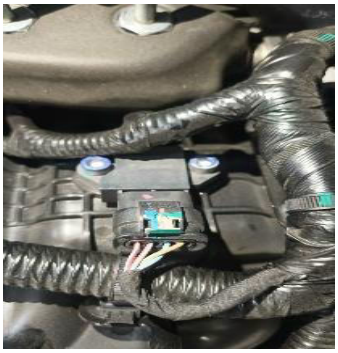
Fuente: Elaboración propia

Figura 6.8. Diagrama de conexión, ubicación y señal de referencia del sensor



Fuente: Elaboración propia

Figura 6.921. Foto del sensor MAP



Fuente: Elaboración propia

§ Configuración inicial recomendada

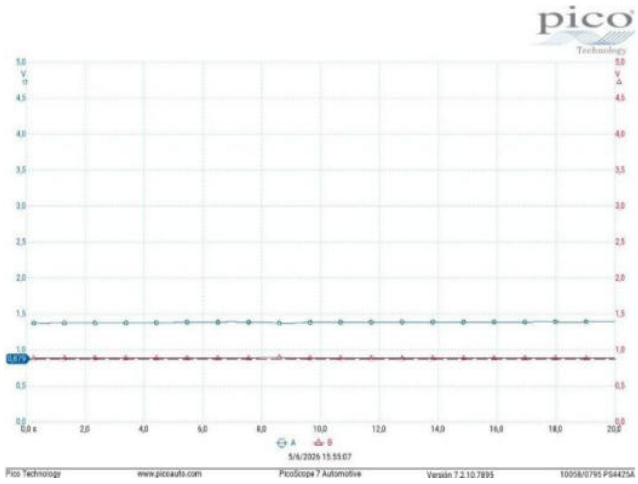
Canal A: sonda de voltaje sobre la señal de presión (MAP) · Canal B: señal de temperatura (IAT), en un sensor combinado (habitualmente llamado TMAP) MAP e IAT comparten cuerpo, pero mantienen circuitos de señal independientes, por lo que conviene usar un canal para cada una · Escala: **0-5 V** en ambos canales · Base de tiempo: **100-500 ms/div** para observar una aceleración; automática/lenta para ralentí en reposo · Trigger: automático.

5. Procedimiento de captura

Capturar en ralentí y en barrido de RPM/carga.

6. Oscilograma de funcionamiento correcto

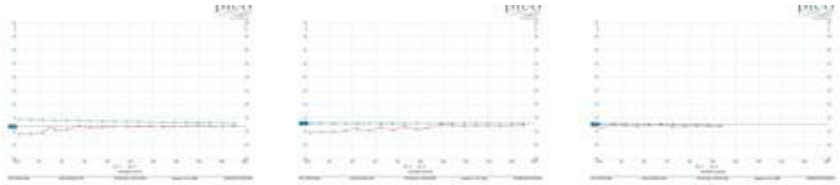
Figura 6.10. Señal MAP+IAT de referencia en ralentí



Fuente: Elaboración propia

7. Variación con el régimen del motor

Figura 6.1122. Señal MAP+IAT a distinto régimen



(a) 2000 rpm (b) 2500 rpm (c) 3000 rpm

Fuente: Elaboración propia

8. Identificación gráfica de las partes importantes de la señal

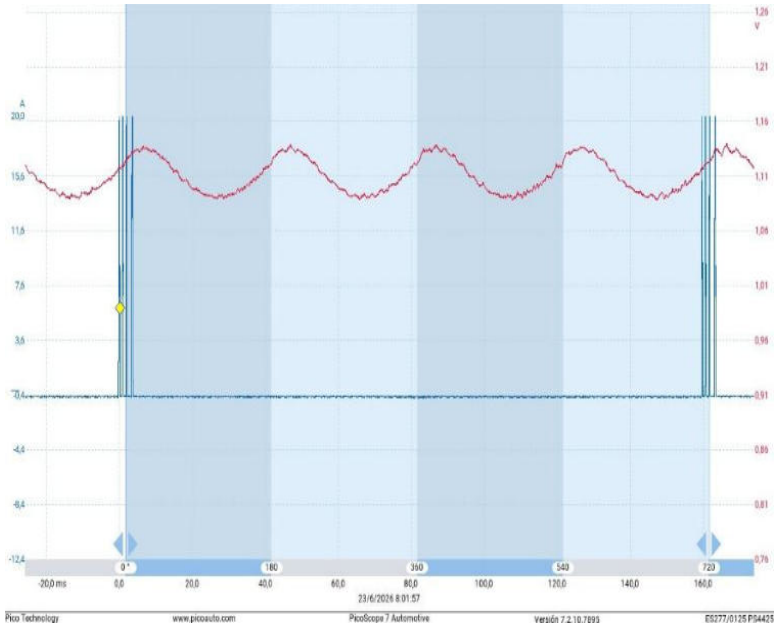
En ralentí, con baja carga en el múltiple de admisión, la tensión MAP debe estar en su punto más bajo. Al acelerar, sube la presión y sube con ella la tensión MAP, respondiendo rápido a cada cambio. La señal IAT del segundo canal se mueve mucho más despacio —es temperatura, no presión— y sirve sobre todo como control de plausibilidad. Como el sensor IAT suele llevar un termistor NTC, en muchas aplicaciones la tensión de señal *baja* cuando sube la temperatura (conviene confirmarlo siempre contra el esquema del fabricante, porque la relación tensión-temperatura cambia según el circuito). Si la IAT nunca varía, o da una lectura absurda, sospecha primero del sensor o del circuito, no de una condición real del motor.

9. 9-10. Oscilogramas con fallas y comparación

Caso real compartido: MAP anómalo con corriente de inyector correcta

Volkswagen Golf 2019, 1.6 L TDI CRDi (código DGT). Prueba KOER en ralentí: corriente de inyector correcta, señal MAP marcada como anómala.

Figura 6.12. Caso real: Volkswagen Golf 2019, 1.6 L TDI CRDi, ralentí. La corriente de inyector (referencia) es normal mientras la señal MAP se aparta del patrón esperado. Captura compartida, PicoScope 4425A



Fuente: Elaboración propia

Que la corriente del inyector salga correcta mientras el MAP no lo hace ya descarta, de entrada, el combustible como causa. El foco pasa al sensor MAP, a su cableado o alimentación, o a una presión de admisión físicamente anormal —fuga, obstrucción—; no al sistema de inyección.

10. Interpretación

Compara la tensión MAP contra el barrido de RPM de referencia (Sección 6.4). Debe subir suave y proporcional al acelerar, sin escalones ni caídas repentinas bajo carga sostenida. Si el MAP cae de forma inesperada mientras el motor está bajo carga, piensa en una fuga en el circuito de admisión o de sobrealimentación, no en el sensor.

11. Posibles causas

Sensor MAP o IAT dañado, fuga en el múltiple de admisión o en el circuito de sobrealimentación (afecta la lectura de presión), cableado, obstrucción del conducto de toma de presión.

§ Decisión diagnóstica

Si la lectura MAP no cambia en absoluto al variar el acelerador, sospechar primero de una obstrucción en el conducto de toma de presión antes que del sensor. Si cambia, pero de forma errática o con escalones, sospechar del sensor o su cableado. Códigos DTC habituales: P0105-P0109 (MAP), P0110-P0114 (IAT).

6.5 Prueba: sensor de presión de gases de escape (EGP) y sistema EGR

La mayoría de sistemas CRDi no vigilan directamente cuánto gas mueve la válvula EGR. En su lugar, la ECU se apoya en el sensor EGP como referencia indirecta de que la recirculación está ocurriendo en la proporción esperada [19]. Por eso esta sección junta dos cosas que en la práctica van de la mano: la señal eléctrica del propio sensor EGP, y la forma de leer esa señal como indicio de si la válvula EGR realmente está haciendo su trabajo. Separarlas en pruebas independientes no tendría mucho sentido.

1. Problema o síntoma

Código de EGR, humo negro, pérdida de potencia en ciertos regímenes.

2. Componente a analizar

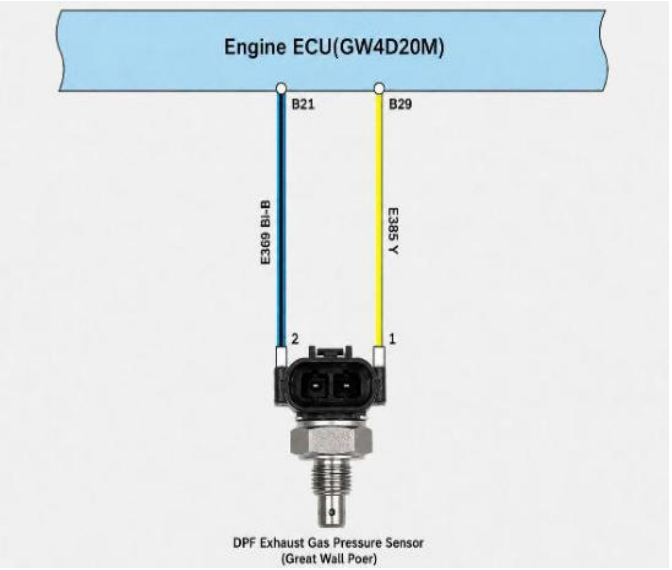
Sensor de presión de gases de escape (EGP), usado por la ECU para regular el sistema EGR.

3. Punto exacto de conexión

Conector del sensor EGP (back-probing).

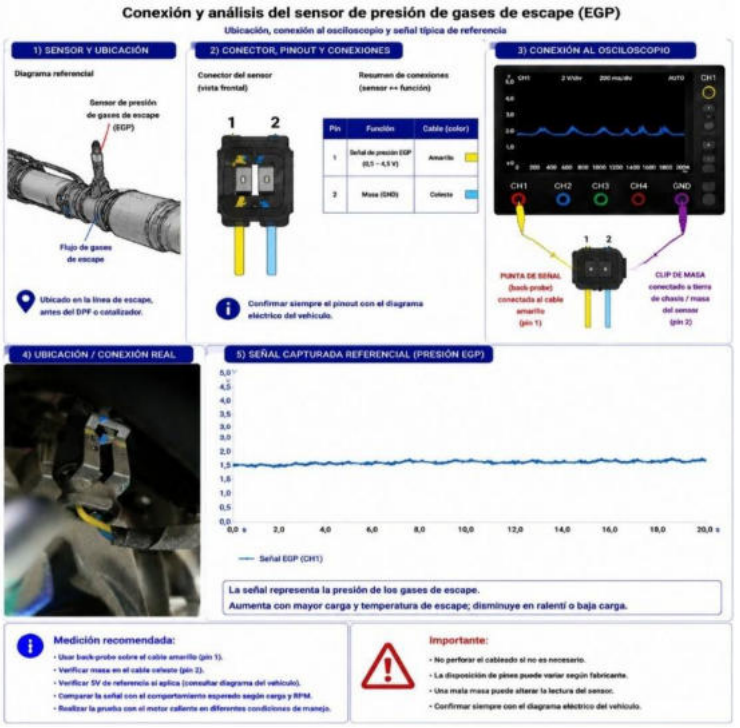
4. Infografía o esquema de conexión

Figura 6.1323. Conexión del sensor EGP a la ECU



Fuente: Elaboración propia

Figura 6.14. Diagrama de conexión, ubicación y señal de referencia del sensor EGP



Fuente: Elaboración propia

Figura 24. Foto del sensor EGP

Fuente: Elaboración propia

§ Configuración inicial recomendad

Canal A: sonda de voltaje sobre la señal del sensor EGP · Escala: 1 V/div (salida acondicionada, habitualmente 0-5 V) · Base de tiempo: lenta · Trigger: automático.

5. 6-12. Procedimiento, oscilograma, interpretación, causas

El fundamento está en la Sección 6.1: el EGP es un indicador indirecto, no una medición directa del caudal de EGR. Durante una aceleración, la señal debe subir en coherencia con el aumento del flujo y la presión de los gases de escape. Si el EGP no cambia con la posición de la válvula EGR —compáralo contra el MAF, que debería caer cuando el EGR abre— sospecha de un sensor EGP defectuoso o de un conducto de escape obstruido o roto en el punto de toma. Y si el sensor usa manguera o conducto de presión, una respuesta rara no siempre es el sensor: revisa antes carbonilla, condensación, obstrucción del tubo, fugas o conexiones deterioradas antes de cambiarlo.

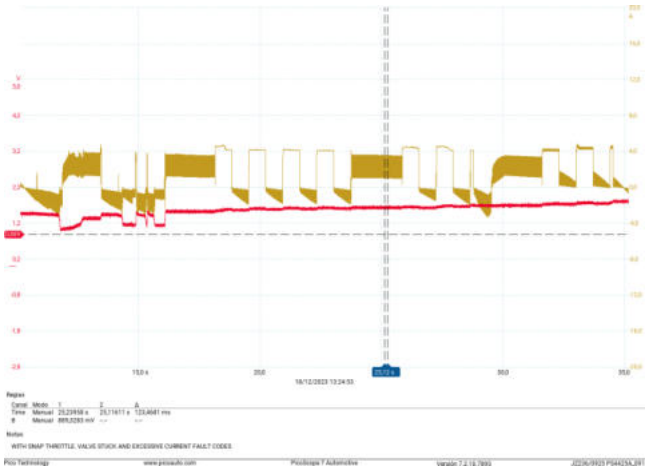
6.5.1 Prueba complementaria: electroválvula de control del EGR

Conectar el Canal A directamente al circuito de control (masa conmutada) de la electroválvula EGR, arrancar el motor en ralentí y variar las RPM observando los cambios en la forma de onda [12]. Códigos DTC habituales: P0400-P0408, P1403-P1409 [12].

Caso real compartido: válvula EGR atascada

Fuso Canter 2018, motor 4P10 3.0 L diésel. Prueba KOER con acelerador en golpe (*snap throttle*): posición y corriente de la EGR, ambas marcadas como anómalas. Nota del caso: válvula atascada, con códigos por corriente excesiva.

Figura 6.15. Caso real: Fuso Canter 2018, 4P10 3.0 L, prueba de acelerador en golpe. La señal de posición de la EGR no responde con la forma esperada mientras la corriente del actuador es excesiva — el actuador intenta mover la válvula, pero esta no sigue el comando. Captura compartida, PicoScope 4425A



Fuente: Elaboración propia

Este es, prácticamente de manual, el patrón de una EGR con bloqueo mecánico: el actuador tira de más corriente tratando de vencer una resistencia que no debería existir, y la posición real no responde en proporción. La electrónica de control funciona bien; el problema está en la válvula misma —carbonilla, atascamiento—, como se detalla en la decisión box siguiente.

§ Decisión diagnóstica

Si la señal de control PWM está presente y cambia con las RPM/carga, pero el MAF no responde (no cae al abrir el EGR), sospechar de la válvula-la mecánicamente atascada o del conducto de EGR obstruido antes que de la electrónica de control. Si la señal de control está ausente, sospechar de cableado o del driver de la ECU.

6.6 Prueba: actuador de geometría variable de tur-bo (VGT/VNT)

1. Problema o síntoma

Pérdida de potencia (sobre todo a bajas RPM), turbo que "no entra o entra tarde, código de posición o rendimiento del VGT.

2. Componente a analizar

Actuador de geometría variable del turbocompresor (VGT/VNT), sea electroneumático (electroválvula PWM + actuador de vacío) o eléctrico (motor integrado con sensor de posición).

3. Punto exacto de conexión

Según el tipo de sistema: en electroneumático, el conector de la electroválvula de control PWM; en eléctrico, el conector del actuador (alimentación, masa, señal de posición y, si aplica, comunicación con la ECU).

Antes de conectar el osciloscopio conviene saber con qué tipo de sistema se está trabajando: la señal a medir y su configuración cambian por completo de uno a otro.

6.6.1 VGT/VNT con electroválvula de control PWM

En muchos sistemas diésel la ECU no maneja directamente la posición de los álabes. Regula, en cambio, una electroválvula de vacío o presión mediante señal PWM, y es esa válvula la que ajusta la presión que llega al actuador neumático del turbo. Lo que se ve en el osciloscopio, entonces, es el comando de la electroválvula — no el movimiento del turbo en sí.

§ Configuración inicial recomendada

Escala vertical: **0-20 V** para sistemas eléctricos de 12 V (ampliar a 0-50 V si aparecen picos inductivos fuera de rango) · Base de tiempo: **2-10 ms/div** · Acoplamiento: DC · Tipo de señal: PWM · Trigger: flanco de activación. Ajuste práctico inicial: **20 V y 5 ms/div**.

La ECU controla básicamente el duty cycle de esta señal para posicionar los álabes. Durante un cambio de carga, el ancho de los pulsos debería modificarse de forma progresiva. Cuidado con el valor absoluto del duty cycle: no sirve como referencia universal, porque según el diseño del sistema un duty cycle mayor puede significar más vacío sobre el actuador, o justo el efecto contrario en otras estrategias. Lo primero que hay que verificar es más sim-ple: que existe señal PWM, que la amplitud es correcta, que la frecuencia se mantiene estable, y que el duty cycle cambia cuando la ECU pide modificar la sobrealimentación.

6.6.2 VGT/VNT con actuador electrónico

Los turbos más modernos pueden traer un actuador eléctrico acoplado directamente al mecanismo de geometría variable: motor eléctrico,

engranajes reductores, sensor interno de posición y electrónica de control, con su propia comunicación hacia la ECU. Ese motor puede controlarse por PWM, puente H o electrónica integrada. No des por hecho que todo actuador electrónico expone una señal convencional de 0-12 V accesible en el conector — algunos hablan por comunicación digital y ahí hace falta el procedimiento específico del fabricante.

Cuando sí hay una salida analógica de posición, suele trabajar con una referencia cercana a 5 V:

§ Configuración inicial recomendada

Señal de posición: **0-5 V** · Base de tiempo: **100-500 ms/div** para visualizar el desplazamiento completo durante una prueba activa (ampliable a 500 ms-2 s/div para correlacionar con MAP/EGP).

Durante una prueba activa por escáner, la señal de posición debe moverse de forma continua, progresiva y repetible, sin saltos ni zonas muertas. Una interrupción o un cambio brusco sugiere desgaste del sensor, un problema eléctrico, o alguna irregularidad mecánica en el mecanismo.

4. 4-5. Prueba dinámica y correlación con MAP/EGP

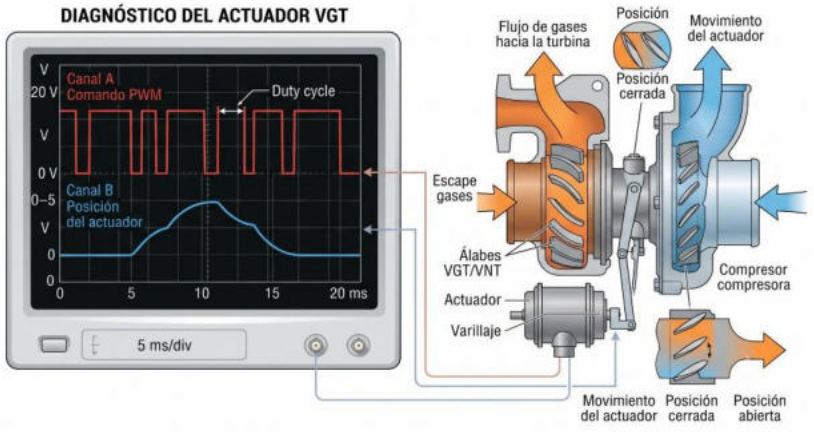
La estrategia más útil combina una prueba activa del actuador por escáner con la observación simultánea, en el osciloscopio, de comando PWM, posición solicitada del VGT, posición real del VGT, presión MAP y, si está disponible, presión EGP. El actuador debe moverse progresivamente entre las posiciones solicitadas, y volver de forma reproducible.

Una evaluación avanzada correlaciona tres variables:

Comando VGT → presión de escape (EGP) → presión de admisión (MAP)

Al mover los álabes cambia la energía disponible sobre la turbina, y eso afecta tanto a la contrapresión de escape como a la presión de sobrealimentación. A bajo régimen, por ejemplo, reducir el área efectiva de paso puede acelerar la turbina y mejorar la respuesta del turbo. Si el MAP no responde pese a cambios claros en el comando VGT, hay varias sospechas posibles: geometría variable atascada, fuga de vacío, actuador defectuoso, fuga de sobrealimentación, turbocompresor deteriorado, o un problema de con-trol electrónico.

Figura 6.1625. Diagnóstico del actuador de geometría variable VGT/VNT: señal PWM de control (0-20 V, 5 ms/div) y señal de posición del actuador (0-5 V), correlacionadas con MAP y EGP



Fuente: Elaboración propia

5. 6-11. Procedimiento, interpretación

La secuencia práctica de diagnóstico es esta: (1) comprobar alimentación y masas; (2) verificar que exista el comando PWM; (3)

observar cómo varía el duty cycle; (4) ejecutar una prueba activa con escáner; (5) comparar posición solicitada y real; (6) verificar al mismo tiempo la respuesta del MAP y el EGP; (7) si el comando es correcto, pero no hay respuesta, inspeccionar mecánicamente el actuador y la geometría variable. Así se distingue una falla de control eléctrico de una anomalía mecánica del turbocompresor.

Cuando el sistema tiene realimentación de posición, compara la posición VGT solicitada por la ECU contra la posición VGT real: ambos valores deberían seguir una tendencia parecida. Una diferencia que se mantiene en el tiempo suele decir más que analizar solo el porcentaje de duty cycle — puede ser un actuador que no llega a la posición pedida, un mecanismo bloqueado, un sensor de posición fallando, pérdida de vacío o un problema eléctrico.

Tabla 6.17. Configuración de prueba para VGT/VNT y electroválvula PWM

Señal analizada	Escala vertical	Base de tiempo inicial
Electroválvula a 12 V	PWM: 0–20 V	2–10 ms/div
PWM con picos inductivos	0–50 V	2–10 ms/div
Sensor analógico de posición	0–5 V	100–500 ms/div
Movimiento completo del actuador	0–5 V	500 ms–2 s/div
Correlación con MAP/EGP	Según sensor	500 ms–2 s/div

Fuente: Elaboración propia

6. 12. Posibles causas

Ausencia del comando PWM, tensión de alimentación insuficiente, duty cy-cle fijo (no varía con la carga), señal intermitente, sensor de posición con zonas muertas, falta de correspondencia entre posición solicitada y

real, movimiento irregular del actuador. Que la señal eléctrica sea correcta no garantiza nada sobre el lado mecánico: es habitual encontrar carbonilla acumula-da, corrosión, deformación del mecanismo, desgaste del actuador, varillaje bloqueado o exceso de fricción — y todo eso puede convivir perfectamente con un comando eléctrico que se ve impecable.

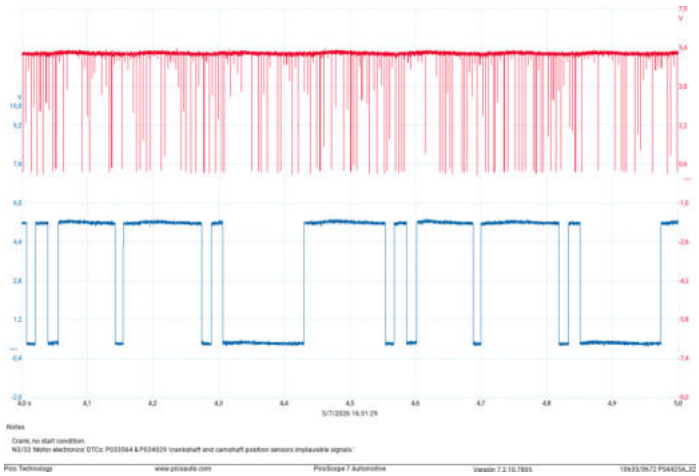
§ Decisión diagnóstica

Si el comando PWM está presente, con amplitud y frecuencia correctas, pero el MAP no responde a los cambios de posición solicitados, sospecha primero de algo **mecánico** (geometría atascada por carbonilla, varillaje agarrotado) o de una **fuga** en el circuito de vacío/sobrealimentación, antes que de la electrónica de control. La mayoría de los sistemas VGT/VNT, por diseño, caen a una posición de seguridad (*fail-safe*) cuan-do el control falla [19] — en muchos casos esa posición es completamente abierta, con pérdida de potencia a bajas RPM pero sin daño al motor ni al turbo. La posición exacta de seguridad, no obstante, depende del mecanismo de retorno (resorte, geometría de los álabes) de cada fabricante: no asumas que todo VGT/VNT falla siempre hacia el mismo lado.

Caso real compartido: sobrepresión de turbo sin control

Nissan Navara D40 2007, motor YD25DDTi 2.5 L, Common Rail Denso. Prueba en carretera bajo carga: control de wastegate/VGT correcto, sensor de boost marcado como anómalo, con códigos **P0234** y **P0238** (sobrepresión de sobrealimentación). Nota del caso: el vacío aplicado al actuador se redujo hasta el mínimo y la presión de todas formas se mantuvo elevada — la causa resultó ser un turbocompresor recién sustituido, defectuoso.

Figura 6.18. Caso real: Nissan Navara D40 2007, YD25DDTi 2.5 L. Prueba en carretera bajo carga: el control del actuador responde (reduce el vacío al mínimo) pero la presión de sobrealimentación no cae en proporción, evidenciando sobrepresión no controlable desde el lado eléctrico. Captura compartida, PicoScope 4425A



Fuente: Elaboración propia

Este caso recuerda algo ya mencionado en la Sección 6.1: una señal de con-trol correcta no garantiza que el turbocompresor esté mecánicamente sano. Aquí el actuador respondía tal como se esperaba —reduciendo el vacío al mínimo para intentar abrir la geometría y bajar

la presión—, pero el turbo, recién reemplazado, simplemente no obedecía esa orden. Ante una sobre presión que no responde al comando del actuador, el turbocompresor mismo tiene que entrar en la lista de sospechosos, no solo su actuador o su electrónica de control. Incluso si es pieza nueva.

6.7 Correlaciones útiles de dos canales

MAF + EGR: relación inversa. Al abrir el EGR, cae la masa de aire fresco que mide el MAF, a igualdad de RPM y carga (Sección 6.1) — útil para confirmar que una válvula EGR realmente abre, sin depender solo del sensor EGP. MAP + VGT: la presión de sobrealimentación (MAP) debe responder, con un retardo característico, a los cambios de posición del VGT. Si el VGT recibe la orden de cerrar y la presión no sube, sospecha de una fuga en el circuito de sobrealimentación o de un VGT mecánicamente agarrotado.

6.7.1 Interpretación conjunta MAF-MAP-EGP durante una aceleración

Para un diagnóstico más fino conviene correlacionar los cuatro sensores de este capítulo durante una misma aceleración, en vez de mirarlos uno por uno. Al subir la carga del motor, la secuencia esperada es:

Aumento del MAF → aumento del MAP → aumento de la presión EGP

El IAT, en cambio, se mueve mucho más despacio que las otras tres señales—depende de temperatura, no de presión ni caudal. Esta correlación saca a la luz problemas que pasarían desapercibidos analizando cada sensor por separado: restricciones en la admisión, fugas

de sobrealimentación, un turbo compresor que no funciona bien, problemas de EGR, restricciones en el DPF o el escape, o simplemente un error de medición en alguno de los sensores. Si una señal no sigue la secuencia esperada mientras las otras tres sí lo hacen, el sensor discordante es el primer sospechoso.

CAPÍTULO VII

7 DIAGNÓSTICO POR SÍNTOMAS Y CASOS REALES

Cada caso de este capítulo combina pruebas de los capítulos 3 a 6 en una secuencia de diagnóstico real: síntoma, conexión, configuración, captura, interpretación y, al final, diagnóstico. No es un método inventado para este libro— combinar escáner/UDS con osciloscopio para llegar a una causa raíz con-firmada, y no quedarse solo en un código, es justamente lo que proponen los desarrollos recientes de herramientas de diagnóstico off-board para motores diésel [52].

7.1 Prueba: sistema de precalentamiento (bujías incandescentes)

No forma parte del sistema de inyección en sentido estricto, pero el precalentamiento es lo primero que se sospecha en un CRDi que no arranca o arranca con dificultad en frío. Por eso se documenta aquí, como base del caso siguiente.

1. Problema o síntoma

No arranca en frío, arranque prolongado, marcha irregular en frío, testigo de precalentamiento encendido.

2. Componente a analizar

Circuito de alimentación de las bujías incandescentes (relé o módulo de con-trol dedicado).

3. Punto exacto de conexión

Circuito de alimentación de las bujías (pinza amperimétrica de alta corriente alrededor del cable de alimentación común).

§ Configuración inicial recomendad

Canal A: pinza amperimétrica de alta corriente, puesta a cero antes de conectar [12] · Trigger/procedimiento: encender el contacto, esperar a que se apague el testigo de precalentamiento, arrancar el motor y dejarlo en ralentí — algunas bujías permanecen activas un tiempo después del arranque, según el sistema [12].

4. Interpretación

El diésel se autoinflama cuando la carga del cilindro llega a ~850 °C en la compresión. En frío, esa temperatura a veces no se alcanza sin ayuda de las bujías, que trabajan entre 850 y 1100 °C [12]. La corriente esperada sale de dividir la potencia total de las bujías entre la tensión de alimentación. Un ejemplo ayuda a verlo: motor de 4 cilindros a 12 V con bujías de 150 W cada una da 600 W de potencia total, y por tanto una corriente en régimen estable de ~50 A (600 W / 12 V) [12]. Muchos sistemas modulan esta alimentación por PWM precisamente para controlar la temperatura — el sobrecalentamiento es la causa principal de falla de bujía [12].

5. Posibles causas

Cortocircuito/circuito abierto o alta resistencia en el circuito, fallo de con-trol (ECU, módulo de precalentamiento o relé), 12 V aplicados directamente a una bujía fuera del control de la ECU (prueba incorrecta), sobrecalentamiento por acumulación de carbón, patrón de pulverización incorrecto del inyector (enfriamiento excesivo), sincronización/entrega de combustible incorrecta [12].

§ Decisión diagnóstica

Una falla del sistema de precalentamiento también impide la regeneración del DPF (que requiere temperaturas de escape muy altas), llevando a acumulación excesiva de partículas y eventual obstrucción del filtro [12]. Códigos DTC habituales: P0380-P0384, P0670-P0684 [12].

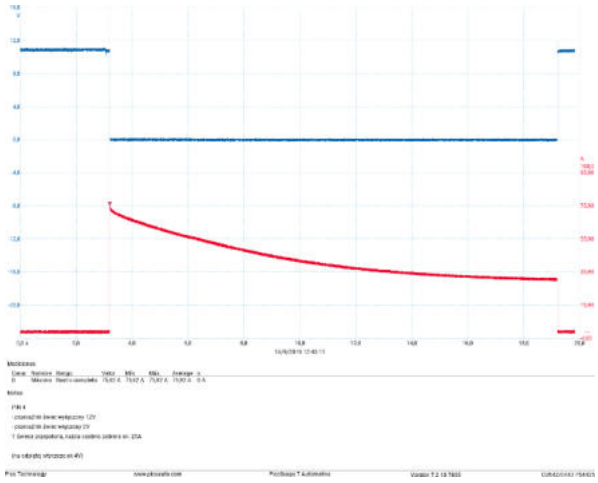
§ Consejo práctico

Nunca aplicar 12 V directamente a una bujía para "probarla" fuera del control de la ECU — es una causa de falla documentada, no solo un método de prueba inválido [12].

Caso real compartido: una bujía incandescente abierta

Fiat Grande Punto 2006, 1.9 L diésel Common Rail Bosch. Prueba del sistema de precalentamiento: tensión del relé correcta, corriente total de las bujías marcada como anómala. Nota del caso: una bujía quemada/en circuito abierto; cada bujía consume aproximadamente 25 A.

Figura 7.126. Caso real: Fiat Grande Punto 2006, 1.9 L CRDi. Canal de tensión (relé, azul): conmuta correctamente entre 12 V y 0 V. Canal de corriente (rojo): sube a un pico y decae de forma exponencial hasta~76 A de máximo registrado para el conjunto de bujías — con una bujía abierta, la corriente total es menor a la esperada para las cuatro. Captura compartida, PicoScope 4425ª



Fuente: Elaboración propia

Este caso ilustra bien la lógica de la prueba. El relé conmuta correctamente—tensión sana—, así que el problema no está en el control, sino en la carga misma: con una bujía en circuito abierto, la corriente total medida en el circuito común queda por debajo de lo esperado para el conjunto completo, aunque cada bujía individualmente sana consuma alrededor de 25 A. Medir la corriente *total* del circuito común, y compararla contra el número de bu-jías y su consumo individual esperado, basta para detectar una bujía abierta sin tener que acceder a cada una por separado.

Un síntoma reportado por el cliente casi nunca tiene una sola causa posible. Por eso los casos de este capítulo siguen una secuencia de

descarte recomen-dada, de lo más rápido de verificar a lo más profundo, apoyada en las pruebas ya desarrolladas en los Capítulos 3 a 6. Cada caso marca explícitamente su nivel de evidencia. Algunos citan casos reales, documentados y publicados por Pico Technology, como motivación o como soporte parcial de un paso concreto de la secuencia. Otros son completamente ilustrativos, construidos para enseñar el método con datos hipotéticos razonables. Esa distinción va marcada al inicio de cada caso y conviene tenerla presente al usarlos como referencia.

7.2 Caso 1: motor CRDi que gira, pero no arranca

Nivel de evidencia de este caso

Caso **mixto**: la motivación y el criterio de presión mínima de arranque citados abajo provienen de un caso real y verificable, publicado por Pico Technology [53]. La narrativa paso a paso (valores del CKP, CMP, tabla de retorno de inyectores) es **ilustrativa**, construida para enseñar la secuencia de diagnóstico completa — no son datos capturados de ese vehículo específico.

En un sistema Common Rail, la ECU no autoriza la inyección, así como así: necesita una señal válida de giro y sincronización, presión de riel suficiente, y la activación eléctrica correcta de los inyectores. Pico Technology documentó un caso real que sirve de referencia — una Dodge 2500 diésel Common Rail con condición *crank-no-start* y código **P0087** (presión de riel demasiado baja). Durante el arranque se registraban apenas **75 bar**, cuando ese sistema necesitaba entre **275 y 300 bar** para autorizar la inyección [53]. La idea central que deja este caso, y que recorre todo el capítulo, es simple: que haya combustible en

el sistema no significa que haya presión suficiente. La presión mínima de arranque siempre hay que verificarla contra la especificación del fabricante del sistema concreto, nunca contra un valor único memorizado.

1. Problema o síntoma

El motor gira normalmente con el motor de arranque, pero no enciende. Batería y velocidad de giro aparentemente correctas. DTC relacionado con presión de combustible insuficiente en el riel.

2. 2-5. Secuencia de comprobación

- Velocidad de arranque: verificar tensión de batería durante el arranque y rpm indicados por el escáner. Si el escáner muestra 0 rpm mientras el motor gira, sospechar de inmediato del CKP, su rueda fónica o su circuito.
- Señal CKP (Sección 3.2): ±10 V, 50-100 ms/div, motor en arranque. Buscar señal repetitiva, amplitud suficiente, dientes bien definidos y ausencia de interrupciones.
- Sincronización CKP-CMP (Sección 3.4): Canal A CKP (±10 V), Canal B CMP Hall (0-5 V), 100-200 ms/div. Si CKP y CMP existen, pero su correlación es incorrecta, sospechar de distribución fuera de punto, cadena elongada, salto de dientes o rueda fónica desplazada.
- Presión del riel durante el arranque (Sección 4.2): comparar por escáner presión solicitada vs. real; en el sensor, 0-5 V y 500 ms-2 s/div. La señal debe subir rápidamente en cuanto el motor empieza a girar.

3. 6-9. Resultado y localización de la falla

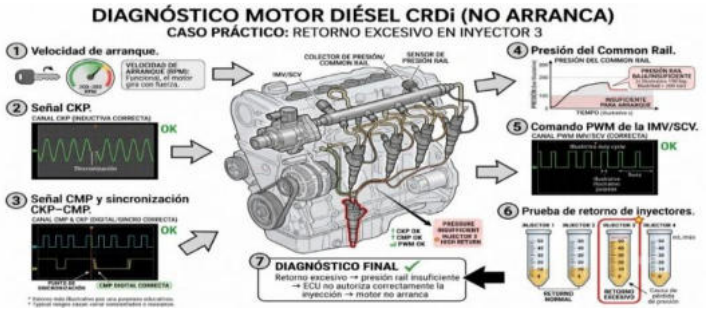
En este caso ilustrativo, CKP, CMP, sincronización y velocidad de arranque salen todos correctos — pero la presión de riel real queda muy por debajo de la solicitada. El diagnóstico se concentra entonces en el circuito hidráulico: se revisa la IMV/SCV (Sección 4.3: 0-20 V, 1-5 ms/div, comprobando que exista PWM y que el duty cycle cambie con la demanda de presión — ojo con las versiones normalmente abiertas y normalmente cerradas, que se comportan al revés ante una desconexión) y, si el comando llega bien, se compara el retorno de cada inyector:

Tabla 7.1. Retorno relativo de combustible por inyector

Inyector	Retorno relativo
Cilindro 1	Normal
Cilindro 2	Normal
Cilindro 3	**Excesivamente alto**
Cilindro 4	Normal

Fuente: Elaboración propia

Figura 7.2. Secuencia de diagnóstico de un motor CRDi que gira, pero no arranca: CKP, CMP, presión de riel, IMV/SCV y retorno de inyectores



Fuente: Elaboración propia

4. 10-12. Interpretación y causas

La secuencia causal queda así: bomba de alta genera combustible presuriza-do → fuga excesiva por el inyector 3 → el riel no alcanza la presión mínima→ la ECU no autoriza adecuadamente la inyección → el motor gira, pero no arranca. Corregido el inyector, la presión de riel durante el arranque debería llegar al rango especificado.

§ Decisión diagnóstica

Ante un CRDi que gira, pero no arranca, no empieces sustituyendo inyectores, bomba de alta o sensores. La secuencia correcta es: RPM → CKP

→ CMP → sincronización → presión de riel → IMV/SCV → retorno

de inyectores → comando eléctrico de inyección → condición mecánica.

El osciloscopio sirve precisamente para eso: determinar qué condición previa al arranque no se está cumpliendo, y así reducir el riesgo de cambiar piezas sin justificación diagnóstica

7.3 Caso 2: arranque prolongado o difícil

Nivel de evidencia de este caso

Caso **totalmente ilustrativo**: no se apoya en un caso real citado. Se construye con datos hipotéticos razonables para enseñar el método de diagnóstico de un arranque lento, que es distinto en enfoque al caso anterior (ausencia total de arranque).

A diferencia del Caso 1, aquí el motor sí llega a encender, pero tarda demasiado o necesita varios intentos. Alguna de las condiciones para la combustión se cumple, sí, pero tarde o de forma marginal. El objetivo es identificar qué variable tarda demasiado en alcanzar el umbral que autoriza una combustión estable. La pregunta ya no es "¿el sistema funciona?", sino "¿cuánto tarda cada sistema en cumplir su condición?".

1. Problema o síntoma

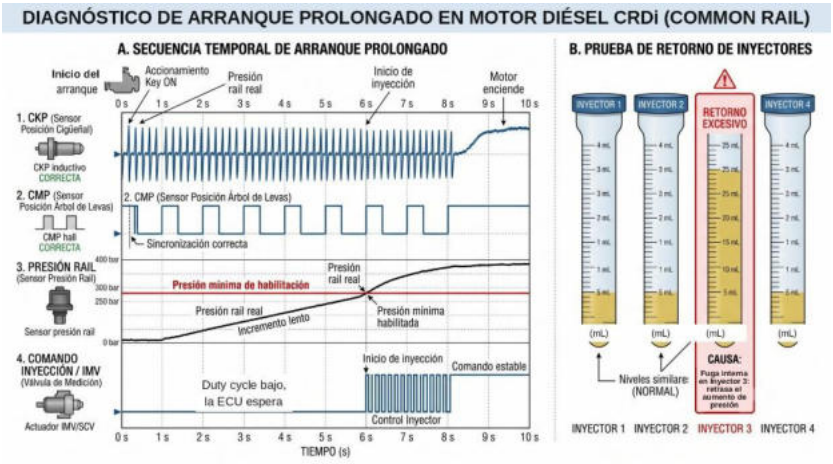
El motor necesita varios segundos de motor de arranque, el problema es más evidente en frío o en caliente, arranca al segundo o tercer intento, posible humo blanco/gris inicial.

2. 2-9. Secuencia de comprobación

1. **Cuantificar el evento:** registrar con osciloscopio y escáner desde 0 s hasta el encendido — tiempo de arranque, rpm, tensión de batería, presión de riel y momento en que aparece el comando de inyección.
2. **Velocidad de giro:** tensión de batería y caída en positivo/masa durante el arranque; una caída excesiva retrasa tanto la presión de riel como la electrónica del motor.
3. **CKP/CMP** desde las primeras revoluciones (±10 V / 50-100 ms/div y 0-5 V / 100-200 ms/div respectivamente): una señal intermitente puede hacer que el motor necesite varias vueltas antes de que la ECU autorice la inyección.
4. **Velocidad de presurización del riel** (no solo el valor final): 0-5 V, 500 ms-1 s/div, comparando presión solicitada vs. real a lo largo de todo el evento. El criterio clave es el *tiempo* para alcanzar la presión mínima de habilitación, no solo el valor máximo.

5. **IMV/SCV** (0-20 V, 1-5 ms/div): PWM presente desde el inicio, duty cycle variando de forma coherente con la presión solicitada.
6. **Retorno de inyectores:** un retorno claramente superior en un cilindro desvía caudal de la bomba hacia el depósito en lugar de elevar la presión del riel.
7. **Alimentación de baja presión:** filtro, tuberías, conexiones, entrada de aire — un síntoma característico de aire en el circuito es arranque difícil tras varias horas parado, con funcionamiento normal una vez encendido (el sistema debe purgar aire antes de alcanzar la presión requerida).
8. **Temperatura y precalentamiento:** ECT/IAT plausibles, bujías de precalentamiento operando correctamente (Sección 7.1).
9. **Compresión**, si todo lo anterior es correcto.

Figura 7.3. Diagnóstico secuencial de un motor CRDi con arranque prolongado: CKP y CMP correctos desde el inicio, presión del riel aumentando lentamente hasta el umbral de habilitación



Fuente: Elaboración propia

3. 10-12. Caso ilustrativo y causas

Imaginemos un motor CRDi de cuatro cilindros con tiempo de arranque de 4.5 s. CKP, CMP y sincronización correctos, rpm de arranque estable, presión solicitada subiendo rápido — pero la presión real tarda ~3.5 s en alcanzar el nivel de habilitación, y el inyector 2 muestra un retorno claramente superior al resto. La secuencia causal: retorno excesivo del inyector 2 → crecimiento lento de la presión de riel → retraso en la habilitación de inyección → arranque prolongado.

§ Decisión diagnóstica

El momento en que aparece la falla orienta el diagnóstico: difícil en frío

→ precalentamiento, compresión, ECT, combustible; difícil en caliente

→ fugas internas, inyectores, bomba, CKP sensible a temperatura; difícil tras varias horas parado → entrada de aire, pérdida de cebado; difícil siempre → presión de riel, batería, sincronización, compresión.

7.4 Caso 3: pérdida de potencia

Nivel de evidencia de este caso

Caso **mixto**: se apoya en tres casos reales de Pico Technology citados como soporte de pasos concretos de la secuencia — un Fiat Ducato 2.3 Euro 6 con *underboost* intermitente causado, finalmente, por una alimentación eléctrica defectuosa de la ECU [54]; un caso en el que la presión de riel permaneció correctamente controlada, lo que permitió descartar el combustible y dirigir el diagnóstico al sistema de aire; y un caso con un orificio en la tubería entre turbo e intercooler. La narrativa detallada paso a paso es **ilustrativa**.

La pérdida de potencia puede nacer en el combustible, el aire, el turbo, la EGR, el escape, o incluso en una estrategia de protección de la ECU. Por eso no conviene empezar sustituyendo componentes: primero hay que determinar si el problema es principalmente de **aire**, **combustible** o **sobrealimentación**. Del lado del combustible vale la pena recordar algo: hasta un inyector eléctricamente sano puede perder capacidad de flujo por depósitos internos, y eso ya causa pérdida de potencia bajo carga plena [55]. Un caso real de Pico lo ilustra sin vueltas — un Fiat Ducato con *underboost* inter-mitente pasó por sustitución de turbo, MAF, inyectores, EGR, intercooler y ECU, uno tras otro, antes de que apareciera la causa real: una alimentación eléctrica defectuosa de la propia ECU que le impedía controlar bien la válvula del turbo [54].

1. 1-2. Síntoma y datos en vivo

Arranque y ralentí normales, pérdida evidente de potencia al acelerar bajo carga, dificultad para subir de rpm en carretera, posible humo negro. Una prueba de rendimiento del motor que combine velocidad de

cigüeñal, identificación de cilindro y presión de riel en una sola captura da una visión conjunta del problema antes de aislar la variable específica [56]. Y hay que probar **bajo carga**: acelerar en vacío puede no reproducir la falla. Registra por escáner rpm, posición de acelerador, MAF/MAP reales, boost solicita-do/real, presión de riel solicitada/real, posición VGT solicitada/real, EGR solicitada/real y EGP.

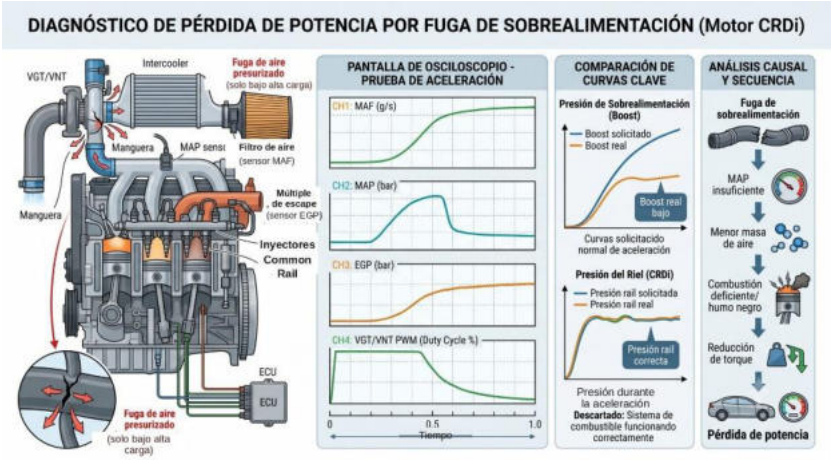
2. 3-8. Secuencia de comprobación

- **Presión de riel** (0-5 V, 500 ms-2 s/div): si sigue correctamente a la solicitada, el sistema de alta presión pierde prioridad diagnóstica — como ocurrió en un caso real de Pico donde esto permitió descartar el combustible y enfocar el diagnóstico en el aire.
- **MAF** (0-5 V, 200-500 ms/div): debe subir rápido y progresivo con la carga. Una lectura baja no implica sensor defectuoso: también puede deberse a filtro restringido, fuga de admisión, turbo con baja entrega, EGR mal abierta o fuga entre turbo e intercooler.
- **MAP y boost** (0-5 V, 200 ms-2 s/div): comparar boost solicitado vs. real — si la ECU pide más presión y la real no sube, investigar la sobrealimentación.
- **Actuador VGT/VNT** (Sección 6.6): PWM presente, duty cycle variando, posición solicitada vs. real si hay realimentación.
- **Correlación VGT-MAP:** si el comando VGT cambia claramente pero el MAP apenas sube, sospechar de álabes atascados, actuador defectuoso, pérdida de vacío o turbo deteriorado.
- **Fugas de sobrealimentación** (turbo → tubería → intercooler → tubería → colector): un caso real de Pico encontró exactamente

esto — un orificio en la tubería de sobrealimentación que impedía mantener la presión del colector; tras repararla, la presión y el comportamiento del motor se normalizaron.

- **EGR** (comparar solicitada vs. real): una EGR excesivamente abierta bajo demanda de potencia reduce el oxígeno disponible.
- **EGP** (0-5 V, 500 ms-2 s/div): una EGP alta junto con MAP bajo sugiere restricción del escape (DPF, catalizador) en vez de fuga de sobrealimentación.

Figura 7.427. Diagnóstico multivariable de pérdida de potencia: la presión de riel sigue la demanda de la ECU mientras el MAP permanece por debajo de lo solicitado pese al comando del VGT, apuntando a una fuga de sobrealimentación



Fuente: Elaboración propia

3. 9-12. Resultado y causas

En el caso ilustrativo desarrollado aquí, el riel está correcto, el MAF queda por debajo de lo esperado bajo carga, el boost real es claramente inferior al solicitado, el VGT responde, el EGP sube, y aparece humo

negro en aceleración. Al inspeccionar el circuito de sobrealimentación aparece una fisura entre turbo e intercooler. Con baja carga la fuga es pequeña y el motor parece normal; al subir la presión, la fisura se abre, el aire escapa, el MAP real se queda por debajo del solicitado, baja el aire disponible, sube el humo y cae el torque.

§ Decisión diagnóstica

En pérdida de potencia, usa el osciloscopio para analizar relaciones causa-efecto, no señales aisladas: demanda de carga → VGT → MAP

→ MAF → combustible → torque, y también carga → EGP → turbo → MAP. Un valor aislado de MAF, MAP o presión de riel aporta poco por sí solo; lo que importa es determinar cuál variable deja de responder correctamente cuando aparece la falla. Y la reparación no se confirma solo porque desaparezca el DTC — hay que verificar que la variable física antes incorrecta recupere su comportamiento esperado.

7.5 Caso 4: humo negro excesivo

Nivel de evidencia de este caso

El más cercano a un caso real completamente documentado en esta sección: motor Isuzu 4HK Common Rail instalado en una excavadora JCB, con humo negro y pérdida de potencia bajo carga, publicado por Pico Technology como çaso real aplicado"[57], incluyendo los valores numéricos citados abajo (rpm y tensión MAP antes/después de la corrección). El resto de la secuencia de comprobación (MAF, VGT, balance de inyectores) es **ilustrativa**, para mostrar cómo se llega a ese mismo diagnóstico de forma sistemática en un caso genérico.

El humo negro delata una relación mal ajustada entre combustible y oxígeno durante la combustión. Puede venir de exceso de combustible o de falta de aire, así que el diagnóstico tiene que mirar inyección, admisión, EGR y sobrealimentación juntos [58]. Un caso real documentado por Pico Technology en un motor Isuzu 4HK (excavadora JCB) presentó exactamente este cuadro; el diagnóstico final apuntó a una válvula EGR completamente atascada en posición abierta [57].

1. 1-2. Síntoma y primera clasificación

Arranque normal, ralentí relativamente estable, humo negro visible al acelerar, pérdida de potencia bajo carga. Clasificar cuándo aparece el humo orienta el diagnóstico inicial: solo al acelerar → turbo, MAF/MAP, EGR; permanente → EGR, inyectores, restricción de aire; con presión de riel elevada → sistema de combustible.

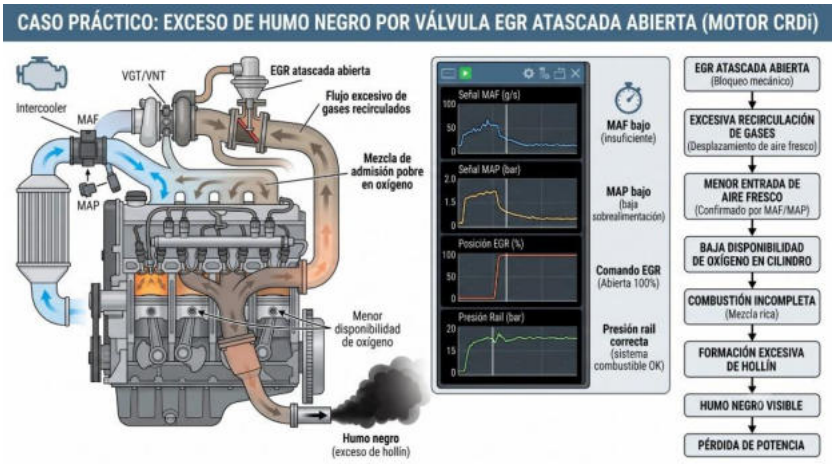
2. 3-6. Secuencia de comprobación

- **Presión de riel** (0-5 V, 500 ms-2 s/div): si sigue correctamente a la so-licitada durante la aparición del humo, disminuye la probabilidad de un problema global de presión — aunque no descarta un inyector individual con exceso de caudal (ver balance de inyectores, Sección 5.5).
- **MAF** (0-5 V, 200-500 ms/div): una lectura baja no debe llevar a sustituir el sensor de inmediato — verificar primero si representa realmente menos masa de aire (filtro, EGR abierta, fuga de admisión, turbo con baja entrega).
- **MAP y boost** (0-5 V, 200 ms-2 s/div): MAF bajo + MAP bajo + combustible aparentemente correcto apunta al sistema de aire.
- **Válvula EGR:** durante alta demanda de torque, la ECU normalmente cierra la EGR para maximizar el aire fresco. Si permanece abierta, la secuencia es: EGR excesivamente abierta → menos aire fresco → menos oxígeno → combustión incompleta → hollín → humo negro.

Caso real documentado: EGR atascada abierta (Isuzu 4HK, fuente : Pico Technology)

Se monitorizaron simultáneamente: señal CKP, rpm calculados, señal MAP, presión física del colector (con transductor de referencia independiente) y corriente del inyector del cilindro 1. A ~1900 rpm se midió una presión de sobrealimentación baja y una señal MAP de aproximadamente 1.332 V. Al desmontar la válvula EGR se comprobó que permanecía completamente abierta. Tras eliminar temporalmente su efecto y repetir la prueba, la señal MAP subió hasta aproximadamente 2.5 V, el motor dejó de detenerse bajo carga y el humo negro desapareció [57].

Figura 7.528. Diagnóstico de humo negro por válvula EGR atascada abierta: la disminución del MAF y del MAP, junto con una presión de combustible normal, orienta el diagnóstico hacia una deficiencia de aire.



Fuente: Elaboración propia

3. 7-12. Interpretación y causas

Este caso demuestra el valor de comparar la señal eléctrica del sensor con la variable física real —de ahí el transductor de presión independiente que usó Pico— en vez de sustituir componentes solo por el síntoma. Si la EGR resulta correcta pero el MAP sigue bajo, el siguiente paso es el VGT/VNT (Sección 6.6). Si MAF, MAP, EGR y turbo salen todos correctos, hay que investigar exceso de combustible por inyectores (Sección 5.5): una señal eléctrica correcta no garantiza un caudal hidráulico correcto.

§ Decisión diagnóstica

No diagnostiques el humo negro automáticamente como. exceso de combustible": en motores CRDi modernos, el origen suele ser una caída del aire disponible. La correlación fundamental es: combustible suministra-do ↔ MAF ↔ MAP ↔ EGR ↔ VGT/VNT ↔ EGP — hay que identificar cuál de estas variables deja de responder correctamente en el mismo instante en que aparece el humo. Que el humo desaparezca a la vista no basta como confirmación: hay que verificar también los datos objetivos (MAF, MAP, boost real, EGR real).

7.6 Caso 5: marcha irregular / ralentí inestable

Nivel de evidencia de este caso

Caso **totalmente ilustrativo**: todos los valores numéricos de esta sección (correcciones de inyección, caídas de rpm en la prueba de corte, resultado de la prueba de retorno) son **hipotéticos**, construidos para en-señar el método de aislar un cilindro problemático mediante balance de inyectores y análisis de velocidad del cigüeñal.

La marcha irregular o el ralentí inestable pueden nacer de diferencias de combustión entre cilindros, variación de presión en el riel, desequilibrio de inyectores, problemas de EGR, o fallas de sincronización. Lo que interesa es identificar qué cilindro o subsistema genera la irregularidad, y si la causa es eléctrica, hidráulica o mecánica.

1. **1-3. Síntoma y primeras comprobaciones**

Arranque normal, ralentí inestable con vibración perceptible, pequeñas variaciones de rpm, sin pérdida severa de potencia, mejora al subir ligeramente el régimen — un patrón que apunta a contribución desigual entre cilindros. Antes de sospechar de un inyector en particular, confirma que la presión de riel permanece estable (0-5 V, 200-500 ms/div, Sección 4.2). Si oscila al mismo ritmo que los rpm, investiga IMV/SCV, bomba o fugas internas gene-rales; si se mantiene estable mientras el motor vibra, la causa probablemente está a nivel de un cilindro individual.

2. **4-8. Aislamiento del cilindro sospechoso**

- **Balance de inyectores por corrección ECU** — ejemplo

ilustrativo:

Tabla 7.2. Balance de inyectores por corrección ECU (ejemplo ilustrativo)

Cilindro	Corrección ECU (hipotética)
1	+0.3 mg/ciclo
2	-0.2 mg/ciclo
3	**+2.4 mg/ciclo**
4	-0.4 mg/ciclo

Fuente: Elaboración propia

Una corrección elevada, por sí sola, no demuestra que el inyector esté defectuoso: también puede deberse a baja compresión, fuga en válvulas, obstrucción parcial o mala atomización.

- **Corriente del inyector (0-100 V, 1-5 ms/div, Sección 5.3):** si los cuatro cilindros muestran formas de onda eléctricas similares, pero uno tiene corrección elevada, aumenta la sospecha de un problema hidráulico o mecánico, no eléctrico.
- **Velocidad instantánea del cigüeñal por CKP (±10 V, 20-50 ms/div):** durante una combustión efectiva el cilindro correspondiente acelera ligeramente el cigüeñal; un cilindro débil se identifica por una variación repetitiva de velocidad sincronizada con su evento de combustión.
- **Prueba de corte de cilindros** (si el escáner lo permite) — ejemplo ilustrativo:

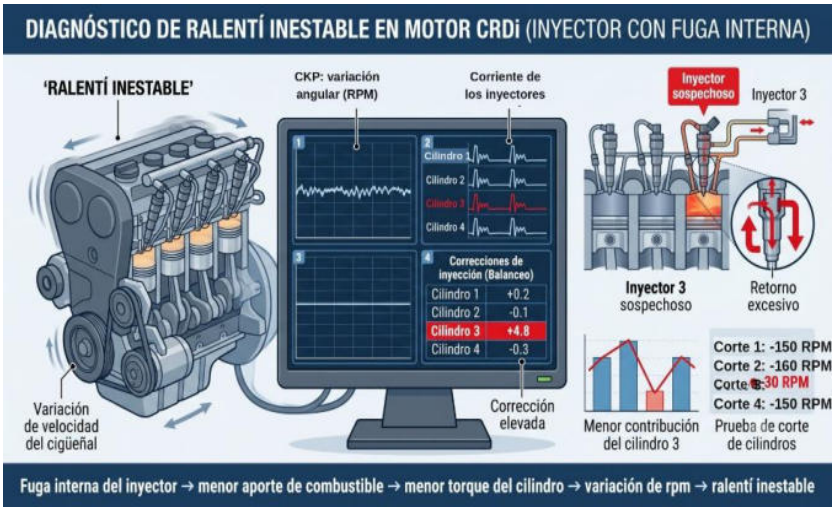
Tabla 7.3. Prueba de corte de cilindros

N.º de cilindro desactivado	Caída de rpm (hipotética)
1	110 rpm
2	105 rpm
3	**35 rpm**
4	108 m

Fuente: Elaboración propia

- **Prueba de retorno del cilindro sospechoso** (resultado hipotético: retorno elevado en el cilindro 3, normal en los demás).

Figura 7.6. Diagnóstico de ralentí inestable por balance de cilindros: la comparación de corriente de inyectores, velocidad instantánea del cigüeñal y correcciones de combustible identifica el cilindro responsable.



3. 9-12. Diagnóstico y confirmación

En el ejemplo desarrollado, el riel está estable, CKP/CMP correctos, EGR coherente, la corrección del cilindro 3 sale elevada, la corriente del

inyector 3 es eléctricamente normal, la prueba de corte muestra menor caída de rpm en el cilindro 3, y el retorno excesivo se confirma en ese mismo inyector. La secuencia causal: fuga interna del inyector → menor combustible efectivo → menor torque instantáneo → variación de velocidad del cigüeñal → ralentí inestable. Tras reparar, hay que confirmar objetivamente: correcciones más equilibradas, menor variación de rpm, señales de corriente similares y prueba de retorno equilibrada. No basta con que "se sienta mejor".

§ Decisión diagnóstica

Secuencia de interpretación: señal eléctrica anormal → problema eléctrico; señal eléctrica normal + retorno anormal → problema hidráulico; señal eléctrica y retorno normales + baja contribución → problema mecánico (compresión). Este enfoque evita sustituir inyectores basándose únicamente en las correcciones mostradas por la ECU.

7.7 Prueba complementaria: compresión relativa mediante corriente de arranque

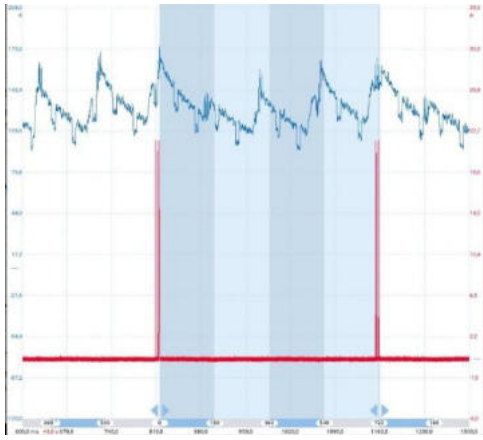
Además de las señales eléctricas y de presión ya cubiertas, el osciloscopio permite una prueba mecánica sin desmontar nada: la compresión relativa, a partir de la corriente que consume el motor de arranque [59]. Cada cilindro, al llegar a su carrera de compresión, opone resistencia mecánica al giro del motor de arranque. Esa resistencia se refleja como una variación periódica —una serie de “jorobas”— en la corriente de arranque, una por cilindro y por vuelta. Un cilindro con

menor compresión opone menos resistencia, así que pide menos corriente justo en el instante de su carrera de compresión.

§ Configuración inicial recomendada

Canal A: pinza amperimétrica de alta corriente sobre el cable principal del motor de arranque, puesta a cero antes de conectar · Canal B (opcional, referencia temporal): corriente o tensión de un inyector · Base de tiempo: ajustada para capturar varias vueltas completas del motor de arranque durante el cranking · Trigger: inicio del cranking o flanco de la corriente de arranque.

Figura 7.729. Caso real: Ford Courier 2023, 1.5 L CRDi. Corriente del motor de arranque (canal superior) durante el cranking: se observan cuatro "jorobas" periódicas, una por cilindro; la tercera es claramente menor en amplitud que las otras tres. La corriente del inyector 1 (canal inferior, pulsos breves) sirve como referencia temporal para ubicar cada cilindro en la secuencia. Captura compartida, PicoScope 4425A



Fuente: Elaboración propia

4. 11. Interpretación

La secuencia causal es directa: menor compresión en un cilindro → menor resistencia mecánica durante su carrera de compresión → menor demanda instantánea de corriente del motor de arranque → una "joroba" de menor amplitud en la posición del ciclo que le corresponde a ese cilindro según el orden de encendido. Esta prueba no reemplaza una compresión absoluta o una prueba de fugas (leak-down) — dice cuál cilindro investigar, no la causa mecánica exacta (válvulas con fuga, desgaste de segmentos o cilindro, junta de culata, distribución fuera de punto).

§ Decisión diagnóstica

Antes de interpretar una joroba de amplitud reducida como un problema de compresión, verificar que el orden de encendido del motor concreto se conoce y se usa correctamente para asignar cada joroba a su cilindro

— asignar mal el orden lleva a sospechar del cilindro equivocado. Con firmar siempre un hallazgo de esta prueba con compresión absoluta o leak-down antes de recomendar una reparación mayor (culata, distribución).

Documentar tus propios casos

Los casos de este libro combinan evidencia real verificable con narrativa ilustrativa, siempre señalada explícitamente. Si quieres incorporar un caso propio con el mismo rigor, necesitas: (1) el síntoma exacto y el código DTC, si existe; (2) datos del vehículo (marca, modelo, motor, kilometraje), sin nada que identifique al cliente; (3) los oscilogramas reales capturados en cada paso de la secuencia, en el orden en que se revisaron;

(4) el hallazgo que aisló la causa raíz; (5) la reparación realizada y, si se verificó, el oscilograma postreparación. No hace falta un reporte formal: notas de campo o capturas guardadas del propio PicoScope alcanzan.

7.8 De la señal eléctrica al rendimiento del motor

Antes de cerrar este capítulo vale la pena preguntarse por qué una falla que parece "solo eléctrica" termina afectando cosas tan distintas como la potencia, el consumo o el humo de escape. En un motor CRDi, la ECU decide cuándo y cuánto combustible inyectar en cada cilindro a partir de las seña-les que este libro enseña a leer: CKP/CMP para el momento exacto, presión de riel para la cantidad, MAF/MAP para el aire disponible. Una señal defectuosa no se limita a generar un código de falla — hace que la ECU tome una decisión de inyección equivocada para las condiciones reales del motor en ese instante. Un inyector que abre tarde, o una sincronización CKP-CMP que se desfasa, hacen que la combustión ocurra en un momento distinto al óptimo. De ahí que estas fallas terminen en pérdida de potencia, más consumo o más humo, aunque el técnico nunca haya medido directamente ni la potencia ni las

emisiones. Este libro se queda deliberadamente en la señal eléctrica y su interpretación, sin entrar en el análisis termodinámico del motor: entender esa conexión basta para justificar por qué vale la pena diagnosticar bien la señal. La relación entre la estrategia de inyección —momento, cantidad y número de eventos por ciclo— y el desempeño, el consumo y las emisiones resultantes está bien documentada en la literatura de combustión diésel [60, 61].

7.9 Atlas de señales normales y defectuosas

Consulta rápida de taller: para cada señal, qué síntoma la motiva, dónde está la forma sana, dónde hay un caso real defectuoso, y qué mirar primero al comparar ambas.

Tabla 7.42. Atlas de señales: síntoma, forma sana y defectuosa.

Señal	Síntoma típico	Sana	Defectuosa	Qué observar primero
CKP	No arranca, ralentí inestable	Fig. 3.4	Sec. 3.2, punto 9 (GMC Canyon)	Dientes faltantes o inconsistentes, sin interrupciones fuera de la marca de sincronización
Presión de riel	Arranque prolongado, pérdida de	Fig. 4.4	Sec. 4.4 (Ford Transit,	Presión real vs. solicitada; caída

	potencia		DAF CF)	específica antes o después de la bomba de alta
MAF	Humo negro, pérdida de potencia	Fig. 6.5	— (ver correlación Sec. 6.3, Euso 3, Canter)	Respuesta proporcional al acelerador, sin escalones ni ruido
MAP + IAT	Pérdida de potencia, humo negro	Fig. 6.10	Sec. 6.4, puntos 9–10 (VW Golf)	Curva de subida/caída coherente con el comando del inyector (referencia)
EGR (electroválvula)	Humo negro, ralentí irregular	—	Sec. 6.5.1	Posición real de la válvula sigue al comando, sin retraso ni bloqueo
VGT / turbo	Pérdida de potencia, sobrepresión	—	Sec. 6.6 (Nissan Navara)	Presión de boost cae en proporción al comando del actuador
Balance de inyectores	Precalentamiento, ralentí inestable	Compresión relativa	Sec. 7.7 (Ford Courier)	Un cilindro se aparta claramente del patrón de los otros tres; corriente total

	del circuito coherente con el número de bujías sanas; una joroba de corriente de arranque claramente menor que las demás

Fuente: Elaboración propia

CMP y EGP todavía no tienen un caso real de falla documentado en este libro (ver notas pendientes en las Secciones 3.3 y 6.5). El ECT (temperatura de refrigerante), que queda fuera del alcance CRDi estricto, se documenta como material bonus en el Apéndice D.

Todos los casos defectuosos de la tabla anterior son casos compartidos, capturados con equipos PicoScope 4425A de distintos técnicos (no necesaria-mente el mismo equipo documentado en el Anexo B). No son oscilogramas fabricados para este libro. El diagnóstico de cada uno se apoya en la información, etiquetas y comentarios visibles en la captura original; cuando no hay confirmación explícita de la causa raíz, se presenta como orientación diagnóstica, no como veredicto definitivo. Las referencias "Sanaçon número de figura (sin sección) corresponden a señales de ralentí — los oscilogramás a distinto régimen, cuando existen, están junto a esa misma figura en el capítulo correspondiente.

7.9.1 Sensores adicionales de referencia (fuera del alcance CRDi estricto)

El ECT (temperatura de refrigerante) y el APP (posición del pedal del acelerador) no forman parte del sistema de inyección common rail. Pero un técnico diagnosticando un CRDi los mide con frecuencia para descartar causas cruzadas, así que —para no diluir el enfoque del cuerpo principal del libro—sus oscilogramas de referencia quedan documentados como material complementario en el Apéndice D.

§ Consejo práctico

Este atlas es un punto de partida, no un sustituto de la captura del propio vehículo. Usa siempre el mismo modelo/ECU cuando sea posible para comparar como referencia, y documenta tus propias capturas para ir ampliando el atlas.

GLOSARIO

APP: Sensor de posición del pedal del acelerador (Accelerator Pedal Position).

Back-probing: Técnica de medición por la parte trasera del conector, sin perforar el cableado.

CKP: Sensor de posición de cigüeñal (Crankshaft Position).

CMP: Sensor de posición de árbol de levas (Camshaft Position).

CRDi: Sistema de inyección diésel common rail (Common Rail Direct injection).

DPF: Filtro de partículas diésel (Diesel Particulate Filter); su estado de sa-turación se monitorea con un sensor de presión diferencial [62] y, en sistemas más recientes, con un sensor de material particulado aguas abajo [63].

DTC: Código de diagnóstico de fallas (Diagnostic Trouble Code) almacena-do por la ECU.

Duty cycle: Porcentaje de tiempo que una señal PWM permanece activa dentro de un ciclo.

ECT: Sensor de temperatura del refrigerante del motor (Engine Coolant Temperature).

ECU: Unidad de control electrónico del motor (Engine Control Unit).

EGP: Sensor de presión de gases de escape (Exhaust Gas Pressure).

EGR: Recirculación de gases de escape (Exhaust Gas Recirculation).

IAT: Sensor de temperatura del aire de admisión (Intake Air Temperature).

IMV / SCV: Válvula dosificadora de entrada / válvula reguladora de presión de la bomba de alta presión (Inlet Metering Valve / Suction Control Valve).

MAF: Sensor de flujo de masa de aire (Mass Air Flow).

MAP: Sensor de presión absoluta del múltiple (Manifold Absolute Pressure).

NOx: Óxidos de nitrógeno; en sistemas SCR, un sensor dedicado mide su concentración en el escape para dosificar el reductor (AdBlue/DEF) [64].

PWM: Modulación por ancho de pulso (Pulse Width Modulation), técnica usada para controlar actuadores como la IMV/SCV o la válvula EGR.

SCR: Reducción catalítica selectiva (Selective Catalytic Reduction); sistema posttratamiento que inyecta una solución de urea (AdBlue/DEF) en el escape para reducir NOx, dosificada según la lectura del sensor NOx.

QCV / PRV: Nombres que usa el software PicoScope para la unidad dosi-ficadora (Quantity Control Valve) y la válvula reguladora de presión (Pressure Regulating Valve) — ver IMV/SCV.

Trigger: Condición de disparo que define cuándo el osciloscopio inicia una captura.

VGT / VNT: Turbo de geometría variable (Variable Geometry Turbo / Va-riable Nozzle Turbine).

APÉNDICE A

Especificaciones del equipo PicoScope utilizado

Todas las capturas de este libro salieron de un osciloscopio automotriz de la serie PicoScope, con su software de diagnóstico asociado. ¿Por qué dedicar-le un anexo entero a esto? No es simple formalidad. Dos variables deciden buena parte de la calidad de una captura —ancho de banda y tasa de mues-treo— y ambas dependen del modelo concreto de osciloscopio. Sin ese dato, un técnico que compare su propio oscilograma con el de este libro no puede saber si la diferencia que ve es una falla real o solo el resultado de un equipo que resuelve la señal con menos detalle. Documentar el equipo, entonces, es parte de la metodología. No un simple dato administrativo.

Gama PicoScope para diagnóstico automotriz (referencia general)

La tabla siguiente reúne, a modo de referencia general, los modelos de la gama automotriz de Pico Technology más comunes en talleres al momento de escribir este libro. No reemplaza la ficha técnica de tu propio equipo (Sección B.2) — para eso está la siguiente tabla — pero te da una idea del rango de prestaciones típico de un osciloscopio automotriz de esta familia.

Tabla 7.5. Especificaciones típicas de osciloscopios automotrices Pico Technology

Modelo	Canales	Ancho de banda	Muestreo máx.	Memoria
PicoScope 4425A	4	20 MHz	400 MS/s (1000 MS/s con los 4 canales activos)	**250 MS**
PicoScope 4823	8	20 MHz	80 MS/s (10 MS/s con los 8 canales activos)	**256 MS**

Fuente: Elaboración propia

Por qué importa el número de canales activo

En muchos osciloscopios automotrices multicanal, la tasa de muestreo máxima solo se alcanza con un único canal activo. Activa los cuatro u ocho canales a la vez y la tasa por canal baja. Para una prueba de un solo canal —CKP en ralentí, por ejemplo— esto casi nunca importa. Pero en las pruebas multicanal de este libro (sincronización CKP-CMP, correlación MAF-MAP-EGP, comparación entre inyectores) sí importa: revisa la tasa de muestreo real por canal en la configuración del equipo antes de capturar. No te fíes de la cifra máxima que promete el catálogo.

Datos de tu equipo específico

Esta tabla documenta el equipo concreto que se usó, para que otro técnico pueda reproducir las mismas condiciones de medición que las capturas de este libro. El modelo, la versión de software y el número de serie salieron directamente del pie de página de los reportes PDF que exporta PicoScope de las capturas originales. Si tu equipo no coincide exactamente, corrige estos datos:

Tabla 7.6. Ficha de datos del equipo propio del autor

Dato	Tu equipo
Modelo exacto de PicoScope	PicoScope 4425A (N.º de serie 10058/0795)
Número de canales	4
Ancho de banda	20 MHz
Tasa de muestreo máxima	400 MS/s (100 MS/s con los 4 canales activos)
Versión del software PicoScope utilizada	PicoScope 7 Automotive, versión 7.2.10.7895
Sonda de voltaje	No especificada
Sonda/pinza de corriente	No especificada
Transductor de presión	No especificado
Accesorios de conexión	Pinzas back-probing y adaptadores para marca de vehículo
Memoria	250 MS

Fuente: Elaboración propia

Dónde encontrar estos datos

El modelo exacto y la versión de software están en el propio programa PicoScope, menú Ayuda → Acerca de PicoScope, y también en el pie de página de cualquier reporte exportado a PDF. Ancho de banda, tasa de muestreo y memoria del modelo específico: eso está en la ficha técnica que publica Pico Technology para ese modelo (picoauto.com). Sondas y pinzas suelen traer el rango y la marca grabados en el propio cuerpo del accesorio — dato que todavía falta completar en esta tabla.

APÉNDICE B

Ficha imprimible de diagnóstico

Fotocopia esta página, o imprímela, y úsala para documentar tus propias capturas en campo. Vehículo, síntoma, la configuración que usaste, el hallazgo— con espacio para dibujar el oscilograma a mano o pegar una captura de pantalla del osciloscopio. Si llenas esta ficha en cada prueba real, con el tiempo tendrás tu propio atlas de señales sanas y defectuosas.

Figura 7.8. Ficha imprimible de diagnóstico (plantilla en blanco)

FICHA IMPRIMIBLE DE DIAGNÓSTICO

Registro de pruebas y análisis con PicoScope

VEHÍCULO — **Marca / modelo / año:** _____ ; **Motor / cilindrada:** _____ ; **Kilometraje:** _____

SÍNTOMA _____

CÓDIGO DTC _____

PRUEBA / COMPONENTE _____

CANAL(ES) _____

ESCALA _____

BASE DE TIEMPO _____

TRIGGER _____

OSCILOGRAMA / HALLAZGO (dibuje la forma de onda o pegue una impresión de la captura):

Espacio para oscilograma, captura o dibujo de la señal

Interpretación: _____

DECISIÓN DIAGNÓSTICA

☐ Reemplazar componente ☐ Profundizar con otra prueba ☐ Revisar cableado/conexión componente

☐ Reparar / ajustar ☐ Repetir medición / confirmar ☐ Descartar

Fecha: _____ Técnico: _____ N.º de ficha: _____

Fuente: Elaboración propia

§ Consejo práctico

Guarda también el archivo de captura original (posdata u equivalente) con un nombre que identifique vehículo, componente y condición — por ejemplo, ckp_ralenti_944rpm.psdata — junto a esta ficha, física o escaneada. Reúne varias fichas del mismo componente en condiciones distintas y verás cómo se arma, poco a poco, tu propio atlas de referencia para los vehículos que atiendes.

APÉNDICE D

Material complementario: sensores ECT y APP

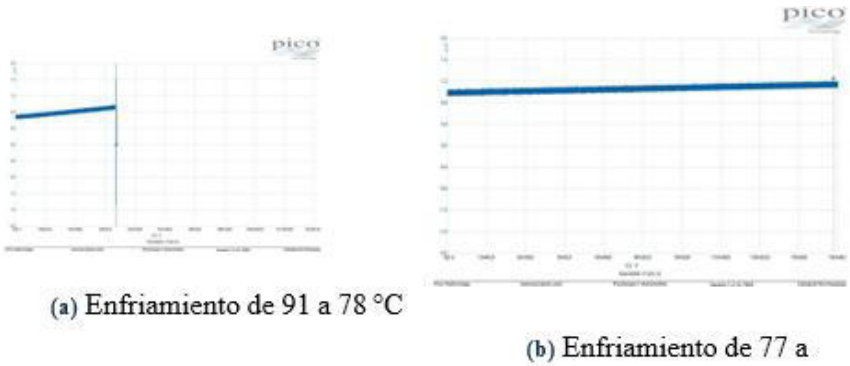
§ Configuración inicial recomendada

Este anexo es **material bonus**: queda fuera del alcance CRDi estricto que organiza el cuerpo principal del libro (Capítulos 3 a 7). Ni el ECT (temperatura de refrigerante) ni el APP (posición del pedal del acelerador) forman parte del sistema de inyección common rail. Pero son señales que, en la práctica, un técnico diagnosticando un CRDi termina midiendo de todos modos, para descartar causas cruzadas de un síntoma. Por eso van aquí, separadas del recorrido principal, en lugar de mezclarse con las pruebas del sistema de inyección.

Sensor ECT (temperatura de refrigerante)

El sensor ECT de esta captura es un termistor NTC. Su resistencia —y con ella la tensión de señal— sube a medida que el motor se enfría. Eso es justo lo que muestran las dos capturas siguientes: un enfriamiento real y continuo tras apagar el motor, no puntos sueltos tomados al azar, sino la tendencia completa que debería verse en un sensor y un circuito sanos.

Figura 7.930. Señal del sensor ECT durante el enfriamiento del motor: la tensión sube de forma lenta y continua a medida que baja la temperatura (comportamiento típico de un termistor NTC). Una señal escalonada, con saltos o congelada indicaría sensor o circuito dañado



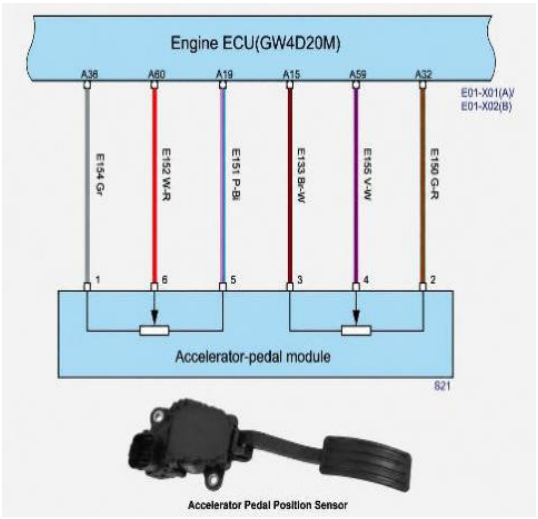
(a) Enfriamiento de 91 a 78 °C

(b) Enfriamiento de 77 a

Fuente: Elaboración propia

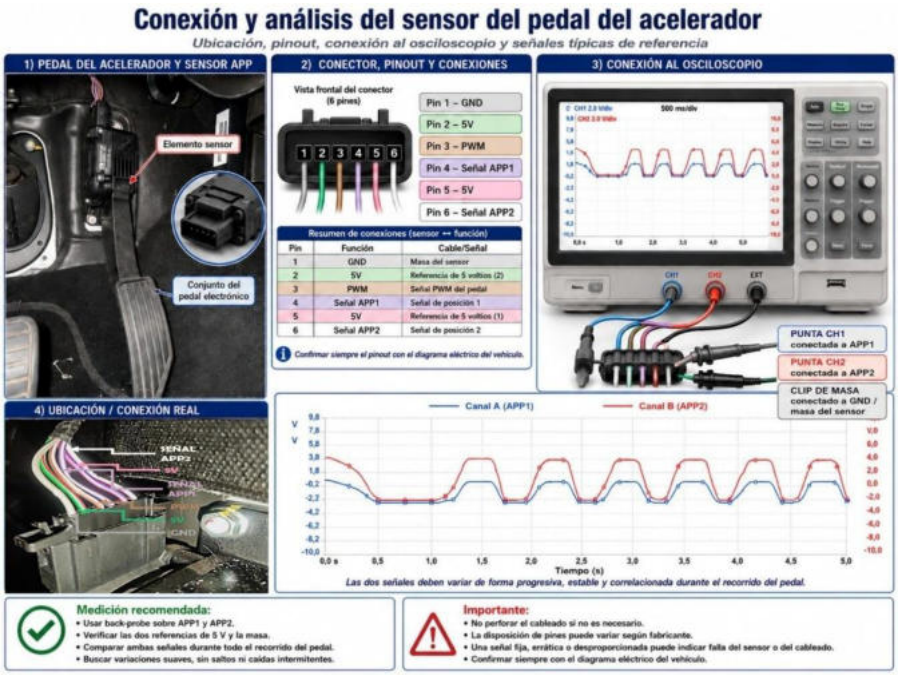
Sensor APP (posición del pedal del acelerador)

Figura 7.10. Conexión del sensor APP a la ECU



Fuente: Elaboración propia

Figura 7.11. Diagrama de conexión, ubicación y señal de referencia del sensor de posición del pedal del acelerador (APP).



Fuente: Elaboración propia

§ Consejo práctico

Toma esto como punto de partida, no como sustituto de la captura de tu propio vehículo. Cuando puedas, compara contra el mismo modelo y la misma ECU. Y documenta tus propias capturas — así vas ampliando el material.

APÉNDICE E

Diagrama eléctrico de referencia (ejem-plo real)

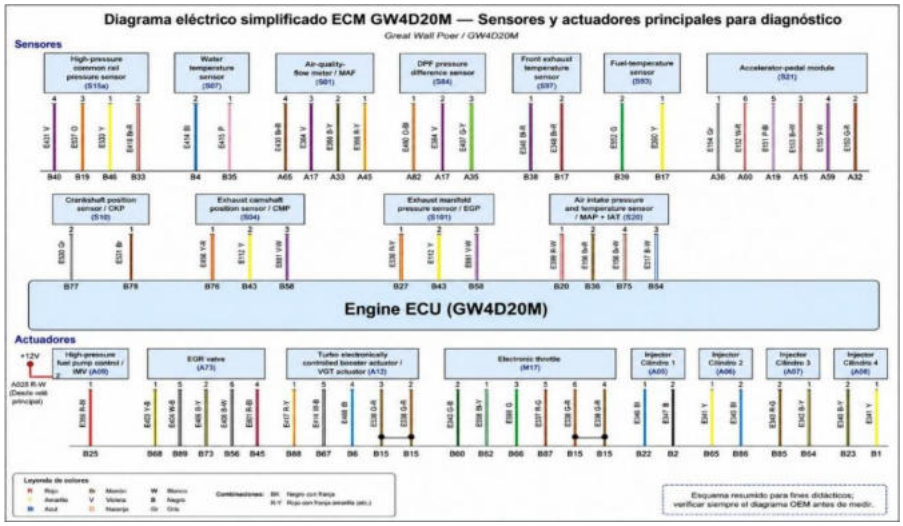
§ Alcance de este anexo

Este anexo es un **ejemplo real**: un diagrama eléctrico simplificado de una ECU de motor (Great Wall Poer, ECM GW4D20M). Sirve de referencia para ver, en un vehículo concreto, cómo queda el mapa completo de pines y colores de cable de los sensores y actuadores que este libro va tratando capítulo por capítulo. No reemplaza al diagrama OEM del vehículo que tengas delante — números de pin, colores de cable y designaciones de conector cambian entre fabricantes, generaciones y hasta mercados. Úsalo para entender *la lógica* de cómo se arma un diagrama de este tipo, no como valor de referencia directo para otro vehículo.

El diagrama reparte los componentes en tres bloques, indicando para cada señal el número de pin del conector y el color de cable:

- Sensores (fila superior): presión de riel, temperatura de refrigeran-te, MAF, presión diferencial de DPF, temperatura de gases de escape, temperatura de combustible y módulo del pedal del acelerador.
- Sensores conectados directamente a la ECU (fila media): CKP, CMP, EGP y MAP+IAT — los cuatro con más desarrollo propio en este libro (Secciones 3.2 y 3.3, y Capítulo 6).
- Actuadores (fila inferior): IMV de la bomba de alta presión, válvula EGR, actuador VGT, acelerador electrónico y los cuatro inyectores.

Figura 7.12. Figura E.1: Diagrama eléctrico simplificado de la ECU (ECM GW4D20M, Great Wall Poer): sensores, actuadores, número de pin de Cada pin lleva dos etiquetas: el número de cavidad en el conector de la ECU (por ejemplo, B77) y el color de cable, según la leyenda que trae el propio diagrama. Vale la pena replicar esta forma de documentar un circuito —componente, pin de conector y color de cable, todo en una sola línea— al anotar tus propias mediciones en la Ficha imprimible de diagnóstico (Anexo C).



Fuente: Elaboración propia

BIBLIOGRAFÍA

[1] J. B. Heywood, *Internal Combustion Engine Fundamentals*. McGraw-Hill, 2nd ed., 2018.

[2] K. Mollenhauer and H. Tschöke, eds., Handbook of Diesel Engines. Springer, 2010.

[3] R. Stone, Introduction to Internal Combustion Engines. Palgrave Mac-millan, 4th ed., 2012.

[4] C. Baumgarten, Mixture Formation in Internal Combustion Engines. Springer, 2006.

[5] P. A. Lakshminarayanan and Y. V. Aghav, Modelling Diesel Combus-tion. Springer, 2010.

[6] L. Guzzella and C. H. Onder, Introduction to Modeling and Control of Internal Combustion Engine Systems. Springer, 2nd ed., 2010.

[7] G. P. Merker, C. Schwarz, G. Stiesch, and F. Otto, Simulating Combus-tion. Springer, 2006.

[8] Robert Bosch GmbH, ed., Bosch Automotive Handbook. Wiley, 10th ed., 2018.

[9] T. Denton, Advanced Automotive Fault Diagnosis. Routledge, 4th ed., 2016.

[10] T. Denton, Automobile Electrical and Electronic Systems. Routledge, 5th ed., 2020.

[11] Pico Technology, "Crd (bosch) piezo injector cu-rrent." https://www.picoauto.com/library/ automotive-guided-tests/actuators/injector-(diesel)/AGT-098-crd-bosch-piezo-injector/. Prueba guiada. Consul-tado 2026.

[12] Pico Technology, "Automotive guided tests." https://www.

picoauto.com/library/automotive-guided-tests, 2024.

[13] Fichas de referencia PicoScope: CKP, CMP, sensor de presión de riel, QCV, PRV, inyector solenoide/piezo, EGR, MAF, bujías incandescentes. Consultado 2026.

[14] Bosch Mobility, "Powertrain sensors." https:// www.bosch-mobility.com/en/solutions/sensors/overview-powertrain-sensors/. Consultado 2026.

[15] A. Korpach, O. Levkivskyi, O. Korpach, and A. Pauliukas, "Modern engine fuel systems diagnostic using a digital oscilloscope," The Na-tional Transport University Bulletin, 2024.

[16] A. Bonnick, Automotive Computer Controlled Systems. Butterworth-Heinemann, 2001.

[17] A. Korpach, O. Korpach, and O. Levkivskyi, "Advanced diagnostics of high-pressure diesel injection systems," Journal of Mechanical Engi-neering and Transport, 2026.

[18] S. Oryschenko, "Diagnostics of the technical condition of common rail electromagnetic fuel injectors based on electrical signal parameters," Transport Technologies, 2026.

[19] S. Wierzbicki and M. Stolarski, "Diagnostics of a common rail system using a signal analyser," Journal of KONES, 2017.

[20] K. Reif, ed., Diesel Engine Management: Systems and Components. Bosch Professional Automotive Information, Wiesbaden: Springer Vieweg, 2014.

[21] Bosch Mobility, "Crankshaft speed sensor." https://www.bosch-mobility.com/en/solutions/sensors/crankshaft-speed-sensor/. Consultado 2026.

[22] Bosch Mobility, "Camshaft position sensor."

https://www.bosch-mobility.com/en/solutions/sensors/camshaft-position-sensor/. Consultado 2026.

[23] DieselNet, “Common rail fuel injection.” https://dieselnet.com/tech/diesel_fi_common-rail.php. Consultado 2026.

[24] Bosch Mobility, “Modular common-rail system for commercial vehicles.” https://www.bosch-mobility.com/en/solutions/powertrain/diesel/modular-common-rail-system/. Consulta-do 2026.

[25] Bosch Mobility, “High-pressure rail for common-rail systems.” https://www.bosch-mobility.com/en/solutions/fuel-supply/ high-pressure-rail-for-common-rail-systems/. Consultado 2026.

[26] Bosch Mobility, “Common-rail system with solenoid injec-tors.” https://www.bosch-mobility.com/en/solutions/powertrain/diesel/common-rail-system-solenoid/. Consul-tado 2026.

[27] Bosch Mobility, “Common-rail system with piezo injec-tors.” https://www.bosch-mobility.com/en/solutions/powertrain/diesel/common-rail-system-piezo/. Consultado 2026.

[28] DieselNet, “Common rail injection system pressure control.” https://dieselnet.com/tech/diesel_fi_common-rail_ control.php. Consultado 2026.

[29] Pico Technology, “Crd (bosch) fuel rail pressu-re sensor.” https://www.picoauto.com/library/automotive-guided-tests/sensors/fuel-pressure/AGT-138-crd-bosch-fuel-rail-pressure/. Prueba guiada. Consultado 2026.

[30] T. Krogerus, M. Hyvönen, and K. Huhtala, “Analysis of common rail pressure signal of dual-fuel large industrial engine for identification of injection duration of pilot diesel injectors,” Fuel, vol. 216, pp. 1–9, 2018.

[31] T. R. Krogerus and K. J. Huhtala, “Diagnostics and identification of injection duration of common rail diesel injectors,” Open Engineering, vol. 8, no. 1, pp. 1–6, 2018.

[32] Pico Technology, “Diesel injection effects on the fuel-rail pressure sensor.” https://picoauto.com/support/viewtopic.php?t= 9829. Caso técnico. Consultado 2026.

[33] Bosch Mobility, “Medium-pressure sensor for engines and transmissions.” https://www.bosch-mobility.com/en/solutions/sensors/medium-pressure-sensor/. Consultado 2026.

[34] R. Payri, F. J. Salvador, J. Gimeno, and G. Bracho, “A new methodo-logy for correcting the signal cumulative phenomenon on injection rate measurements,” Experimental Techniques, vol. 32, pp. 46–49, 2008.

[35] Pico Technology, “Crd (bosch) quantity control valve.” https://www.picoauto.com/library/automotive-guided-tests/bosch-cdi-31/. Prueba guiada. Consultado 2026.

[36] Pico Technology, “Crd (bosch) pressure regulating valve.” https://www.picoauto.com/library/automotive-guided-tests/bosch-cdi-3/. Prueba guiada. Consultado 2026.

[37] Bosch Mobility, “High-pressure pump for common-rail systems— cp4.” https://www.bosch-mobility.com/en/solutions/ pumps/high-pressure-pump-cp4/. Consultado 2026.

[38] X. Li, G. Du, Z. Li, and G. Wang, “Fault diagnosis method for high-pressure common rail injector based on variational mode decompo-sition and hierarchical dispersion entropy,” Entropy, vol. 21, no. 10,p. 923, 2019.

[39] R. Payri, H. Climent, F. J. Salvador, and A. G. Favennec, “Diesel injection system modelling: Methodology and application for a first-generation common rail system,” Proceedings of the Institution of Me-chanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, 2004.

[40] Pico Technology, “Crd (bosch) solenoid injector current.” https://www.picoauto.com/library/automotive-guided-tests/ bosch-current-at-idle. Prueba guiada. Consultado 2026.

[41] A. Taghizadeh-Alisaraei et al., “Method of fuel injector diagnosis ba-sed on analysis of current waveforms,” Sensors, vol. 22, no. 18, p. 6735, 2022.

[42] Pico Technology, “Electronically controlled unit injectors.” https://www.picoauto.com/library/automotive-guided-tests/ heavy-duty/heavy-duty-off-highway/

[43] AGT-909-electronically-controlled-unit-injectors/. Prueba guiada. Consultado 2026.

[44] Bosch Mobility, “Piezo injector for common-rail systems.” https://www.bosch-mobility.com/en/solutions/injectors/ piezo-injector-cri3/. Consultado 2026.

[45] Pico Technology, “Crd (delphi) solenoid injector.” https://www.picoauto.com/library/automotive-guided-tests/ delphi-current/. Prueba guiada. Consultado 2026.

[46] U. E. Akpudo and J.-w. Hur, “A wavelet-based diagnostic

framework for crd engine injection systems under emulsified fuel conditions," Electronics, vol. 10, no. 23, p. 2922, 2021.

[47] Pico Technology, "Common rail diesel injector back-leakage." https://www.picoauto.com/library/automotive-guided-tests/ pressure-transducers/wps500x-pressure-transducer/

[48] AGT-786-crd-injector-back-leakage/. Prueba guiada, sonda WPS500X. Consultado 2026.

[49] Bosch Mobility, "Hot-film air-mass meter." https://www.bosch-mobility.com/en/solutions/sensors/ hotfilm-airflow-sensor/. Consultado 2026.

[50] B. P. Pundir, Engine Emissions: Pollutant Formation and Advances in Control Technology. Alpha Science, 2010.

[51] F. Payri, J. Benajes, J. V. Pastor, and S. Molina, "Influence of the post-injection pattern on performance, soot and nox emissions of a heavy-duty diesel engine," in SAE Technical Paper Series, no. 2002-01-0502, SAE International, 2002.

[52] Bosch Mobility, "Intake-manifold and boost-pressure sensor." https://www.bosch-mobility.com/en/solutions/sensors/ intake-manifold-and-boost-pressure-sensor/. Consultado 2026.

[53] Bosch Mobility, "Boost-pressure and temperature sensor." https://www.bosch-mobility.com/en/solutions/sensors/ boost-pressure-and-temperature-sensor/. Consultado 2026.

[54] Bosch Mobility, "Pressure-based air-flow meter." https://www.bosch-mobility.com/en/solutions/sensors/ pressure-based-air-flow-meter/. Consultado 2026.

[55] V. V. Ayachit, N. Gandhi, and S. Kakade, “Unified diagnostics off-board tool development & testing,” in SAE Technical Paper Series, no. 2024-01-5041, SAE International, 2024.

[56] Pico Technology, “Dodge 2500 non-starter.” https://www.picoauto.com/library/case-studies/dodge-2500-non-starter, 2024. Caso de estudio real: motor Dodge 2500 sin arranque, presión de riel muy por debajo de lo requerido (código P0087). Consultado 2026.

[57] Pico Technology, “Fiat ducato with turbo under-boost and air flow me-ter drift.” https://www.picoauto.com/library/case-studies/

[58] fiat-ducato-with-turbo-under-boost-and-air-flow-meter-drift, 2024. Caso de estudio real: Fiat Ducato con baja sobrealimentación de turbo y deriva del medidor de flujo de aire. Consultado 2026.

[59] C. Behrendt and A. Smith, “A study of diesel fuel injector deposit effects on power and fuel economy,” in SAE Technical Paper Series, no. 2017-01-0803, SAE International, 2017.

[60] Pico Technology, “Diesel engine performance test.” https: //www.picoauto.com/library/automotive-guided-tests/ heavy-duty/heavy-duty-off-highway/AGT-904-diesel-engine-performance-test/. Prueba guia-da. Consultado 2026.

[61] Pico Technology, “Egr valve failure.” https://www.picoauto.com/ library/case-studies/egr-valve-failure, 2024. Caso de es-tudio real: motor Isuzu 4HK (excavadora JCB), válvula EGR trabada abierta, con datos de MAP antes/después de la corrección. Consultado 2026.

[62] C. Beatrice, C. Bertoli, N. Del Giacomo, P. Massoli, and M. Migliac-cio, “Combustion behavior analysis in a transparent research engine equipped with a common rail diesel injection system,” in SAE Techni-cal Paper Series, no. 2000-01-1825, SAE International, 2000.

[63] Pico Technology, “Relative compression — die-sel.” https://www.picoauto.com/library/ automotive-guided-tests/charging-starting/starting/ AGT-005-relative-compression-diesel/. Prueba guiada. Consultado 2026.

[64] M. A. Fayad, “Effect of fuel injection strategy on combustion perfor-mance and emissions in diesel engines,” SN Applied Sciences, 2019.

[65] Z. Wang et al., “Experimental research on the injection rate of dme and diesel fuel in common rail injection system using bosch and zeuch methods,” Energies, vol. 11, no. 2, p. 273, 2018.

[66] Bosch Mobility, “Differential pressure sensor.” https://www.bosch-mobility.com/en/solutions/sensors/ differential-pressure-sensor/. Consultado 2026.

[67] Bosch Mobility, “Particulate matter sensor.” https://www. bosch-mobility.com/en/solutions/exhaust-gas-treatment/ particulate-matter-sensor/. Consultado 2026.

[68] Bosch Mobility, “Nox sensor.” https://www.bosch-mobility. com/en/solutions/exhaust-gas-treatment/nox-sensor/. Consultado 2026.

Osciloscopio en el diagnóstico de sistemas diésel common rail, se publicó en el mes de septiembre de 2026.

ISBN: 978-9907-802-13-9

Grupo Editorial BLR
Ecuador
Cel: +593 98 320 4362
https://grupoblr.com/
publicaciones@grupoblr.com

BIOGRAFÍA DE LOS AUTORES

Paúl Alejandro Montúfar Paz:
Ingeniero Automotriz, Magíster en Ingeniería Automotriz (Tecnológico de Monterrey) y Ph.D. en Ingeniería (PUCP, Perú). Docente e investigador de la ESPOCH desde 2013, coordinador del Grupo de Investigación en Eficiencia Energética y Gestión Ambiental. Especialista en motores de combustión interna, ciclos de conducción y emisiones vehiculares en altura.

Eugenia Mercedes Naranjo Vargas:
Ingeniera Mecánica, Magíster en Diseño Mecánico con mención en Fabricación y Autopartes, docente e investigadora de la ESPOCH. Cursa el Doctorado en Ingeniería Industrial en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú. Amante de los componentes automotores pequeños y grandes, ingeniería de materiales y los procesos de fabricación.

Juan Carlos Quinchuela Paucar:
Ingeniero Mecánico por la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Magíster en Diseño Industrial y de Procesos por la Universidad Internacional SEK. Cuento con experiencia profesional como supervisor de producción y mantenimiento mecánico, además de actividades en metalografía, producción y control de calidad. Desde 2021 ejerzo docencia universitaria en la ESPOCH en las áreas de materiales, manufactura, termodinámica, transferencia de calor, mecánica de fluidos y diseño mecánico.

OSCILOSCOPIO EN EL DIAGNÓSTICO DE SISTEMAS DIÉSEL COMMON RAIL

Estimado lector, el documento es una guía práctica dirigida a mecánicos y técnicos automotrices sobre el uso correcto del osciloscopio en el diagnóstico de sistemas de inyección diésel Common Rail (CRDi). Su premisa central es que una señal eléctrica anormal no equivale automáticamente a un componente defectuoso; por ello, enseña a interpretar con precisión las formas de onda y correlacionarlas con el resto del sistema antes de reemplazar piezas.

La obra propone un método estructurado de 14 puntos que abarca desde el síntoma inicial hasta la decisión diagnóstica final mediante la secuencia: Síntoma -> Conexión -> Configuración -> Captura -> Interpretación -> Decisión. Comienza estableciendo las bases del uso del equipo, incluyendo la conexión segura, escala de voltaje, base de tiempo y disparo (trigger). Posteriormente, detalla las pruebas específicas para sensores de sincronización (CKP y CMP), el sistema de presión (sensor de riel, válvulas IMV/SCV), inyectores (analizando voltaje y corriente en tecnologías solenoide y piezoeléctrica), y la gestión de aire (MAF, MAP, EGR, VGT).

Finalmente, el libro aplica estas pruebas al diagnóstico basado en síntomas comunes, como problemas de arranque, pérdida de potencia, exceso de humo negro o ralentí inestable, apoyándose en casos reales de taller y un atlas de señales de referencia.

GRUPO BLR

Grupo Editorial BLR
Ecuador
Cel: +593 98 320 4362
https://grupoblr.com/
publicaciones@grupoblr.com

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

ISBN: 978-9907-802-13-9